

Tinjauan Pustaka:

Kontaminasi dan Akumulasi Mikro-nanoplastik Dapat Menjadi Faktor Risiko Terbaru Penyakit Kardiovaskular

Arief Rahadian^{1*}, Nurina Tyagita², Islamy Rahma Hutami³

ABSTRACT

Unmanaged plastic waste in the environment degrades into smaller fragments, from microplastics ($<5\ \mu\text{m}$) to nanoplastic ($<1\ \mu\text{m}$) or we can call it micro-nanoplastic. This form which cannot be seen by the naked eye, can become hidden contamination and accumulation that may pose some effect that needs to be studied. Micro-nanoplastic have been found to contaminate air, soil, water, and even living organisms, including humans. Micro-nanoplastic contamination in the environment has been overlooked by the public for years, particularly in terms of its accumulation in the oceans. Recent studies show that this accumulation is not limited to the environment—it also occurs in animals and humans. One of the primary ways micro-nanoplastics enter the human body is through the consumption of seafood. A major concern is that micro-nanoplastics can translocate and spread to various organs in the body via the cardiovascular system. Micro-nanoplastics may disrupt the cardiovascular system, particularly endothelial cells, cardiomyocytes, and the blood coagulation process. These disruptions can potentially trigger pathological processes that lead to cardiovascular disease and its complications. A possible molecular mechanism involves an increase in oxidative processes and products, elevated inflammatory molecules, and markers of cellular senescence. However, there is currently no conclusive evidence proving that micro-nanoplastic contamination directly causes diseases in humans, including cardiovascular diseases. More research is urgently needed to confirm this potential link, as this contamination and accumulation of micro-nanoplastic could become a ticking bomb to human health, particularly the cardiovascular system.

Keywords: Accumulation, Contamination, Cardiovascular Disease, Micro-nanoplastic, Risk Factor

PENDAHULUAN

Sampah plastik merupakan masalah global yang sulit diselesaikan hingga saat ini. Masalah kontaminasi plastik telah lama diabaikan sejak ditulis dalam literatur pada tahun 1970an.¹ Produksi plastik sejak tahun 1950 hingga tahun 2017 mencapai angka 9700 juta ton plastik, dan sebagian besar diperkirakan mencemari lingkungan karena tidak dikelola dengan baik.² Usaha-usaha yang telah dilakukan untuk meminimalisir penggunaan produk plastik nampaknya belum dapat optimal, mengingat produksi tahunan global untuk plastik tetap saja terus meningkat, hingga mencapai 438

juta ton di tahun 2018, dan diperkirakan akan terus meningkat produksinya hingga 1100 juta ton pada tahun 2050. Produksi mikroplastik yang paling banyak adalah dari plastik berjenis *Polyethylene* atau PE.² Sampah plastik yang tidak dikelola dengan baik akan terdegradasi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, yaitu dari makroplastik ($>5\text{mm}$), mikroplastik ($<5\text{ mm}$) hingga nanoplastik ($<1\mu\text{m}$). Bagian-bagian kecil inilah yang ditemukan telah mengkontaminasi baik udara, air, maupun tanah.³⁻⁶ Proses degradasi plastik dapat terjadi melalui proses biologi maupun non-biologi. Proses non-biologis dapat terjadi akibat paparan suhu, perbedaan pH, hidrolisis, tekanan tinggi, paparan secara mekanis misalnya benturan. Proses biologi biasanya terjadi pada mikroorganisme tertentu yang terpapar permukaan mikroplastik kemudian akan mengeluarkan enzim yang dapat mendegradasi plastik atau mikroplastik.^{7,8} Setiap produk plastik biasanya akan ditambah senyawa aditif untuk memperkuat fungsi dari produk plastik tersebut. Senyawa aditif ini, bisa mengakibatkan

* Corresponding author: Email: arief.rahadian@dsn.dinus.ac.id

¹ Departemen Biokimia, Fakultas Kedokteran, Universitas Dian Nuswantoro

² Departemen Biokimia, Fakultas Kedokteran, Universitas Islam Sultan Agung

³ Departemen Orthodontia, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Islam Sultan Agung

