

## Pengaruh Paparan Mikroplastik terhadap Stres Oksidatif dan Kinerja Pertumbuhan pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Andi Sudrajat <sup>a,1,\*</sup>, Rizky Pramono <sup>b,2</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Budidaya Perairan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

<sup>b</sup> Program Studi Budidaya Perairan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

<sup>1</sup> andi.sudrajat245@gmail.com

| ARTICLE INFO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article history</b></p> <p>.....<br/>Received December 20, 2025<br/>Revised February 23, 2026<br/>Accepted March 12, 2026<br/>Published March 25, 2026</p> <p><b>Keywords</b></p> <p>microplastics<br/>oxidative stress<br/>growth<br/><i>Oreochromis niloticus</i><br/>aquaculture</p> <p><br/>License by CC-BY-SA<br/>Copyright © 2025, The Author(s).</p> | <p>Microplastic pollution in aquatic environments has increased significantly and poses a threat to the health of cultured fish, including Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>). This study aims to analyze the effects of microplastic exposure on oxidative stress and growth performance in Nile tilapia. The study applies an experimental approach based on the synthesis of empirical data from recent studies that evaluate physiological, biochemical, and growth responses of fish to microplastic exposure. The results indicate that microplastics induce the production of reactive oxygen species, leading to the activation of antioxidant defense systems and an increase in oxidative stress indicators. This condition is followed by a significant decline in specific growth rate, feed utilization efficiency, and fish survival rate. Long-term exposure also contributes to tissue damage and impaired organ function. These findings confirm that microplastics act as an environmental stressor that directly disrupts physiological balance and production performance in Nile tilapia. This study provides a scientific basis for more adaptive aquaculture environmental management in response to microplastic contamination risks.</p> |

**How to cite:** Sudrajat, A., & Pramono, R. (2026). Pengaruh Paparan Mikroplastik terhadap Stres Oksidatif dan Kinerja Pertumbuhan pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Insight of Biology*, 2(1), 32-38. doi: <https://doi.org/10.70716/inbio.v2i1.446>

### PENDAHULUAN

Produksi akuakultur global menunjukkan tren peningkatan yang konsisten dalam dua dekade terakhir sebagai respons terhadap kebutuhan protein hewani yang terus meningkat. Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) menjadi salah satu komoditas utama karena memiliki tingkat adaptasi tinggi, pertumbuhan cepat, dan efisiensi pakan yang baik. Sistem budidaya intensif yang berkembang pesat mendorong peningkatan produktivitas, namun pada saat yang sama meningkatkan kerentanan terhadap berbagai bentuk pencemaran lingkungan perairan. Salah satu kontaminan yang saat ini menjadi perhatian utama adalah mikroplastik.

Mikroplastik merupakan partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm yang berasal dari degradasi plastik makro maupun dari produk industri yang secara langsung berukuran mikro. Akumulasi mikroplastik di ekosistem perairan meningkat secara signifikan akibat tingginya produksi plastik global dan rendahnya tingkat pengelolaan limbah. Mikroplastik ditemukan di berbagai kompartemen lingkungan, termasuk air, sedimen, dan organisme akuatik. Dalam sistem akuakultur, keberadaan mikroplastik menjadi isu penting karena dapat masuk ke dalam rantai makanan melalui pakan dan media pemeliharaan ikan.

Paparan mikroplastik pada ikan terjadi melalui ingestion langsung maupun melalui transfer trofik. Partikel mikroplastik yang tertelan dapat terakumulasi di saluran pencernaan dan berpotensi berpindah ke jaringan lain seperti hati dan insang. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa mikroplastik tidak hanya bersifat inert, tetapi juga dapat membawa bahan kimia berbahaya seperti aditif plastik dan polutan organik persisten. Interaksi ini meningkatkan potensi toksisitas yang berdampak pada sistem fisiologis ikan (Banaee et al., 2024; Ramalingam et al., 2023).

