

Histomorfometri Duodenum Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) Betina setelah Pemberian Polietilena Tereftalat (PET) dalam Bentuk Mikroplastik

*(HISTOMORPHOMETRY OF THE DUODENUM OF FEMALE
WHITE RATS (RATTUS NORVEGICUS) AFTER ADMINISTRATION OF
POLYETHYLENE-TEREPHTHALATE (PET) IN MICROPLASTIC FORM)*

**Dyana Destrianingsih Fitriedis, Agung Janika Sitasiwi*,
Hernanda Afra Haniyyah**

Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro
Jl. Prof, Soedarto, SH., Tembalang, Semarang,
Jawa Tengah, Indonesia 50275
Email: agssiwi@yahoo.co.id; dyanafitriedis@gmail.com

ABSTRACT

Microplastics are plastic particles measuring less than 5 mm that are persistent, toxic and have the potential to cause biological effects on organisms. One type of microplastic commonly found in the environment is *Polyethylene-terephthalate* (PET). *Polyethylene-terephthalate* is a plastic that is widely used in the food industry, but its effects on histomorphometry of duodenum of small intestine have not been widely reported. This study was aimed to analyze the effect of PET microplastic administration on duodenal histomorphometry of white rats. The study used a Completely Randomized Design (CRD) design, using 20 female *Wistar* rats divided into four treatment groups and five replications. The treatment groups included control (P0) administration of drinking water, treatment P1 PET microplastic administration at a dose of 0.005 mg/2 mL/day, treatment P2 PET microplastic administration at a dose of 0.05 mg/2 mL/day, and treatment P3 PET microplastic administration at a dose of 0.25 mg/2 mL/day. The parameters observed were duodenal diameter; muscularis layer thickness, villi length and duodenal villous epithelial structure. The research data were analyzed using Analysis of variance and was followed by multiple range test of Duncan's if there are a significantly difference between treatments. The results showed that the administration of PET microplastics was not significantly affecting the diameter of the duodenum between treatment groups ($P>0.05$), but the thickness of the muscularis layer and the length of the villi were significantly different ($P<0.05$). The administration of PET microplastics also affected the structure of the duodenum villi epithelium. The conclusion of this study is that the administration of PET microplastics has the potential to cause digestive system disorders as indicated by changes in the thickness of the muscularis layer and the length of the villi, as well as damage to the structure of the epithelium that makes up the duodenum villi.

Keywords: duodenum; histomorphometry; microplastics; Polyethylene-terephthalate (PET)

ABSTRAK

Mikroplastik merupakan partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm yang bersifat persisten, toksik dan berpotensi menimbulkan efek biologis terhadap organisme. Salah satu jenis mikroplastik yang umum ditemukan di lingkungan adalah Polietilena Tereftalat (*Polyethylene-terephthalate*) (PET). Polietilena Tereftalat merupakan plastik yang banyak digunakan dalam industri makanan, tetapi efek terhadap histomorfometri usus halus khususnya duodenum belum banyak dilaporkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemberian mikroplastik PET terhadap histomorfometri duodenum tikus putih. Penelitian menggunakan desain Rancangan Acak Lengkap (RAL), menggunakan 20 ekor tikus betina galur *Wistar* yang dibagi menjadi empat kelompok perlakuan dengan lima ulangan. Kelompok perlakuan meliputi kontrol (P0) diberi air minum 2 mL, perlakuan P1 diberi mikroplastik PET dengan dosis 0,005 mg/2 mL/hari, perlakuan P2 diberi mikroplastik PET dengan dosis 0,05 mg/2 mL/hari, perlakuan P3 diberi mikroplastik PET dengan dosis 0,25 mg/2 mL/hari. Peubah yang diamati adalah diameter duodenum, tebal lapisan muskularis, panjang vili dan struktur epitel villi duodenum. Data hasil penelitian dianalisis menggunakan uji sidik ragam dengan lanjutan uji jarak berganda Duncan antar perlakuan yang berbeda nyata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian mikroplastik PET tidak berpengaruh nyata terhadap diameter duodenum antar perlakuan ($P>0.05$), namun berbeda nyata terhadap tebal lapisan muskularis dan panjang villi ($P<0.05$). Pemberian mikroplastik PET juga memberikan pengaruh pada struktur epitel vili duodenum. Simpulan dari penelitian ini adalah pemberian mikroplastik PET berpotensi menyebabkan gangguan sistem pencernaan yang ditunjukkan dengan perubahan tebal lapisan muskularis eksterna dan panjang vili, serta kerusakan struktur epitel penyusun vili duodenum.