cemaran baru selain dari kontaminasi plastik atau mikroplastik.⁹

Salah satu fenomena pencemaran plastik yang sudah terkenal adalah adanya *North Pacific Garbage Patch* (NPGP) yang luasnya mencapai lebih dari 1 juta kilometer persegi. Semakin lama tumpukan sampah ini akan mengalami degradasi menjadi bagian yang lebih kecil lagi dan akan mencemari laut bagian dalam.^{10,11} Bahkan cemaran laut ini telah mencapai bagian laut yang paling dalam yaitu *Mariana Trench*.¹² Laut bagian dalam yang merupakan habitat hewan laut menjadi tercemar mikroplastik dan masuk ke dalam tubuh hewan laut tersebut. Manusia kemudian menangkap hewan laut dan mengkonsumsinya, dan merupakan cara kontaminasi mikroplastik yang paling sering terjadi pada manusia.¹³ Cara lain adalah dengan melalui inhalasi mikroplastik. Wright et al menyebutkan bahwa konsentrasi mikroplastik di udara mencapai sekitar 110 partikel/m²/hari berukuran 7 hingga 15 µm.¹⁴ Kontaminasi mikro hingga nanoplastik (Mikro-nanoplastik) baik di udara maupun di air tentunya akan masuk ke dalam rantai makanan. Hal ini diketahui akhir-akhir ini dalam studi yang dilakukan di Amerika bahwa mikroplastik ditemukan di 80% sumber protein yang dijual di Amerika.¹⁵ Manusia diperkirakan mengonsumsi hingga 121.000 partikel mikroplastik termasuk melalui inhalasi.¹⁶ Penelitian terbaru lainnya mengindikasikan peningkatan proses patologis seperti peningkatan proses oksidasi, inflamasi, dan proses senesen pada tubuh manusia akibat kontaminasi mikro-nanoplastik.¹⁷⁻²¹ Bahkan penelitian dari Campen et al membuktikan adanya akumulasi mikro-nanoplastik di tubuh manusia.²² Adanya proses patologis ini akan berkontribusi terjadinya penyakit kardiovaskular. Namun, penelitian lebih lanjut masih sangat diperlukan untuk memperjelas hubungan antara kontaminasi dan akumulasi dengan kesehatan tubuh, terutama pada sistem kardiovaskular.

METODE

Pencarian sumber referensi dilakukan dengan menggunakan pencarian pada *database* Google Scholar, Pubmed, dan Science Direct untuk mencari sumber yang sesuai. Pencarian dilakukan dengan menggunakan kata kunci "Microplastic OR Nanoplastic OR Vascular OR Contamination

OR Accumulation OR Health OR Cardiovascular OR Animal OR Human OR Bioaccumulation OR Environment OR MNPs". Setiap penemuan artikel ganda akan dipilih salah satu. Setiap artikel yang terpilih akan dibaca dan diteliti.

PEMBAHASAN

Efek Kontaminasi Mikroplastik Pada Hewan

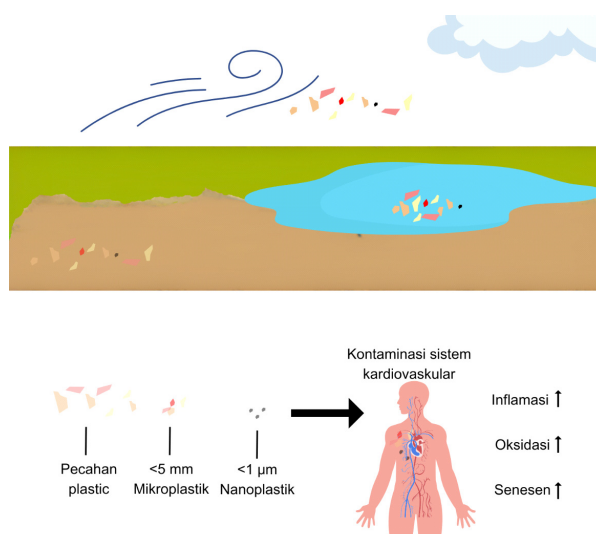
Penelitian yang dilakukan Li *et al* menemukan bahwa mikroplastik mempengaruhi mikrobiota usus sehingga meningkatkan proses inflamasi pada mencit.¹⁷ Penelitian lain menyebutkan bahwa paparan mikroplastik akan mengganggu organ reproduksi dari mencit.^{23,24} Kontaminasi dari mikro dan nanoplastik ternyata juga dapat bertranslokasi ke organ lain dalam tubuh hewan coba sebagai contoh dari paru-paru ke plasenta atau dari usus ke organ ginjal.^{25,26} Vlacil *et al* menunjukkan bahwa pemberian mikroplastik secara oral pada mencit akan meningkatkan molekul-molekul inflamasi pada sel endotel vaskular dan molekul penempelan sel imun ke pembuluh darah yang erat kaitannya dengan terjadinya aterosklerosis. Penelitian tersebut juga menemukan bahwa monosit dapat berperan sebagai sel yang memfagosit mikroplastik membantu untuk membersihkan mikroplastik itu dari jaringan. Tanda-tanda peningkatan proses oksidasi juga meningkat.²¹ Penelitian Shiwakoti *et al* juga berhasil membuktikan bahwa paparan mikroplastik dapat mengakibatkan peningkatan molekul yang berhubungan dengan proses senesens pada sel endotel pembuluh darah sehingga pada akhirnya akan mengakibatkan disfungsi pada endotel pembuluh darah yang merupakan tanda-tanda sebagai awal terjadinya aterosklerosis.¹⁹ Shi *et al* menemukan bahwa paparan mikroplastik secara kronis pada tikus selama 6 bulan mengakibatkan perubahan profil RNA pada organ-organ tikus. Perubahan profil yang dimaksud dalam hal ini adalah peningkatan ekspresi RNA yang merupakan sebuah tanda adanya kerusakan organ tersebut. Proses yang ditekankan dalam penelitian ini adalah adanya peningkatan molekul yang berhubungan dengan aktivitas penghambatan enzim antioksidan, hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Vlacil *et al*.^{20,21} Mikroplastik dalam lingkungan kita pastinya akan terpecah menjadi bagian yang lebih kecil lagi yang dikenal dengan nanoplastik.