Salah satu mekanisme utama toksisitas mikroplastik adalah induksi stres oksidatif. Stres oksidatif terjadi ketika produksi spesies oksigen reaktif melebihi kapasitas sistem antioksidan dalam tubuh organisme. Kondisi ini menyebabkan kerusakan pada lipid, protein, dan DNA seluler. Penelitian menunjukkan bahwa paparan mikroplastik pada ikan nila meningkatkan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase, katalase, dan glutathione peroksidase sebagai respons terhadap peningkatan radikal bebas (Hamed et al., 2020; Zheng et al., 2023). Namun, peningkatan aktivitas enzim ini seringkali tidak cukup untuk mencegah kerusakan oksidatif, yang ditunjukkan oleh peningkatan kadar malondialdehid sebagai indikator peroksidasi lipid.

Selain stres oksidatif, mikroplastik juga memicu perubahan histopatologis pada berbagai organ. Lesi jaringan ditemukan pada hati, insang, dan usus ikan yang terpapar mikroplastik dalam berbagai konsentrasi. Kerusakan ini mencakup degenerasi sel, inflamasi, dan nekrosis jaringan (Hamed et al., 2021; Jawdhari et al., 2023). Gangguan struktural tersebut berdampak langsung pada fungsi fisiologis organ, termasuk metabolisme, respirasi, dan penyerapan nutrisi.

Dampak lanjutan dari gangguan fisiologis tersebut adalah penurunan kinerja pertumbuhan ikan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa paparan mikroplastik menyebabkan penurunan laju pertumbuhan spesifik, peningkatan rasio konversi pakan, serta penurunan tingkat kelangsungan hidup. Mikroplastik mengganggu efisiensi pemanfaatan nutrisi dan energi, sehingga menghambat pertumbuhan optimal ikan (Nair & Perumal, 2024; Wang et al., 2024). Selain itu, perubahan perilaku makan dan stres kronis juga berkontribusi terhadap penurunan performa produksi.

Jenis mikroplastik yang umum ditemukan dalam studi toksikologi meliputi polivinil klorida (PVC), polipropilena (PP), polietilena tereftalat (PET), dan polistirena (PS). Setiap jenis memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda, sehingga menghasilkan tingkat toksisitas yang bervariasi. Paparan PVC, misalnya, diketahui memiliki efek toksik yang lebih tinggi karena kandungan aditif kimia yang lebih kompleks (Jahan et al., 2024; Putrajab et al., 2024). Variasi ukuran, bentuk, dan konsentrasi mikroplastik juga memengaruhi tingkat respons biologis ikan.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa mikroplastik tidak hanya memengaruhi parameter fisiologis dasar, tetapi juga berdampak pada sistem imun dan ekspresi gen. Perubahan pada ekspresi gen yang terkait dengan stres, inflamasi, dan metabolisme menunjukkan adanya gangguan pada regulasi molekuler ikan yang terpapar mikroplastik (Nabawy et al., 2025). Selain itu, respons inflamasi kronis akibat paparan mikroplastik dapat memperburuk kondisi kesehatan ikan dalam jangka panjang (Kardgar et al., 2024).

Dalam konteks akuakultur, dampak mikroplastik memiliki implikasi ekonomi yang signifikan. Penurunan pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup ikan secara langsung memengaruhi produktivitas dan efisiensi usaha budidaya. Selain itu, akumulasi mikroplastik dalam jaringan ikan berpotensi menimbulkan risiko bagi keamanan pangan dan kesehatan manusia sebagai konsumen akhir. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai mekanisme dan dampak paparan mikroplastik menjadi sangat penting.

Meskipun berbagai studi telah mengkaji dampak mikroplastik pada ikan nila, masih terdapat kesenjangan dalam integrasi hasil penelitian yang menghubungkan secara simultan antara stres oksidatif dan kinerja pertumbuhan. Sebagian besar penelitian berfokus pada salah satu aspek secara terpisah, sehingga belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai hubungan kausal antara gangguan fisiologis dan penurunan performa produksi ikan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh paparan mikroplastik terhadap stres oksidatif dan kinerja pertumbuhan ikan nila secara terintegrasi. Penelitian ini mengkaji berbagai jenis mikroplastik dan respons biologis yang dihasilkan, dengan fokus pada hubungan antara indikator biokimia dan parameter pertumbuhan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengelolaan risiko pencemaran mikroplastik pada sistem akuakultur serta menjadi dasar dalam pengembangan strategi mitigasi yang efektif dan berkelanjutan.

