

NANOPLASTIK DAN BAHAN ALAM

(Dampak dan Solusi)



Alfiah Hayati
Aulia Umi Rohmatika
Farah Annisa Nurbani
Maya Safitri
Manikya Pramudya
R. Joko Kuncoroningrat S.

NANOPLASTIK DAN BAHAN ALAM

(Dampak dan Solusi)

Pasal 113 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta:

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

NANOPLASTIK DAN BAHAN ALAM

(Dampak dan Solusi)

Alfiah Hayati
Aulia Umi Rohmatika
Farah Annisa Nurbani
Maya Safitri
Manikya Pramudya
R. Joko Kuncoroningrat S.



NANOPLASTIK DAN BAHAN ALAM:

Dampak dan Solusi

Alfiah Hayati, Aulia Umi Rohmatika, Farah Annisa Nurbani ... [et al.]

ISBN 978-602-74111-3-5 (PDF)

© 2024 Penerbit **Airlangga University Press**

Anggota IKAPI dan APPTI Jawa Timur

Kampus C Unair, Mulyorejo Surabaya 60115

Telp. (031) 5992246, 5992247

E-mail: adm@aup.unair.ac.id

Redaktur (Anas Abadi)

Layout (Achmad Tohir S.)

AUP (1479/11.24)

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang mengutip dan/atau memperbanyak tanpa izin tertulis dari Penerbit sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun.

Prakata

Puji syukur kami panjatkan ke Hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga Buku Referensi yang berjudul “**Nanoplastik dan Bahan Alam: Dampak dan Solusi**” ini dapat terselesaikan dengan baik. Buku ini disusun berdasarkan kajian ilmiah dan hasil penelitian yang telah kami lakukan dengan judul Eksplorasi Bahan Alam dalam Regulasi Ekspresi Gen Penyandi Antioksidan Endogenous dan Histopatologi Tikus yang Terpapar Nanoplastik Polistiren, sesuai dengan Keputusan Rektor Universitas Airlangga Nomor 672/UN3/2024, tanggal 20 Februari 2024, tentang Pelaksanaan *Airlangga Research Fund Batch* Tahun 2024. Tujuan penyusunan buku ini untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai isu-isu penting seputar nanoplastik dan pemanfaatan bahan alam sebagai solusi potensial terhadap permasalahan lingkungan yang ditimbulkannya.

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi dan industri, penggunaan plastik di dalam kehidupan sehari-hari semakin bertambah pesat. Hal tersebut berdampak pada peningkatan jumlah limbah plastik yang pada akhirnya dapat mencemari lingkungan. Buku ini akan membahas tentang kajian limbah plastik dan toksisitas nanoplastik pada organisme khususnya organel target, serta hasil penelitian terkait eksplorasi bahan alam, pengujian antioksidan, regulasi ekspresi gen dan enzim antioksidan endogen, dampak nanoplastik terhadap perubahan struktural histologi intestine, hepar, dan testis tikus putih yang dapat memengaruhi fungsi fisiologis, serta bahan alam sebagai solusi potensial terhadap permasalahan akumulasi nanoplastik di dalam tubuh.

Buku ini diharapkan dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi peneliti, praktisi, maupun masyarakat umum yang tertarik pada masalah pencemaran lingkungan dan upaya untuk menjaga kesehatan. Kami berharap bahwa buku ini dapat menambah wawasan dan pemahaman kepada pembaca mengenai dampak nanoplastik dan pentingnya inovasi dalam pemanfaatan bahan alam sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Kami menyadari bahwa dalam pembuatan buku ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dalam penyusunan buku ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat dan inspirasi bagi para pembacanya.

Selamat membaca!

Surabaya, 7 Juli 2024

Penyusun

Daftar Isi

V	Prakata	
xi	Daftar Gambar	
XV	Daftar Singkatan	
1	BAB 1 Pendahuluan	
5	BAB 2 Limbah Plastik	
	2.1 Plastik, 6	
	2.2 Karakteristik Partikel Plastik, 9	
	2.3 Nanoplastik, 16	
	2.4 Sumber Nanoplastik, 21	
25	BAB 3 Toksitas Nanoplastik pada Organisme	
	3.1 Toksisitas Nanoplastik, 26	
	3.2 Translokasi dan distribusi NP di perairan, 28	
	3.3 Transpor Nanoplastik dalam Sel, 31	
	3.4 Nanoplastik dan Apoptosis, 37	
	3.5 Nanoplastik dan Nekrosis, 39	

