

**PAPARAN MIKROPLASTIK YANG BERDAMPAK
PADA GANGGUAN SISTEM PENCERNAAN, SARAF, PERNAFASAN,
DISFUNGSI ORGAN, DAN PERKEMBANGAN KEHAMILAN**

Ni Nyoman Trijayanti¹, Ni Made Sri Nopiyanti²
Universitas Udayana^{1,2}
tjayantii27@gmail.com¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menelaah bukti ilmiah terkait dampak kesehatan akibat paparan mikroplastik. Metode yang digunakan adalah penelitian sekunder dengan desain *literature review* yang mengikuti pedoman PRISMA. Pencarian literatur dilakukan melalui database PubMed dan Google Scholar, sehingga diperoleh sebanyak 10 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan mikroplastik menyebabkan gangguan kesehatan multisistem. Pada sistem pencernaan, mikroplastik mengubah komposisi mikrobiota usus dan merusak epitel usus. Pada organ vital, ditemukan adanya peradangan hati, gangguan metabolisme lipid, serta kerusakan jaringan paru. Selain itu, mikroplastik mampu menembus plasenta sehingga mengganggu perkembangan janin dan menimbulkan efek neurotoksik pada sistem saraf pusat. Mekanisme utama kerusakan ini melibatkan stres oksidatif, inflamasi sistemik, dan disfungsi sawar biologis. Simpulan, paparan mikroplastik terbukti memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap sistem pencernaan, pernapasan, saraf, reproduksi, hingga kardiovaskular.

Kata kunci: Disfungsi organ, Kesehatan manusia, Mikroplastik, Nanoplastik

ABSTRACT

This study aims to examine the scientific evidence regarding the health impacts of microplastic. The method used is secondary research with a literature review design following the PRISMA guidelines. The literature search was conducted through the PubMed and Google Scholar databases. A total of 10 articles meeting the inclusion and exclusion criteria. The results show that microplastic exposure causes multisystem health disorders. In the digestive system, microplastics alter the composition of gut microbiota and damage the intestinal epithelium. In vital organs, liver inflammation, lipid metabolism disorders, and lung tissue. Furthermore, microplastics can penetrate the placenta, thereby disrupting fetal development and causing neurotoxic effects on the central nervous system. The main mechanisms of this damage involve oxidative stress, systemic inflammation, and biological barrier dysfunction. In conclusion, microplastic exposure is proven to have significant negative impacts on the digestive, respiratory, nervous, reproductive, and cardiovascular systems.

Keywords: Human health, Microplastics, Nanoplastics, Organ dysfunction

PENDAHULUAN

Aktivitas manusia saat ini tidak terlepas dari penggunaan plastic (Pulungan & Sudiby, 2025). Pencemaran plastik telah berkembang menjadi permasalahan global yang kompleks karena plastik memiliki sifat yang tahan lama dan sulit terurai secara sempurna di alam terdegradasi, plastik terpecah menjadi partikel berukuran < 5 mm yang dikenal sebagai mikroplastik. Mikroplastik ini selanjutnya dapat terfragmentasi lebih lanjut menjadi partikel berukuran nano (< 100 nm) yang semakin mudah tersebar di lingkungan (Winiarska et al., 2024). Diperkirakan sekitar 91% partikel mikroplastik ditemukan di perairan permukaan, termasuk pada sumber air minum perkotaan, dengan kisaran ukuran antara 20 hingga 100 μm (Chandra & Walsh, 2024).

Sekitar 6,8 juta ton sampah plastik setiap tahunnya berakhir di lautan Indonesia (Saragi et al., 2025). Sampah plastik yang masuk ke ekosistem perairan dan terdegradasi menjadi mikroplastik umumnya berasal dari peralatan dan wadah plastik yang digunakan dalam aktivitas perikanan serta limbah plastik yang dihasilkan dari aktivitas di daratan yang masuk melalui aliran Sungai. Sekitar 70% mikroplastik di perairan mengendap di sedimen, yang kemudian dapat dicerna oleh organisme laut karena dianggap sebagai makanan (Kye et al., 2023). Akumulasi ini berpotensi menyebabkan transfer mikroplastik ke organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi melalui rantai makanan (Saragi et al., 2025).