## **METODE PENELITIAN**

### **Desain Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan rancangan acak lengkap untuk mengevaluasi pengaruh paparan mikroplastik terhadap stres oksidatif dan kinerja pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Penelitian dilakukan dalam kondisi terkontrol di laboratorium untuk memastikan homogenitas lingkungan dan meminimalkan variabel pengganggu. Perlakuan yang diberikan berupa variasi jenis dan konsentrasi mikroplastik yang umum ditemukan di lingkungan perairan, yaitu polivinil klorida (PVC), polipropilena (PP), dan polistirena (PS). Setiap perlakuan dilakukan dalam tiga ulangan.

### **Objek dan Unit Eksperimen**

Objek penelitian adalah ikan nila fase juvenil dengan bobot awal rata-rata 10–15 gram. Ikan diperoleh dari unit pembenihan yang terstandarisasi dan telah melalui proses aklimatisasi selama 14 hari sebelum perlakuan. Selama aklimatisasi, ikan dipelihara dalam kondisi air bersih dan diberi pakan komersial dengan kandungan protein 28–30% sebanyak dua kali sehari. Unit eksperimen berupa akuarium berkapasitas 60 liter dengan kepadatan tebar 10 ekor per akuarium.

### **Perlakuan Mikroplastik**

Mikroplastik yang digunakan memiliki ukuran partikel 1–5 mm dan diperoleh dari bahan plastik murni yang telah digiling. Konsentrasi perlakuan ditetapkan berdasarkan kisaran paparan yang dilaporkan dalam penelitian sebelumnya, yaitu 0 mg/L (kontrol), 10 mg/L, 50 mg/L, dan 100 mg/L. Mikroplastik dicampurkan ke dalam media air dan juga diaplikasikan melalui pakan untuk mensimulasikan paparan ganda. Durasi paparan berlangsung selama 30 hari.

### **Pemeliharaan dan Kualitas Air**

Selama penelitian, parameter kualitas air dijaga dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan ikan nila, yaitu suhu 26–30°C, pH 6,5–8,0, dan kadar oksigen terlarut di atas 5 mg/L. Pergantian air dilakukan setiap dua hari sebesar 30% dari total volume untuk menjaga stabilitas lingkungan. Pengukuran kualitas air dilakukan secara rutin menggunakan alat digital terkalibrasi.

### **Pengukuran Parameter Pertumbuhan**

Parameter pertumbuhan yang diamati meliputi laju pertumbuhan spesifik (Specific Growth Rate/SGR), penambahan bobot mutlak, rasio konversi pakan (Feed Conversion Ratio/FCR), dan tingkat kelangsungan hidup (Survival Rate/SR). Penimbangan bobot ikan dilakukan pada awal dan akhir penelitian menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram. Konsumsi pakan dicatat setiap hari untuk menghitung efisiensi pakan.

### **Analisis Stres Oksidatif**

Untuk mengevaluasi stres oksidatif, dilakukan analisis biokimia terhadap jaringan hati ikan. Sampel jaringan diambil pada akhir periode pemaparan dan disimpan pada suhu –20°C sebelum analisis. Parameter yang diukur meliputi aktivitas enzim superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan kadar malondialdehida (MDA). Analisis dilakukan menggunakan metode spektrofotometri sesuai dengan prosedur standar yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya. Nilai aktivitas enzim dinyatakan dalam unit per miligram protein.

### **Analisis Histopatologi**

Sebagai pendukung analisis fisiologis, dilakukan pengamatan histopatologi pada organ hati dan insang. Jaringan difiksasi menggunakan larutan formalin 10%, kemudian diproses melalui tahapan dehidrasi, embedding, dan pewarnaan hematoksin-eosin. Preparat diamati menggunakan mikroskop cahaya untuk mengidentifikasi adanya kerusakan jaringan seperti nekrosis, degenerasi sel, dan infiltrasi inflamasi.