Kata-kata kunci: duodenum; histomorfometri; mikroplastik

PENDAHULUAN

Plastik merupakan salah satu jenis kemasan yang paling umum digunakan oleh masyarakat (Cahyo *et al.*, 2020). Hal tersebut karena plastik memiliki sifat yang kuat, tidak mudah pecah dan berkarat, mudah dibentuk, serta memiliki harga yang ekonomis (Hapis *et al.*, 2023). Cordova (2017) menyatakan bahwa Indonesia termasuk negara yang mengalami peningkatan kebutuhan plastik setiap tahunnya. Peningkatan produksi plastik yang terjadi tanpa adanya pengelolaan lebih lanjut dapat meningkatkan jumlah sampah plastik di lingkungan.

Sampah plastik yang berada di lingkungan akan terkena radiasi sinar ultraungu atau ultraviolet yang berasal dari sinar matahari, kemudian plastik mengalami degradasi oksidatif dan menghasilkan partikel berukuran mikroskopis yang dikenal

sebagai mikroplastik. Mikroplastik merupakan partikel kecil yang memiliki ukuran kurang dari 5 mm dan menjadi salah satu limbah yang berbahaya, karena sifatnya yang persisten, karsinogenik serta mengandung senyawa kimia toksik (Ambasari dan Anggiani, 2022).

Jenis polimer mikroplastik yang banyak digunakan dalam industri makanan dan minuman yaitu polietilena tereftalat atau *Polyethylene-terephthalate* (PET). Senyawa PET memiliki kekuatan mekanik yang baik, seperti tidak mudah robek dan pecah (Singh *et al.*, 2020). Proses degradasi dan pelepasan PET ke lingkungan dapat menghasilkan partikel mikroplastik yang berpotensi masuk ke dalam tubuh melalui rantai makanan dan mengakibatkan akumulasi dalam sistem pencernaan, sehingga menyebabkan berbagai dampak negatif (Osman *et al.*, 2023).

Usus halus (*intestinum tenue*)

merupakan bagian dari sistem digesti yang berfungsi sebagai tempat proses pencernaan makanan dan penyerapan nutrisi dalam makanan. Usus halus terdiri atas tiga bagian, yaitu duodenum, jejunum serta ileum (Theodore *et al.*, 2017). Svihus (2014) menyatakan bahwa salah satu bagian usus halus yang memiliki peran penting dalam absorpsi nutrisi adalah duodenum.

Duodenum merupakan bagian terpendek dari usus halus yang memiliki panjang 5-7 cm dan berperan dalam melanjutkan proses pencernaan makanan menjadi senyawa yang lebih sederhana. Proses penyerapan sari makanan dalam duodenum terjadi dengan melibatkan enzim-enzim yang berasal dari pankreas, seperti amilase, lipase, dan protease. Duodenum yang tidak menjalankan fungsinya dengan baik dapat mengganggu motilitas saluran pencernaan, kemudian akan berdampak pada proses absorpsi nutrisi yang membuat proses penyerapan sari makanan menjadi tidak optimal (Aprilia, 2020).

Mikroplastik dapat melewati lapisan epitel usus halus melalui jalur transseluler atau paraseluler. Mikroplastik akan menyebabkan peradangan tingkat rendah pada usus dan berpotensi memengaruhi integritas serta fungsi mukosa usus (Toto *et al.*, 2022). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh pemberian mikroplastik PET terhadap struktur histologi duodenum pada tikus putih (*Rattus norvegicus*) betina dan peubah yang diamati adalah diameter duodenum, tebal lapisan muskularis eksterna, panjang vili dan struktur epitel vili.