Berdasarkan penelitian Tobing et al., (2020) ditemukan bahwa ikan yang tertangkap di perairan Provinsi Bali mengandung 0,78 partikel mikroplastik per ikannya. Sekitar 43,82% ikan yang dianalisis terkontaminasi mikroplastik yang menjelaskan bahwa ekosistem perairan di wilayah pesisir telah mengalami pencemaran mikroplastik. Beberapa penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa mikroplastik tidak hanya ditemukan di lingkungan perairan dan organisme laut, tetapi juga telah terdeteksi dalam tubuh manusia. Partikel mikroplastik dengan konsentrasi berkisar antara 3,33 hingga 13,99 μg per gram tinja ($\mu\text{g/g}$) telah ditemukan dalam sampel feses manusia dari komunitas nelayan di wilayah pesisir Surabaya, Indonesia (Luqman et al., 2021). Selain itu, mikroplastik juga telah terdeteksi pada darah, paru-paru, serta jaringan plasenta manusia (Roslan et al., 2024; Schwabl et al., 2019). Temuan ini membuktikan bahwa paparan mikroplastik terhadap manusia sudah terjadi melalui berbagai jalur, terutama konsumsi makanan laut, air minum, dan inhalasi udara.

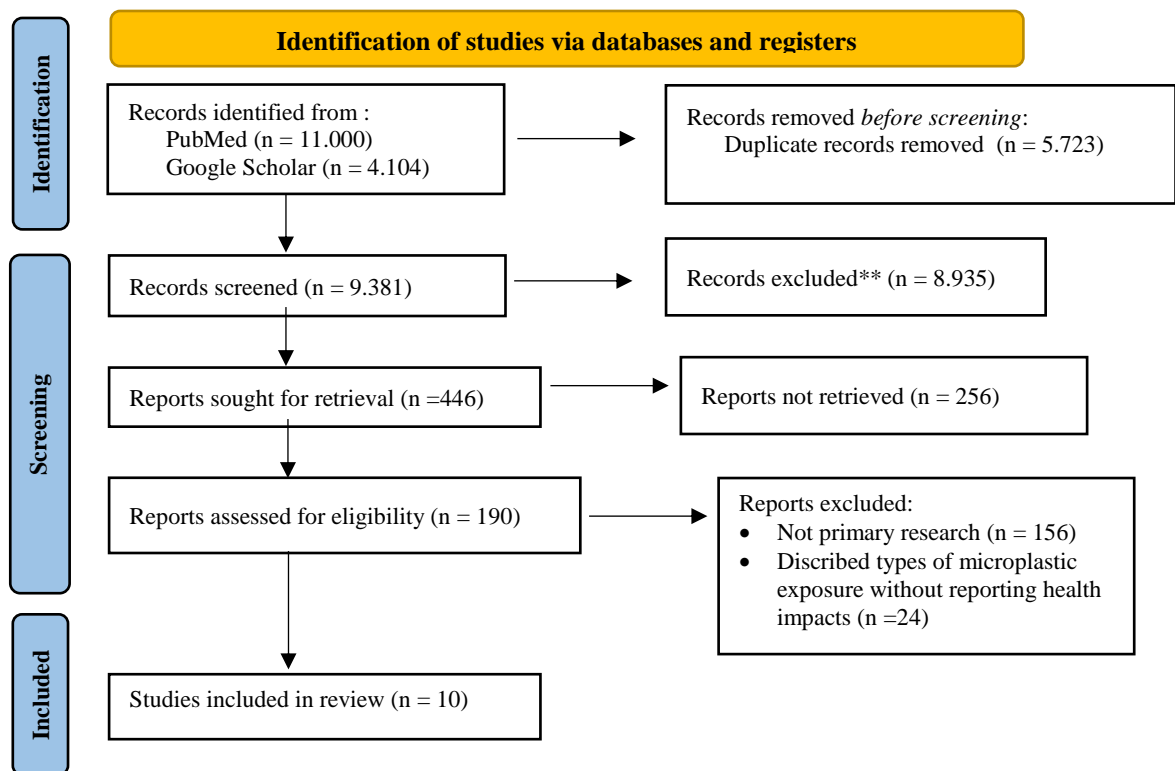
Paparan mikroplastik yang tanpa disadari masuk ke tubuh manusia dapat menimbulkan stres oksidatif, peradangan, gangguan imun, hingga potensi disfungsi organ (Panizzolo et al., 2023). Hingga saat ini bukti ilmiah yang secara langsung mengaitkan paparan mikroplastik dengan gangguan kesehatan pada manusia masih terbatas (Roslan et al., 2024; Zolotova et al., 2022). Kebaharuan dari penelitian ini terletak pada sintesis komprehensif yang menghubungkan berbagai bukti dari studi seluler, hewan, hingga data pendahuluan pada manusia untuk memetakan dampak mikroplastik secara spesifik pada multisistem tubuh, mulai dari sistem pencernaan hingga risiko pada kehamilan.