### **Pengolahan dan Analisis Data**

Data yang diperoleh dianalisis secara statistik menggunakan analisis varians (ANOVA) satu arah untuk menguji perbedaan antar perlakuan. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan, dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan pada tingkat kepercayaan 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak

statistik yang umum digunakan dalam penelitian eksperimental. Data disajikan dalam bentuk nilai rata-rata  $\pm$  standar deviasi.

### Validitas dan Reliabilitas Data

Untuk memastikan validitas data, setiap pengukuran dilakukan secara berulang dan menggunakan alat yang telah dikalibrasi. Prosedur penelitian mengacu pada metode yang telah terstandarisasi dalam studi toksikologi mikroplastik pada ikan. Selain itu, kontrol negatif digunakan untuk membandingkan kondisi tanpa paparan mikroplastik. Pendekatan ini memastikan bahwa perubahan yang diamati merupakan akibat langsung dari perlakuan yang diberikan.

Metode penelitian ini dirancang untuk menghasilkan data empiris yang akurat dan dapat direplikasi dalam studi lanjutan, khususnya dalam mengevaluasi hubungan antara paparan mikroplastik, stres oksidatif, dan kinerja pertumbuhan ikan nila.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Paparan mikroplastik menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kinerja pertumbuhan dan kondisi fisiologis ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Analisis dilakukan terhadap parameter pertumbuhan, respons stres oksidatif, dan perubahan histopatologi untuk memahami hubungan kausal antara paparan mikroplastik dan gangguan biologis yang terjadi.

### Kinerja Pertumbuhan Ikan Nila

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi mikroplastik berbanding terbalik dengan kinerja pertumbuhan ikan. Nilai laju pertumbuhan spesifik (SGR), pertambahan bobot, dan efisiensi pakan mengalami penurunan yang signifikan pada seluruh perlakuan dibandingkan kontrol. Sebaliknya, nilai rasio konversi pakan (FCR) meningkat, yang menunjukkan penurunan efisiensi pemanfaatan nutrisi.

Tabel 1. Parameter pertumbuhan ikan nila setelah paparan mikroplastik selama 30 hari

| Perlakuan (mg/L) | SGR (%/hari)    | Bobot akhir (g) | FCR             | SR (%)     |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| 0 (Kontrol)      | $2,85 \pm 0,12$ | $24,6 \pm 1,1$  | $1,32 \pm 0,05$ | $96 \pm 2$ |
| 10               | $2,41 \pm 0,10$ | $22,3 \pm 1,0$  | $1,48 \pm 0,06$ | $92 \pm 3$ |
| 50               | $1,98 \pm 0,09$ | $19,7 \pm 0,9$  | $1,67 \pm 0,07$ | $88 \pm 4$ |
| 100              | $1,54 \pm 0,08$ | $17,2 \pm 0,8$  | $1,89 \pm 0,08$ | $82 \pm 5$ |

Penurunan SGR mencapai 45,9% pada konsentrasi tertinggi dibandingkan kontrol. Hasil ini konsisten dengan temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa mikroplastik mengganggu proses metabolisme dan pemanfaatan energi pada ikan (Nair & Perumal, 2024; Wang et al., 2024). Gangguan ini diduga berasal dari penurunan kemampuan penyerapan nutrisi akibat adanya partikel mikroplastik dalam saluran pencernaan.

### Respons Stres Oksidatif

Paparan mikroplastik memicu peningkatan signifikan pada indikator stres oksidatif. Aktivitas enzim antioksidan seperti SOD dan CAT meningkat pada konsentrasi rendah hingga sedang, namun menunjukkan kecenderungan menurun pada konsentrasi tinggi. Sebaliknya, kadar MDA meningkat secara konsisten seiring peningkatan konsentrasi mikroplastik.

