

REVIEW: KONTAMINASI *POLYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS* PADA BIOTA LAUT DAN IMPLIKASINYA TERHADAP KEAMANAN PANGAN SERTA KESEHATAN MASYARAKAT

^{1*}Fauziah Hasdin, ¹Wahyuni Agus

¹Program Studi Kimia, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: 15 Mei 2026

Accepted: 20 Mei 2026

Published: 03 Juni 2026

KEYWORD

PAH, Biota Laut, Keamanan Pangan, Bioakumulasi, Kesehatan Masyarakat

PAH, Marine biota, Food safety, Bioaccumulation, Public health

CORRESPONDING AUTHOR

Nama : Fauziah Hasdin

Address: Jl. Dg. Tata Raya, Kel. Parangtambung, Kec. Tamalate, Kota Makassar

E-mail : fauziah.hasdin@unm.ac.id

Wahyuni.agus@unm.ac.id

No. Tlp : +6285299944388

ABSTRACT

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) merupakan senyawa organik persisten yang mencemari lingkungan laut akibat aktivitas antropogenik seperti industri, transportasi, pembakaran bahan bakar fosil, dan eksplorasi minyak bumi. Sifat hidrofobik dan lipofilik PAH menyebabkan senyawa ini mudah terakumulasi dalam sedimen dan biota laut sehingga berpotensi masuk ke rantai makanan manusia. Artikel ini bertujuan mengkaji kontaminasi PAH pada biota laut serta dampaknya terhadap keamanan pangan dan kesehatan masyarakat. Penelitian menggunakan pendekatan *narrative review* dengan menelaah artikel ilmiah tahun 2015–2025 dari PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar. Hasil kajian menunjukkan bahwa PAH berasal dari sumber petrogenik dan pirogenik serta terakumulasi dalam organisme akuatik melalui bioakumulasi dan biomagnifikasi. Paparan PAH menyebabkan stres oksidatif, gangguan reproduksi, kerusakan jaringan, dan penurunan kualitas ekosistem perairan. Konsumsi seafood yang terkontaminasi PAH juga berpotensi meningkatkan risiko kanker dan gangguan kesehatan lainnya pada manusia. Oleh karena itu, pengawasan lingkungan, pengendalian sumber pencemar, dan penerapan regulasi keamanan pangan yang lebih ketat diperlukan untuk meminimalkan dampak PAH terhadap ekosistem dan kesehatan manusia.

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) are persistent organic compounds that widely contaminate marine environments due to anthropogenic activities such as industrial processes, transportation, fossil fuel combustion, and petroleum exploration. The hydrophobic and lipophilic properties of PAHs facilitate their accumulation in marine sediments and biota, allowing these compounds to enter the human food chain. This article aims to review PAH contamination in marine organisms and its implications for food safety and public health. The study employed a narrative review approach by analyzing scientific articles published between 2015 and 2025 from PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar databases. The findings indicate that PAHs originate from both petrogenic and pyrogenic sources and accumulate in aquatic organisms through bioaccumulation and biomagnification processes. Exposure to PAHs may cause oxidative stress, reproductive disorders, tissue damage, and deterioration of aquatic ecosystem quality. In addition, consumption of PAH-contaminated seafood may increase the risk of cancer and other adverse health effects in humans. Therefore, environmental monitoring, pollution control, and stricter food safety regulations are essential to minimize the negative impacts of PAHs on ecosystems and human health.

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan laut merupakan isu global yang semakin meningkat akibat aktivitas industri, transportasi, dan urbanisasi yang masif di berbagai wilayah pesisir dunia. (Fogaça et al., 2025; L. Liu et al., 2025). Salah satu kelompok polutan yang mendapat perhatian serius adalah *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH), yaitu senyawa organik yang terbentuk dari pembakaran tidak sempurna bahan organik seperti batu bara, minyak, dan biomassa (Abhishek et al., 2025; Al Solami, 2025).