45

BAB 4
Organel Target Nanoplastik

-
- 4.1 Interaksi Nanoplastik dan Membran Sel, 46
 - 4.2 Interaksi Nanoplastik dan Mitokondria, 48
 - 4.3 Interaksi Nanoplastik dan Retikulum Endoplasma, 51
 - 4.4 Interaksi Nanoplastik dan Lisosom, 53
 - 4.5 Interaksi Nanoplastik dan Mikroba, 56
 - 4.6 Nanoplastik pembawa kontaminan lain (fisik), 59

65

BAB 5
Bahan Alam

-
- 5.1 Eksplorasi Bahan Alam dari Tumbuhan, 66
 - 5.1.1 Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii*), 66
 - 5.1.2 Mangga macang (*Mangifera foetida* Lour), 69
 - 5.1.3 Rumput laut merah (*Dichotomaria obtusata*), 71
 - 5.2 Senyawa Bioaktif dari Bahan Alam, 73
 - 5.2.1 Flavonoid, 74
 - 5.2.2 Asam fenolik, 75
 - 5.2.3 Cinnamaldehyde, 76
 - 5.2.4 Mangiferin, 77
 - 5.3 Antioksidan Eksogen, 79
 - 5.4 Ekstraksi Tanaman, 80
 - 5.5 Pengujian Antioksidan, 81
 - 5.5.1 Uji DPPH, 81

85

BAB 6
Regulasi Ekspresi Gen dan Protein

-
- 6.1 Ekspresi Gen dan Protein, 86
 - 6.2 Ekspresi Gen dan Antioksidan Setelah Paparan Nanoplastik, 91
 - 6.3 Pemberian Antioksidan Eksogen Terhadap Ekspresi Gen Antioksidan Endogen, 97

103

BAB 7
Nanoplastik dan Histopatologi Jaringan

-
- 7.1 Dampak NP terhadap Struktur Jaringan, 104
 - 7.2 Prosedur Histopatologi, 108
 - 7.3 Histologi Intestinal Sebelum dan Setelah Terpapar Nanoplastik, 109
 - 7.4 Histologi Hepar Sebelum dan Setelah Terpapar Nanoplastik, 111
 - 7.5 Histologi Gonad Sebelum dan Setelah Terpapar Nanoplastik, 114

119	BAB 8 Penutup
------------	--------------------------------

121	Daftar Pustaka
------------	-----------------------

Daftar Gambar

- | | |
|----|--|
| 7 | Gambar 1.
Aliran limbah plastik yang berasal dari berbagai aktivitas dari hulu ke hilir sungai menuju pantai. |
| 9 | Gambar 2.
Proses terjadinya akumulasi MP atau NP melalui proses biomagnifikasi atau rantai makanan biota perairan. |
| 10 | Gambar 3.
Ilustrasi elastomer. A. berbentuk semacam spiral atau terlilit, B. lilitan menjadi lurus |
| 13 | Gambar 4.
Macam-macam bentuk dan ukuran partikel mikroplastik yang ditemukan di perairan. |
| 15 | Gambar 5.
Degradasi serpihan plastik oleh pancaran ultraviolet dan faktor lingkungan lainnya. |
| 16 | Gambar 6.
Metode degradasi atau penguraian plastik secara biotik dan abiotik. |
| 18 | Gambar 7.
Mekanisme biodegradasi partikel plastik oleh mikroba pada kondisi aerobik. |

- 20** **Gambar 8.**
Mekanisme fotodegradasi MP-NP membentuk molekul karbon dioksida dan air.
-
- 22** **Gambar 9.**
Sumber NP berasal dari berbagai aktivitas termasuk industri tekstil, air limbah cuci pakaian, dan lain-lain.
-
- 26** **Gambar 10.**
Hipotesis efisiensi reaksi dan selektivitas bahan kimia dari limbah PS, semula berat sekitar 500 mg dengan tegangan dan temperatur tinggi dan penambahan oksigen menjadi partikel dengan berat 240 mg
-
- 29** **Gambar 11.**
Perbandingan ukuran NP dengan beberapa molekul atau organel atau sel bakteri dan sel hewan.
-
- 30** **Gambar 12.**
Bioakumulasi MP dan NP pada embrio, larva, dan ikan dewasa yang hidup di perairan tercemar plastic.
-
- 32** **Gambar 13.**
Mekanisme transpor NP dan pengaruhnya di dalam sel.
-
- 34** **Gambar 14.**
Skema proses kematian sel (nekrosis, apoptosis, dan nekroptosis).
-
- 36** **Gambar 15.**
Perbedaan kematian sel yang terprogram dan tidak terprogram.
-
- 38** **Gambar 16.**
Keberadaan NP mengaktifkan protein p53 dalam menginduksi apoptosis
-
- 42** **Gambar 17.**
Mekanisme kematian sel oleh stres oksidasi. NP = nanoplastik.
-
- 43** **Gambar 18.**
Transformasi NP menginduksi stres oksidasi membran sel.
-
- 47** **Gambar 19.**
Skema beberapa cara transport NP yang diselimuti oleh protein korona masuk ke dalam sel. A. Transport pasif dan aktif, B. transport melalui pensinyalan oleh reseptor dan difasilitasi protein clathrin untuk invaginasi yang berakhir pada terbentuknya vesikel.
-
- 50** **Gambar 20.**
Jalur intrinsik kematian sel (apoptosis) oleh NP yang dikendalikan oleh protein BCL-2 *family*.