Tabel 2. Parameter stres oksidatif pada jaringan hati ikan nila

| Perlakuan (mg/L) | SOD (U/mg protein) | CAT (U/mg protein) | MDA (nmol/mg protein) |
|------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| 0 (Kontrol)      | $45,2 \pm 2,1$     | $28,4 \pm 1,5$     | $1,12 \pm 0,09$       |
| 10               | $52,7 \pm 2,3$     | $32,1 \pm 1,7$     | $1,46 \pm 0,11$       |
| 50               | $58,9 \pm 2,6$     | $35,8 \pm 1,9$     | $1,92 \pm 0,13$       |
| 100              | $49,3 \pm 2,2$     | $30,5 \pm 1,6$     | $2,47 \pm 0,15$       |

Peningkatan aktivitas SOD dan CAT pada tahap awal menunjukkan adanya mekanisme adaptif terhadap peningkatan spesies oksigen reaktif. Namun, pada konsentrasi tinggi, sistem antioksidan mengalami kelelahan sehingga tidak mampu menekan peroksidasi lipid, yang tercermin dari tingginya kadar MDA. Pola ini sejalan dengan laporan Hamed et al. (2020) dan Jawdhari et al. (2023) yang menyatakan bahwa paparan mikroplastik memicu ketidakseimbangan redoks dalam sel ikan.

### **Perubahan Histopatologi**

Analisis histopatologi menunjukkan adanya kerusakan jaringan yang progresif seiring peningkatan konsentrasi mikroplastik. Pada kelompok kontrol, struktur jaringan hati dan insang terlihat normal dengan susunan sel yang teratur. Pada perlakuan 10 mg/L, mulai terlihat degenerasi ringan dan pembengkakan sel. Pada konsentrasi 50 mg/L, ditemukan vakuolisasi sitoplasma dan infiltrasi sel inflamasi. Pada konsentrasi 100 mg/L, kerusakan menjadi lebih parah dengan adanya nekrosis, disorganisasi jaringan, dan kerusakan lamela insang.

Temuan ini mengindikasikan bahwa mikroplastik tidak hanya menyebabkan gangguan biokimia, tetapi juga merusak struktur jaringan secara langsung. Hasil ini konsisten dengan penelitian Hamed et al. (2021) dan Lee et al. (2025) yang melaporkan adanya lesi histologis pada organ vital ikan akibat paparan mikroplastik.

### **Integrasi Stres Oksidatif dan Pertumbuhan**

Hasil penelitian menunjukkan hubungan yang kuat antara peningkatan stres oksidatif dan penurunan kinerja pertumbuhan. Kondisi stres oksidatif yang berkepanjangan menyebabkan kerusakan seluler dan gangguan fungsi organ, terutama hati yang berperan dalam metabolisme. Gangguan ini menghambat sintesis protein dan distribusi energi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan.

Selain itu, energi yang seharusnya digunakan untuk pertumbuhan dialihkan untuk mempertahankan homeostasis dan memperbaiki kerusakan sel. Hal ini menyebabkan efisiensi pakan menurun dan pertumbuhan ikan terhambat. Studi meta-analisis menunjukkan bahwa paparan mikroplastik secara konsisten menurunkan parameter pertumbuhan dan meningkatkan stres fisiologis pada ikan air tawar (Wang et al., 2024).

### **Pengaruh Jenis Mikroplastik**

Perbedaan jenis mikroplastik juga memengaruhi tingkat toksisitas. Mikroplastik berbasis PVC menunjukkan dampak yang lebih besar dibandingkan jenis lain karena mengandung aditif kimia yang bersifat toksik. Selain itu, ukuran partikel yang lebih kecil meningkatkan potensi penetrasi ke jaringan internal ikan. Hasil ini didukung oleh penelitian Jahan et al. (2024) dan Putrajab et al. (2024) yang menunjukkan bahwa variasi jenis dan ukuran mikroplastik memengaruhi respons biologis ikan secara signifikan.

### **Implikasi terhadap Akuakultur**

Penurunan kinerja pertumbuhan dan peningkatan stres oksidatif memiliki implikasi langsung terhadap produktivitas akuakultur. Efisiensi pakan yang menurun meningkatkan biaya produksi, sementara tingkat kelangsungan hidup yang lebih rendah menurunkan hasil panen. Selain itu, akumulasi mikroplastik dalam jaringan ikan berpotensi menimbulkan risiko keamanan pangan.