METODE PENELITIAN

Penelitian dan pengamatan dilaksanakan di Laboratorium Biologi Fungsi dan Struktur Hewan (BSFH), Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang dengan No. 6103/A05/KEP-FPP. Hewan uji yang digunakan pada penelitian ini adalah tikus putih betina galur *Wistar* berumur 1,5-2,0 bulan dengan bobot badan

80-150 g dan berjumlah 20 ekor. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Hewan uji dibagi menjadi empat kelompok, yaitu P0, P1, P2 dan P3 dengan masing-masing kelompok diberi perlakuan sebanyak lima kali pengulangan setiap hari selama 24 hari.

Pemberian dosis mikroplastik yang digunakan pada hewan uji ditimbang sesuai dengan dosis tiap perlakuan, P1 = 1,25 mg, P2 = 12,5 mg, dan P3 = 62,5 mg kemudian dilarutkan dengan air hangat sebanyak 500 mL (Gaspar *et al.*, 2023) kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 400-450 rpm selama tujuh menit.

Dosis mikroplastik PET yang diberikan pada tikus putih, yaitu P0 (air minum sebanyak 2 mL/hari), P1 (paparan mikroplastik PET 0,005 mg/ekor/hari), P2 (paparan mikroplastik PET 0,05 mg/ekor/hari), dan P3 (paparan mikroplastik PET 0,25 mg/ekor/hari). Perlakuan diberikan kepada tikus putih sebanyak 2 mL/hari selama 24 hari berturut-turut pada pukul 15.00 WIB.

Tindakan nekropsi dan koleksi sampel organ duodenum tikus putih dilakukan setelah hari ke-24. Duodenum dipotong sepanjang 2 cm, kemudian dicuci menggunakan larutan garam fisiologis NaCl 0,9%, dimasukkan ke dalam botol sampel yang berisi cairan fiksatif *Buffered Neutral Formalin* (BNF) 10%. Pembuatan preparat histologi duodenum menggunakan metode parafin dan pewarnaan Hematoksilin-Eosin (HE). Metode parafin yang dilakukan diawali dengan fiksasi, pencucian, dehidrasi, penjernihan, infiltrasi, *embedding*, pengirisan, penempelan, deparafinasi, pewarnaan, *mounting* dan *labeling*.

Pengamatan histomorfometri duodenum menggunakan mikroskop cahaya dan didokumentasikan menggunakan kamera mikroskop (OptiLab[®], PT. Miconos, Yogyakarta, Indone-sia). Peubah yang digunakan dalam penelitian ini meliputi diameter duodenum, tebal lapisan muskularis, panjang vili dan deskriptif struktur epitel vili. Data kuantitatif yang diperoleh

diuji menggunakan uji normalitas dan homogenitas kemudian dilanjutkan dengan uji sidik ragam pada taraf signifikansi 5%. Hasil sidik ragam yang menunjukkan berbeda nyata ($P < 0,05$) dilakukan analisis data lebih lanjut dengan uji jarak berganda Duncan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis statistika menggunakan uji sidik ragam dengan taraf signifikansi 5% terhadap histomorfometri duodenum tikus putih betina meliputi diameter duodenum, tebal lapisan muskularis, serta panjang vili disajikan pada Tabel 1. Hasilnya menunjukkan hasil yang berbeda tidak nyata terhadap variabel diameter duodenum, sedangkan tebal lapisan muskularis eksterna dan panjang vili menunjukkan hasil berbeda nyata, sehingga dilanjutkan uji jarak berganda Duncan dengan taraf signifikansi 5%.

Diameter duodenum pada tikus putih *Wistar* yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan hasil berbeda tidak nyata antar kelompok perlakuan dan memiliki rata-rata ukuran yang normal, yaitu berkisar 2,6-2,9 mm. Penelitian Casteleyn *et al.* (2010) melaporkan bahwa diameter duodenum normal tikus putih memiliki ukuran berkisar 2,5-3,0 mm, hal ini menunjukkan bahwa paparan mikroplastik tidak memengaruhi diameter duodenum hewan uji.

