

Logam Berat Fe dan Cr pada Organisme Laut: Ikan, Udang dan Rajungan di Pesisir Semarang Jawa Tengah

Chrisna Adhi Suryono*, Agus Indarjo dan Prastyo Abi Widyananto

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Email: chrisnaundip@gmail.com

Abstract

Heavy Metals Fe and Cr in Marine Organisms: Fish, Shrimp and Crabs on The Coastal Waters of Semarang, Central Java

Coastal areas of Semarang city have several industries that use metals materials. These activities will impact the marine ecosystem, especially the marine biota that live in the areas. The study aims to determine the contamination of Iron (Fe) and Chromium (Cr) metals in marine biota on the of Semarang coastal waters. The analysis of Fe and Cr concentrations in biota tissue using ICPMS. The results of the analysis showed the presence of Cr and Fe metals in biota such as white shrimp (*P. Merguensis*), swimming crab (*P. pelagicus*), and mullet (*Mugil sp.*). The concentration of Fe metal showed a higher concentration in these three marine organisms if compared to Cr metal. The concentration of Fe metal was between 0.27 - 0.909 ppm meanwhile the concentration of Cr metal ranged from 0.06 - 0.214 ppm. The concentration of Fe metal in seawater averaged 1.4 ppm while Cr was 0.87 ppm.

Keywords: Contamination, Iron, Chromium, marine biota

Abstrak

Pesisir Kota Semarang terdapat beberapa industri yang menggunakan logam. Aktivitas tersebut akan berdampak pada ekosistem laut, terutama biota laut yang hidup di dalamnya. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kontaminasi logam Besi (Fe) dan Kromium (Cr) pada biota laut di pesisir Semarang. Analisis konsentrasi Fe dan Cr dalam jaringan biota menggunakan ICPMS. Hasil analisa menunjukkan ditemukannya logam Cr dan Fe dalam biota seperti udang putih (*P. merguensis*), rajungan (*P. pelagicus*), dan ikan belanak (*Mugil sp.*). Konsentrasi logam Fe menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada ketiga organisme laut tersebut dibandingkan dengan logam Cr. Konsentrasi logam Fe antara 0,27 – 0,909 ppm sedangkan konsentrasi logam Cr berkisar antara 0,06 – 0,214 ppm. Sedangkan konsentrasi logam Fe dalam air laut rata-rata 1,4 ppm sedangkan Cr 0,87 ppm.

Kata Kunci: Kontaminasi, besi, kromium, biota laut

PENDAHULUAN

Aktivitas industri yang terkait dengan logam di Pesisir Utara Pulau Jawa sangat pesat sejak era tahun 90an terutama di pesisir Semarang. Komplek industri yang berada disekitar Semarang yang menggunakan logam seperti industri galangan kapal, pabrik baja, pengecoran logam, pelapisan baja berkembang dengan pesat (Suryono & Indarjo, 2022, 2023). Konsekuensi aktivitas tersebut logam berat seperti Hg, As, Pb dan Cu juga telah mengkontaminasi organisme bentik di dasar perairan (Suryono, 2016; Suryono, C.A & Rochaddi. 2017 Suryono & Indarjo, 2022; 2023). Kondisi tersebut tentunya akan memengaruhi organisme laut maupun lingkungan pesisir dan laut di sekitar Semarang.