Penelitian ini dapat bermanfaat sebagai landasan ilmiah dalam memahami risiko jangka panjang bioakumulasi mikroplastik terhadap kesehatan masyarakat serta rujukan bagi para pengambil kebijakan dalam memperkuat regulasi pengelolaan limbah plastik guna memitigasi ancaman polusi mikroplastik. Maka dari itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menelaah bukti ilmiah terkait dampak kesehatan akibat paparan mikroplastik di perairan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian sekunder yang menggunakan desain *literature review* yang disusun dengan menggunakan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA). Pencarian literatur dilakukan melalui database *online* bereputasi, yaitu PubMed dan Google Scholar dengan rentang publikasi tahun 2019–2025. Kriteria inklusi penelitian ini yaitu subjek manusia atau hewan percobaan yang terpapar mikroplastik, menjelaskan efek kesehatan seperti stres oksidatif, inflamasi, gangguan imun, perubahan histopatologis, toksisitas organ, atau gangguan sistemik lainnya, terbit pada tahun 2020-2025, terpublikasi di database resmi bereputasi, dapat diakses *full text*, dan berbahasa Inggris atau Indonesia. Kriteria eksklusi dalam penelitian ini adalah artikel yang berupa pedoman, tinjauan pustaka, berita, laporan kasus, dan artikel yang tidak berhubungan dengan topik penelitian.

Seluruh artikel yang teridentifikasi diimpor ke aplikasi *Mendeley Reference Manager*. Judul dan abstrak dari setiap artikel akan disaring secara independen untuk memperoleh literatur yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi serta dilakukan peninjauan lebih lanjut. Data ekstraksi dari artikel yang dipilih akan ditampilkan dalam bentuk tabel yang terdiri dari referensi (penulis dan tahun publikasi), desain penelitian, dan hasil penelitian tersebut.



Gambar. 1
Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA)

HASIL PENELITIAN

Pada Gambar 1. sebanyak 10 artikel memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi serta digunakan dalam analisis pada penelitian *literature review* ini. Setelah melakukan pencarian artikel dengan metode PRISMA, berikut merupakan 10 artikel yang akan digunakan dalam penelitian ini yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel. 1
Hasil Telaah Artikel Terkait Paparan Mikroplastik yang Berdampak pada Kesehatan

