

## EVALUASI WAKTU RETENSI, FAKTOR KAPASITAS, DAN LINEARITAS SENYAWA PAH MENGGUNAKAN GC-FID

<sup>1</sup>\*Muhammad Syahrir, Muhammad Nur Alam<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

### ARTICLE INFORMATION

Received: 15 Mei 2026

Accepted: 20 Mei 2026

Published: 03 Juni 2026

### KEYWORD

Polisiklik Aromatik Hidrokarbon,  
Kromatografi Gas, Sedimen, Polusi  
Lingkungan

*Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, Gas  
Chromatography, Sediment, Environmental  
Pollution*

### CORRESPONDING AUTHOR

Nama : Muhammad Syahrir

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

E-mail : [msyahrir7406@unm.ac.id](mailto:msyahrir7406@unm.ac.id)

No. Tlp : +6285294880569

### ABSTRACT

Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons/PAHs) merupakan kelompok senyawa organik yang bersifat toksik, persisten, serta berpotensi menimbulkan efek mutagenik dan karsinogenik bagi organisme hidup. Keberadaan PAH di lingkungan perairan umumnya berasal dari aktivitas antropogenik, seperti pembakaran bahan bakar fosil, aktivitas industri, dan tumpahan minyak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja metode kromatografi gas dalam analisis senyawa PAH melalui penentuan parameter waktu retensi, faktor kapasitas, jumlah pelat teoritis, dan linearitas metode. Analisis dilakukan menggunakan Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) terhadap tujuh senyawa standar PAH, yaitu Naphtalene, Acenaphthene, Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, dan Perylene. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh senyawa PAH dapat dipisahkan dengan baik dengan waktu retensi berkisar antara 4,83 hingga 24,05 menit. Nilai faktor kapasitas ( $k'$ ) berada pada rentang 0,799–6,240, sedangkan jumlah pelat teoritis menunjukkan efisiensi kolom yang baik. Uji linearitas pada rentang konsentrasi 0,5–20 ppm menghasilkan koefisien korelasi ( $R$ ) sebesar 0,991–0,999 yang menunjukkan hubungan linear yang sangat kuat antara konsentrasi analit dan respons detektor. Berdasarkan hasil tersebut, metode GC-FID yang digunakan memiliki performa yang baik dan layak diterapkan untuk analisis kuantitatif senyawa PAH pada sampel lingkungan, khususnya sedimen laut

*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) are a group of organic compounds that are toxic, persistent, and potentially mutagenic and carcinogenic to living organisms. The presence of PAHs in aquatic environments is generally associated with anthropogenic activities, including fossil fuel combustion, industrial processes, and oil spills. This study aimed to evaluate the performance of a gas chromatographic method for PAH analysis by determining retention time, capacity factor, theoretical plate number, and method linearity. The analysis was carried out using Gas Chromatography-Flame Ionization Detection (GC-FID) on seven PAH standard compounds, namely naphthalene, acenaphthene, phenanthrene, fluoranthene, pyrene, benzo(a)anthracene, and perylene. The results showed that all PAH compounds were well separated, with retention times ranging from 4.83 to 24.05 min. The capacity factor ( $k'$ ) values ranged from 0.799 to 6.240, while the theoretical plate numbers indicated good column efficiency. The linearity test conducted within a concentration range of 0.5–20 ppm produced correlation coefficients ( $R$ ) ranging from 0.991 to 0.999, demonstrating a strong linear relationship between analyte concentration and detector response. These findings indicate that the GC-FID method provides satisfactory analytical performance and is suitable for the quantitative determination of PAHs in environmental samples, particularly marine sediments.*

## 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)

Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons/PAHs) merupakan kelompok senyawa organik yang tersusun atas dua atau lebih cincin aromatik dan termasuk dalam kategori polutan organik persisten yang mendapat perhatian global karena sifatnya yang toksik, mutagenik, dan karsinogenik. PAH dapat berasal dari sumber alami seperti kebakaran hutan dan aktivitas vulkanik, namun sebagian besar keberadaannya di lingkungan disebabkan oleh aktivitas antropogenik, seperti pembakaran bahan bakar fosil, aktivitas industri, transportasi, tumpahan minyak, dan limbah domestik yang masuk ke perairan laut (Abdel-Shafy & Mansour, 2016).