Keberadaan logam di lingkungan tidak terlepas dari aktivitas manusia dan proses alamiah yang terjadi (França *et al.*, 2005). Meningkatnya konsentrasi logam juga disebabkan karena peningkatan aktivitas industrialisasi, pemanfaatan lahan dan perubahan fungsi lahan secara masif yang dapat meningkatkan masukan air dari daratan ke ekosistem laut (Rahman *et al.*, 2012). Masukan logam berat dalam lingkungan sangat membahayakan karena memiliki sifat yang akumulasi, persisten dan beracun bila masuk dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan gangguan fungsi sistem saraf, penurunan kecerdasan, dan gejala karsinogenik (Hu *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2015). Logam seperti Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Se, Ni, dan Zn diperlukan dalam konsentrasi kecil namun, sebagian besar logam tidak dibutuhkan oleh sistem fisiologis organisme (Najamuddin *et al.*, 2023). Meskipun logam berat secara alami ada di alam dalam konsentrasi yang rendah (trace elements) namun dapat membahayakan kelangsungan hidup organisme bila terjadi peningkatan konsentrasi (Suvarapu & Baek, 2017; Zhu *et al.*, 2020). Proses bioakumulasi dapat meningkatkan konsentrasi logam berat dalam jaringan organisme (Shirdel *et al.*, 2020; Esmailbeigi *et al.*, 2021). Faktor fisika dan kimia lingkungan perairan seperti salinitas, suhu, oksigen terlarut, pH, bahan organik terlarut, padatan tersuspensi dan proses hidrodinamika air dapat mengubah dinamika dan karakter logam berat dalam lingkungan. Sirkulasi massa air (arus), pasang surut, dan proses pengadukan massa air merupakan faktor hidrodinamika dalam perubahan dan sebaran logam berat dalam perairan (Sanusi *et al.*, 2005; Pramoto *et al.*, 2016).

Kontaminasi logam berat dalam biota merupakan kondisi yang umum di perairan dan tersebar luas di dunia (Gupta & Singh, 2011). Tingginya penelitian konsentrasi logam berat dalam biota laut disebabkan oleh bahayanya kontaminasi logam yang dapat terakumulasi dalam tubuh manusia (Canli & Atli, 2003). Beberapa penelitian yang telah dilakukan mencatat dampak logam berat pada biota perairan seperti pada invertebrata (Hamed *et al.*, 2020), moluska (Liu *et al.*, 2017; Elder, J.F., & Collins, J.J. 1991), krustasea (Ramon *et al.*, 2021) dan ikan (Shah *et al.*, 2020). Sifat stabilitas dan sifat non-biodegradasi di lingkungan perairan menyebabkan logam berat dapat terakumulasi di dalam lingkungan seperti organisme, air dan sedimen (Fu *et al.*, 2020). Logam-logam berat Hg, Cd, As, Pb, Ni, Cr, dan Cu diinformasikan terdapat dalam ekosistem laut. Terakumulasinya logam berat dalam sedimen karena faktor berat molekul dan struktur kimiawi (Martoja *et al.*, 1988; Kazemi *et al.*, 2022). Berdasarkan sifat biokimia logam berat esensial (dibutuhkan organisme dalam konsentrasi kecil) dapat menghasilkan efek toksik yang tinggi (Merciai *et al.*, 2014). Kromium (Cr), besi (Fe) dan mangan (Mn) merupakan logam esensial yang memiliki peran biologis penting dalam organisme perairan (Velusamy *et al.*, 2014; Yu *et al.*, 2020). Untuk melengkapi informasi kontaminasi logam berat terhadap biota di daerah tersebut maka penelitian ini bertujuan mengetahui kontaminasi logam Kromium (Cr) dan Besi (Fe) pada biota laut di perairan Semarang Jawa Tengah.

MATERI DAN METODE

Sampel biota dan air laut dalam penelitian ini diambil dari wilayah perairan pesisir Semarang. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga kali pada titik-titik sampling yang ditetapkan untuk mewakili kawasan penangkapan ikan di pesisir Semarang. Pendekatan ini dimaksudkan agar sampel yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi lingkungan perairan serta potensi paparan logam berat pada biota yang umum dimanfaatkan oleh masyarakat pesisir.