Wang *et al* berhasil menunjukkan paparan terhadap nanoplastik dengan ukuran 80 nm menunjukkan efek kerusakan kardiovaskular terutama dalam sel endotelial. Wang juga menjelaskan bahwa nanoplastik dapat mempengaruhi proses kaskade koagulasi dan trombosis.²⁷ Hal ini tentunya merupakan proses vital dalam mencegah komplikasi penyakit kardiovaskular.

Efek Kontaminasi Mikro-nanoplastik Pada Manusia

Studi yang dilakukan Ragusa *et al* menemukan adanya mikroplastik di dalam plasenta dan air susu ibu manusia.^{28,29} Sementara Campen *et al* menemukan bukti adanya mikro dan nanoplastik dalam organ hati, ginjal, dan otak dengan mengambil sampel dari mayat yang diotopsi di tahun 2016 dan di tahun 2024. Dalam penelitiannya, Campen *et al* juga menunjukkan bahwa terdapat peningkatan tren akumulasi mikro-nanoplastik yang signifikan di organ tubuh manusia jika dibandingkan tahun 2024 dengan tahun 2016. Penelitian tersebut ternyata menemukan bahwa organ dengan kadar mikro-nanoplastik tertinggi adalah otak, mencapai 10 kali lipat kadar organ hati dan ginjal. Namun, dalam hasil studinya masih memiliki kelemahan yaitu jumlah sampel yang sedikit (<30 orang) dan adanya kemungkinan kontaminasi sampel mengingat adanya mikroplastik di udara.²² Horvatits *et al* menemukan bahwa mikroplastik memiliki kadar yang lebih tinggi pada pasien dengan sirosis hepatis dibandingkan pada pasien yang tidak memiliki sirosis hepatis.³⁰ Sedangkan pada studi yang dilakukan Yang *et al* pada tahun 2023 menemukan bahwa ditemukan mikroplastik pada berbagai macam jaringan tubuh disekitar jantung pada pasien yang menjalani operasi bedah jantung.³¹ Pada tahun 2024, Yang *et al* juga menemukan bahwa kadar mikroplastik pada darah pasien dengan infark jantung lebih tinggi secara signifikan dibandingkan pada pasien dengan *unstable angina*.³² Yang *et al* berargumen bahwa kemungkinan terdapat hubungan sebab akibat antara kadar mikroplastik dengan peningkatan infark jantung pada manusia karena ditemukan bukti bahwa pemberian mikroplastik pada tikus ApoE^(-/-) meningkatkan plak atherosclerosis walaupun tidak secara signifikan.³³ Marfella *et al* menemukan bahwa pada ateroma manusia dapat

ditemukan adanya mikro-nanoplastik. Analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa ateroma yang banyak mengandung mikro-nanoplastik memiliki risiko yang lebih tinggi untuk mengalami komplikasi kardiovaskular dibandingkan dengan yang tidak mengandung mikro-nanoplastik.³⁴ Penelitian-penelitian ini membuktikan bahwa kontaminasi bahkan akumulasi mikro-nanoplastik memang sedang terjadi dan kemungkinan memang berkontribusi dalam proses patogenesis sistem kardiovaskular. Proses-proses yang mungkin meliputi peningkatan inflamasi, oksidasi, dan senesens selular yang dapat mengakibatkan kerusakan sel endotel vaskular dan gangguan pembekuan pada hewan coba.^{17,19–21,27} Namun, saat ini hubungan kausatif antara mikro-nanoplastik dengan terjadinya kerusakan vaskular maupun penyakit kardiovaskular pada lingkungan manusia sesungguhnya masih perlu diteliti lebih lanjut.



