Jurnal AQUACULTURE Indonesia
http://jurnal.dharmawangsa.ac.id/index.php/akuakultur/index
p-ISSN 2808-9629 e-ISSN 2808-9634

PAPARAN SUBLETAL MIKROPLASTIK POLISTIRENA (PS) MENURUNKAN KELANGSUNGAN HIDUP, PERTUMBUHAN, DAN EFISIENSI PEMANFAATAN PAKAN PADA UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*)

Sublethal Exposure to Polystyrene (PS) Microplastics Reduces Survival, Growth, and Feed Utilization Efficiency in Pacific White Shrimp (Litopenaeus Vannamei)

Bhakti Negara[1)], Bagus Dwi Hari Setyono[2)*], Wastu Ayu Diamahesa[3)]
[1,2,3)] *Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia*

Disubmit: 23 April 2026; Direvisi; 28 April 2026; Diterima: 19 Mei 2026

ABSTRAK Mikroplastik polistirena (PS) semakin banyak dilaporkan terdapat dalam sistem akuakultur dan berpotensi menurunkan kinerja produksi organisme budidaya. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh paparan subletal mikroplastik PS terhadap kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan efisiensi pemanfaatan pakan udang vaname (Litopenaeus vannamei). Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan empat perlakuan, yaitu 0 mg/L (P1/kontrol), 1 mg/L (P2), 10 mg/L (P3), dan 20 mg/L (P4), masing-masing tiga ulangan. Udang stadia PL-10 dipelihara selama 45 hari dalam 20 L media pemeliharaan. Variabel yang diamati meliputi kelangsungan hidup (SR), rasio konversi pakan (FCR), efisiensi pemanfaatan pakan (EPP), pertambahan bobot mutlak, pertambahan panjang mutlak, laju pertumbuhan bobot spesifik, dan laju pertumbuhan panjang spesifik. Data dianalisis menggunakan ANOVA satu arah yang dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan pada taraf 5%. Paparan PS berpengaruh signifikan terhadap seluruh variabel kinerja utama. Nilai SR menurun dari 71.67±2.89% pada kontrol menjadi 38.33±2.89% pada dosis 20 mg/L ($F_{3,8}$=40.905; $p<0.001$). Nilai FCR meningkat dari 1.54±0.07 menjadi 2.94±0.38 ($F_{3,8}$=17.348; $p=0.001$), sedangkan EPP menurun dari 52.27±3.12% menjadi 23.13±3.61% ($F_{3,8}$=40.371; $p<0.001$). Pertambahan bobot mutlak, pertambahan panjang mutlak, laju pertumbuhan bobot spesifik, dan laju pertumbuhan panjang spesifik juga menurun signifikan seiring peningkatan dosis. Kualitas air tetap berada dalam kisaran layak sepanjang percobaan, sehingga penurunan performa lebih rasional dikaitkan dengan paparan PS daripada dengan penurunan kualitas media pemeliharaan. Temuan ini menunjukkan bahwa kontaminasi mikroplastik PS merupakan faktor risiko yang relevan terhadap produktivitas budidaya udang vaname.
Kata kunci: Mikroplastik; Polistirena; Rasio Konversi Pakan; Efisiensi Pemanfaatan Pakan; Udang vaname.

ABSTRACT *Polystyrene (PS) microplastics are increasingly reported in aquaculture systems and may reduce the production performance of cultured organisms. This study evaluated the effects of sublethal PS microplastic exposure on survival, growth, and feed utilization efficiency of Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei). A completely randomized design was applied with four treatments: 0 mg/L (P1/control), 1 mg/L (P2), 10 mg/L (P3), and 20 mg/L (P4), each with three replicates. PL-10 shrimp were reared for 45 days in 20 L of culture water. The observed variables were survival rate (SR), feed conversion ratio (FCR), feed utilization efficiency (EPP), absolute weight gain, absolute length gain, specific weight growth rate, and specific length growth rate. Data were analyzed using one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test at the 5% level. PS exposure significantly affected all major performance variables. SR declined from 71.67±2.89% in the control to 38.33±2.89% at 20 mg/L ($F_{3,8}$=40.905; $p<0.001$). FCR increased from 1.54±0.07 to 2.94±0.38 ($F_{3,8}$=17.348; $p=0.001$), whereas EPP decreased from 52.27±3.12% to 23.13±3.61%*

Copyright © 2026 by Author, J.Aquac.Indones. 2026. 5 (2): 261-278.
Published by Study Program Aquaculture, Faculty of Fisheries, Dharmawangsa University

(F3,8=40.371; p<0.001). Absolute weight gain, absolute length gain, specific weight growth rate, and specific length growth rate also decreased significantly with increasing dose. Water quality remained within suitable ranges throughout the experiment, indicating that the performance decline was more plausibly associated with PS exposure than with deterioration of the rearing medium. These findings show that PS microplastic contamination is a relevant risk factor for Pacific white shrimp aquaculture productivity.
Keywords: *Aquaculture; Feed Conversion Ratio; Feed Utilization Efficiency; Microplastics; Pacific White Shrimp; Polystyrene*.

*corresponding author
Email : bagus.setyono@unram.ac.id

Recommended APA Citation :
Negara, B., Setyono, B.D.H., Diamahesa, W.A. (2026). Paparan Subletal Mikroplastik Polistirena (PS) Menurunkan Kelangsungan Hidup, Pertumbuhan, dan Efisiensi Pemanfaatan Pakan pada Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*). *J.Aquac.Indones*, 5(2): 261-278. http://dx.doi.org/10.46576/jai.v5i2.8628

PENDAHULUAN

Pencemaran plastik di lingkungan perairan kini dipahami bukan hanya sebagai persoalan limbah padat, tetapi juga sebagai ancaman terhadap kesehatan ekosistem, keamanan pangan, dan keberlanjutan akuakultur. Setelah mengalami fragmentasi, plastik dapat berubah menjadi mikroplastik yang mudah tersuspensi, tertelan, terakumulasi, dan berinteraksi dengan kontaminan lain di kolom air. Oleh karena itu, mikroplastik dipandang sebagai polutan dengan implikasi biologis dan toksikologis yang kompleks bagi organisme akuatik (Ali *et al*., 2024; Alimba & Faggio, 2019; Du *et al*., 2020; Guo & Wang, 2019; Huang *et al*., 2021; Ma *et al*., 2020; Pal *et al*., 2025).