Identitas Jurnal	Metode penelitian	Hasil penelitian
Tamargo, A., Molinero, N., Reinoso, J. J., Alcolea-Rodriguez, V., Portela, R., Bañares, M. A., Fernández, J. F., & Moreno-Arribas, M. V. (2022). PET microplastics affect human gut microbiota communities during simulated gastrointestinal digestion, first evidence of plausible polymer biodegradation during human digestion.	Eksperimental in vitro	Paparan mikroplastik mengubah komposisi dan keanekaragaman komunitas mikroba kolon pada manusia. Paparan tersebut menyebabkan penurunan beberapa bakteri utama mikrobiota usus seperti <i>Bacteroides</i> , <i>Parabacteroides</i> , dan <i>Alistipes</i> , yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan dan kesehatan saluran cerna. Temuan ini menunjukkan bahwa mikroplastik dapat menimbulkan efek kesehatan pada tingkat pencernaan.
Muhammad, A. R., Aditya, M. R., Lestari, B., & Sulistomo, H. W. (2025). Sub-acute polyethylene microplastic inhalation exposure induced pulmonary toxicity in wistar rats through inflammation and oxidative stress.	Eksperimental in vivo	Paparan nanoplastik polipropilena pada dosis 2,5 dan 5 mg/kgBB secara signifikan menunjukkan adanya toksisitas terhadap organ paru berupa kerusakan histopatologi pada sel paru. Berdampak pada peradangan paru akut dan menyebabkan banyak penyakit klinis, seperti sindrom gangguan pernapasan akut (ARDS) dan bahkan infeksi lokal atau sistemik.
Bai, J., Wang, Y., Deng, S., Yang, Y., Chen, S., & Wu, Z. (2024). Microplastics caused embryonic growth retardation and placental dysfunction in pregnant mice by activating GRP78/IRE1 α /JNK axis induced apoptosis and endoplasmic reticulum stress.	Eksperimental in vivo dan in vitro kombinasi	Paparan mikroplastik menyebabkan stres oksidatif dan inflamasi pada jaringan plasenta tikus hamil, mengurangi kapasitas transpor nutrisi jaringan plasenta, dan merusak fungsi sawar plasenta. perubahan dalam struktur dan fungsi plasenta dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan janin
Huang H.J., Liu Y., Li D.W., Wang X., Feng N.X., Li H.Y., Mo C.H., & Yang W.D. (2025). Polystyrene Microplastics Can Aggravate the Damage of the Intestinal Microenvironment Caused by Okadaic Acid: A Prevalent Algal Toxin.	Eksperimental in vivo	Paparan bersama terhadap mikroplastik (80 μ g/mL) dan fiktoksin asam okadaat (20 ng/mL) mengganggu komposisi mikroba usus, menurunkan kelimpahan relatif beberapa bakteri (<i>Parasutterella</i> dan <i>dlercreutzia</i>) dan meningkatkan patogen oportunistik (<i>Escherichia-Shigella</i>). Berdampak pada kerusakan sel epitel usus.