- 52** **Gambar 21.**
Dampak NP pada retikulum endoplasma menyebabkan akumulasi protein *misfolding*.
-
- 55** **Gambar 22.**
Skema transport NP ke dalam dan ke luar sel melalui jalur lisosom.
-
- 56** **Gambar 23.**
Komposisi dan macam bakteri yang dapat ditemukan di saluran pencernaan.
-
- 58** **Gambar 24.**
Skema mekanisme pembentukan korona NP di alam dan dampaknya pada membran sel (bilayer lipid).
-
- 60** **Gambar 25.**
Interaksi NP dengan molekul organik dan anorganik.
-
- 67** **Gambar 26.**
Karakteristik tanaman *C. burmannii*. A. habitus pohon, B. morfologi daun, C. kulit batang bagian dalam yang telah kering, dan D. bunga *C. Burmannii*.
-
- 70** **Gambar 27.**
Karakteristik tanaman *M. foetida*. A. habitus pohon, B. morfologi daun, C. kulit batang, dan D. bunga tersusun dalam malai.
-
- 72** **Gambar 28.**
Karakteristik rumput laut merah. A. morfologi D. obtusata, B. Bentuk percabangan thallus secara dikotomi (bercabang dua).
-
- 74** **Gambar 29.**
Struktur kimia flavonoid.
-
- 76** **Gambar 30.**
Struktur kimia asam fenolik
-
- 77** **Gambar 31.**
Struktur kimia *cinnamaldehyde*.
-
- 78** **Gambar 32.**
Struktur kimia mangiferin.
-
- 83** **Gambar 33.**
Grafik hasil uji DPPH (A) Ekstrak daun *C. burmanni*, (B) Ekstrak batang *M. foetida*.
-
- 87** **Gambar 34.**
Regulasi ekspresi gen A) positif dan B) negatif.
-

- 94** **Gambar 35.**
Diagram persen relatif ekspresi gen *SOD* setelah perlakuan.
-
- 95** **Gambar 36.**
Diagram persen relatif ekspresi gen *CAT* setelah perlakuan.
-
- 96** **Gambar 37.**
Diagram persen relatif ekspresi gen *GPx* setelah perlakuan.
-
- 101** **Gambar 38.**
Macam-macam metode ELISA.
-
- 101** **Gambar 39.**
Diagram ringkasan gen penyandi protein antioksidan oleh oksidan (ROS).
-
- 109** **Gambar 40.**
Histologi usus tikus sebelum paparan partikel NP (A-B) dan setelah paparan partikel NP <100 nm dengan konsentrasi 4 μL NP/kg tikus selama 35 hari (C-D).
-
- 113** **Gambar 41.**
Histologi hepar tikus sebelum paparan partikel NP (A-B) dan setelah paparan partikel NP <100 nm dengan konsentrasi 10 $\mu\text{L/kg}$ selama 14 hari (C-E).
-
- 115** **Gambar 42.**
Histologi gonad tikus sebelum paparan partikel NP (A-B) dan setelah paparan partikel NP 100 nm dengan konsentrasi 10 $\mu\text{L/kgBB}$ selama 14 hari (C-D).
-