Dalam sistem akuakultur, mikroplastik dapat berasal dari air, sedimen, pakan, tangki, jaring, selang, geomembran, serta berbagai material plastik lain yang digunakan berulang dalam proses produksi. Sejumlah penelitian sebelumnya telah mendokumentasikan keberadaan mikroplastik pada air, pakan, sedimen, dan jaringan organisme budidaya, termasuk udang vaname yang dipelihara pada sistem semi-intensif hingga super-intensif. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa paparan mikroplastik dalam budidaya udang bukan lagi sekadar persoalan teoritis, melainkan isu praktis yang berkaitan langsung dengan performa produksi dan keamanan pangan (Egea-Corbacho *et al*., 2023; Fred-Ahmadu *et al*., 2024; Mercy & Alam, 2024; Naidu *et al*., 2025; Silva *et al*., 2024; Valencia-Castaneda *et al*., 2024; Woh *et al*., 2024; Wu *et al*., 2023). Bukti terbaru dari sistem budidaya udang vaname di Lombok Utara juga menunjukkan adanya kontaminasi mikroplastik pada air, pakan, dan organ udang, dengan fragmen sebagai bentuk dominan (Setyono *et al*., 2024). Selain itu, Sumsanto *et al*. (2024) melaporkan kelimpahan mikroplastik pada air dan sedimen di kawasan budidaya Teluk Ekas, yang semakin menegaskan

bahwa sistem budidaya di Nusa Tenggara Barat berpotensi terpapar mikroplastik baik dari lingkungan sekitar maupun dari input budidaya itu sendiri.

Polistirena (PS) merupakan polimer penting untuk diteliti karena banyak digunakan pada bahan kemasan dan busa pelindung, tetapi relatif persisten setelah terlepas ke lingkungan. Berbagai penelitian eksperimental pada Litopenaeus vannamei menunjukkan bahwa mikroplastik maupun nanoplastik dapat memengaruhi mikrobiota usus, metabolisme lipid, status oksidatif, jaringan hepatopankreas, serta parameter imun dan metabolik. Namun demikian, besarnya respons tersebut dipengaruhi oleh ukuran partikel, jenis polimer, lama paparan, dan keberadaan ko-kontaminan, sehingga verifikasi pada kondisi eksperimental yang spesifik tetap diperlukan (Duan *et al*., 2021; Fang *et al*., 2026; Gao *et al*., 2022; Li *et al*., 2024; Lv *et al*., 2024; Seta *et al*., 2023; Timilsina *et al*., 2023; Xing *et al*., 2024; Zeng *et al*., 2023; Zhou *et al*., 2023; C. Zhu *et al*., 2024; X. Zhu *et al*., 2022).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dirancang untuk menguji pengaruh paparan subletal mikroplastik PS terhadap kelangsungan hidup, pertumbuhan, efisiensi pemanfaatan pakan, dan rasio konversi pakan pada udang vaname. Variabel-variabel tersebut dipilih karena berkaitan langsung dengan performa produksi, efisiensi budidaya, dan potensi kerugian ekonomi yang dapat dialami pembudidaya udang.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Periode Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 45 hari, yaitu pada bulan Juni sampai Juli 2025, di Laboratorium Produksi dan Reproduksi Ikan, Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Indonesia.

Rancangan Percobaan

Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan empat perlakuan konsentrasi nominal mikroplastik polistirena (PS), yaitu 0 mg/L (P1, kontrol), 1 mg/L (P2), 10 mg/L (P3), dan 20 mg/L (P4). Masing-masing perlakuan diulang tiga kali sehingga diperoleh 12 unit percobaan. Penempatan perlakuan pada setiap unit dilakukan secara acak untuk meminimalkan bias posisi.

Pemilihan konsentrasi 1, 10, dan 20 mg/L dimaksudkan untuk membentuk gradien paparan rendah, sedang, dan tinggi dalam uji subletal pada kondisi laboratorium. Kisaran ini dipilih terutama untuk tujuan hazard identification atau identifikasi potensi bahaya biologis mikroplastik PS terhadap performa produksi udang pada kondisi paparan terkontrol, bukan untuk mensimulasikan secara langsung konsentrasi mikroplastik aktual di tambak atau perairan alami. Dengan demikian, konsentrasi tertinggi pada penelitian ini harus dipahami sebagai skenario paparan eksperimental untuk memperjelas arah respons dosis dan mendeteksi ambang terjadinya penurunan performa, bukan sebagai estimasi konsentrasi lingkungan lapangan. Penggunaan rentang konsentrasi berbasis massa dalam orde

mg/L juga telah digunakan pada beberapa spesies akuatik lain, misalnya *Scenedesmus obliquus* yang dipaparkan PS-MP 1 dan 10 mg/L, *Macrobrachium nipponense* yang dipaparkan PS-NP 0, 5, 10, 20, dan 40 mg/L, serta *M. nipponense* dewasa yang dipaparkan PS-NP 0,04 hingga 40 mg/L (Fan *et al.*, 2022; Li *et al*., 2022, 2023; Natarajan *et al.*, 2022). Pendekatan ini relevan karena respons biologis organisme akuatik terhadap mikroplastik dipengaruhi oleh tingkat paparan, durasi, ukuran partikel, dan jenis polimer, sehingga penggunaan beberapa tingkat konsentrasi lebih informatif untuk menangkap pola respons dosis dibandingkan satu konsentrasi tunggal (Timilsina *et al*., 2023; Wu *et al*., 2023; Zeng *et al*., 2023; Zhou *et al*., 2023). Di sisi lain, studi lapangan umumnya melaporkan mikroplastik dalam matriks dan satuan yang beragam, seperti partikel per volume air, partikel per massa sedimen, atau keberadaan partikel pada pakan dan jaringan organisme. Karena itu, kisaran konsentrasi pada penelitian ini tidak dimaksudkan untuk merepresentasikan satu nilai tunggal mikroplastik di tambak, melainkan sebagai model paparan terkontrol untuk mengevaluasi potensi dampak subletal terhadap performa produksi udang. Pendekatan semacam ini sejalan dengan temuan bahwa mikroplastik telah terdeteksi pada air, sedimen, pakan, dan organ *Litopenaeus vannamei* di sistem budidaya udang, termasuk di Lombok Utara dan Teluk Ekas (Fred-Ahmadu *et al*., 2024; Setyono *et al*., 2024, 2025; Sumsanto *et al*., 2024; Valencia-Castaneda *et al*., 2024).

Persiapan Unit Pemeliharaan dan Media

Unit pemeliharaan berupa kontainer plastik berkapasitas 45 L. Sebelum digunakan, seluruh kontainer dicuci menggunakan deterjen, dibilas dengan air tawar, lalu dikeringanginkan. Setiap unit diisi dengan 20 L air laut yang telah diendapkan selama 24 jam. Air laut kemudian disterilisasi menggunakan klorin pada dosis nominal 15 ppm. Aerasi diberikan secara kontinu selama masa pemeliharaan.