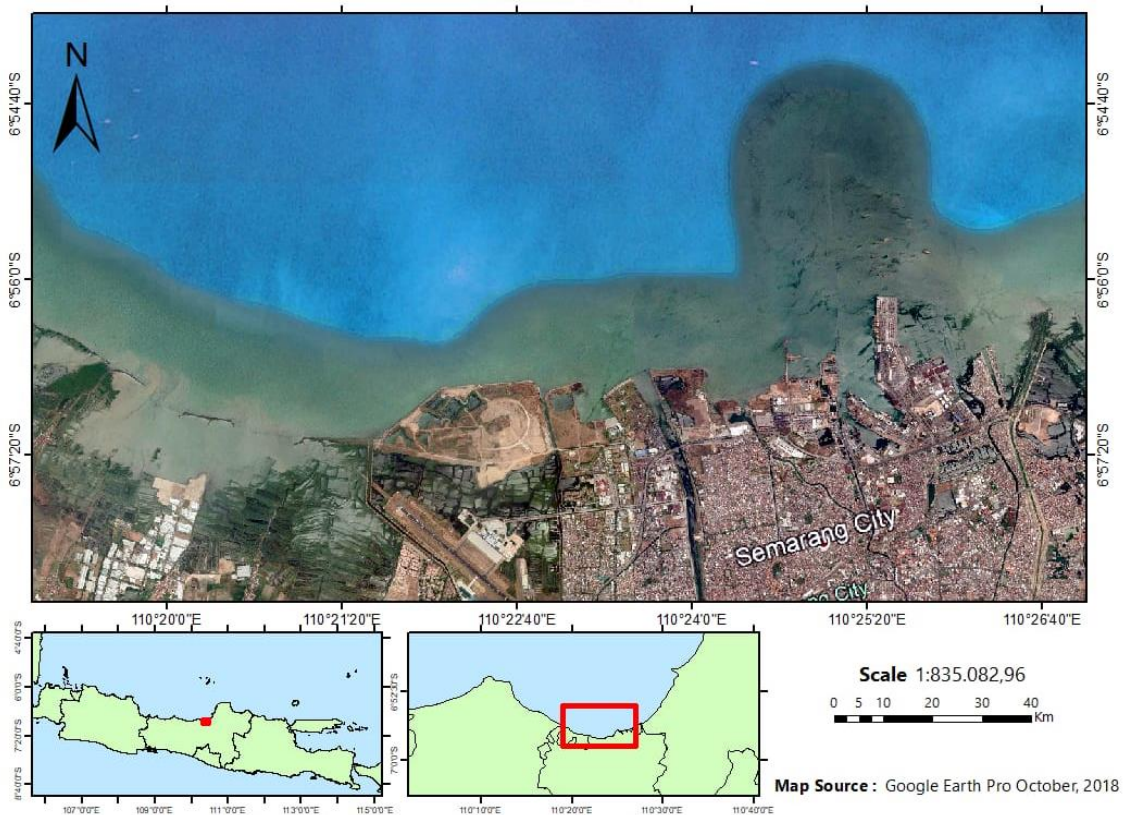
Jenis sampel yang dikumpulkan meliputi air laut dan beberapa jenis biota akuatik, yaitu ikan belanak, udang putih, dan rajungan. Seluruh sampel tersebut dianalisis untuk mengetahui kandungan logam berat, khususnya Kromium (Cr) dan Besi (Fe), sebagai indikator pencemaran logam di lingkungan perairan pesisir.

Pengambilan sampel biota dilakukan menggunakan alat tangkap ikan dan kerang, yaitu jaring dan dragger, sesuai dengan pendekatan yang telah digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya di wilayah yang sama (Suryono *et al.*, 2018; Suryono, 2019; Suryono & Indardjo, 2022; 2023). Pemilihan alat tangkap tersebut disesuaikan dengan karakteristik habitat dan jenis