Marfella, R., Prattichizzo, F., Sardu, C., Fulgenzi, G., Graciotti, L., Spadoni, T., D'Onofrio, N., Scisciola, L., La Grotta, R., Frigé, C., Pellegrini, V., Municinò, M., Siniscalchi, M., Spinetti, F., Vigliotti, G., Vecchione, C., Carrizzo, A., Accarino, G., Squillante, A., Spaziano, G., & Paolisso, G. (2024). Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events.	Observasional prospektif multisenter	Polietilen terdeteksi pada plak arteri karotis dari 58,4% pasien, dengan kadar rata-rata $21,7 \pm 24,5 \mu\text{g}$ per miligram plak serta 12,1% pasien memiliki kadar polivinil klorida yang terukur, dengan kadar rata-rata $5,2 \pm 2,4 \mu\text{g}$ per miligram plak. Pasien yang terdeteksi adanya mikroplastik dan nanoplastik dalam ateroma memiliki risiko lebih tinggi terhadap kejadian titik akhir primer dibanding pasien yang tidak terdeteksi zat tersebut (HR=4,5 ; 95% CI 2,00 – 10,27, $p = <0.001$). Namun, temuan ini tidak mempertimbangkan paparan faktor pengganggu, sehingga hasilnya bisa jadi bukan hanya faktor adanya nanomikroplastik
Chen, Z., Zheng, M., Wan, T., Li, J., Yuan, X., Qin, L., Zhang, L., Hou, T., Liu, C., & Li, R. (2025). Gestational exposure to nanoplastics disrupts fetal development by promoting the placental aging via ferroptosis of syncytiotrophoblast.	Eksperimental in vivo	Paparan dosis tinggi ($1 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) nanopartikel polistiren (NP) 100 nm dari hari kehamilan (GD) 0 hingga GD17 secara signifikan menurunkan berat janin dan meningkatkan jumlah resorpsi. Berat janin secara signifikan lebih rendah pada kelompok dosis tinggi dibandingkan pada kelompok dosis rendah ($0,1 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$). Selain itu, terjadi ferroptosis dan penuaan pada plasenta dari tikus yang terpapar NP dosis tinggi.
Djouina, M., Waxin, C., Dubuquoy, L., Launay, D., Vignal, C., & Body-Malapel, M. (2023). Oral exposure to polyethylene microplastics induces inflammatory and metabolic changes and promotes fibrosis in mouse liver.	eksperimental in vivo	Konsumsi makanan yang terkontaminasi mikroplastik dapat mengganggu respons detoksifikasi, memicu ketidakseimbangan oksidatif, meningkatkan fokus inflamasi dan ekspresi sitokin, serta meningkatkan proliferasi di hati. Temuan pada penelitian ini menegaskan bahwa mikroplastik berpotensi memperburuk patologi hati kronis.
Liu, S., Wang, Z., Xiang, Q., Wu, B., Lv, W., & Xu, S. (2022). A comparative study in healthy and diabetic mice followed the exposure of polystyrene microplastics: Differential lipid metabolism and inflammation reaction	Eksperimental in vivo	Pada tikus diabetik, mikroplastik polistirena (PS-MP) meningkatkan risiko kerusakan hati, metabolisme lipid abnormal, respon inflamasi, serta perubahan mikrobiota usus dibandingkan tikus sehat. Efeknya dapat muncul berlebihan pada kondisi yang sudah ada penyakit metabolik.
Jin, H., Yang, C., Jiang, C., Li, L., Pan, M., Li, D., Han, X., & Ding, J. (2022). Evaluation of Neurotoxicity in BALB/c Mice following Chronic Exposure to Polystyrene Microplastics.	Eksperimental in vivo	Paparan PS-MP diameter partikel 0,5, 4, dan $10 \mu\text{M}$ pada otak tikus menunjukkan gangguan pada jaringan otak, respons inflamasi di hipokampus, disfungsi pembelajaran dan memori serta menimbulkan efek neurotoksik.
Li, L., Lv, X., He, J., Zhang, L., Li, B., Zhang, X., Liu, S., & Zhang, Y. (2024). Chronic	Eksperimental in vivo	paparan kronis terhadap PS-NP meningkatkan peradangan usus, mengganggu respons stres oksidatif

exposure to polystyrene nanoplastics induces intestinal mechanical and immune barrier dysfunction in mice	sepanjang siklus hidup pada tikus dan secara konsisten dapat merusak mukosa usus.
---	---

Berdasarkan hasil telaah literatur pada tabel 1, paparan mikroplastik menunjukkan berbagai dampak biologis pada berbagai sistem organ. Pada sistem pencernaan, paparan mikroplastik terbukti dapat mengubah komposisi dan keanekaragaman komunitas mikroba kolon, termasuk menurunkan jumlah bakteri utama yang berperan dalam menjaga keseimbangan mikrobiota usus, sehingga berpotensi mengganggu kesehatan saluran cerna. Pada sistem pernapasan, paparan mikroplastik menyebabkan kerusakan histopatologi sel paru yang berkontribusi terhadap terjadinya peradangan paru akut hingga sindrom gangguan pernapasan akut. Pada kehamilan, mikroplastik memicu stres oksidatif dan inflamasi pada jaringan plasenta, menghambat transport nutrisi, serta merusak fungsi sawar plasenta, yang pada akhirnya dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan janin, termasuk menyebabkan penurunan berat janin. Pada sistem hepatic, paparan mikroplastik dapat meningkatkan proliferasi sel hati sehingga berpotensi memperburuk patologi hati kronis. Dampak lainnya juga terlihat pada individu dengan penyakit metabolik, seperti diabetes yang menunjukkan paparan mikroplastik dapat memperparah kondisi yang sudah ada. Selain itu, mikroplastik juga memiliki efek neurotoksik yang ditandai dengan gangguan pada jaringan otak, khususnya inflamasi di hipokampus, yang berimplikasi pada penurunan fungsi pembelajaran dan memori.