Hewan Uji, Aklimatisasi, dan Penebaran

Hewan uji yang digunakan adalah udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) stadia PL-10 yang diperoleh dari PT Bibit Unggul, Kabupaten Lombok Utara, Indonesia. Sebelum percobaan dimulai, udang diaklimatisasi terhadap kondisi laboratorium selama lebih dari 24 jam. Setiap unit ditebar sebanyak 20 ekor pada 20 L media pemeliharaan, setara dengan kepadatan 1 ekor/L. Berdasarkan data biomassa awal, bobot awal rata-rata udang adalah 0,09 ± 0,01 g/ekor. Pemilihan stadia PL-10 dilakukan karena fase awal pemeliharaan relatif sensitif terhadap perubahan kualitas lingkungan dan paparan kontaminan, sehingga respons sintasan, pertumbuhan, dan efisiensi pakan dapat diamati lebih jelas selama periode pemeliharaan.

Persiapan dan Aplikasi Mikroplastik Polistirena

Mikroplastik polistirena disiapkan dari busa polistirena ekspansi (Styrofoam). Bahan difragmentasi secara mekanis menggunakan blender dengan penambahan sedikit air, kemudian dikeringkan dan diayak menggunakan ayakan halus rumah tangga. Partikel hasil ayakan ditimbang menggunakan neraca analitik sesuai konsentrasi nominal masing-masing perlakuan, lalu dimasukkan ke dalam unit pemeliharaan. Karena karakterisasi ukuran partikel secara instrumental tidak dilakukan, paparan pada penelitian ini dilaporkan berdasarkan konsentrasi nominal berbasis massa (mg/L). Pendekatan ini masih dapat diterima untuk studi laboratorium eksploratif yang berfokus pada respons performa produksi, meskipun ukuran partikel tetap diakui sebagai salah satu faktor yang dapat memengaruhi toksisitas mikroplastik pada udang (Timilsina *et al*., 2023; Zhou *et al*., 2023).

Pemberian Pakan dan Pemeliharaan Rutin

Pakan yang digunakan adalah pakan komersial SGH Starter produksi PT Suri Tani Pemuka (STP) untuk udang vaname fase awal. Berdasarkan katalog aquafeed STP, varian SGH C0–C2 mengandung kadar air maksimum 11%, protein minimum 36%, lemak minimum 7,0%, serat kasar maksimum 3%, dan abu maksimum 12%. Untuk stadia PL-10, program pakan yang paling sesuai adalah SGH C0 berbentuk crumble halus dengan diameter <0,4 mm. Pakan diberikan sebanyak 5% dari total biomassa per hari dan dibagi menjadi tiga kali pemberian, yaitu pukul 07.00, 13.00, dan 18.00 WITA.

Pemeliharaan rutin meliputi penyiponan sisa kotoran dan penggantian air parsial sebesar 50% dari total volume media setiap tiga hari sekali. Setelah pergantian air, volume media dikembalikan ke kondisi awal, yaitu 20 L per unit. Aerasi dipertahankan secara kontinu pada seluruh unit. Penyeragaman pakan, aerasi, dan manajemen pemeliharaan dilakukan agar perbedaan respons antarperlakuan lebih merefleksikan pengaruh paparan mikroplastik dibandingkan variasi teknik budidaya (Setyono *et al*., 2025; Wu *et al*., 2023).

Variabel Pengamatan

Variabel utama yang diamati meliputi kelangsungan hidup (survival rate, SR), rasio konversi pakan (feed conversion ratio, FCR), efisiensi pemanfaatan pakan (EPP), pertambahan bobot mutlak, pertambahan panjang mutlak, laju pertumbuhan bobot spesifik, dan laju pertumbuhan panjang spesifik. Parameter kualitas air yang diamati sebagai variabel penunjang meliputi suhu, oksigen terlarut (DO), pH, dan salinitas.

Perhitungan Variabel

Kelangsungan Hidup

Kelangsungan hidup dihitung dengan rumus:

$$SR(\%) = \frac{N_t}{N_0} \times 100 \text{.....(1)}$$

dengan:
SR = kelangsungan hidup (%),
Nt = jumlah udang hidup pada akhir penelitian (ekor),
N0 = jumlah udang pada awal penelitian (ekor).
Rumus ini mengacu pada Izwar *et al*. (2025).

Pertambahan Panjang Mutlak

Pertambahan panjang mutlak dihitung dengan rumus:

$$L = L_t - L_0 \text{.....(2)}$$

dengan:
L = pertambahan panjang mutlak (cm),
Lt = panjang rata-rata akhir (cm),
L0 = panjang rata-rata awal (cm).
Rumus ini mengacu pada Izwar *et al*. (2025).

Pertambahan Bobot Mutlak

Pertambahan bobot mutlak dihitung dengan rumus:

$$W = W_t - W_0 \text{.....(3)}$$

dengan:
W = pertambahan bobot mutlak (g),
Wt = bobot rata-rata akhir (g),
W0 = bobot rata-rata awal (g).
Rumus ini mengacu pada Izwar *et al*. (2025).

Laju Pertumbuhan Panjang Spesifik

Laju pertumbuhan panjang spesifik dihitung dengan rumus:

$$LPPS\left(\% \frac{}{hari}\right) = \frac{\ln L_t - \ln L_0}{t} \times 100 \text{.....(4)}$$

dengan:
LPPS = laju pertumbuhan panjang spesifik (%/hari),
Lt = panjang rata-rata akhir (cm),
L0 = panjang rata-rata awal (cm),
t = lama pemeliharaan (hari).
Rumus ini mengacu pada Scabra *et al*. (2024).

Laju Pertumbuhan Bobot Spesifik

Laju pertumbuhan bobot spesifik dihitung dengan rumus:

$$LPBS\left(\% \frac{}{hari}\right) = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \times 100 \text{ .....(5)}$$

dengan:
LPBS = laju pertumbuhan bobot spesifik (%/hari),
Wt = bobot rata-rata akhir (g),
W0 = bobot rata-rata awal (g),
t = lama pemeliharaan (hari).
Rumus ini mengacu pada Scabra *et al*. (2024).

Rasio Konversi Pakan

Rasio konversi pakan dihitung dengan rumus:

$$FCR = \frac{F}{(B_t + B_d) - B_0} \quad \text{.....(6)}$$

dengan:
FCR = rasio konversi pakan,
F = total pakan yang diberikan (g),
Bt = biomassa akhir (g),
Bd = biomassa udang mati selama pemeliharaan (g),
B0 = biomassa awal (g).
Rumus ini mengacu pada Izwar *et al*. (2025).

Efisiensi Pemanfaatan Pakan

Efisiensi pemanfaatan pakan dihitung dengan rumus:

$$EPP(\%) = \frac{(W_t - W_0)}{F} \times 100 \quad \text{.....(7)}$$

dengan:
EPP = efisiensi pemanfaatan pakan (%),
Wt = total biomassa akhir (g),
W0 = total biomassa awal (g),
F = total pakan yang diberikan (g).

Analisis Statistik

Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) satu arah pada taraf kepercayaan 95% dengan bantuan SPSS versi 16. Jika terdapat perbedaan nyata antarperlakuan, analisis dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf signifikansi 5% untuk memisahkan rerata antarperlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa seluruh variabel performa utama berbeda nyata antarperlakuan (Tabel 1).