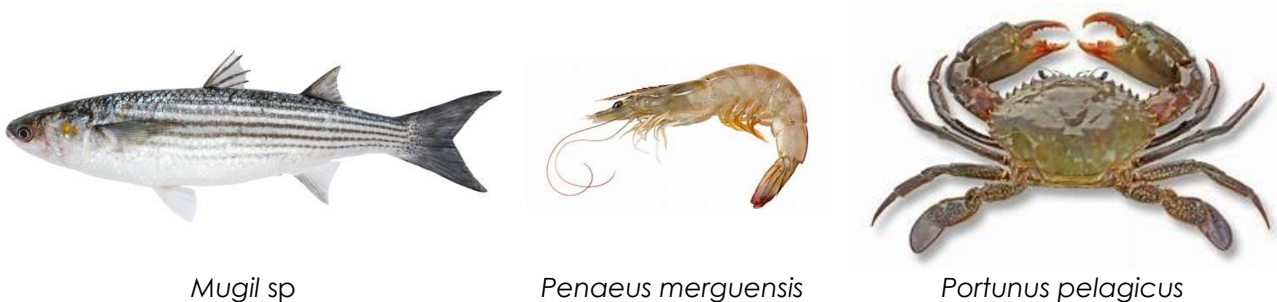
organisme target, sehingga memungkinkan pengambilan sampel yang representatif dari masing-masing kelompok biota.

Analisis kandungan logam berat pada sampel air dan biota mengacu pada metode yang dikembangkan oleh Liu *et al.* (2013). Pada tahap preparasi sampel biota, bagian daging dipisahkan kemudian didestruksi menggunakan asam nitrat (HNO₃) super pure (Merck, Germany) di dalam tabung Teflon. Proses destruksi ini bertujuan untuk melarutkan matriks organik sehingga unsur logam yang terkandung di dalam jaringan biota dapat dianalisis secara akurat.

Selanjutnya, konsentrasi logam berat Cr dan Fe dalam sampel diukur menggunakan Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), yaitu Elan DRC II, Perkin Elmer Company, USA. Metode ini dipilih karena memiliki sensitivitas dan akurasi yang tinggi dalam mendeteksi logam berat pada konsentrasi rendah, sehingga sesuai untuk analisis kualitas lingkungan dan keamanan biota konsumsi.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel di Pesisir Perairan Semarang



Gambar 2. Sampel yang didapat pada lokasi penelitian

HASIL & PEMBAHASAN

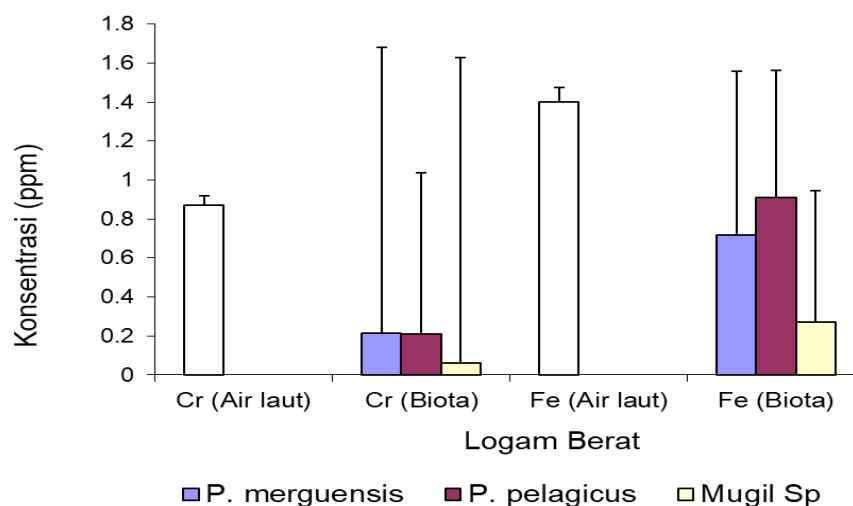
Hasil analisa sampel biota dan air laut ditemukan logam (Cr dan Fe) yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 3. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi logam Fe lebih tinggi dibandingkan logam Cr baik pada biota maupun air laut. Demikian pula, konsentrasi Fe dalam air laut lebih tinggi dibandingkan Cr. Bila dilihat dari habitat organisme tersebut, udang putih dan rajungan yang hidup di dasar perairan (demersal) menunjukkan konsentrasi kedua logam yang lebih tinggi dibandingkan ikan belanak yang hidup pada kolom air bagian permukaan (pelagis). Tingginya konsentrasi logam pada organisme demersal diduga berkaitan dengan akumulasi logam pada sedimen yang berperan sebagai tempat deposisi berbagai kontaminan dari perairan sekitarnya. Selain itu, interaksi yang lebih intensif antara organisme demersal dengan sedimen selama aktivitas mencari makan dan hidup di dasar perairan dapat meningkatkan potensi paparan serta akumulasi logam dalam jaringan tubuhnya.