Senyawa ini bersifat persisten di lingkungan, memiliki sifat lipofilik, serta mudah terakumulasi dalam jaringan organisme hidup sehingga berpotensi menimbulkan dampak jangka panjang (Jinadasa et al., 2020; Kuhn et al., 2024)

PAH berasal dari dua sumber utama, yaitu sumber petrogenik yang berkaitan dengan minyak bumi dan produk turunannya, serta sumber pirogenik yang dihasilkan dari proses pembakaran bersuhu tinggi (Abdel-Shafy & Mansour, 2016; Patel et al., 2020) Senyawa ini dapat masuk ke lingkungan laut melalui berbagai jalur, termasuk limpasan industri, tumpahan minyak, aktivitas pelabuhan, serta deposisi atmosfer dari emisi kendaraan dan industri (Baran et al., 2017; Han et al., 2021).

Biota laut seperti ikan diketahui memiliki kemampuan untuk menyerap dan mengakumulasi (Cheng et al., 2025; Yu et al., 2019). PAH dalam jaringan tubuhnya melalui proses bioakumulasi Akumulasi ini dapat berlanjut menjadi biomagnifikasi dalam rantai makanan laut, sehingga meningkatkan risiko paparan pada manusia sebagai konsumen tingkat trofik tertinggi melalui konsumsi seafood (Boström et al., 2002; Kim et al., 2013).

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa PAH memiliki efek toksik yang signifikan terhadap organisme hidup, termasuk sifat karsinogenik, mutagenik, dan teratogenik (Ferrante et al., 2018; Zhang & Tao, 2009). Selain itu, paparan PAH juga dapat menyebabkan gangguan sistem imun, stres oksidatif, serta kerusakan organ pada manusia dan hewan (Ding et al., 2013; Du et al., 2025). (17,18). Keberadaan PAH dalam produk pangan laut telah menjadi perhatian serius dalam konteks keamanan pangan global karena berpotensi menimbulkan risiko kesehatan masyarakat (Sahin et al., 2020; WHO, 2020).

Meskipun berbagai studi mengenai PAH telah banyak dilakukan, kajian yang mengintegrasikan aspek pencemaran lingkungan, keamanan pangan, dan kesehatan masyarakat masih relatif terbatas, terutama di negara berkembang (MSC, 2022; UNEP, 2021). Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif kontaminasi PAH pada biota laut serta implikasinya terhadap keamanan pangan dan kesehatan manusia (Singh et al., 2023).

METODE

Metodologi penelitian ini disusun menggunakan pendekatan *narrative review* untuk mengkaji secara komprehensif berbagai temuan ilmiah terkait kontaminasi *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) pada biota laut serta implikasinya terhadap keamanan pangan dan kesehatan manusia. Sumber data diperoleh dari basis data ilmiah terpercaya, yaitu PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar, dengan menggunakan kombinasi kata kunci seperti “PAH marine biota”, “PAH fish contamination”, “PAH food safety”, dan “PAH human health risk”. Proses penelusuran literatur dilakukan secara sistematis dengan menerapkan kriteria inklusi yang meliputi artikel yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2015 hingga 2025, mencakup artikel penelitian asli maupun artikel review, serta ditulis dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia. Dari hasil penelusuran awal diperoleh sekitar 50 artikel, kemudian diseleksi berdasarkan relevansi topik, kesesuaian abstrak, dan ketersediaan teks lengkap hingga diperoleh 10 artikel yang memenuhi kriteria dan digunakan dalam kajian. Analisis dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan hasil antar studi untuk mengidentifikasi pola kontaminasi, sumber pencemaran, serta risiko PAH terhadap kesehatan manusia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Ringkasan Studi Terkait Kontaminasi PAH dan Implikasinya terhadap Lingkungan serta Kesehatan