PEMBAHASAN

Paparan mikroplastik (MP) melalui jalur oral merupakan salah satu rute utama masuknya kontaminan ke dalam tubuh manusia, sehingga saluran cerna berperan sebagai garis pertahanan pertama. Penelitian ini memperoleh bahwa adanya mikroplastik dalam tubuh dapat merusak integritas mukosa usus. Kerusakan tersebut meliputi erosi vili, penurunan jumlah kriptas, serta penipisan lapisan mukosa dari duodenum hingga kolon. Selain itu, terjadi penurunan ekspresi protein *tight junction* seperti claudin-1, occludin, dan ZO-1 yang berkontribusi pada peningkatan permeabilitas usus atau kondisi *leaky gut*. Mikroplastik juga berkontribusi terhadap disbiosis mikrobiota usus, yang ditandai dengan penurunan keanekaragaman bakteri serta perubahan komposisi mikroba. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Thin et al., (2025) yang menyebutkan bahwa ketidakseimbangan kelompok mikroba dalam usus berpotensi menyebabkan masalah gastrointestinal, gangguan imun, kondisi neurologis, dan gangguan metabolisme energi dalam tubuh manusia.

Penelitian ini menemukan bahwa mikroplastik yang masuk ke dalam tubuh juga berdampak pada kesehatan hati dan paru-paru. Pada organ hati, mikroplastik seperti polistirena (PS) dan polietilena (PE) dapat menumpuk dan memicu gangguan pengelolaan lemak yang menyebabkan penumpukan lemak berlebih (steatosis), serta kerusakan sel-sel hati yang parah hingga kematian jaringan. Dampak ini ditemukan jauh lebih berbahaya bagi individu dengan kondisi penyakit kronis seperti diabetes, karena tubuh menjadi lebih sensitif terhadap peradangan dan kerusakan jaringan yang disebabkan oleh partikel plastik tersebut (Marfella et al., 2024). Dalam jangka panjang, peradangan terus-menerus ini dapat menyebabkan terjadinya fibrosis hati, yang mengganggu fungsi normal organ tersebut secara keseluruhan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Zhang et al., (2025) bahwa meskipun tidak secara langsung mengancam kelangsungan hidup dalam jangka pendek, sifat invasif mikroplastik memungkinkan partikel tersebut menembus berbagai

penghalang biologis dan terakumulasi di jaringan hati. Akumulasi ini berpotensi menimbulkan gangguan pada fungsi-fungsi vital hati, termasuk metabolisme dan proses detoksifikasi.

Mikroplastik yang terhirup ke dalam saluran pernapasan juga menimbulkan toksisitas paru. Inhalasi partikel plastik, khususnya jenis polietilena, memicu munculnya lendir peradangan dan menyebabkan penebalan pada dinding kantong udara (alveolus), yang membuat ruang pernapasan menjadi sempit. Hal ini terjadi karena partikel tersebut memicu stres oksidatif yang merusak sel-sel paru dan mengaktifkan jalur peradangan di dalam tubuh (Li et al., 2024). Jika paparan ini berlangsung terus-menerus, peradangan akut tersebut dapat berkembang menjadi penyakit paru kronis. Penelitian Tomonaga et al., (2024) juga menjelaskan bahwa paparan kronis terhadap partikel mikroplastik berpotensi meningkatkan risiko fibrosis paru dan Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK), melalui mekanisme inflamasi persisten dan stres oksidatif yang berkepanjangan.