Namun konsentrasi kedua logam dalam biota tersebut masih di bawah konsentrasi kedua logam tersebut dalam air laut di mana biota tersebut didapatkan. Ditemukannya logam seperti Cr dan Fe dalam organisme laut merupakan hal yang logis karena organisme tersebut mampu mengakumulasi logam berat dari lingkungannya. Apalagi, logam tersebut ditemukan dalam air laut di mana organisme tersebut hidup dengan konsentrasi logam yang lebih tinggi. Informasi lebih lanjut, menginformasikan bahwa logam berat tersebar di semua lingkungan termasuk dalam lingkungan laut. Logam-logam tersebut biasanya ditemukan di dalam batuan, tanah, air maupun jaringan organisme dalam jumlah kecil (Fan, *et al.*, 2020; Gu, *et al.*, 2022). Temuan ini menunjukkan bahwa biota laut di perairan Semarang telah terpapar logam Fe dan Cr yang terdapat dalam media perairannya.

Keberadaan logam dalam ekosistem laut tersebut berasal dari sumber alami, dan aktivitas manusia (Ahumada *et al.*, 2021). Masuknya logam tersebut ke dalam perairan laut berasal dari peleburan logam dan dari aliran sungai di daerah-daerah yang mengandung deposit logam (Dang *et al.*, 2022). Maka tingginya logam Cr dan Fe dalam air laut dapat dipahami karena secara alami logam tersebut sudah ada dalam lingkungan dan ditambah masukan dari aktivitas manusia. Kondisi tersebut dapat dimaklumi karena logam ada dalam lingkungan laut akibat aktivitas manusia seperti industri, pertambangan, pertanian, maupun limbah rumah tangga. Disamping itu keberadaannya logam Fe di lingkungan laut semakin meningkat dan beracun bila siklus biogeokimianya terganggu oleh masukan antropik. Informasi lebih lanjut menyatakan bahwa pencemaran logam berat di lingkungan laut masuk melalui atmosfer (Barletta *et al.*, 2019; Dang *et al.*, 2022), dan masukan dari kegiatan antropogenik yang terus-menerus yang akhirnya masuk ke ekosistem laut (La Colla *et al.*, 2017; Jiang *et al.*, 2018). Pencemaran logam berat dalam lingkungan laut juga telah mengalami peningkatan sejak revolusi industri sebesar tiga kali lipat (Samantara *et al.*, 2023). Hal tersebut tentunya juga terjadi di perairan laut Semarang. Hasil penelitian kandungan logam berat pada biota seperti ikan belanak, udang putih dan rajungan yang ditangkap di sekitar perairan Semarang menunjukkan kontaminasi logam Cr dan Fe. Konsentrasi logam berat yang terdapat dalam jaringan biota berbeda pada kedua jenis logam tersebut. Ditemukannya logam yang mengontaminasi jaringan biota diduga karena masukan dari luar. Kontaminan logam berat seperti Cr dan Fe telah menjadi perhatian karena tingkat toksisitasnya, persistennya dan akumulasi dalam rantai makanan di lingkungan laut (Liu *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2021). Ditemukannya logam berat Cr dan Fe dalam air laut di perairan Semarang menimbulkan dugaan terkontaminasi biota yang hidup di dalamnya, karena logam tersebut yang terlarut dapat terakumulasi dengan cara penyerapan.

