

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Mikroplastik merupakan bahan olahan plastik yang berasal dari proses fragmentasi yang memiliki dampak toksisitas pada kesehatan manusia. Partikel plastik yang berukuran ≤ 5 mm ini, memiliki kemampuan untuk mengangkut bahan berbahaya (Xiang *et al.*, 2022). Beberapa bahan yang dapat diangkut oleh mikroplastik meliputi logam-logam beracun (misalnya merkuri atau timbal), bahan kimia yang sulit terurai di lingkungan, zat tambahan dalam produk plastik, polusi dari senyawa minyak bumi yang kompleks, serta sisa obat-obatan yang dibuang ke lingkungan (Rafa *et al.*, 2024). Bahan-bahan tersebut kemudian masuk ke dalam rantai makanan melalui konsumsi makanan laut dan air minum yang telah terkontaminasi (Jiang *et al.*, 2019; Anik *et al.*, 2021). Saat ini, konsentrasi mikroplastik di lingkungan laut berkisar antara 9,6 hingga 48,8 partikel mikroplastik per meter kubik air laut dan diprediksi akan meningkat hingga 50 kali lipat pada tahun 2100 (Zhang *et al.*, 2020; Coffin & Weisberg, 2022).

Mikroplastik dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder. Mikroplastik primer adalah partikel plastik berukuran mikro (≤ 5 mm) yang dibuat secara sengaja oleh manusia untuk penggunaan tertentu seperti *microbeads* dalam kosmetik, serat sintetis (dari tekstil), pellet plastik (*nurdles*), debu atau bubuk plastik,

serta zat abrasif industri (Ratnayake *et al.*, 2024). Mikroplastik sekunder adalah mikroplastik yang terbentuk dari pecahan plastik ukuran besar ($> 5 \text{ mm}$) yang terdegradasi secara mekanis, kimiawi, atau biologis melalui paparan sinar UV, abrasi ombak atau angin, gesekan ban kendaraan, atau pencucian tekstil (Hanif *et al.*, 2022). Berdasarkan bentuk fisiknya, mikroplastik diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori seperti fragmen, serat, busa, butiran (*pellets*), dan film (Osman, *et al.*, 2023). Berdasarkan komposisi kimianya, mikroplastik umumnya terdiri atas polietilena (PE), polipropilena (PP), polistirena (PS), polivinil klorida (PVC), serta poliester seperti polietilena tereftalat (PET). Ukuran mikroplastik sangat bervariasi, mulai dari yang terkecil $0,02 \text{ }\mu\text{m}$ (*picro-size plastic*) hingga yang terbesar $1000 \text{ }\mu\text{m}$ (*meso-size plastic*) (Bermúdez & Swarzenski, 2021). Variasi ukuran dan bentuk tersebut memengaruhi kemampuan mikroplastik untuk masuk ke dalam jaringan organisme serta menentukan tingkat toksisitasnya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Prasath *et al.*, 2025).

Tiga jalur utama mikroplastik masuk ke dalam tubuh manusia meliputi konsumsi makanan dan minuman yang terkontaminasi, inhalasi partikel di udara, serta kontak dengan kulit (Grzelak, 2024). Jalur oral mencakup paparan melalui konsumsi makanan laut, air minum, garam, serta makanan olahan yang dipanaskan atau disimpan dalam kemasan plastik. Partikel mikroplastik di udara dapat masuk ke dalam saluran pernapasan. Mikroplastik dalam ukuran yang kecil (kurang dari $2.5 \text{ }\mu\text{m}$, dengan kemungkinan tertinggi pada partikel yang lebih kecil) dapat melewati

saluran pencernaan hingga ke alveoli (Pironti *et al.*, 2021). Paparan melalui kulit dapat terjadi akibat penggunaan produk kosmetik yang mengandung butiran mikroplastik yang ditambahkan (Mok *et al.*, 2025).

Polyethylene terephthalate (PET) merupakan salah satu jenis mikroplastik yang sering ditemukan, berasal dari produk kosmetik, tekstil sintetis, dan kemasan plastik. Karakteristik PET yang ringan, lentur, tahan terhadap benturan, dan mudah didaur ulang menjadikan PET sebagai pilihan utama dalam pembuatan wadah makanan, botol air minum, serta kemasan minuman bersoda (Ge-Zhang *et al.*, 2022). Mikroplastik PET dapat masuk ke lingkungan melalui penyucian pakaian berbahan poliester, abrasi kemasan plastik, serta produk perawatan pribadi yang mengandung butiran mikroplastik (Rani, 2022; Singh & Mishra, 2023).

Profil darah lengkap atau *complete blood count* (CBC) adalah tes darah atau pemeriksaan laboratorium yang umum dilakukan untuk mengevaluasi jumlah dan karakteristik sel darah dalam tubuh, seperti sel darah putih (leukosit), sel darah merah (eritrosit), dan trombosit (Seo & Lee, 2022). Pemeriksaan ini mencakup beberapa parameter seperti hemoglobin (Hb), hematokrit, *mean corpuscular volume* (MCV), *red cell distribution width* (RDW), *neutrophil-to-lymphocyte ratio* (NLR), dan *platelet-to-lymphocyte ratio* (PLR) (Singh *et al.*, 2022). Setiap komponen tersebut memiliki nilai diagnostik (kemampuan suatu parameter memberikan informasi akurat dalam mendeteksi kondisi kesehatan yang penting karena dapat mencerminkan kondisi inflamasi, status imun, hingga potensi risiko

penyakit kardiovaskular dan metabolik, gangguan kesehatan yang terjadi akibat masalah pada metabolisme tubuh) (Dama *et al.*, 2024).