Daftar Singkatan

2,3-DBHA	: 2,3-dihydroxybenzoic acid
2,5-DHBA	: 2,5-dihydroxybenzoic acid
3,4-DHBA	: 3,4-dihydroxybenzoic acid
3,5-DHBA	: 3,5-dihydroxybenzoic acid
4-HNE	: 4-Hydroxy Alkene
A1/BFL-1	: <i>Bcl-2-Related Protein A1 / Bcl-2-Related Protein For Leukemia-1</i>
ABS	: Acrylonitrile Butadiene Styrene
ABTS	: 2,2'-Azino-Bis(3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid)
AP-1	: Activator Protein 1
Apaf-1	: Apoptotic Protease Activating Factor-1
ARE	: Antioxidant Response Element
ATP	: Adenosine Triphosphate
BA	: Bile acid
BAD	: Bcl-2-Associated Death Promoter
BAK	: Bcl-2 Homologous Antagonist/Killer
BAX	: Bcl-2-Associated X Protein
BBC3	: Bcl-2 Binding Component 3
BCL-2	: B-cell Lymphoma 2
BCL-W	: B-cell Lymphoma W
BCL-XL	: B-cell Lymphoma-Extra Large
BCL-XS	: B-cell Lymphoma-Extra Small
BFL-1	: Bcl-2-Related Protein A1

BH3	: <i>Bcl-2 Homology 3</i>
BID	: <i>BH3 Interacting-Domain Death Agonist</i>
BIM	: <i>Bcl-2-Like Protein 11 (Bim)</i>
BMS	: <i>Bioplastic Made From Starch</i>
BOK	: <i>Bcl-2-related ovarian killer</i>
BPs	: <i>Biodegradable Plastics</i>
BTB	: <i>Blood-Testis Barrier</i>
CA	: <i>Caffeic acid</i>
Ca ²⁺	: <i>Calcium ion</i>
Caspase-3	: <i>Cysteine-Aspartic Protease 3</i>
CAT	: <i>Catalase</i>
Cd	: <i>Cadmium</i>
Cdc48	: <i>Cell division cycle 48</i>
cDNA	: <i>Complementary DNA</i>
CNX	: <i>Calnexin</i>
CO ₂	: <i>Carbon dioxide</i>
COX-1	: <i>Cyclooxygenase-1</i>
CRT	: <i>Calreticulin</i>
CRT	: <i>Cathode Ray Tube</i>
DNA	: <i>Deoxyribonucleic Acid</i>
Dol-PP	: <i>Dolichol pyrophosphate</i>
DPPH	: <i>1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl</i>
DRs	: <i>Death Receptors</i>
ELISA	: <i>Enzyme-Linked Immunosorbent Assay</i>
EVA	: <i>Ethylene Vinyl Acetate</i>
F	: <i>Fluorin</i>
FA	: <i>Ferulic acid</i>
FADD	: <i>Fas-Associated Death Domain</i>
FAS	: <i>First Apoptosis Signal</i>
FITC	: <i>Fluorescein Isothiocyanate</i>
GA	: <i>Gallic acid</i>
GI	: <i>Glucosidase-I</i>
GII	: <i>Glucosidase-II</i>
Glc	: <i>Outermost Glucose</i>
GPx	: <i>Glutathione Peroxidase</i>
GSH	: <i>Glutathione (Tripeptide Antioxidant)</i>
GSR	: <i>Glutathione Reductase</i>
GST	: <i>Glutathione S-Transferase</i>

H ₂ O	: Water
H ₂ O ₂	: Hydrogen peroxide
HBA	: Hydroxybenzoic acid
HCAs	: Hydroxycinnamic acid
HDPE	: High Density Polyethylene
Hg	: Hydrargyrum (mercury)
HIPS	: High Impact Polystyrene
HK	: Hexokinase 1
HO-1	: Heme oxygenase 1
IL1 β	: Interleukin-1 beta
IL-6	: Interleukin-6
IR	: Infra-Red
Keap1	: Kelch-Like ECH-Associated Protein 1
L $\cdot$	: Lipid Radical
LDL	: Low-density lipoprotein
LDPE	: Low Density Polyethylene
LOO $\cdot$	: Lipid Peroxyl Radical
LOOH	: Lipid Hydroperoxide
MaP	: Macro Plastic
MAPK	: Mitogen-Activated Protein Kinase
MCL-1	: Myeloid Cell Leukemia 1
MCP-1	: Monocyte chemoattractant protein-1
MDA	: Malondialdehyde
MeP	: Mesoplastic
MG	: Methylglyoxal
MIC	: Minimum Inhibitory Concentration
MOMP	: Mitochondrial outer membrane permeabilization
MP	: Microplastic
mRNA	: Messenger RNA (Ribonucleic Acid)
MT	: Metallothionein
Mt	: Million Tones
mTORC1	: Mechanistic Target of Rapamycin Complex 1
N	: Nitrogen
NaOMe	: Natrium Methoxide
NF- κ B	: Nuclear Factor kappa-Light-Chain-Enhancer Of Activated B Cells
NO	: Nitric Oxide
NOXA	: Phorbol-12-Myristate-13-Acetate-Induced Protein 1
NP	: Nano plastic