Tabel 1. Rata-rata Konsentrasi Logam Berat (ppm) dalam Biota dan Air Laut Perairan Semarang

Logam	Cr	Fe
<i>P. merguensis</i>	0.214	0.718
<i>P pelagicus</i>	0.211	0.909
<i>Mugil sp</i>	0.06	0.27
Air Laut	0.87	1.4



Gambar 3. Hasil analisa sampel biota dan air laut

KESIMPULAN

Ikan belanak, udang putih dan rajungan yang diambil dari perairan Semarang telah terkontaminasi logam Cr dan Fe. Konsentrasi logam Fe berkisar antara 0,27–0,909 ppm sedangkan Cr berkisar antara 0,06–0,214 ppm. Konsentrasi Fe tertinggi ditemukan pada rajungan sedangkan Cr pada udang putih. Konsentrasi kedua logam Fe dalam air laut 1,4 ppm sedangkan Cr 0,87 ppm lebih tinggi bila dibandingkan dengan yang ada di ketiga biota.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan luaran dari penelitian Non APBN Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro Nomor: 66/UN7.F10/PP/II/2024, dengan judul penelitian Konsentrasi Logam Berat dan Pestisida pada Organisme Laut (Ikan, Udang dan Kepiting) di pesisir Semarang

DAFTAR PUSTAKA

- Ahumada, I., Rudolph, A., Gonzalez, E., Fones, G., Saldias, G., & Ahumada-Rudolph, R. (2011). Dissolved trace metals in the water column of Reloncaví Fjord, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 39, 567–574.
- Barletta, M., Lima, A. R. A., & Costa, M. F. (2019). Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries. *Science of the Total Environment*, 651, 1199–1218.
- Canli, M., & Atli, G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution*, 121, 129–136. doi: 10.1016/S0269-7491(02)00194-X
- Dang, T. T., Vo, T. A., Duong, M. T., Pham, T. M., Nguyen, Q. V., Nguyen, T. Q., Bui, M. Q., Syrbu, N. N., & Do, M. V. (2022). Heavy metals in cultured oysters (*Saccostrea glomerata*) and clams (*Meretrix lyrata*) from the northern coastal area of Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*, 184, 114140. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.114140
- Elder, J. F., & Collins, J. J. (1991). Freshwater molluscs as indicators of bioavailability and toxicity of metals in surface-water systems. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 122, 37–79.
- Esmailbeigi, M., Kalbassi, M. R., Seyedi, J., Tayemeh, M. B., & Moghaddam, J. A. (2021). Intra and extracellular effects of benzo[a]pyrene on liver, gill and blood of Caspian white fish (*Rutilus frisii*