Tabel 1. Ringkasan hasil ANOVA dan pola pengelompokan Duncan berdasarkan keluaran SPSS

Parameter	F(3,8)	p	Ringkasan uji Duncan
Kelangsungan hidup (SR)	40,905	<0,001	Semua perlakuan berbeda nyata (P1 > P2 > P3 > P4)
Feed conversion ratio (FCR)	17,348	0,001	P2 tidak berbeda dengan P3; keduanya berbeda dari P1 dan P4
Laju pertumbuhan bobot spesifik	36,122	<0,001	P2 tidak berbeda dengan P3; keduanya berbeda dari P1 dan P4
Pertumbuhan bobot mutlak	38,586	<0,001	P2 tidak berbeda dengan P3; keduanya berbeda dari P1 dan P4
Pertumbuhan panjang mutlak	591,663	<0,001	Semua perlakuan berbeda nyata (P1 > P2 > P3 > P4)
Laju pertumbuhan panjang spesifik	449,007	<0,001	Semua perlakuan berbeda nyata (P1 > P2 > P3 > P4)
Efisiensi pemanfaatan pakan (EPP)	40,371	<0,001	P2 tidak berbeda dengan P3; keduanya berbeda dari P1 dan P4

Nilai p yang tercetak sebagai 0,000 pada keluaran SPSS dilaporkan sebagai p<0,001 sesuai kaidah pelaporan ilmiah.

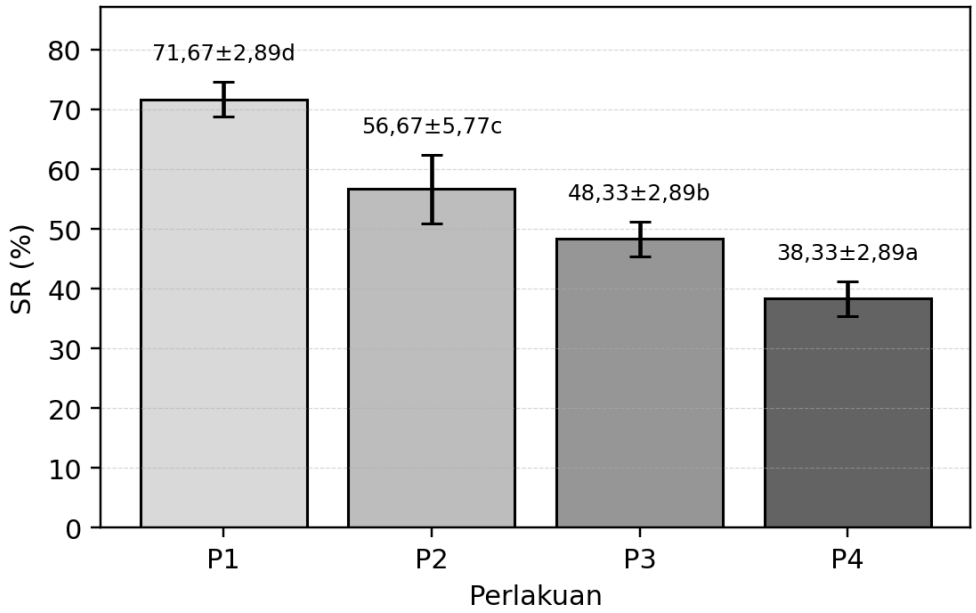
Secara umum, peningkatan konsentrasi PS diikuti oleh penurunan sintasan, efisiensi pakan, dan pertumbuhan, yang menunjukkan adanya respons dosis pada parameter produksi utama.

Interpretasi respons dosis pada penelitian ini perlu dibaca dalam kerangka uji toksikologi laboratorium untuk identifikasi bahaya. Konsentrasi 10-20 mg/L merepresentasikan skenario paparan tinggi yang sengaja digunakan untuk memperkuat kemampuan uji dalam mendeteksi efek subletal terhadap parameter produksi, bukan untuk menyatakan bahwa nilai tersebut setara dengan konsentrasi mikroplastik yang umum dijumpai di tambak. Oleh karena itu, relevansi utama hasil penelitian ini terletak pada pembuktian adanya potensi bahaya PS terhadap sintasan, pertumbuhan, dan efisiensi pakan udang ketika organisme mengalami paparan terkontrol yang meningkat secara bertahap. Penggunaan konsentrasi sebanding pada organisme akuatik lain, seperti mikroalga *Scenedesmus obliquus* dan udang air tawar *Macrobrachium nipponense*, memperkuat dasar metodologis bahwa rentang mg/L masih lazim digunakan dalam studi eksperimental untuk menilai arah respons biologis, meskipun ekstrapolasi langsung ke kondisi lapangan harus dilakukan secara hati-hati (Fan *et al*., 2022; Li *et al*., 2022, 2023; Natarajan *et al*., 2022).

Kelangsungan Hidup

Kelangsungan hidup udang vaname menurun secara nyata seiring peningkatan konsentrasi mikroplastik PS. Nilai rerata SR berturut-turut adalah 71,67±2,89%

pada P1, 56,67±5,77% pada P2, 48,33±2,89% pada P3, dan 38,33±2,89% pada P4. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap SR ($F_{3,8}=40,905$; $p<0,001$), sedangkan uji Duncan menunjukkan bahwa seluruh perlakuan berada pada kelompok yang berbeda. Dengan demikian, setiap kenaikan konsentrasi PS diikuti oleh penurunan sintasan yang signifikan secara statistik. Pola ini ditunjukkan pada Gambar 1.



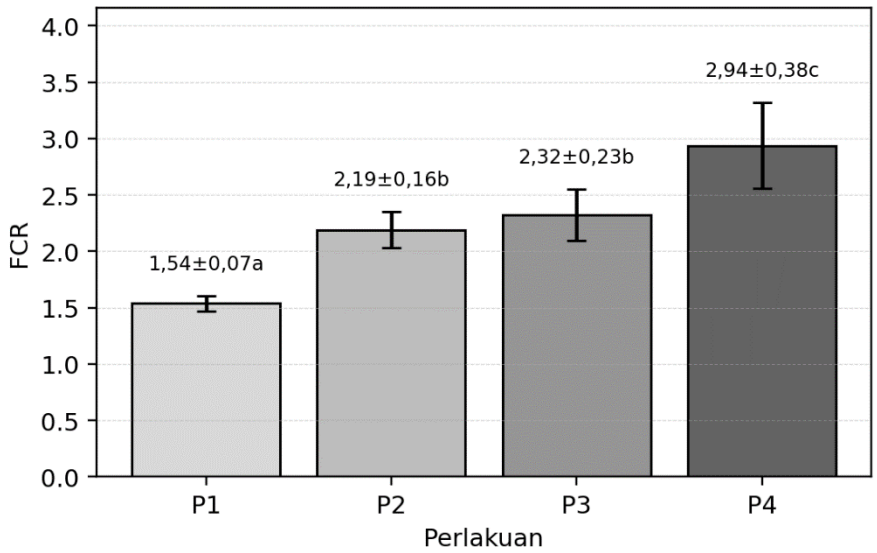
Gambar 1. Kelangsungan hidup (SR) udang vaname pada berbagai dosis mikroplastik PS (Huruf yang berbeda di atas batang menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Duncan (α=0,05). Error bar menunjukkan simpangan baku (n=3)).