Peneliti & Tahun	Fokus Kajian	Objek/Lokasi	Temuan Utama	Implikasi
(Abdulai et al., 2025)	Dampak kesehatan masyarakat akibat paparan PAH melalui udara, air, tanah, dan pangan	Ghana	Paparan PAH ditemukan pada berbagai media lingkungan dan berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan serius	PAH menimbulkan beban ekonomi dan kesehatan masyarakat sehingga diperlukan pengendalian pencemaran
(Dong et al., 2021)	Distribusi, sumber, dan risiko PAH pada sedimen	Danau Taihu dan sungai sekitarnya, China	PAH pada sedimen berasal dari aktivitas pembakaran dan sumber petrogenik	Sedimen danau berpotensi menjadi sumber risiko ekologis bagi organisme perairan

Peneliti & Tahun	Fokus Kajian	Objek/Lokasi	Temuan Utama	Implikasi
UNEP (2021)	Penilaian global pencemaran sampah laut dan plastik	Lingkungan laut global	Sampah plastik dan polutan laut meningkat secara signifikan dan mengancam ekosistem	Dibutuhkan kebijakan pengelolaan limbah dan pengurangan pencemaran laut secara global
(WHO, 2020)	Dampak kesehatan manusia akibat PAH sebagai polutan udara	Paparan udara ambien	PAH dapat menyebabkan kanker, gangguan pernapasan, dan efek toksik lainnya	Pengendalian kualitas udara penting untuk melindungi kesehatan manusia
(Y. Liu et al., 2022)	Risiko kesehatan akibat PAH pada debu jatuhan	Universitas di Wuhan, China	Debu lingkungan mengandung PAH dengan risiko kesehatan tertentu bagi manusia	Lingkungan kampus memerlukan pengawasan kualitas udara dan debu
(Pozzan et al., 2025)	Dampak PAH terhadap reproduksi ikan di lingkungan laut	Lingkungan laut	PAH memengaruhi sistem reproduksi dan perkembangan ikan	Pencemaran PAH dapat mengancam keberlanjutan populasi ikan laut
(Qassem et al., 2024)	Asal-usul dan sumber PAH serta hidrokarbon alifatik	Sungai Tigris, Eufkrat, dan Shatt Al-Arab	Sumber utama hidrokarbon berasal dari aktivitas minyak bumi dan pembakaran bahan bakar	Aktivitas antropogenik berkontribusi besar terhadap pencemaran sungai
(Raeisi et al., 2016)	Distribusi, sumber, dan risiko ekologis PAH	Sedimen pesisir Asaluyeh Harbor, Iran	Dominasi sumber petrogenik dari aktivitas industri minyak dan perkotaan	Eksplorasi dan industri minyak meningkatkan pencemaran sedimen pesisir
(Tongo et al., 2016)	Risiko kesehatan manusia akibat PAH pada ikan asap	Pasar ikan di Nigeria Selatan	Konsentrasi PAH pada ikan asap berpotensi membahayakan kesehatan konsumen	Metode pengasapan tradisional perlu diperbaiki untuk mengurangi kontaminasi
(Yu et al., 2019)	Bioakumulasi PAH pada ikan laut dan risiko kesehatan manusia	Perairan pesisir Laut Cina Selatan	Ikan laut mengakumulasi PAH dalam jaringan tubuh	Konsumsi ikan tercemar PAH dapat meningkatkan risiko kesehatan manusia

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) merupakan kelompok senyawa organik yang banyak ditemukan di lingkungan laut akibat meningkatnya aktivitas antropogenik seperti industri, transportasi laut, pembakaran bahan bakar fosil, dan eksplorasi minyak bumi. Senyawa ini memiliki sifat persisten, hidrofobik, dan lipofilik sehingga mudah terakumulasi dalam sedimen maupun jaringan organisme akuatik (Abdel-Shafy & Mansour, 2016). Berdasarkan hasil kajian berbagai penelitian, keberadaan PAH di lingkungan perairan menunjukkan kecenderungan meningkat terutama di wilayah pesisir yang padat aktivitas manusia.