- kutum): Cytogenotoxicity and histopathology approach. *Marine Pollution Bulletin*, 163, 111942. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111942
- Fan, H., Chen, S., Li, Z., Liu, P., Xu, C., & Yang, X. (2020). Assessment of heavy metals in water, sediment and shellfish organisms in typical areas of the Yangtze River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110864. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110864
- França, S., Vinagre, C., Caçador, I., & Cabral, H. N. (2005). Heavy metal concentration in sediment, benthic invertebrates and fish in three salt marsh areas subjected to different pollution loads in the Tagus Estuary (Portugal). *Marine Pollution Bulletin*, 50, 993–1018.
- Fu, Y., Guo, Z., Pan, F., Cai, Y., Wu, J., & Wang, B. (2020). Distribution characteristics and release mechanisms of Pb in surface sediments in different aquatic environments. *Journal of Contaminant Hydrology*, 235, 103704. doi: 10.1016/j.jconhyd.2020.103704
- Gu, X., Lin, C., Liu, Z., Chu, Z., Ouyang, W., He, M., & Liu, X. (2022). Heavy metal distribution in Chinese coastal sediments and organisms: Human impacts, probabilistic risks and sensitivity analysis. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7, 100147. doi: 10.1016/j.hazadv.2022.100147
- Gupta, S. K., & Singh, J. (2011). Evaluation of mollusc as sensitive indicator of heavy metal pollution in aquatic system: A review. *IIOAB Journal*, 2, 49–57.
- Hamed, E., Sayed, A. E., Khaled, A., Ahdy, H., Omar, A. H., & Abdelrazek, A. F. (2020). Health risk assessment of heavy metals in three invertebrate species collected along Alexandria Coast, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46, 389–395. doi: 10.1016/j.ejar.2020.11.001
- Hu, B. Q., Cui, R. Y., Li, J., Wei, H. L., Zhao, J. T., Bai, F. L., Song, W. Y., & Ding, X. (2013). Occurrence and distribution of heavy metals in surface sediments of the Changhua River estuary and adjacent shelf (Hainan Island). *Marine Pollution Bulletin*, 76, 400–405.
- Jiang, Q. T., He, J. Y., Ye, G. Q., & Christakos, G. (2018). Heavy metal contamination assessment of surface sediments of the East Zhejiang coastal area during 2012–2015. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163, 444–455.
- Kazemi, A., Esmailbeigi, M., Ansari, A., Ghanavati Asl, A., & Mohammadzadeh, B. (2022). Alterations and health risk assessment of the environmental concentration of heavy metals in the edible tissue of marine fish (*Thunnus tonggol*) consumed by different cooking methods. *Regional Studies in Marine Science*, 53, 102361. doi: 10.1016/j.rsma.2022.102361
- La Colla, N. S., Bott, S. B., Oliva, A. L., & Marcovecchio, J. E. (2017). Tracing Cr, Pb, Fe and Mn occurrence in the Bahía Blanca estuary through commercial fish species. *Chemosphere*, 175, 286–293. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.02.002
- Liu, J., Cao, L., & Dou, S. (2017). Bioaccumulation of heavy metals and health risk assessment in three benthic bivalves along the coast of Laizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 117, 98–110.
- Liu, J. H., Cao, L., Huang, W., & Dou, S. Z. (2013). Species- and tissue-specific mercury bioaccumulation in five fish species from Laizhou Bay in the Bohai Sea of China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 31, 504–513.
- Liu, R., Jiang, W., Li, F., Pan, Y., Wang, C., & Tian, H. (2021). Occurrence, partition, and risk of seven heavy metals in sediments, seawater, and organisms from the eastern sea area of Shandong Peninsula, Yellow Sea, China. *Journal of Environmental Management*, 279, 111771. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111771
- Martoja, M., Ballan-Dufrancais, C., Jeantet, A. Y., Truchet, M., & Coulon, J. (1988). Influence of the chemical composition of the environment on bivalve animals contaminated experimentally by an industrial effluent. *Annales de l'Institut Océanographique*, 64, 1–24.
- Merciai, R., Guasch, H., Kumar, A., Sabater, S., & García-Berthou, E. (2014). Trace metal concentration and fish size: Variation among fish species in a Mediterranean river. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 107, 154–161.
- Najamuddin, Inayah, Labenua, R., Samawi, M. F., Yaqin, K., Paembonan, Ismail, F., & Harahap, Z. A. (2023). Distribution of heavy metals Hg, Pb, and Cr in the coastal waters of small islands of Ternate, Indonesia. *Acta Ecologica Sinica*. doi: 10.1016/j.chnaes.2023.09.002
- Prartono, T., Najamuddin, Sanusi, H. S., & Nurjaya, I. W. (2016). Seasonal distribution and geochemical fractionation of heavy metals from surface sediment in a tropical estuary of