Penurunan sintasan pada penelitian ini sejalan dengan studi eksperimental pada *L. vannamei* yang menunjukkan bahwa paparan mikroplastik atau nanoplastik polistirena dapat berasosiasi dengan gangguan pertumbuhan, kerusakan hepatopankreas, perubahan metabolit, perubahan mikrobiota, dan penurunan kondisi fisiologis umum. Namun, karena parameter-parameter mekanistik tersebut tidak diukur langsung dalam penelitian ini, maka penjelasan biologisnya harus diposisikan sebagai dugaan yang didukung pustaka, bukan sebagai bukti langsung dari percobaan ini (Duan *et al*., 2021; Timilsina *et al*., 2023; Zeng *et al*., 2023; Zhou *et al*., 2023).

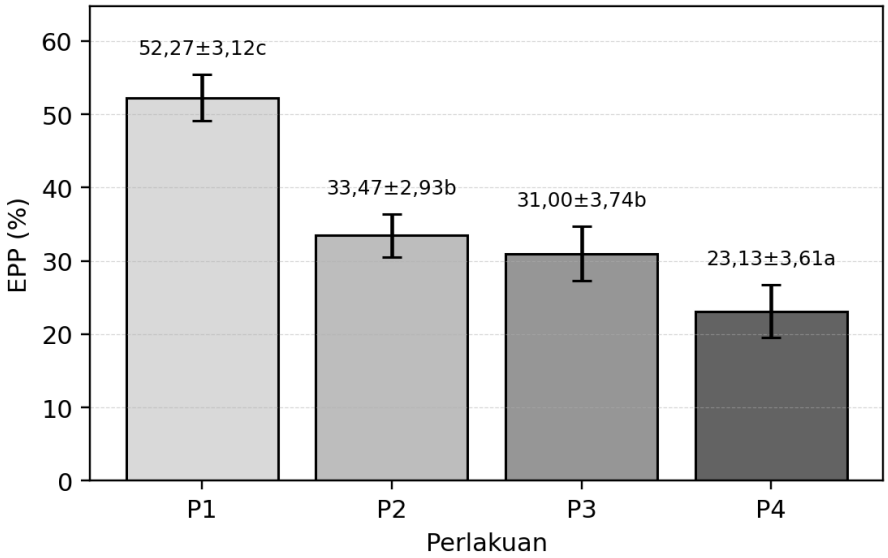
Rasio Konversi Pakan dan Efisiensi Pemanfaatan Pakan

Paparan mikroplastik PS berpengaruh nyata terhadap kinerja pemanfaatan pakan. Nilai FCR meningkat dari 1,54±0,07 pada kontrol menjadi 2,19±0,16 pada P2, 2,32±0,22 pada P3, dan 2,94±0,38 pada P4. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata terhadap FCR ($F_{3,8}=17,348$; $p=0,001$). Sebaliknya, nilai EPP menurun dari 52,27±3,12% pada P1 menjadi 33,47±2,92%

pada P2, 31,00±3,74% pada P3, dan 23,13±3,61% pada P4, dengan pengaruh perlakuan yang sangat nyata ($F_{3,8}=40,371$; $p<0,001$). Uji Duncan menunjukkan bahwa P2 tidak berbeda nyata dengan P3, tetapi keduanya berbeda nyata dari P1 dan P4. Pola ini menunjukkan bahwa semakin tinggi paparan PS, semakin rendah efisiensi udang dalam mengonversi pakan menjadi biomassa.



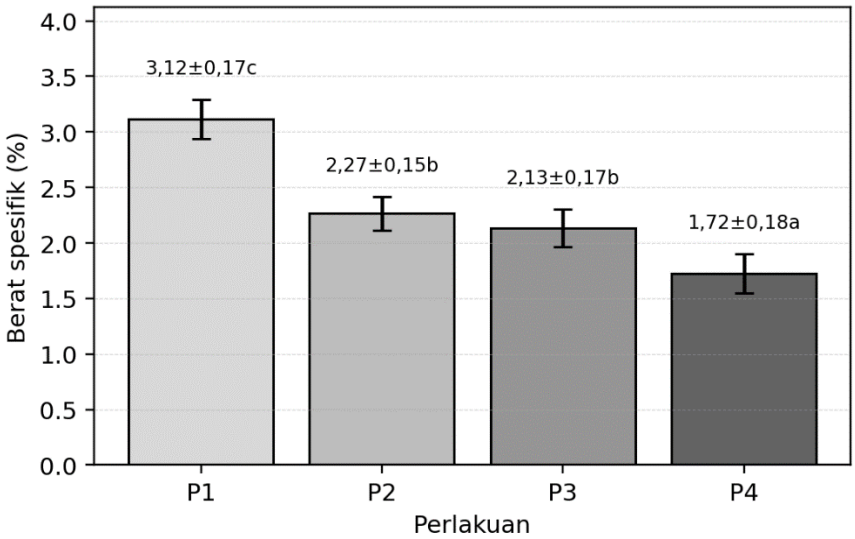
Gambar 2. Rasio konversi pakan (FCR) udang vaname pada berbagai dosis mikroplastik PS (Huruf yang berbeda di atas batang menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Duncan (α=0,05). Error bar menunjukkan simpangan baku (n=3)).



Gambar 3. Efisiensi pemanfaatan pakan (EPP) udang vaname pada berbagai dosis mikroplastik PS (Huruf yang berbeda di atas batang menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Duncan (α=0,05). Error bar menunjukkan simpangan baku (n=3)).