Penelitian ini memperoleh paparan mikroplastik selama kehamilan akan berdampak terhadap luaran kehamilan dan perkembangan janin. Mekanisme utama yang mendasari efek tersebut adalah disfungsi plasenta (Chen et al., 2025). Paparan mikroplastik diketahui dapat mengganggu struktur dan fungsi plasenta, termasuk menurunkan efisiensi transportasi nutrisi esensial seperti glukosa, asam amino, dan asam lemak. paparan mikroplastik juga berdampak pada sistem saraf pusat janin. Penelitian Jin et al., (2022) juga menunjukkan bahwa partikel plastik dapat menembus sawar darah otak dan terakumulasi pada jaringan otak, termasuk hipokampus dan korteks. Akumulasi ini memicu respons inflamasi melalui peningkatan sitokin proinflamasi seperti TNF- α , IL-1 β , dan IL-6, serta mengganggu ekspresi protein sinaptik seperti synapsin-1 dan PSD-95 (Muhammad et al., 2025). Kondisi tersebut berimplikasi pada penurunan fungsi kognitif dan berpotensi menyebabkan gangguan perkembangan neurologis.

SIMPULAN

Paparan mikroplastik terbukti menyebabkan disbiosis mikrobiota usus, stres oksidatif, inflamasi, serta disfungsi sawar biologis yang dapat berujung pada gangguan sistem pencernaan, pernapasan, saraf, reproduksi, hepatic, hingga kardiovaskular. Mekanisme yang paling umum terlibat meliputi peningkatan radikal bebas, aktivasi respons imun, gangguan metabolisme lipid, serta perubahan histopatologis jaringan.

SARAN

Penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada studi klinis pada manusia untuk memperkuat bukti ilmiah, mengingat sebagian besar temuan saat ini masih berasal dari model hewan dan seluler. Desain penelitian juga harus mengendalikan faktor pengganggu (*confounding factors*) agar hubungan kausal antara paparan mikroplastik dan dampak kesehatan dapat diinterpretasikan secara lebih akurat. Investigasi lebih lanjut terkait bioakumulasi jangka panjang juga diperlukan guna menilai implikasi kesehatan masyarakat serta memperkuat dasar penyusunan kebijakan pengelolaan limbah plastik yang lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

Chandra, S., & Walsh, K. B. (2024). Microplastics in Water: Occurrence, Fate and Removal. *Journal of Contaminant Hydrology*, 264, 104360. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104360>

- Chen, Z., Zheng, M., Wan, T., Li, J., Yuan, X., Qin, L., Zhang, L., Hou, T., Liu, C., & Li, R. (2025). Gestational Exposure to Nanoplastics Disrupts Fetal Development by Promoting the Placental Aging Via Ferroptosis of Syncytiotrophoblast. *Environment International*, *197*, 109361. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109361>
- Jin, H., Yang, C., Jiang, C., Li, L., Pan, M., Li, D., Han, X., & Ding, J. (2022). Evaluation of Neurotoxicity in BALB/c Mice following Chronic Exposure to Polystyrene Microplastics. *Environmental Health Perspectives*, *130*(10), 107002. <https://doi.org/10.1289/EHP10255>
- Kye, H., Kim, J., Ju, S., Lee, J., Lim, C., & Yoon, Y. (2023). Microplastics in Water Systems: A Review of Their Impacts on the Environment and Their Potential Hazards. *Heliyon*, *9*(3), e14359. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14359>
- Li, L., Lv, X., He, J., Zhang, L., Li, B., Zhang, X., Liu, S., & Zhang, Y. (2024). Chronic Exposure to Polystyrene Nanoplastics Induces Intestinal Mechanical and Immune Barrier Dysfunction in mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *269*, 115749. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115749>
- Luqman, A., Nugrahapraja, H., Wahyuono, R. A., Islami, I., Haekal, M. H., Fardiansyah, Y., Putri, B. Q., Amalludin, F. I., Rofiqah, E. A., Götz, F., & Wibowo, A. T. (2021). Microplastic Contamination in Human Stools, Foods, and Drinking Water Associated with Indonesian Coastal Population. *Environments - MDPI*, *8*(12), 138. <https://doi.org/10.3390/environments8120138>
- Marfella, R., Prattichizzo, F., Sardu, C., Fulgenzi, G., Graciotti, L., Spadoni, T., D'Onofrio, N., Scisciola, L., La Grotta, R., Frigé, C., Pellegrini, V., Municinò, M., Siniscalchi, M., Spinetti, F., Vigliotti, G., Vecchione, C., Carrizzo, A., Accarino, G., Squillante, A., Spaziano, G., & Paolisso, G. (2024). Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *The New England journal of medicine*, *390*(10), 900–910. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2309822>
- Muhammad, A. R., Aditya, M. R., Lestari, B., & Sulistomo, H. W. (2025). Sub-Acute Polyethylene Microplastic Inhalation Exposure Induced Pulmonary Toxicity in Wistar Rats Through Inflammation and Oxidative Stress. *Toxicology Reports*, *14*, 102067. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2025.102067>
- Panizzolo, M., Martins, V. H., Ghelli, F., Squillacioti, G., Bellisario, V., Garzaro, G., Bosio, D., Colombi, N., Bono, R., & Bergamaschi, E. (2023). Biomarkers of Oxidative Stress, Inflammation, and Genotoxicity to Assess Exposure to Micro- and Nanoplastics. A Literature Review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *267*, 115645. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115645>
- Pulungan, M. F., & Sudibyo, M. (2025). Prevalensi dan Intensitas Mikroplastik di Saluran Pencernaan Kerang Darah (Anadara Granosa) pada Ekosistem Estuari Pantai Jono Desa Lalang Kabupaten Batu Bara. *Jurnal Sains dan Teknologi | E-ISSN : 3063-9980*, *1*(4), 132–140. <https://jurnal.globalscients.com/index.php/jsit/article/view/394>
- Roslan, N. S., Lee, Y. Y., Ibrahim, Y. S., Anuar, S. T., Yusof, K. M. K. K., Lai, L. A., & Brentnall, T. (2024). Detection of Microplastics in Human Tissues and Organs: A Scoping Review. *Journal of Global Health*, *14*, 04179. <https://doi.org/10.7189/jogh.14.04179>