Tumor necrosis factor alpha (TNF- α) adalah sitokin (protein yang diproduksi oleh sel tubuh yang berperan dalam respon imun) proinflamasi utama yang mempunyai peran penting dalam respon imun dan patogenesis berbagai penyakit autoimun (Dama *et al.*, 2024). TNF- α memicu aktivasi jalur sinyal melalui reseptor TNFR1 (*tumor necrosis factor receptor 1*) dan TNFR2 (*tumor necrosis factor receptor 2*) yang menghasilkan berbagai efek biologis, termasuk inflamasi (respon imun), apoptosis (kematian sel saat sel tidak lagi diperlukan tubuh), dan nekroptosis (kematian sel yang merangsang inflamasi lebih lanjut) (Moatti & Cohen, 2021). TNF- α sering dijadikan tolak ukur toksisitas, termasuk dalam studi mengenai paparan mikroplastik, karena ekspresinya meningkat secara signifikan dalam kondisi inflamasi sistemik (inflamasi yang terjadi di seluruh tubuh) serta pemicu utama reaksi peradangan yang luas dan bisa merusak jaringan tubuh. TNF- α juga dijadikan variabel dalam penelitian karena dapat menandakan sinyal pertama yang muncul saat sistem pertahanan alami tubuh mulai bereaksi terhadap ancaman yang dapat diidentifikasi secara kuantitatif (Sharif *et al.*, 2020).

Paparan PET dapat menandai ekspresi TNF- α , yang berperan dalam regulasi proses inflamasi dan respon imun tubuh (Olam, 2022). PET menyebabkan disbiosis mikrobiota usus (kondisi ketidakseimbangan komposisi mikroba di dalam usus), sehingga dapat mengurangi mikroba

protektif dan meningkatkan mikroba yang memicu respon inflamasi , seperti bakteri Gram-negatif penghasil lipopolisakarida (LPS). Hal ini memicu aktivasi TLR (*toll-like receptor*) pada sel epitel usus dan makrofag di lamina propria yang dapat mengaktivasi NF-kB. Sitokin pro inflamasi seperti TNF- α , IL-1 β , IL-6 dilepaskan melalui peristiwa ini (Shen & Ma, 2025). Nanoplastik hasil fragmentasi di usus dapat masuk ke sirkulasi darah dan berinteraksi dengan protein plasma membentuk protein corona, yaitu lapisan protein yang menyelimuti permukaan partikel dan memengaruhi interaksinya dengan sistem imun. Protein corona memberikan identitas biologis baru pada partikel, mengubah sifat fisikokimia serta memodulasi interaksinya dengan sistem imun. Protein corona bergantung pada komposisi protein yang teradsorpsi serta memengaruhi proses pengenalan dan opsonisasi, yaitu penandaan partikel asing agar lebih mudah dikenali dan difagositosis oleh sel imun, seperti makrofag (Alungal *et al.*, 2025).

Mikroplastik PET yang terdapat di darah mampu mengaktivasi sel imun seperti makrofag sirkulasi dan neutrofil serta memicu pelepasan TNF- α , IL-6 yang menjadi penanda kondisi inflamasi lokal (Rajendran & Chandrasekaran, 2023). Sitokin proinflamasi yang beredar secara sistemik dapat mengganggu homeostasis sumsum tulang melalui perubahan niche hematopoietik, yaitu lingkungan mikro di sumsum tulang yang berperan dalam mengatur proliferasi dan diferensiasi sel punca hematopoietik melalui interaksi dengan sel stromal dan faktor sinyal, sehingga menurunkan proliferasi dan diferensiasi sel punca hematopoietik

(*hematopoietic stem cells/HSC*) serta menginduksi stres seluler dan apoptosis pada sel progenitor (Hanif *et al.*, 2022). Kondisi ini berpotensi menyebabkan gangguan produksi dan fungsi sel darah.

Penelitian mengenai efek toksik mikroplastik PET terhadap profil darah lengkap dan ekspresi TNF- α pada tikus Wistar masih sangat terbatas. Studi saat ini hanya meneliti keberadaan mikroplastik dalam darah manusia atau efek mikroplastik jenis lain seperti polistirena (PS) dan polietilena (PE) terhadap kesehatan hewan. Penelitian ini penting dilakukan karena mikroplastik menyebabkan stres oksidatif, inflamasi, serta gangguan metabolisme lipid yang dapat merusak sistem kardiovaskular (Song *et al.*, 2024). Berdasarkan hal tersebut diperlukan suatu penelitian untuk melakukan analisis paparan mikroplastik PET terhadap profil darah lengkap dan penanda inflamasi TNF- α pada tikus Wistar.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan suatu permasalahan yakni :

1. Bagaimana pengaruh paparan mikroplastik PET terhadap profil darah lengkap pada tikus wistar.
2. Bagaimana pengaruh paparan mikroplastik PET terhadap ekspresi TNF- α pada tikus wistar.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis pengaruh paparan mikroplastik PET terhadap profil darah lengkap pada tikus wistar
2. Menganalisis pengaruh paparan mikroplastik PET terhadap ekspresi TNF- α pada tikus wistar.

Manfaat Penelitian

1) Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memperdalam pemahaman mengenai mekanisme toksisitas mikroplastik PET melalui analisis perubahan profil darah lengkap dan ekspresi TNF- α pada tikus Wistar.

2) Manfaat Praktis

a. Bagi Penulis

Penelitian ini diharapkan dapat memperluas pemahaman penulis terkait dampak paparan mikroplastik PET terhadap sistem imun dan parameter darah, yang dikaji berdasarkan perubahan profil darah lengkap serta kadar TNF- α pada tikus wistar.

b. Bagi pihak lain

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi awal dan bahan evaluasi dalam mengkaji dampak mikroplastik PET terhadap variabel darah serta inflamasi suatu organisme di masa mendatang.