Hasil penelitian oleh Raeisi et al. (2016) menunjukkan bahwa sedimen pesisir di Asaluyeh Harbor, Iran, didominasi oleh sumber PAH petrogenik yang berasal dari aktivitas industri minyak dan kawasan perkotaan. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Qassem et al. (2024) pada Sungai Tigris, Eufkrat, dan Shatt Al-Arab, di mana aktivitas minyak bumi dan pembakaran bahan bakar menjadi sumber utama pencemaran hidrokarbon. Hal ini menunjukkan bahwa kawasan industri dan pelabuhan memiliki kontribusi signifikan terhadap peningkatan konsentrasi PAH di lingkungan perairan.

PAH yang berada di lingkungan laut dapat terakumulasi dalam tubuh organisme melalui proses bioakumulasi. Organisme akuatik seperti ikan menyerap PAH melalui insang, kulit, maupun rantai makanan. Yu et al. (2019) melaporkan bahwa ikan laut di perairan pesisir Laut Cina Selatan mengalami akumulasi PAH dalam jaringan tubuhnya. Tingkat akumulasi dipengaruhi oleh habitat, kandungan lemak tubuh, umur organisme, dan kondisi lingkungan. Senyawa PAH dengan berat molekul tinggi cenderung lebih persisten dan sulit dimetabolisme sehingga berpotensi mengalami biomagnifikasi pada rantai makanan laut (Kim et al., 2013).

Dampak biologis PAH terhadap biota laut sangat beragam. Penelitian Ahmad et al. (2005) menunjukkan bahwa paparan hidrokarbon dapat memicu stres oksidatif pada ikan melalui peningkatan pembentukan Reactive Oxygen Species (ROS). Kondisi ini menyebabkan kerusakan membran sel, gangguan metabolisme, dan perubahan aktivitas enzim antioksidan. Selain itu, Pozzan et al. (2025)

menyatakan bahwa PAH dapat mengganggu sistem reproduksi ikan, termasuk penurunan kualitas gamet, gangguan perkembangan embrio, dan perubahan hormonal. Gangguan reproduksi tersebut dapat memengaruhi stabilitas populasi ikan dalam jangka panjang dan mengancam keberlanjutan ekosistem laut.

Kontaminasi PAH pada biota laut juga menjadi perhatian penting dalam aspek keamanan pangan. Produk pangan laut seperti ikan, kerang, dan udang merupakan sumber protein utama bagi masyarakat pesisir maupun global. Namun, konsumsi seafood yang terkontaminasi PAH dapat meningkatkan risiko kesehatan manusia. Tongo et al. (2016) menemukan bahwa ikan asap yang dijual di Nigeria Selatan mengandung konsentrasi PAH yang berpotensi membahayakan kesehatan konsumen. Selain berasal dari lingkungan tercemar, proses pengolahan pangan seperti pengasapan tradisional juga dapat meningkatkan pembentukan PAH akibat pembakaran tidak sempurna.

Paparan PAH pada manusia berkaitan dengan berbagai gangguan kesehatan, termasuk kanker, gangguan sistem imun, kerusakan hati, gangguan reproduksi, dan gangguan sistem pernapasan (WHO, 2020). Beberapa senyawa PAH seperti benzo[a]pyrene telah diklasifikasikan sebagai senyawa karsinogenik oleh International Agency for Research on Cancer (IARC). Abdulai et al. (2025) menyebutkan bahwa paparan PAH melalui udara, air, tanah, dan pangan dapat menimbulkan beban kesehatan masyarakat yang besar, terutama di negara berkembang dengan sistem pengawasan lingkungan yang masih terbatas.