Hasil tersebut diduga akibat paparan mikroplastik PET yang diberikan belum cukup untuk memberikan pengaruh yang signifikan. Pengaruh tersebut berkaitan dengan dosis P1 (0,005 mg/2 mL/hari), P2 (0,05 mg/2 mL/hari), P3 (0,25 mg/2 mL/hari) yang masih tergolong rendah, sehingga pemberian mikroplastik PET tidak memberikan pengaruh terhadap perubahan morfometri diameter duodenum secara signifikan. Studi Su *et al.* (2024) menunjukkan bahwa pemberian paparan mikroplastik pada tikus putih hanya menyebabkan gangguan pada mikrostruktur duodenum, tetapi tidak menyebabkan perubahan ukuran yang

signifikan terhadap struktur makroskopik seperti diameter duodenum, sehingga ukuran diameter duodenum hewan uji tetap dalam kondisi normal.

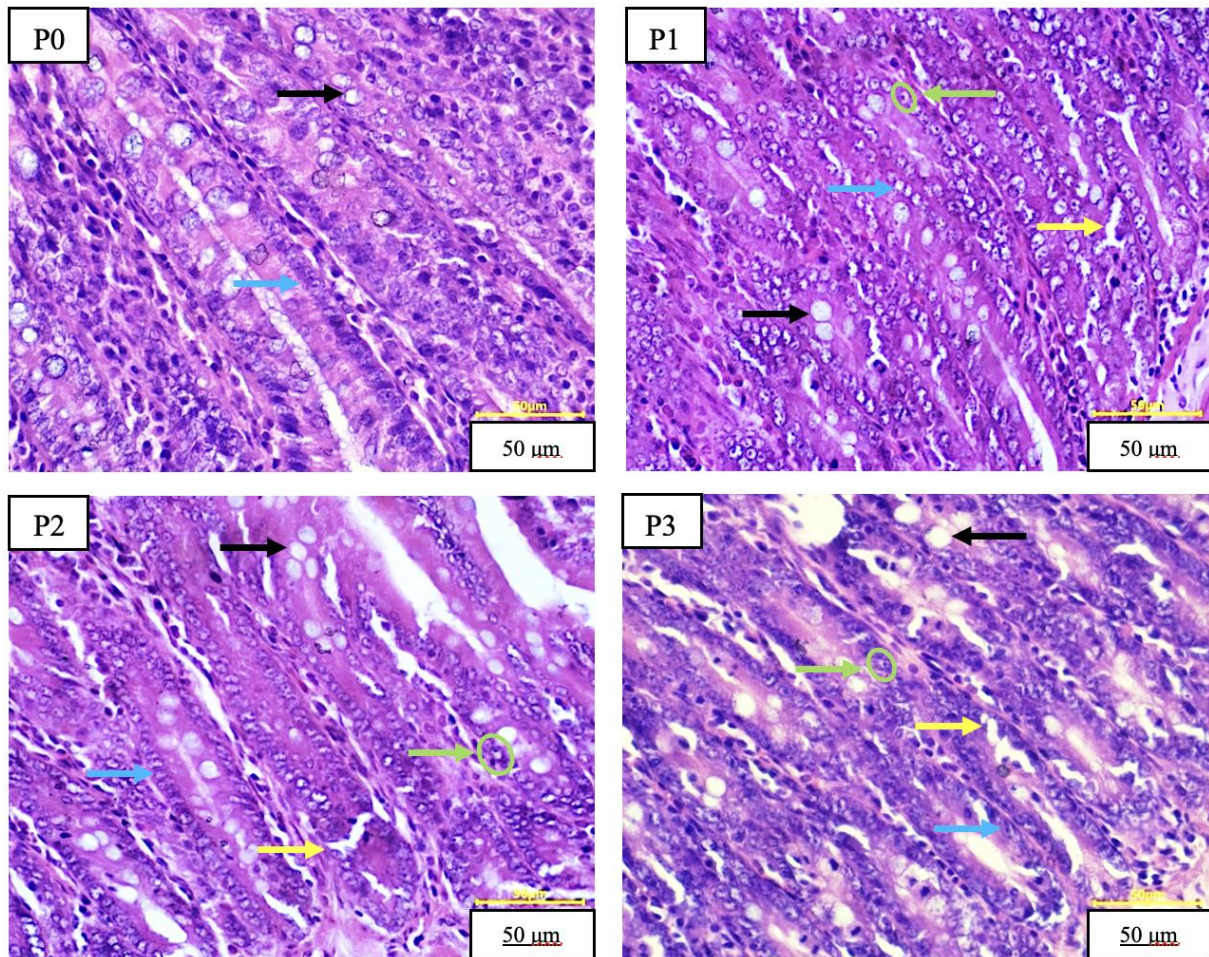
Panjang vili pada tikus putih *Wistar* pada penelitian ini menunjukkan hasil berbeda nyata antar kelompok tikus kontrol dengan kelompok perlakuan P3. Panjang vili kelompok perlakuan P1 dan P2 menunjukkan hasil berbeda tidak nyata dengan kelompok perlakuan P3. Hal tersebut membuktikan bahwa kadar mikroplastik dalam kelompok perlakuan mampu menyebabkan perubahan ukuran panjang villi pada lapisan mukosa duodenum dan panjangnya berbeda pada perlakuan P3 dengan duodenum hewan uji kelompok kontrol (P0). Akumulasi mikroplastik PET dalam duodenum dapat memicu respons inflamasi lokal dan meningkatkan produksi radikal bebas berupa *Reactive Oxygen Species* (ROS), sehingga menghambat proses proliferasi dan diferensiasi sel-sel vili pada mukosa usus halus. Hal ini sejalan dengan laporan penelitian Su *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa mikroplastik dapat memicu peningkatan produksi ROS yang menyebabkan stres oksidatif sehingga berdampak pada pengurangan tinggi vili, penurunan luas permukaan vili dan pengurangan rasio tinggi vili terhadap kedalaman kripta yang menunjukkan adanya gangguan dalam diferensiasi serta proliferasi sel. Proliferasi sel berperan dalam meningkatkan tinggi vili, kedalaman kripta, serta luas permukaan vili.