Di lingkungan perairan, PAH memiliki sifat hidrofobik sehingga cenderung teradsorpsi pada partikel padatan dan terakumulasi di dalam sedimen. Oleh karena itu, sedimen laut sering digunakan sebagai indikator pencemaran PAH karena mampu merekam akumulasi polutan dalam jangka waktu yang lebih panjang dibandingkan kolom air (Nasher et al., 2013). Akumulasi PAH pada sedimen dapat memberikan dampak negatif terhadap organisme bentik serta berpotensi masuk ke dalam rantai makanan melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi (Honda & Suzuki, 2020).

Pemantauan kandungan PAH pada sedimen laut menjadi penting untuk mengevaluasi kualitas lingkungan perairan dan mengidentifikasi sumber pencemar. Salah satu metode analisis yang banyak digunakan untuk menentukan konsentrasi PAH adalah Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Teknik ini memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi sehingga mampu memisahkan, mengidentifikasi, dan mengkuantifikasi berbagai senyawa PAH dalam matriks lingkungan yang kompleks (Achten & Andersson, 2015). Selain itu, analisis profil senyawa PAH menggunakan GC-MS dapat membantu dalam menentukan sumber pencemaran, baik yang berasal dari aktivitas pembakaran (pirogenik) maupun dari minyak bumi dan turunannya (petrogenik).

Meskipun berbagai penelitian mengenai PAH telah dilakukan di berbagai wilayah dunia, informasi mengenai distribusi dan tingkat pencemaran PAH pada sedimen laut di Indonesia masih relatif terbatas. Padahal, meningkatnya aktivitas industri, transportasi laut, dan urbanisasi di wilayah pesisir berpotensi meningkatkan masukan PAH ke lingkungan perairan. Oleh karena itu, penelitian mengenai analisis polutan PAH pada sedimen laut menggunakan GC-MS perlu dilakukan untuk memperoleh data mengenai jenis dan konsentrasi PAH yang terkandung dalam sedimen serta sebagai dasar dalam upaya pengelolaan dan pengendalian pencemaran lingkungan laut.

## METODE

Sampel sedimen diambil dengan menggunakan alat Van Veen Grab di sekitar Pantai Pulau Lae-lae Makassar, Sulawesi Selatan dibungkus dengan aluminium foil serta dibawa ke laboratorium pada suhu kamar. Sampel sedimen sebanyak 10 gram diekstraksi selama 18 jam dengan pelarut diklorometana dan n-heksana (50:50 = v/v = 1:1) pada suhu 45 °C (Golledge, 2004 & Elias et.al, 2007). Ekstrak yang dihasilkan diuapkan pelarutnya dengan rotavapor Buchii sehingga diperoleh ekstrak bahan organik (EBO) pada suhu 45 °C (EPA Method 8270). Pemisahan zat organik lainnya yang terbawa selama ekstraksi dilakukan clean-up. Clean-up menggunakan alumina yang bersifat basa, dan alumina yang akan digunakan diproses dulu sebagai berikut: ± 200 gram alumina diekstraksi dengan diklorometana dalam soxhlet selama kurang lebih 16 jam, kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu 200 °C selama 8 jam, selanjutnya dinonaktifkan dengan menambahkan akuabides (9 ± 10 %). Hasil destilat dari clean-up dilanjutkan dengan proses pemisahan yaitu menggunakan silika gel ± alumina (1:1) untuk mendapatkan dua fraksi yaitu fraksi alifatik dan aromatik. Fraksi aromatik mengandung PAH dianalisis dengan kromatografi GC-FID dengan metode standar eksternal dengan berbagai variasi kondisi operasional kromatografi gas dan diperoleh kondisi optimal (Tabel 1). Penentuan parameter