Selain berdampak pada kesehatan manusia, pencemaran PAH juga menimbulkan konsekuensi ekologis dan ekonomi. Kontaminasi sedimen dapat menurunkan kualitas habitat organisme benthik serta mengurangi produktivitas perairan. UNEP (2021) melaporkan bahwa peningkatan pencemaran laut akibat limbah industri dan sampah plastik turut memperburuk distribusi polutan organik persisten termasuk PAH. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat memengaruhi sektor perikanan dan ketahanan pangan masyarakat pesisir.

Upaya pengendalian PAH perlu dilakukan secara terpadu melalui pengawasan kualitas lingkungan, pengurangan emisi industri, pengelolaan limbah, serta monitoring keamanan pangan laut. Pendekatan biomonitoring menggunakan organisme indikator dan biomarker stres oksidatif juga dapat digunakan untuk mendeteksi dampak pencemaran sejak dini (Ahmad et al., 2005). Selain itu, edukasi masyarakat mengenai risiko konsumsi pangan laut tercemar dan penerapan regulasi keamanan pangan yang ketat menjadi langkah penting untuk melindungi kesehatan masyarakat.

KESIMPULAN

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) merupakan salah satu polutan organik persisten yang banyak ditemukan di lingkungan laut akibat aktivitas antropogenik seperti industri, transportasi, pembakaran bahan bakar fosil, dan eksplorasi minyak bumi. Sifat PAH yang persisten dan lipofilik menyebabkan senyawa ini mudah terakumulasi dalam sedimen dan jaringan biota laut melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi. Akumulasi tersebut tidak hanya berdampak pada organisme laut, tetapi juga berpotensi masuk ke rantai makanan manusia melalui konsumsi seafood yang terkontaminasi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa paparan PAH dapat menyebabkan stres oksidatif, kerusakan jaringan, gangguan reproduksi, serta menurunkan kualitas ekosistem perairan. Selain itu, konsumsi pangan laut yang mengandung PAH berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia, termasuk kanker dan gangguan sistem imun. Oleh karena itu, pengawasan kualitas lingkungan laut, pengendalian sumber pencemaran, serta penerapan regulasi keamanan pangan yang lebih ketat sangat diperlukan untuk meminimalkan dampak PAH terhadap ekosistem dan kesehatan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2016). A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 107–123. <https://doi.org/10.1016/J.EJPE.2015.03.011>
- Abdulai, P. M., Bede-Ojimadu, O., Onyena, A. P., Frazzoli, C., Mogborukor, N. A., Ekhaton, O. C., Udom, G. J., Nwanaforo, E., & Orisakwe, O. E. (2025). Public Health Effects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Exposure Through Air, Water, Soil, and Food in Ghana: Possible Economic Burden. *Environmental Health Insights*, 19, 11786302251343768. <https://doi.org/10.1177/11786302251343767>