Gambar 1. (A) Kontaminasi mikro-nanoplastik telah menyebar ke semua aspek di lingkungan kita (air, tanah, udara). (B) Kontaminasi pada tubuh manusia kemudian terjadi akibat pemecahan partikel plastik menjadi ke bentuk yang lebih kecil (mikroplastik, nanoplastik). Mikro-nanoplastik akan mengakibatkan peningkatan molekul-molekul yang berhubungan dengan proses inflamasi, oksidasi, dan sel senesen yang pada akhirnya meningkatkan terjadinya penyakit kardiovaskular.

SIMPULAN

Kontaminasi dan akumulasi mikro-nanoplastik telah terbukti terjadi pada tubuh manusia. Hal ini dapat memicu peningkatan proses patologis pada sistem kardiovaskular yaitu inflamasi, oksidasi, senesen, kerusakan endotel, dan gangguan pembekuan darah. Kerusakan ini akan menimbulkan dampak pada sistem kardiovaskular sehingga akan menjadikan kontaminasi dan akumulasi mikro-nanoplastik sebagai faktor risiko terjadinya penyakit kardiovaskular. Namun, studi lebih lanjut amat sangat diperlukan untuk memperjelas dampak kontaminasi dan akumulasi mikro-nanoplastik pada sistem kardiovaskular.

DAFTAR PUSTAKA

- Galloway TS, Cole M, Lewis C. Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nat Ecol Evol*. 2017 Apr 20;1(5):0116.
- Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv*. 2017 Jul;3(7):e1700782.
- Li L, Luo Y, Li R, Zhou Q, Peijnenburg WJGM, Yin N, et al. Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. *Nat Sustain*. 2020 Nov 1;3(11):929–37.
- Pegado T de SES, Schmid K, Winemiller KO, Chelazzi D, Cincinelli A, Dei L, et al. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Mar Pollut Bull*. 2018 Aug;133:814–21.
- United Nation Environment Programme U. Drowning in Plastics – Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics [Internet]. 2021. Available from: <https://www.unep.org/resources/report/drowning-plastics-marine-litter-and-plastic-waste-vital-graphics>
- World Health Organization W. Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health [Internet]. WHO; 2022. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240054608>
- Eubeler JP, Bernhard M, Knepper TP. Environmental biodegradation of synthetic polymers II. Biodegradation of different polymer groups. *TrAC Trends Anal Chem*. 2010 Jan 1;29(1):84–100.
- Luengo C, Allen NS, Edge M, Wilkinson A, Parellada MD, Barrio JA, et al. Photo-oxidative degradation mechanisms in styrene–ethylene–butadiene–styrene (SEBS) triblock copolymer. *Polym Degrad Stab*. 2006 Apr 1;91(4):947–56.
- Cao H, Yuan JP, Zhang R, Huang CM, He Y, Sandreczki TC, et al. Degradation of Polymer Coating Systems Studied by Positron Annihilation Spectroscopy. 3. Wavelength Dependence of UV Irradiation Effect. *Macromolecules*. 1999 Sep 1;32(18):5925–33.
- Egger M, Sulu-Gambari F, Lebreton L. First evidence of plastic fallout from the North Pacific Garbage Patch. *Sci Rep*. 2020 May 6;10(1):7495.
- Lebreton L, Slat B, Ferrari F, Sainte-Rose B, Aitken J, Marthouse R, et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Sci Rep*. 2018 Mar 22;8(1):4666.
- Chiba S, Saito H, Fletcher R, Yogi T, Kayo M, Miyagi S, et al. Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Mar Policy*. 2018 Oct 1;96:204–12.
- Chang X, Xue Y, Li J, Zou L, Tang M. Potential health impact of environmental micro- and nanoplastics pollution. *J Appl Toxicol JAT*. 2020 Jan;40(1):4–15.
- Wright SL, Ulke J, Font A, Chan KLA, Kelly FJ. Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport. *Environ Int*. 2020;136:105411.
- Milne MH, De Frond H, Rochman CM, Mallos NJ, Leonard GH, Baechler BR. Exposure of U.S. adults to microplastics from commonly-consumed proteins. *Environ Pollut*. 2024 Feb 15;343:123233.
- Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human Consumption of Microplastics. *Environ Sci Technol*. 2019 Jun 18;53(12):7068–74.