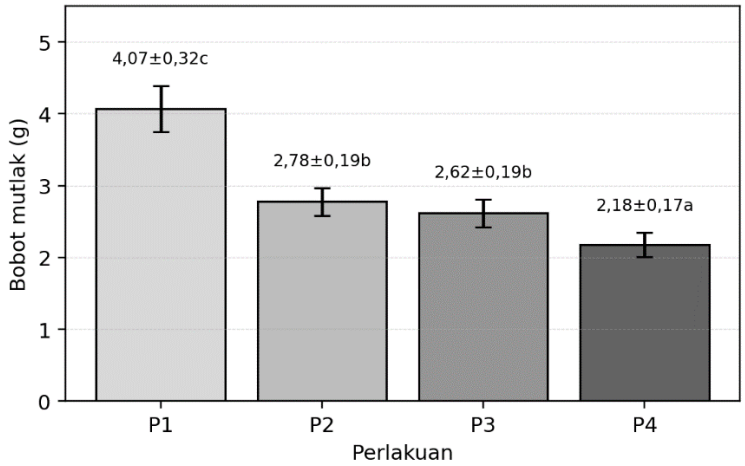
Pertumbuhan Berbasis Bobot

Laju pertumbuhan bobot spesifik menurun dari 3,12±0,18% pada P1 menjadi 2,27±0,15% pada P2, 2,13±0,16% pada P3, dan 1,72±0,18% pada P4. Pertambahan bobot mutlak juga menurun dari 4,07±0,32 g pada P1 menjadi 2,78±0,19 g pada P2, 2,62±0,19 g pada P3, dan 2,18±0,17 g pada P4. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa kedua parameter berbasis bobot tersebut berbeda sangat nyata antarperlakuan, dan uji Duncan menunjukkan bahwa P2 tidak berbeda nyata dengan P3, tetapi keduanya berbeda nyata dari P1 dan P4. Temuan ini menunjukkan bahwa paparan PS berasosiasi dengan menurunnya akumulasi biomassa udang selama pemeliharaan.



Gambar 4. Laju pertumbuhan bobot spesifik udang vaname pada berbagai dosis mikroplastik PS (Huruf yang berbeda di atas batang menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Duncan (α=0,05). Error bar menunjukkan simpangan baku (n=3)).

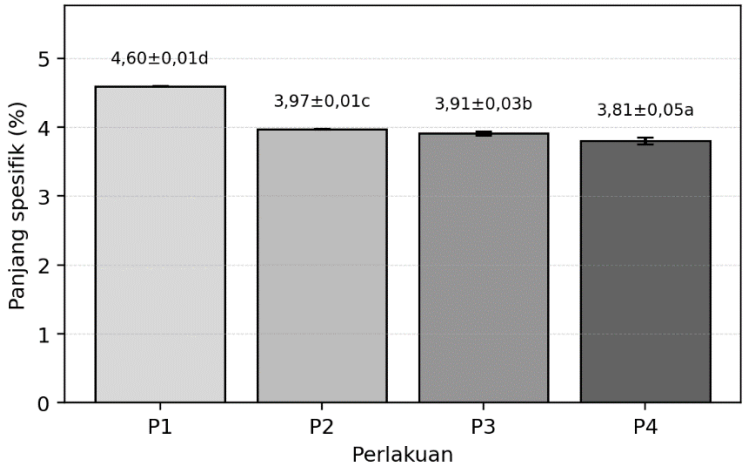
Temuan ini konsisten dengan studi pada *L. vannamei* yang melaporkan bahwa paparan mikroplastik atau nanoplastik dapat berkaitan dengan penurunan pertumbuhan, gangguan metabolisme lipid, perubahan respons imun, apoptosis, autophagy, dan gangguan fungsi organ target. Meski demikian, dalam konteks penelitian ini, interpretasi tersebut tetap harus dibatasi sebagai penjelasan yang didukung pustaka, karena penelitian hanya mengukur parameter performa produksi, bukan biomarker fisiologis atau molekuler (Duan *et al*., 2021; Li *et al*., 2024; Zeng *et al*., 2023).



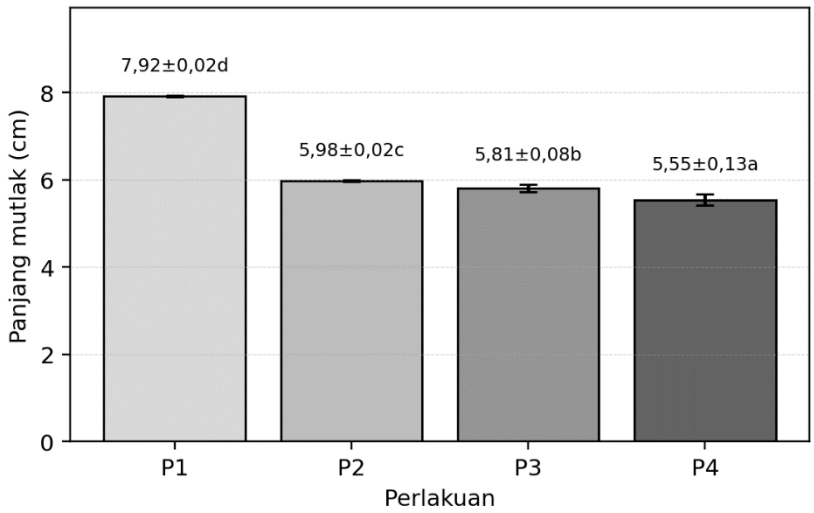
Gambar 5. Pertambahan bobot mutlak udang vaname pada berbagai dosis mikroplastik PS (Huruf yang berbeda di atas batang menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Duncan (α=0,05). Error bar menunjukkan simpangan baku (n=3).)

Pertumbuhan Berbasis Panjang

Laju pertumbuhan panjang spesifik menurun dari 4,60±0,01% pada P1 menjadi 3,97±0,03% pada P2, 3,91±0,03% pada P3, dan 3,81±0,05% pada P4. Pertambahan panjang mutlak juga menurun dari 7,92±0,02 cm pada P1 menjadi 5,98±0,08 cm pada P2, 5,81±0,02 cm pada P3, dan 5,55±0,13 cm pada P4. Kedua parameter tersebut menunjukkan perbedaan sangat nyata berdasarkan ANOVA, dan seluruh perlakuan berada pada kelompok yang berbeda berdasarkan uji Duncan. Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan performa akibat paparan PS tidak terbatas pada satu metrik pertumbuhan, tetapi juga terlihat pada pertambahan ukuran tubuh.



Gambar 6. Laju pertumbuhan panjang spesifik udang vaname pada berbagai dosis mikroplastik PS (Huruf yang berbeda di atas batang menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Duncan (α=0,05). Error bar menunjukkan simpangan baku (n=3)).



Gambar 7. Pertambahan panjang mutlak udang vaname pada berbagai dosis mikroplastik PS (Huruf yang berbeda di atas batang menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Duncan (α=0,05). Error bar menunjukkan simpangan baku (n=3)).

Konsistensi penurunan pada parameter bobot dan panjang memperkuat interpretasi bahwa paparan PS berkaitan dengan penurunan performa budidaya secara menyeluruh. Secara umum, ulasan pada udang menyebutkan bahwa mikroplastik dan nanoplastik dapat memengaruhi distribusi partikel dalam tubuh, fungsi pencernaan, metabolisme, dan respons fisiologis lain yang pada akhirnya berpotensi menghambat pertumbuhan. Namun, lagi-lagi, penelitian ini tidak menguji mekanisme tersebut secara langsung sehingga pembahasannya harus tetap proporsional (Timilsina *et al*., 2023; Wu *et al*., 2023).