- Saragi, M. A., Hendrawan, I. G., & Putra, I. N. G. (2025). Karakteristik dan Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Ekosistem Terumbu Karang di Perairan Padangbai Karangasem Bali. *Journal of Marine Research and Technology*, 8(1). <https://doi.org/10.24843/jmrt.2025.v08.i01.p10>
- Schwabl, P., Koppel, S., Konigshofer, P., Bucsecs, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series. *Annals of Internal Medicine*, 171(7). <https://doi.org/10.7326/M19-0618>
- Thin, Z. S., Chew, J., Ong, T. Y. Y., Ali, R. A. R., & Gew, L. T. (2025). Impact of Microplastics on the Human Gut Microbiome: A Systematic Review of Microbial Composition, Diversity, and Metabolic Disruptions. In *BMC Gastroenterology*, 25,(1). <https://doi.org/10.1186/s12876-025-04140-2>
- Tobing, S. J. B. L., Hendrawan, I. G., & Faiqoh, E. (2020). Karakteristik Mikroplastik pada Ikan Laut Konsumsi yang Didaratkan di Bali. *Journal of Marine Research and Technology*, 3(2). <https://doi.org/10.24843/jmrt.2020.v03.i02.p07>
- Tomonaga, T., Higashi, H., Izumi, H., Nishida, C., Kawai, N., Sato, K., Morimoto, T., Higashi, Y., Yatera, K., & Morimoto, Y. (2024). Investigation of Pulmonary Inflammatory Responses Following Intratracheal Instillation of and Inhalation Exposure to Polypropylene Microplastics. *Particle and Fibre Toxicology*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12989-024-00592-8>
- Winiarska, E., Jutel, M., & Zemelka-Wiacek, M. (2024). The Potential Impact of Nano- and Microplastics on Human Health: Understanding Human Health Risks. In *Environmental Research*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>
- Zhang, Y., Yuan, J., & Mao, T. (2025). Impact of Microplastics Exposure on Liver Health: A Comprehensive Meta-Analysis. In *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2024.110080>
- Zolotova, N., Kosyreva, A., Dzhalilova, D., Fokichev, N., & Makarova, O. (2022). Harmful Effects of the Microplastic Pollution on Animal Health: A Literature Review. *PeerJ*, 10. <https://doi.org/10.7717/peerj.13503>