17. Li B, Ding Y, Cheng X, Sheng D, Xu Z, Rong Q, et al. Polyethylene microplastics affect the distribution of gut microbiota and inflammation development in mice. *Chemosphere*. 2020 Apr;244:125492.
18. Basini G, Grolli S, Bertini S, Bussolati S, Berni M, Berni P, et al. Nanoplastics induced oxidative stress and VEGF production in aortic endothelial cells. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2023 Nov 1;104:104294.
19. Shiwakoti S, Ko JY, Gong D, Dhakal B, Lee JH, Adhikari R, et al. Effects of polystyrene nanoplastics on endothelium senescence and its underlying mechanism. *Environ Int*. 2022 Jun 1;164:107248.
20. Shi J, Deng H, Zhang M. Whole transcriptome sequencing analysis revealed key RNA profiles and toxicity in mice after chronic exposure to microplastics. *Chemosphere*. 2022 Oct 1;304:135321.
21. Vlacil AK, Bänfer S, Jacob R, Trippel N, Kuzu I, Schieffer B, et al. Polystyrene microplastic particles induce endothelial activation. *PLOS ONE*. 2021 Nov 17;16(11):e0260181.
22. Campen M, Nihart A, Garcia M, Liu R, Olewine M, Castillo E, et al. Bioaccumulation of Microplastics in Decedent Human Brains Assessed by Pyrolysis Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Res Sq*. 2024 May 6;rs.3.rs-4345687.
23. Jin H, Ma T, Sha X, Liu Z, Zhou Y, Meng X, et al. Polystyrene microplastics induced male reproductive toxicity in mice. *J Hazard Mater*. 2021 Jan 5;401:123430.
24. Park EJ, Han JS, Park EJ, Seong E, Lee GH, Kim DW, et al. Repeated-oral dose toxicity of polyethylene microplastics and the possible implications on reproduction and development of the next generation. *Toxicol Lett*. 2020 May 15;324:75–85.
25. Fournier SB, D'Errico JN, Adler DS, Kollontzi S, Goedken MJ, Fabris L, et al. Nanopolystyrene translocation and fetal deposition after acute lung exposure during late-stage pregnancy. *Part Fibre Toxicol*. 2020 Oct 24;17(1):55.
26. Walczak AP, Hendriksen PJM, Woutersen RA, van der Zande M, Undas AK, Helsdingen R, et al. Bioavailability and biodistribution of differently charged polystyrene nanoparticles upon oral exposure in rats. *J Nanoparticle Res Interdiscip Forum Nanoscale Sci Technol*. 2015;17(5):231.
27. Wang X, Jia Z, Zhou X, Su L, Wang M, Wang T, et al. Nanoplastic-induced vascular endothelial injury and coagulation dysfunction in mice. *Sci Total Environ*. 2023 Mar 20;865:161271.
28. Ragusa A, Svelato A, Santacroce C, Catalano P, Notarstefano V, Carnevali O, et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environ Int*. 2021 Jan 1;146:106274.
29. Ragusa A, Notarstefano V, Svelato A, Belloni A, Gioacchini G, Blondeel C, et al. Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. *Polymers* [Internet]. 2022;14(13). Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/13/2700>
30. Horvatits T, Tamminga M, Liu B, Sebode M, Carambia A, Fischer L, et al. Microplastics detected in cirrhotic liver tissue. *eBioMedicine* [Internet]. 2022 Aug 1 [cited 2025 Mar 21];82. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2022.104147>
31. Yang Y, Xie E, Du Z, Peng Z, Han Z, Li L, et al. Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Environ Sci Technol*. 2023 Aug 1;57(30):10911–8.
32. Yang Y, Zhang F, Jiang Z, Du Z, Liu S, Zhang M, et al. Microplastics are associated with elevated atherosclerotic risk and increased vascular complexity in acute coronary syndrome patients. *Part Fibre Toxicol*. 2024 Aug 21;21(1):34.
33. Zhao J, Gomes D, Yuan F, Feng J, Zhang X, O'Toole TE. Oral Polystyrene Consumption Potentiates Atherosclerotic Lesion Formation in ApoE^{-/-} Mice. *Circ Res*. 2024;134(9):1228–30.
34. Marfella R, Prattichizzo F, Sardu C, Fulgenzi G, Graciotti L, Spadoni T, et al. Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *N Engl J Med*. 2024;390(10):900–10.