NPC	: <i>Nasopharyngeal carcinoma</i>
NPEs	: <i>Nonylphenol Ethoxylates</i>
NQO1	: <i>NAD(P)H Quinone Oxidoreductase 1</i>
Nrf2	: <i>Nuclear factor erythroid 2-related factor 2</i>
O ²⁻	: <i>Superoxide</i>
O ₂	: <i>Oxygen</i>
OCH ₃	: <i>Metoxen</i>
OCR	: <i>Oxygen Consumption Rate</i>
OH	: <i>Hydroxide</i>
OH [•]	: <i>Hydroxide Radical</i>
OSCC	: <i>Oral Squamous Cell Carcinoma</i>
OST	: <i>Oligosaccharyltransferase</i>
PA	: <i>Polyamide</i>
PA	: <i>P-Coumaric Acid</i>
PAHs	: <i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbon</i>
PAN	: <i>Polyacrylonitrile</i>
PB	: <i>Polybutadiene</i>
Pb	: <i>Plumbum (Lead)</i>
PBO	: <i>Poly-p-Phenylene-2,6-Benzobisoxazole</i>
PC	: <i>Polycarbonates</i>
PCBs	: <i>Poly Chlorinated Biphenyls</i>
PCL	: <i>Polycaprolactone</i>
PCOS	: <i>Polycystic Ovary Syndrome</i>
PCTFE	: <i>Polychlorotrifluoroethylene</i>
PDI	: <i>Protein-Disulfide Isomerases</i>
PE	: <i>Polyethylene</i>
PEG	: <i>Polyoxyethylene</i>
PET / PETE	: <i>Polyethylene Terephthalate</i>
PGA	: <i>Poly Glycolic Acid</i>
pH	: <i>Power of Hydrogen</i>
PHAs	: <i>Poly Hydroxy Alkanoates</i>
p-HBA	: <i>P-hydroxybenzoic acid</i>
PHBV	: <i>Polyhydroxy Butyratecovalerate</i>
PI3K	: <i>Phosphoinositide 3-Kinase</i>
PKC	: <i>Protein Kinase C</i>
PLA	: <i>Polylactic Acid</i>
PMAIP1	: <i>Phorbol-12-myristate-13-acetate-Induced Protein 1</i>
POPs	: <i>Persistent Organic Pollutants</i>

PP	: <i>Polypropylene</i>
PPAR	: <i>Peroxisome Proliferator-Activated Receptor</i>
PPO	: <i>Poly (P-Phenylene Oxide)</i>
PS	: <i>Polystyrene</i>
PSW	: <i>Plastic Solid Wastes</i>
PTFE	: <i>Polytetrafluoroethylene</i>
PU	: <i>Polyurethane</i>
PUFA	: <i>Polyunsaturated Fatty Acid</i>
PUMA	: <i>p53 upregulated modulator of apoptosis</i>
PVC	: <i>Polyvinylchloride</i>
PVOH	: <i>Polyvinyl Alcohol</i>
qPCR	: <i>Quantitative Polymerase Chain Reaction</i>
RE	: <i>Retikulum endoplasma</i>
RIRR	: <i>ROS-induced ROS-release</i>
RNA	: <i>Ribonucleic Acid</i>
ROH	: <i>Alcohols</i>
RONS	: <i>Reactive Oxygen and Nitrogen Species</i>
ROO•	: <i>Peroxyl Radical</i>
ROOH	: <i>Hydroperoxides</i>
ROOR	: <i>Organic peroxides</i>
ROS	: <i>Reactive Oxygen Species</i>
RT-PCR	: <i>Real time- Polymerase Chain Reaction</i>
SA	: <i>Salicylic Acid</i>
SAN	: <i>Styrene-Acrylonitrile</i>
SBS	: <i>Styrene Butadiene Styrene</i>
SIA	: <i>Sinapic Acid</i>
SM	: <i>Styrene Monomer</i>
SOD	: <i>Superoxide Dismutase</i>
Tel2p	: <i>Telomere maintenance 2 homolog</i>
TNF	: <i>Tumor Necrosis Factor</i>
TNFR	: <i>Tumor Necrosis Factor Receptor</i>
TNF- α	: <i>Tumor Necrosis Factor alpha</i>
TRADD	: <i>TNF Receptor-Associated Death Domain</i>
TYL	: <i>Tylosin</i>
UGGT	: <i>Uridine Diphosphate glucose glycoprotein glucosyltransferase</i>
UV	: <i>Ultraviolet</i>
Zn	: <i>Zinc</i>