- Jeneberang River, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 111, 456–462. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.106
- Rahman, M. S., Molla, A. H., Saha, N., & Rahman, A. (2012). Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. *Food Chemistry*, 134(4), 1847–1854.
- Ramon, D., Morick, D., Croot, P., Berzak, R., Scheinin, A., Tchernov, D., Davidovich, N., & Britzi, M. (2021). A survey of arsenic, mercury, cadmium, and lead residues in seafood (fish, crustaceans, and cephalopods) from the southeastern Mediterranean Sea. *Journal of Food Science*, 86, 1153–1161. doi: 10.1111/1750-3841.15627
- Samantara, M. K., Panigrahi, S., Mohanty, A. K., Sahu, G., Mishra, S. S., Palaniswami, K., Subramanian, V., & Venkatraman, V. (2023). Heavy metal concentration in marine edible fishes and associated health risks: An assessment from Tamil Nadu Coast, Bay of Bengal. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5, 193–204. doi: 10.1016/j.enceco.2023.09.002
- Sanusi, H. S., Fitriati, M., & Haeruddin. (2005). The role of suspended solids in reducing the dissolved heavy metals Hg, Pb, and Cd in the water column of Jakarta Bay. *Ilmu Kelautan*, 10(2), 72–77.
- Shah, N., Khan, A., Ali, R., Marimuthu, K., Uddin, M. N., Rizwan, M., Rahman, K. U., Alam, M., Adnan, M., Jawad, S. M., & Khisroon, M. (2020). Monitoring bioaccumulation (in gills and muscle tissues), hematology, and genotoxic alteration in *Ctenopharyngodon idella* exposed to selected heavy metals. [Data jurnal belum lengkap pada sumber yang diberikan].
- Shirdel, I., Kalbassi, M. R., Esmailbeigi, M., & Tinoush, B. (2020). Disruptive effects of nonylphenol on reproductive hormones, antioxidant enzymes, and histology of liver, kidney and gonads in Caspian trout smolts. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 232, 108756. doi: 10.1016/j.cbpc.2020.108756
- Suryono, C. A. (2016). Polusi logam berat antropogenik (As, Hg, Cr, Pb, Cu, dan Fe) pada pesisir Kecamatan Tugu Kota Semarang, Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(1), 37–42.
- Suryono, C. A., & Rochaddi. (2017). Logam berat Pb, Cr, dan Cd dalam perairan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1), 25–29.
- Suryono, C. A., Pratikto, I., & Rusmaharani, A. (2019). Logam berat antropogenik Pb dan Cu pada lapisan sedimen permukaan dan dasar muara sungai di Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(1), 87–92. doi: 10.14710/jkt.v22i1.3223
- Suryono, C. A., Widada, S., Rochaddi, B., Subagiyo, Setyati, W. A., & Susilo, E. S. (2018). Kontaminasi arsen, merkuri, dan magnesium pada air laut, sedimen dan *Anadara inaequalis* (Mollusca: Bivalvia, Bruguière, 1792) di perairan Brebes, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(2), 150–154. doi: 10.14710/jkt.v21i2.3850
- Suryono, C. A., & Indardjo, A. (2022). Logam berat mercury (Hg) dan arsen (As) pada hasil tangkapan nelayan pesisir Semarang dan Tegal, Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(3), 456–462. doi: 10.14710/jkt.v25i3.16279
- Suryono, C. A., & Indardjo, A. (2023). Konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada hasil tangkapan nelayan pesisir Semarang dan Tegal, Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(1), 155–162. doi: 10.14710/jkt.v26i1.17321
- Suvarapu, L. N., & Baek, S. O. (2017). Determination of heavy metals in the ambient atmosphere. *Toxicology and Industrial Health*, 33, 79–96.
- Wang, Z., Wang, Y., Chen, L., Yan, C., Yan, Y., & Chi, Q. (2015). Assessment of metal contamination in coastal sediments of the Maluan Bay (China) using geochemical indices and multivariate statistical approaches. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 43–53.
- Yu, B., Wang, X., Dong, K. F., Xiao, G., & Ma, D. (2020). Heavy metal concentrations in aquatic organisms (fishes, shrimp and crabs) and health risk assessment in China. *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111505. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111505
- Zhu, A., Liu, J., Qiao, S., & Zhang, H. (2020). Distribution and assessment of heavy metals in surface sediments from the Bohai Sea of China. *Marine Pollution Bulletin*, 153, 110901.