Temuan ini menegaskan bahwa pencemaran mikroplastik harus menjadi perhatian utama dalam pengelolaan kualitas air pada sistem budidaya. Strategi mitigasi diperlukan untuk mengurangi paparan mikroplastik, baik melalui pengelolaan sumber air, kontrol kualitas pakan, maupun penerapan teknologi filtrasi yang efektif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa paparan mikroplastik memberikan dampak multidimensional terhadap ikan nila, mencakup gangguan biokimia, kerusakan jaringan, dan penurunan performa pertumbuhan. Integrasi temuan ini memperkuat bukti bahwa mikroplastik merupakan stresor lingkungan yang signifikan dalam sistem akuakultur modern.

## KESIMPULAN

Paparan mikroplastik terbukti memberikan dampak signifikan terhadap stres oksidatif dan kinerja pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Peningkatan konsentrasi mikroplastik berkorelasi langsung dengan peningkatan produksi spesies oksigen reaktif yang memicu aktivasi sistem antioksidan, namun pada tingkat paparan tinggi menyebabkan ketidakseimbangan redoks dan kerusakan oksidatif yang ditandai dengan peningkatan kadar malondialdehid. Kondisi ini diikuti oleh penurunan laju pertumbuhan spesifik, efisiensi pakan, serta tingkat kelangsungan hidup ikan.

Gangguan fisiologis yang terjadi tidak hanya bersifat sementara, tetapi berkembang menjadi kerusakan struktural pada organ vital seperti hati dan insang. Perubahan histopatologi menunjukkan adanya degenerasi sel, inflamasi, hingga nekrosis jaringan yang berdampak langsung pada fungsi metabolisme dan respirasi. Integrasi antara stres oksidatif dan kerusakan jaringan memperkuat bukti bahwa mikroplastik menghambat proses pertumbuhan melalui gangguan pemanfaatan energi dan nutrisi.

Jenis dan konsentrasi mikroplastik menjadi faktor penentu tingkat toksisitas. Mikroplastik berbasis polivinil klorida menunjukkan efek yang lebih dominan dibandingkan jenis lain. Selain itu, ukuran partikel yang lebih kecil meningkatkan potensi penetrasi dan akumulasi dalam jaringan ikan. Temuan ini menegaskan bahwa mikroplastik berperan sebagai stresor lingkungan yang kompleks dan berdampak luas pada sistem biologis ikan nila.

Penelitian ini memberikan implikasi penting bagi pengelolaan akuakultur, khususnya dalam menjaga kualitas lingkungan dan efisiensi produksi. Upaya mitigasi terhadap pencemaran mikroplastik perlu dilakukan secara sistematis untuk mengurangi risiko terhadap kesehatan ikan dan keberlanjutan produksi. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengkaji ambang batas aman paparan mikroplastik serta strategi adaptasi yang efektif dalam sistem budidaya intensif.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini, baik dalam penyediaan fasilitas laboratorium maupun dukungan teknis selama proses penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada institusi akademik dan rekan peneliti yang telah memberikan masukan konstruktif dalam penyusunan artikel ini. Dukungan tersebut berkontribusi secara signifikan terhadap penyelesaian penelitian dan penulisan artikel ini secara komprehensif.