Perubahan ukuran tinggi vili diduga disebabkan oleh perubahan pada struktur histologi vili penyusun mukosa duodenum. Histologi vili pada epitel duodenum tikus putih betina pada kelompok P0 (kontrol) menunjukkan struktur epitel masih dalam keadaan normal, ditandai dengan lapisan sel epitel duodenum tidak mengalami perubahan atau tidak terjadi kerusakan karena paparan mikroplastik. Struktur sel epitel duodenum pada kelompok perlakuan P1, P2 dan P3 terdapat nekrosis pada sel-sel vili yang ditandai dengan piknosis (panah hijau) dan karioreksis (panah kuning) diduga karena

Tabel 1. Hasil analisis rerata diameter duodenum, tebal lapisan muskularis eksterna dan panjang vili duodenum tikus putih setelah pemberian paparan mikroplastik polietilena tereftalat (PET) selama 24 hari.

Peubah	Kelompok Perlakuan			
	P0 ($\bar{X} \pm SD$)	P1 ($\bar{X} \pm SD$)	P2 ($\bar{X} \pm SD$)	P3 ($\bar{X} \pm SD$)
Diameter duodenum (μm)	2674,37 \pm 378,91	2988,90 \pm 254,11	2773,56 \pm 407,64	2838,23 \pm 387,46
Tebal lapisan muskularis (μm)	127,49 ^a \pm 7,12	105,34 ^b \pm 14,88	106,79 ^b \pm 18,95	101,03 ^b \pm 12,51
Panjang vili (μm)	315,93 ^a \pm 56,12	294,36 ^{ab} \pm 45,94	283,01 ^{ab} \pm 31,34	251,60 ^b \pm 32,08

Keterangan: Data disajikan dalam bentuk rerata $\bar{X} \pm$ standar deviasi (SD). Hasil sidik ragam menyatakan berbeda tidak nyata pada variabel diameter duodenum serta berbeda nyata pada variabel tebal lapisan muskularis eksterna dan panjang vili pada taraf signifikansi 5% ($P < 0,05$). P0 (tikus diberi air minum 2 mL/hari), P1 (mikroplastik PET 0,005 mg/2 mL/hari), P2 (mikroplastik PET 0,05 mg/2 mL/hari), P3 (mikroplastik PET 0,25 mg/2 mL/hari).



Gambar 1. Struktur epitel vili duodenum tikus putih, perbesaran 40x, pewarnaan HE.