Kualitas Air dan Interpretasi Hasil

Selama penelitian, suhu, DO, salinitas, dan pH berada pada kisaran yang layak untuk pemeliharaan udang vaname. Stabilitas kualitas air ini penting karena memperkuat interpretasi bahwa perbedaan sintasan, pertumbuhan, dan efisiensi pakan antarperlakuan lebih konsisten dikaitkan dengan paparan PS dibandingkan dengan penurunan kualitas media pemeliharaan. Kisaran kualitas air selama penelitian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kisaran kualitas air selama periode pemeliharaan

Parameter	Kisaran	Kelayakan
Suhu (°C)	27,5-29,5	Layak
DO (mg/L)	6,5-7,1	Layak
Salinitas (ppt)	31-32	Layak
pH	7,8-8,0	Layak

Dari sisi terapan, temuan ini relevan karena mikroplastik memang telah dilaporkan terdapat pada air, sedimen, pakan, dan jaringan udang di berbagai sistem budidaya, termasuk sistem budidaya *L. vannamei* dan lokasi budidaya di Nusa Tenggara Barat. Karena itu, PS dan polimer lain tidak lagi dapat dipandang sebagai kontaminan pinggiran, tetapi perlu dipertimbangkan sebagai faktor kualitas lingkungan yang berpotensi memengaruhi efisiensi produksi dan mutu produk akuakultur (Setyono *et al*., 2024; Sumsanto *et al*., 2024; Valencia-Castaneda *et al*., 2024).

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena belum mengukur variabel mekanistik seperti histopatologi hepatopankreas, biomarker stres oksidatif, komposisi mikrobiota, maupun beban mikroplastik dalam jaringan. Oleh sebab itu, penelitian lanjutan perlu mengintegrasikan indikator performa produksi dengan biomarker fisiologis dan analisis berbasis jaringan, sehingga hubungan antara paparan mikroplastik dan penurunan performa budidaya dapat dijelaskan dengan lebih kuat. Temuan-temuan mutakhir pada *L. vannamei* menunjukkan bahwa pendekatan semacam itu memang penting untuk menjelaskan hubungan antara paparan partikel plastik dan respons biologis secara lebih mendalam.

KESIMPULAN

Paparan subletal mikroplastik polistirena berpengaruh signifikan terhadap seluruh variabel performa utama yang dianalisis pada udang vaname. Dibandingkan dengan kontrol, peningkatan dosis PS menurunkan kelangsungan hidup, EPP, pertambahan bobot mutlak, pertambahan panjang mutlak, laju pertumbuhan bobot spesifik, dan laju pertumbuhan panjang spesifik, serta meningkatkan FCR. Karena kualitas air tetap berada dalam kisaran layak sepanjang periode pemeliharaan, maka penurunan performa paling konsisten dikaitkan dengan paparan PS. Temuan ini menunjukkan bahwa kontaminasi mikroplastik PS merupakan faktor risiko yang relevan terhadap produktivitas budidaya udang vaname.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, S. S., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., & Sun, J. (2024). A critical review of microplastics in aquatic ecosystems: Degradation mechanisms and removing strategies. *Environmental Science and Ecotechnology*, *21*, 100427. https://doi.org/10.1016/j.ese.2024.100427

Alimba, C. G., & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *68*, 61–74. https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001

Du, J., Xu, S., Zhou, Q., Li, H., Fu, L., Tang, J., Wang, Y., Peng, X., Xu, Y., & Du, X. (2020). A review of microplastics in the aquatic environmental: Distribution, transport, ecotoxicology, and toxicological mechanisms. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(11), 11494–11505. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08104-9

Duan, Y., Xiong, D., Wang, Y., Zhang, Z., Li, H., Dong, H., & Zhang, J. (2021). Toxicological effects of microplastics in *Litopenaeus vannamei* as indicated by an integrated microbiome, proteomic and metabolomic approach. *Science of the Total Environment*, *761*, 143311. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143311

Egea-Corbacho, A., Martin-Garcia, A. P., Franco, A. A., Albendin, G., Arellano, J. M., Rodriguez-Barroso, R., Coello, M. D., Quiroga, J. M., Cabello, J. F., Iglesias Prado, I., & Malta, E. (2023). Microplastic in industrial aquaculture: Occurrence in the aquatic environment, feed and organisms (*Dicentrarchus labrax*). *Science of the Total Environment*, *904*, 166774. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166774

Fan, W., Yang, P., Qiao, Y., Su, M., & Zhang, G. (2022). Polystyrene nanoplastics decrease molting and induce oxidative stress in adult *Macrobrachium nipponense*. Fish & Shellfish Immunology, 122, 419–425. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.02.028

Fang, X., Gong, H., Zhong, R., Liu, Z., Wang, Y., & Yan, M. (2026). Role of microplastics in mediating the transmission of antibiotic resistance gene tet from antibiotic-resistant bacteria to *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Environmental Management*, *400*, 128775. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2026.128775

Fred-Ahmadu, O. H., Ahmadu, F. O., Adedapo, A. E., Oghenovo, I., Ogunmodede, O. T., & Benson, N. U. (2024). Microplastics and chemical contamination in aquaculture ecosystems: The role of climate change and implications for food safety-a review. *Environmental Sciences Europe*, *36*, 181. https://doi.org/10.1186/s12302-024-00995-6

Gao, N., Yang, L., Lu, X., Duan, Z., Zhu, L., & Feng, J. (2022). A review of interactions of microplastics and typical pollutants from toxicokinetics and toxicodynamics perspective. *Journal of Hazardous Materials*, *432*, 128736. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128736

Guo, X., & Wang, J. (2019). The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, *142*, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.019

Huang, W., Song, B., Liang, J., Niu, Q., Zeng, G., Shen, M., Deng, J., Luo, Y., Wen, X., & Zhang, Y. (2021). Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment: A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to human health. *Journal of Hazardous Materials*, *405*, 124187. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124187

Izwar, A., Nugrahawati, A., Hakim, S., Irfannur, I., Putra, D. P., Azhar, R., & Radhi, M. (2025). Optimization of growth and survival of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae through dietary variation: A study of physiological and microbiological responses. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 233–240. https://doi.org/10.29103/aa.v12i2.22129

Li, Y., Ye, Y., Rihan, N., Zhu, B., Jiang, Q., Liu, X., Zhao, Y., & Che, X. (2024). Polystyrene nanoplastics induce lipid metabolism disorder and alter fatty acid composition in the hepatopancreas of Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Science of the Total Environment*, *906*, 167616. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167616

Li, Y., Du, X., Jiang, Q., Huang, Y., & Zhao, Y. (2022). Effects of nanoplastic exposure on the growth performance and molecular characterization of growth-associated genes in juvenile *Macrobrachium nipponense*. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 254, 109278. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109278