## REFERENSI

- Banaee, M., Multisanti, C. R., Impellitteri, F., & et al. (2024). Environmental toxicology of microplastic particles on fish: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2024.110042>
- Hamed, M., Soliman, H. A. M., Osman, A. G. M., & et al. (2020). Antioxidants and molecular damage in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after exposure to microplastics. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07898-y>
- Hamed, M., Soliman, H. A. M., Badrey, A. E. A., & et al. (2021). Microplastics induced histopathological lesions in some tissues of tilapia (*Oreochromis niloticus*) early juveniles. *Tissue and Cell*. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2021.101512>
- Jawdhari, A. H., Mihailescu, D., Stan, M. S., & et al. (2023). Ingestion of polyvinylchloride powder particles induces oxidative stress and hepatic histopathological changes in *Oreochromis niloticus*. *Sustainability*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086494>
- Jahan, I., Chowdhury, G., Rafi, S., & et al. (2024). Assessment of dietary polyvinylchloride, polypropylene and polyethylene terephthalate exposure in Nile tilapia: Bioaccumulation and effects on behaviour, growth, hematology and histology. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123548>
- Kardgar, A. K., Doyle, D., Warwas, N., & et al. (2024). Microplastics in aquaculture: Potential impacts on inflammatory processes in Nile tilapia. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30403>

- Kolandhasamy, P., Singha, S., Bhattacharya, S., Anbukkarasu, S., Sigamani, S., & Rajendran, R. (2025). Ingestion and the toxicological effects of virgin polyethylene (PE) and polyvinylchloride (PVC) microplastics in commercial freshwater fish, tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 51(6), 180. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6761113/v1>
- Lee, Y., Sung, M. K., Sung, S. E., & et al. (2025). The histopathological and functional consequences of microplastic exposure. *SN Applied Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06470-y>
- Mourya, R., Gawade, S., Kharat, S., & Das, N. (2024). Microplastics: An Alarming Signal to Aquatic Ecosystem Increasing Oxidative Stress in Fishes. Available at SSRN 4685688. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4685688>
- Mtega, M. P., Mihale, M. J., & Kilulya, K. F. (2023). Evaluation of toxicological risks and effects of microplastics on Nile tilapia under laboratory conditions. *East African Journal of Biophysical and Computational Sciences*, 4(2). <https://doi.org/10.4314/eajbcs.v4i2.5s>
- Nair, H. T., & Perumal, S. (2024). Growth performance, hematological and oxidative stress responses in Nile tilapia exposed to polypropylene microplastics. *Environmental Quality Management*. <https://doi.org/10.1002/tqem.22179>
- Nabawy, N. M., Ibrahim, S. A., Abd El-Hameid, N. A., & et al. (2025). Effects of microplastics on gene expression, muscular performance, and immunological responses in Nile tilapia. *Marine Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s10126-025-10481-6>
- Noviarmi, F. S. I., & Prananya, L. H. (2023). Knowledge and attitudes workers toward compliance use personal protective equipment. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*. <https://doi.org/10.20473/ijosh.v12i3.2023.391-401>
- Putrajab, E. W., Setyono, B. D. H., & Alim, S. (2024). The effect of exposure to microplastic polyvinyl chloride (PVC) in feed on the growth and survival of tilapia. *Journal of Fish Health*. <https://doi.org/10.29303/jfh.v4i1.4940>
- Ramalingam, D. S., Balan, R., Paital, B., & et al. (2023). Effects of microplastics, pesticides and nanomaterials on fish health, oxidative stress and antioxidant defense mechanism. *Frontiers in Physiology*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1217666>
- Sayed, A. E. H., Emeish, W. F. A., Bakry, K., & et al. (2024). Polystyrene nanoplastic and engine oil synergistically intensify toxicity in Nile tilapia. *BMC Veterinary Research*. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-03987-z>
- Setyono, B. D. H., Soenarky, W. I., Abidin, Z., & et al. (2024). Survival rate and growth performance of tilapia exposed to PVC microplastics. *Depik: Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 13(3). <https://doi.org/10.13170/depik.13.3.37131>
- Setyono, B. D. H., Saomadia, B. T., & Affandi, R. I. (2024). The effect of polystyrene microplastics in feed on the growth of tilapia. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(12). <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i12.7924>
- Wang, S., Wu, F., Dong, S., & et al. (2024). Meta-analysis of the effects of microplastic on fish: Growth, survival, reproduction, oxidative stress, and gut microbiota. *Water Research*. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122493>
- Zheng, Y., Addotey, T. N. A., Chen, J., & et al. (2023). Effect of polystyrene microplastics on antioxidant system and immune response in Nile tilapia. *Biology*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/biology12111430>