Keterangan:

Panah biru: Sel epitel; Panah hitam: Sel goblet; Panah hijau: Inti sel epitel nekrosis (piknosis); Panah kuning: Sel epitel nekrosis (karioreksis).

adanya paparan mikroplastik PET sebagai senyawa asing yang menyebabkan kerusakan pada sel epitel. Hasil pengamatan perubahan struktur vili pada epitel duodenum tikus putih betina kelompok P0, P1, P2 dan P3 ditampilkan pada Gambar 1.

Pemberian mikroplastik PET pada dosis tertentu dapat memicu terbentuknya ROS yang menyebabkan stres oksidatif, sehingga dapat merusak struktur sel-sel vili pada epitel duodenum. Penelitian Zhou *et al.* (2025) menyatakan bahwa sel memiliki sistem pertahanan terhadap antioksidan yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan kadar ROS dan melindungi biomolekul (lipid, DNA dan protein) dari kerusakan yang disebabkan oleh radikal bebas. Penurunan aktivitas enzim antioksidan dapat menyebabkan terganggunya metabolisme ROS yang dapat memicu stres oksidatif. Partikel mikroplastik yang menembus membran sel epitel, dapat menimbulkan efek toksik yang semakin parah dan berpotensi menyebabkan kerusakan struktural pada sel epitel. Hikmah dan Hardiany (2021) menyatakan bahwa ROS merupakan senyawa yang mengandung oksigen reaktif. Kadar ROS yang rendah dapat berperan dalam mengaktifkan dan memodulasi jalur transduksi sinyal, serta sebagai regulator pertahanan sel. Peningkatan kadar ROS dalam tubuh dapat mengoksidasi protein, lipid dan DNA yang menyebabkan kerusakan sel.

Sel epitel merupakan lapisan terluar dari mukosa duodenum yang berperan sebagai barier pelindung, sehingga sangat rentan terhadap paparan mikroplastik PET karena senyawa tersebut sangat mungkin berikatan langsung dengan permukaan mukosa usus. Osman *et al.* (2023) menyatakan bahwa mikroplastik yang diberikan secara oral dengan ukuran partikel <150 μm dapat berikatan langsung dengan lapisan mukosa dan bersentuhan langsung dengan sel epitel usus. Mekanisme penyerapan mikroplastik berdasarkan ukurannya dapat terjadi melalui jalur endositosis pada enterosit, yaitu sel epitel utama penyusun vili duodenum. Partikel

mikroplastik dapat masuk ke dalam sel enterosit dan diinternalisasi oleh membran sel melalui pembentukan vesikula. Selanjutnya, partikel tersebut terakumulasi di sitoplasma dan berpotensi memicu stres oksidatif akibat peningkatan produksi ROS. Kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan organel sel serta memicu kematian sel, seperti nekrosis. Studi Sofield *et al.* (2024) menyatakan bahwa kehadiran mikroplastik di lumen usus dapat meningkatkan produksi ROS dan ekspresi gen yang terlibat dalam stres oksidatif sehingga menyebabkan perubahan struktural pada epitel dan mukosa usus. Analisis histologi duodenum menunjukkan adanya peradangan yang disebabkan oleh mikroplastik yang ditandai dengan adanya retakan pada vili (karioreksis), peningkatan kedalaman kriptas, pemisahan antar enterosit dan proliferasi pembuluh darah.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian paparan PET dalam bentuk mikroplastik selama 24 hari berpotensi menyebabkan gangguan sistem pencernaan yang ditunjukkan dengan adanya perubahan pada tebal lapisan muskularis dan panjang vili, serta kerusakan struktur epitel penyusun vili duodenum hewan uji.

SARAN

Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan mengkaji proses digesti pada hewan uji melalui analisis efisiensi nutrisi dalam pakan