kinerja metode (validasi metode) analisis menggunakan sampel sedimen laut yang paling tidak terkontaminasi sebagai blangko PAH.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Masing-masing senyawa standar PAH dianalisis menggunakan metode kromatografi gas berdasarkan kondisi operasi optimum yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil analisis menghasilkan kromatogram dengan puncak karakteristik untuk setiap senyawa, sehingga memungkinkan penentuan waktu retensi masing-masing komponen. Waktu retensi yang diperoleh digunakan sebagai parameter identifikasi awal senyawa PAH dan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Waktu retensi senyawa PAH standar hasil analisis GC-FID

No.	Senyawa PAH	Waktu Retensi (menit)
1	Naphtalene	4,83 ± 0,01
2	Acenaphthene	6,73 ± 0,00
3	Phenanthrene	9,56 ± 0,00
4	Fluoranthene	12,54 ± 0,01
5	Pyrene	13,15 ± 0,00
6	Benzo(a)anthracene	16,86 ± 0,00
7	Perylene	24,05 ± 0,04

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa setiap senyawa PAH memiliki waktu retensi yang berbeda sesuai dengan karakteristik fisikokimianya. Naphtalene menunjukkan waktu retensi paling rendah, yaitu 4,83 menit, sedangkan Perylene memiliki waktu retensi paling tinggi, yaitu 24,05 menit. Perbedaan waktu retensi ini dipengaruhi oleh massa molekul, titik didih, dan interaksi senyawa dengan fase diam kolom kromatografi. Secara umum, senyawa PAH dengan jumlah cincin aromatik yang lebih banyak cenderung memiliki waktu retensi yang lebih lama karena volatilitasnya lebih rendah dan interaksinya dengan fase diam lebih kuat. Nilai simpangan baku yang sangat kecil menunjukkan bahwa metode analisis yang digunakan memiliki presisi yang baik dan menghasilkan waktu retensi yang konsisten pada pengukuran berulang.

Jumlah pelat teoritis ( $N_{req}$ ) untuk semua jenis PAH pada Tabel 3 di bawah ini mempunyai nilai lebih besar dari 7000 sehingga memenuhi syarat dan diharapkan terjadinya kesetimbangan analit dalam fase diam dan fase gerak dapat memungkinkan tercapainya pemisahan PAH secara sempurna. Hal tersebut didukung dengan faktor kapasitas pada umumnya memenuhi syarat nilai  $K'$  lebih besar dari 1 (satu) kecuali pada Naphtalena.

Tabel 3. Faktor kapasitas dan jumlah pelat teoritis senyawa PAH hasil analisis GC-FID menggunakan kolom CP-Sil-8CB

Jenis PAH	tr (menit)	Jumlah Pelat Teoritis (N)	Faktor Kapasitas (k')
Naphtalene	6,944	14.400	0,799
Acenaphthene	6,808	67.600	1,690
Fluoranthene	12,694	47.524	1,754
Pyrene	13,329	40.535,111	3,889
Benzo(a)anthracene	17,094	47.233,78	4,195
Perylene	24,459	169.652,225	6,240

**Ket:**  $t_r$  = waktu retensi senyawa PAH;  $t_m$  = waktu retensi fase gerak (3,888 menit).

Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap senyawa PAH memiliki waktu retensi, faktor kapasitas, dan jumlah pelat teoritis yang berbeda. Meskipun demikian, seluruh senyawa dapat terpisah dengan baik, termasuk senyawa yang memiliki waktu retensi berdekatan. Nilai faktor kapasitas ( $k'$ ) yang diperoleh berada pada rentang 0,799–6,240, mengindikasikan bahwa interaksi antara analit dan fase diam berlangsung secara optimal. Selain itu, tingginya jumlah pelat teoritis menunjukkan efisiensi kolom yang baik dalam memisahkan komponen-komponen PAH. Kualitas pemisahan tersebut juga

terlihat pada kromatogram campuran standar PAH yang memperlihatkan puncak-puncak terpisah secara jelas tanpa adanya tumpang tindih yang signifikan.