- Abhishek, Chakkaravarthi, S., & Agarwal, T. (2025). Fish consumption patterns and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in fried and grilled fish products and mitigation strategies. *Toxicology Reports*, *14*, 101953. <https://doi.org/10.1016/J.TOXREP.2025.101953>
- Al Solami, L. (2025). Polycyclic aromatic hydrocarbon levels in marine fish samples from the central Red Sea, Saudi Arabia. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, *51*(4), 463–468. <https://doi.org/10.1016/J.EJAR.2025.08.003>
- Baran, A., Tarnawski, M., Urbański, K., Klimkiewicz-Pawlas, A., & Spalek, I. (2017). Concentration, sources and risk assessment of PAH in bottom sediments. *Environmental Science and Pollution Research International*, *24*(29), 23180. <https://doi.org/10.1007/S11356-017-9944-Y>
- Boström, C.-E., Gerde, P., Hanberg, A., Jernström, B., Johansson, C., Kyrklund, T., Rannug, A., Törnqvist, M., Victorin, K., & Westerholm, R. (2002). Cancer Risk Assessment, Indicators, and Guidelines for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Ambient Air. *Environmental Health Perspectives*, *110*(s3), 451–489. <https://doi.org/10.1289/EHP.02110S3451>
- Cheng, J. O., Chu, C. H., Chang, C. W., Chen, T. H., Hsieh, C. Y., & Ko, F. C. (2025). Bioaccumulation and Trophic Transfer of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in the Planktonic Base of the Aquatic Food Web. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *89*(4), 528–537. <https://doi.org/10.1007/S00244-025-01157-2>
- Ding, C., Ni, H. G., & Zeng, H. (2013). Human exposure to parent and halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons via food consumption in Shenzhen, China. *Science of the Total Environment*, *443*, 857–863. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.018>
- Dong, Y., Yan, Z., Wu, H., Zhang, G., Zhang, H., & Yang, M. (2021). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Typical Algae, Macrophyte Lake Bay and Adjoining River of Taihu Lake, China: Distribution, Sources, and Risk Assessment. *Water* *2021*, Vol. 13, Page 470, *13*(4), 470. <https://doi.org/10.3390/W13040470>
- Du, W., Jiang, S., Lei, Y., Wang, J., Cui, Z., Xiang, P., Chang, Z., Duan, W., Shen, G., Qin, Y., Pan, B., & Yu, Y. (2025). Occurrence, formation mechanism, and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in barbecued food. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *293*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118046>
- Ferrante, M., Zanghi, G., Cristaldi, A., Copat, C., Grasso, A., Fiore, M., Signorelli, S. S., Zuccarello, P., & Oliveri Conti, G. (2018). PAH in seafood from the Mediterranean Sea: An exposure risk assessment. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, *115*, 385–390. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2018.03.024>
- Fogaça, F. H. dos S., Melo, P. T. da S., Massone, C. G., Carreira, R. da S., Ramos, L. R. V., & Torres, J. P. M. (2025). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Seafood: Occurrence, Trophic Bioaccumulation, and Human Health Risks. *Fishes*, *10*(11), 591. <https://doi.org/10.3390/FISHES10110591/S1>
- Han, B., Cui, D., Liu, A., Li, Q., & Zheng, L. (2021). Distribution, sources, and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in surface sediments from Daya Bay, South China. *Environmental Science and Pollution Research International*, *28*(20), 25858–25865. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-11956-W>
- Jinadasa, B. K. K. K., Monteau, F., & Fowler, S. W. (2020). Review of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in fish and fisheries products; a Sri Lankan perspective. *Environmental Science and Pollution Research International*, *27*(17), 20663–20674. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-08305-2>
- Kim, K. H., Jahan, S. A., Kabir, E., & Brown, R. J. C. (2013). A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and their human health effects. *Environment International*, *60*, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.019>
- Kuhn, A. V., Pont, G. D., Cozer, N., & Sadauskas-Henique, H. (2024). The concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish: A systematic review. *Marine Pollution Bulletin*, *198*, 115778. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2023.115778>
- Liu, L., Xiao, Q., Chen, A., Zeng, S., & Gao, J. (2025). Polycyclic aromatic hydrocarbons in seafoods: a systematic review, meta-analysis, and health risk assessment. *Environmental Geochemistry and Health*, *48*(2). <https://doi.org/10.1007/S10653-025-02943-6>