Li, Y., Ye, Y., Rihan, N., Jiang, Q., Liu, X., Zhao, Y., & Che, X. (2023). Polystyrene nanoplastics decrease nutrient accumulation, disturb sex hormones, and inhibit reproductive development in juvenile *Macrobrachium nipponense*. Science of the Total Environment, 891, 164481. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164481

Lv, H., Park, J., Lim, H. K., Abraham, I. J., Yin, X., Gao, Y., & Hur, J. (2024). Impacts of polyhydroxybutyrate (PHB) microplastic exposure on physiology and metabolic profiles of *Litopenaeus vannamei*. *Science of the Total Environment*, *951*, 175588. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175588

Ma, H., Pu, S., Liu, S., Bai, Y., Mandal, S., & Xing, B. (2020). Microplastics in aquatic environments: Toxicity to trigger ecological consequences. *Environmental Pollution*, *261*, 114089. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114089

Mercy, F. T., & Alam, A. K. M. R. (2024). Assessment of microplastic contamination in shrimps from the Bay of Bengal and associated human health risk. *Marine Pollution Bulletin*, *201*, 116185. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116185

Naidu, B. C., Xavier, K. A. M., Sahana, M. D., Landge, A. T., Jaiswar, A. K., Shukla, S. P., Ranjeet, K., & Nayak, B. B. (2025). Temporal variability of microplastics in shrimp (*Litopenaeus vannamei*), feed, water and sediments of coastal and inland culture ponds. *Science of the Total Environment*, *959*, 178173. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178173

Natarajan, L., Soupam, D., Dey, S., Chandrasekaran, N., Kundu, R., Paul, S., & Mukherjee, A. (2022). Toxicity of polystyrene microplastics in freshwater algae *Scenedesmus obliquus*: Effects of particle size and surface charge. Toxicology Reports, 9, 1953–1961. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.10.013

Pal, D., Prabhakar, R., Barua, V. B., Zekker, I., Burlakovs, J., Krauklis, A., Hogland, W., & Vincevica-Gaile, Z. (2025). Microplastics in aquatic systems: A comprehensive review of its distribution, environmental interactions, and health risks. *Environmental Science and Pollution Research*, *32*(1), 56–88. https://doi.org/10.1007/s11356-024-35741-1

Scabra, A. R., Fatimah, S., & Cokrowati, N. (2024). PENGARUH PEMBERIAN KALSIUM HIDROKSIDA (Ca(OH)2) PADA BUDIDAYA UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*) AIR TAWAR. *JURNAL PERIKANAN TROPIS*, *11*(1), 1. https://doi.org/10.35308/jpt.v10i2.4049

Seta, A. S., Muller, L., Tavella, R., Silva Junior, F. M. R. da, Pedrosa, V., Romano, L. A., Wasielesky, W., Josende, M. E., & Ventura-Lima, J. (2023). Oxidative effects of consuming microplastics in different tissues of white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Marine Pollution Bulletin*, *193*, 115137. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115137

Setyono, B. D. H., Saharani, R., Asri, Y., Fitria, S., Rahmadani, T. B. C., Dermawan, A., Wicaksono, H. C., & Affandi, R. I. (2025). Sublethal effects of polyvinyl chloride microplastics on growth performance and survival of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Ecological Engineering*, *26*(10), 87–102. https://doi.org/10.12911/22998993/205542

Setyono, B. D. H., Wahyudi, R., Asri, Y., Diniariwisan, D., & Sumsanto, M. (2024). Characterization of microplastic contamination of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultivation in North Lombok, Indonesia. *Journal of Fish Health*, *4*(4), 262–272. https://doi.org/10.29303/jfh.v4i4.5975

Silva, D. M., Almeida, C. M. R., Guardiola, F. A., Pereira, R., Rodrigues, S. M., & Ramos, S. (2024). Uncovering microplastics contamination in canned seafood. *Food Chemistry*, *448*, 139049. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139049

Sumsanto, M., Setyono, B. D. H., Asri, Y., & Dwiyanti, S. (2024). Analysis of the abundance and diversity of microplastic contamination in Ekas Bay cultivation areas. *Journal of Fish Health*, *4*(2), 63–72. https://doi.org/10.29303/jfh.v4i2.4950

Timilsina, A., Adhikari, K., Yadav, A. K., Joshi, P., Ramena, G., & Bohara, K. (2023). Effects of microplastics and nanoplastics in shrimp: Mechanisms of plastic particle and contaminant distribution and subsequent effects after uptake. *Science of the Total Environment*, *894*, 164999. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164999

Valencia-Castaneda, G., Medina-Lopez, J. A., Frias-Espericueta, M. G., & Paez-Osuna, F. (2024). Farmed stage (age)-dependent accumulation and size of microplastics in *Litopenaeus vannamei* shrimp reared in a super-intensive controlled system. *Science of the Total Environment*, *918*, 170575. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170575

Woh, P. Y., Shiu, H. Y., & Fang, J. K. H. (2024). Microplastics in seafood: Navigating the silent health threat and intestinal implications through a One Health food safety lens. *Journal of Hazardous Materials*, *480*, 136350. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136350

Wu, H., Hou, J., & Wang, X. (2023). A review of microplastic pollution in aquaculture: Sources, effects, removal strategies and prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *252*, 114567. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114567

Xing, Y.-F., Zhu, X.-Y., Huang, J.-H., Nan, Y.-X., Duan, Y.-F., & Zhang, J.-S. (2024). Toxic effects of microplastics and nitrite exposure on intestinal histology, digestion, immunity, and microbial community of shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Marine Pollution Bulletin*, *200*, 116077. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116077

Zeng, Y., Deng, B., Kang, Z., Araujo, P., Mjøs, S. A., Liu, R., Lin, J., Yang, T., & Qu, Y. (2023). Tissue accumulation of polystyrene microplastics causes oxidative stress, hepatopancreatic injury and metabolome alterations in *Litopenaeus vannamei*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *256*, 114871. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114871

Zhou, N., Wang, Z., Yang, L., Zhou, W., Qin, Z., & Zhang, H. (2023). Size-dependent toxicological effects of polystyrene microplastics in the shrimp *Litopenaeus vannamei* using a histomorphology, microbiome, and metabolic approach. *Environmental Pollution*, *316*(Pt 2), 120635. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120635

Zhu, C., Li, Y., Liu, G., Abdullah, A. L., & Jiang, Q. (2024). Effects of nanoplastics on the gut microbiota of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *PeerJ*, *12*, e16743. https://doi.org/10.7717/peerj.16743

Zhu, X., Teng, J., Xu, E. G., Zhao, J., Shan, E., Sun, C., & Wang, Q. (2022). Toxicokinetics and toxicodynamics of plastic and metallic nanoparticles: A comparative study in shrimp. *Environmental Pollution*, *312*, 120069. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120069