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dekan Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro yang telah mendanai penelitian ini dengan Surat Penugasan Nomor: 44/UN7.F8/PP/II/2025 dengan Ketua Tim Pelaksana Dr. Dra. Agung Janika Sitasiwi, M.Si.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambasari DA, Anggiani M. 2022. Kajian Kelim-pahan Mikroplastik pada Sedimen di Wi-layah Perairan Laut Indonesia. *Jurnal Oseana* 47(1): 20-28.
- Aprilia SI. 2020. Efek Protektif Kunyit (*Curcuma domestica* L.) terhadap Duodenum Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) Jantan yang Diinduksi Minyak Jelantah. *Jurnal Ilmu Farmasi* 3(1): 1-9
- Cahyo YD, Umma N, Ikbal M. 2020. Analisis Kandungan Mikroplastik pada Bebek (*Anas platyrhynchos domesticus*) Studi Kajian Tingkat Pencemaran Plastik di Ternak Unggas Air. *Rekasatwa* 2(2): 90-96.
- Casteleyn C, Rekecki A, Van Der Aa A, Simoens P, Van Den Broeck W. 2010. Surface area assessment of the murine intestinal tract as a prerequisite for oral dose translation from mouse to man. *Laboratory Animals* 44(3): 176-183.
- Choi D, Hwang J, Bang J, Han S, Kim T, Oh Y, Hwang Y, Choi J, Hong J. 2021. *In vitro* toxicity from a physical perspective of polyethylene microplastics based on statistical curvature change analysis. *Science of the Total Environment* 752: 142242.
- Cordova MR. 2017. Pencemaran Plastik di Laut. *Oseana* 42(3): 21-30.
- Gałęcka I, Szyryńska N, Całka J. 2024. Influence of polyethylene terephthalate (PET) microplastic on selected active substances in the intramural neurons of the porcine duodenum. *Particle and Fibre Toxicology* 21(1): 5.
- Gaspar L, Bartman S, Coppotelli G, Ross JM. 2023. Acute Exposure to Microplastics Induced Changes in Behavior and Inflammation in Young and Old Mice. *International Journal Of Molecular Sciences* 24(15): 12308.
- Hapis AA, Sanuddin M, Parman H, Murfi AC. 2023. Bahaya Penggunaan Plastik Bagi Kesehatan di Sekolah Madrasa Aliyah Negeri 1 Olak Kemang Kota Jambi. *Jurnal Pengabdian Kita* 6(1): 1-3.
- Hikmah F, Hardiany NS. 2021. Peran *Reactive Oxygen Species* (ROS) dalam Sel Punca. *Jurnal Kedokteran Yarsi* 29(3): 120-134.
- Osman AI, Hosny M, Eltaweil AS, Omar S, Elgarahy AM, Farghali M, Yap PS, Wu YS, Nagandran S, Batumalaie K, Gopinath SCB, John OD, Sekar M, Saika T, Karunanithi P, Hatta MHM, Akinyede KAA. 2023. Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review. *Environmental and Chemistry Letters* 21: 2129–2169.
- Singh AK, Bedi R, Kaith BS. 2020. Mechanical Properties of Composite Materials Based on Waste Plastic – A Review. *Materials Today: Proceedings*, 26: 1293–1301.
- Sofield CE, Anderton RS, Gorecki AM. 2024. Mind over Microplastics: Exploring Microplastic-Induced Gut Disruption and Gut-Brain-Axis Consequences. *Current Issues in Molecular Biology* 46(5): 4186-4202.
- Su QL, Wu J, Tan SW, Guo XY, Zou DZ, Kang K. 2024. The impact of microplastics polystyrene on the microscopic structure of mouse intestine, tight junction genes and gut microbiota. *Plos One* 19(6): 304686.
- Susilowati, F. 2022. *Pengujian Statistik dengan SPSS*. Magelang. Pustaka Rumah C1nta.
- Svihus B. 2014. Function of the Digestive System. *Journal of Applied Poultry Research* 23(2): 306-314.
- Theodore VJ, Wangko S, Kalangi SJR. 2017. Gambaran Histologi Usus Halus pada Coba Selama 24 Jam Post-mortem. *Jurnal e-Biomedik* 5(1): 1-5.
- Toto B, Refosco A, O’Keeffe M, Barkhald OH, Brønstad A, Lied GA, Yadetie F, Goksøyr A, Kögel T, Dierkes J. 2022. Intestinal Permeability and Gene Expression After Polyethylene and Polyamide Microplastic Ingestion in Wistar Rats. *Toxicology Letters* 370: 35-41.
- Zhou L, Ran L, He Y, Huang Y. 2025. Mechanisms of microplastics on gastrointestinal injury and liver metabolism disorder (Review). *Molecular Medicine Reports* 31(4): 98.