Uji linearitas dilakukan pada rentang konsentrasi 0,5–20 ppm untuk mengevaluasi hubungan antara konsentrasi senyawa PAH dan respons detektor GC-FID. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh kurva kalibrasi menghasilkan hubungan linear yang sangat baik, dengan nilai koefisien korelasi (R) berkisar antara 0,991 hingga 0,999. Nilai korelasi yang mendekati satu menunjukkan bahwa respons instrumen berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi analit, sehingga metode yang digunakan memiliki tingkat linearitas yang baik dan layak digunakan untuk analisis kuantitatif PAH.

Tabel 4. Persamaan regresi linear dan koefisien korelasi senyawa PAH

PAH	Persamaan Regresi Linear Rentang Linear (ppm)	R
Naphtalene	$y = 7134x + 470,3$	0,5–20
Acenaphthene	$y = 7593x + 4502$	0,5–20
Phenanthrene	$y = 9816x + 4104$	0,5–20
Fluoranthene	$y = 9522x - 701,6$	0,5–20
Pyrene	$y = 8373x - 4298$	0,5–20
Benzo(a)anthracene	$y = 11871x + 2027$	0,5–20
Perylene	$y = 3594x - 991,9$	0,5–20

Nilai koefisien korelasi yang diperoleh telah memenuhi persyaratan validasi metode analisis, yaitu  $R > 0,99$ . Hasil ini menunjukkan bahwa metode GC-FID yang digunakan memiliki kemampuan yang baik dalam menghasilkan respons yang proporsional terhadap perubahan konsentrasi analit. Dengan demikian, kurva kalibrasi yang diperoleh dapat digunakan secara andal untuk penentuan kadar PAH dalam sampel sedimen maupun matriks lingkungan lainnya. Selain itu, rentang linear 0,5–20 ppm menunjukkan bahwa metode ini memiliki cakupan pengukuran yang cukup luas untuk analisis PAH pada berbagai tingkat konsentrasi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID), seluruh senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) yang diuji, yaitu Naphtalene, Acenaphthene, Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, dan Perylene, dapat dipisahkan dan dideteksi dengan baik. Setiap senyawa menunjukkan waktu retensi yang berbeda, sehingga menghasilkan pemisahan yang optimal tanpa adanya tumpang tindih puncak yang signifikan pada kromatogram. Parameter kinerja kromatografi menunjukkan hasil yang memadai, ditunjukkan oleh nilai faktor kapasitas ( $k'$ ) yang berada pada rentang 0,799–6,240 serta jumlah pelat teoritis yang relatif tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa kolom yang digunakan memiliki efisiensi yang baik dalam memisahkan komponen PAH. Hasil uji linearitas pada rentang konsentrasi 0,5–20 ppm menunjukkan hubungan yang sangat baik antara konsentrasi analit dan respons detektor, dengan koefisien korelasi (R) berkisar antara 0,991–0,999. Nilai tersebut memenuhi kriteria validasi metode dan menunjukkan bahwa metode GC-FID memiliki kemampuan kuantitatif yang baik untuk analisis PAH. Secara keseluruhan, metode GC-FID yang digunakan terbukti memiliki performa yang baik dalam analisis senyawa PAH, ditinjau dari aspek pemisahan, efisiensi kolom, dan linearitas. Oleh karena itu, metode ini layak diterapkan untuk identifikasi dan penentuan kadar PAH pada sampel lingkungan, termasuk sedimen laut, sebagai bagian dari pemantauan pencemaran hidrokarbon aromatik.

## 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/10.1177/11786302251343768>

- 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., Klimkowicz-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](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-af29-28cbc2c0844d/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>