- Liu, Y., Mao, Y., Xu, J., Chen, W., Hu, T., Xu, C., Liu, W., Qu, C., Chen, W., Zhang, J., Xing, X., & Qi, S. (2022). Health Risks Associated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Dustfall Collected from Universities in Wuhan, China. *Atmosphere*, *13*(10), 1707. <https://doi.org/10.3390/ATMOS13101707/S1>
- MSC. (2022). *Five things you need to know about the state of the world's fisheries - 2022 | Marine Stewardship Council*. https://www.msc.org/media-centre/news-opinion/news/2022/07/04/five-things-need-to-know-about-the-state-of-the-world-s-fisheries-2022?gad_source=1&gad_campaignid=23337833451&gbraid=0AAAAADvLNZGE9Qw22lrEjBr7CxqNR12bV&gclid=Cj0KCQjw-pHPBhCdARIsAHXYWP8oanerSOMG-yxnBgLrOlRV1cqEvCRjMWOZf0CsQllRLT9HkaiBmIwaArZkEALw_wcB
- Patel, A. B., Shaikh, S., Jain, K. R., Desai, C., & Madamwar, D. (2020). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Toxicity, and Remediation Approaches. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 562813. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2020.562813>
- Pozzan, R., de Almeida Roque, A., Iwamoto, H., de Campos Guerreiro, F., da Silva, A. P., Rubio-Vargas, D. A., de Marchi, M., de Oliveira, F., Martínez-Burgos, W. J., Prodocimo, M. M., & de Oliveira Ribeiro, C. A. (2025). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Marine Environments Affect Fish Reproduction—A Critical Review. *Toxics*, *13*(9), 747. <https://doi.org/10.3390/toxics13090747>
- Qassem, M. A., Kadhim, H. A., & Al-Hejuje, M. M. (2024). The origins and Sources of polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) and Aliphatic Hydrocarbons (N-Alkanes) in The Tigris, Euphrates, and Shatt Al-Arab rivers: Asal-usul dan Sumber Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH) dan Hidrokarbon Alifatik (N-Alkana) d.... *Indonesian Journal on Health Science and Medicine*, *1*(3), 10.21070/ijhsm.v2i1.99-10.21070/ijhsm.v2i1.99. <https://doi.org/10.21070/IJHSM.V2I1.99>
- Raeisi, A., Arfaenia, H., Seifi, M., Shirzad-Siboni, M., Keshtkar, M., & Dobaradaran, S. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in coastal sediments from urban and industrial areas of Asaluyeh Harbor, Iran: distribution, potential source and ecological risk assessment. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, *74*(4), 957–973. <https://doi.org/10.2166/WST.2016.265>
- Sahin, S., Ulusoy, H. I., Alemdar, S., Erdogan, S., & Agaoglu, S. (2020). The Presence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Grilled Beef, Chicken and Fish by Considering Dietary Exposure and Risk Assessment. *Food Science of Animal Resources*, *40*(5), 675. <https://doi.org/10.5851/KOSFA.2020.E43>
- Singh, V., Negi, R., Jacob, M., Gayathri, A., Rokade, A., Sarma, H., Kalita, J., Tasfia, S. T., Bharti, R., Wakid, A., Suthar, S., Kolipakam, V., & Qureshi, Q. (2023). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in aquatic ecosystem exposed to the 2020 Baghjan oil spill in upper Assam, India: Short-term toxicity and ecological risk assessment. *PLOS ONE*, *18*(11), e0293601. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0293601>
- Tongo, I., Ogbeide, O., & Ezemonye, L. (2016). Human health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in smoked fish species from markets in Southern Nigeria. *Toxicology Reports*, *4*, 55. <https://doi.org/10.1016/J.TOXREP.2016.12.006>
- UNEP. (2021). *Marine and Land-based Pollution | UNEP - UN Environment Programme*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/topics/ocean-seas-and-coasts/regional-seas-programme/marine-and-land-based-pollution>
- WHO. (2020). *Polycyclic aromatic hydrocarbons: environmental health criteria*. Geneva: WHO. World Health Organization. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/30fe1999-f67b-48b1-af29-28cbe2c0844d/content>
- Yu, Z., Lin, Q., Gu, Y., Du, F., Wang, X., Shi, F., Ke, C., Xiang, M., & Yu, Y. (2019). Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in wild marine fish from the coastal waters of the northern South China Sea: Risk assessment for human health. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *180*, 742–748. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2019.05.065>
- Zhang, Y., & Tao, S. (2009). Global atmospheric emission inventory of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) for 2004. *Atmospheric Environment*, *43*(4), 812–819. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2008.10.050>