

Kontaminasi Logam Cr dan Fe pada Organisme Benthik Laut yang Ditangkap di Perairan Jawa Tengah

Chrisna Adhi Suryono*, dan Agus Indardjo

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

Abstract

The Contamination of Metal Cr and Fe in Benthic Marine Organisms in Central Java waters

Coastal areas of Semarang and Tegal, there are several industries that use metal materials. These activities will have an impact on the marine ecosystem, especially the biota that lives in it. The research aims to determine the metal contamination of Chromium (Cr) and Iron (Fe) in benthic biota in the waters of Semarang and Tegal, Central Java. Analysis of Cr and Fe concentrations in biota tissues using ICPMS. The results of analysis of Cr and Fe metals in the biota tissues of white shrimp (*P. Merguensis*), crab (*P. pelagicus*), coocle (*A. inaequalvis*) and gastropods (*H. ternatanus*) found Cr and Fe metals in the biota tissues. The concentration of Cr metal in biota found in Semarang ranges from 0.211–0.235 ppm, while in Tegal it ranges from 0.1–0.218 ppm. Fe metal concentrations from Semarang biota ranged from 0.718 – 0.909 ppm, while those from Tegal were 0.733 – 1.429 ppm. The concentrations of Cr and Fe metals in each biota and research location showed no differences, while Fe metals showed differences.

Keywords: Chromium, Iron, marine biota, Contamination

Abstrak

Pesisir kota Semarang dan Tegal terdapat beberapa industri yang menggunakan bahan logam. Aktifitas tersebut akan berdampak pada ekosistem laut terutama biota yang hidup didalamnya. Penelitian bertujuan mengetahui kontaminasi logam Kromium (Cr) dan Besi (Fe) pada biota benthik di perairan Semarang dan Tegal Jawa Tengah. Analisa konsentrasi Cr dan Fe dalam jaringan biota menggunakan ICPMS. Hasil analisa logam Cr dan Fe dalam jaringan biota udang putih (*P. Merguensis*), rajungan (*P. pelagicus*), kerang bulu (*A. inaequalvis*) dan gastropoda (*H. ternatanus*) ditemukan logam Cr dan Fe dalam jaringan biota. Konsentrasi logam Cr pada biota yang ditemukan di Semarang berkisar 0,211 – 0,235 ppm, sedangkan di Tegal berkisar 0,1 – 0,218 ppm. Konsentrasi logam Fe dari biota Semarang berkisar antara 0,718 – 0,909 ppm, sedangkan yang berasal dari Tegal 0,733 – 1,429 ppm. Konsentrasi logam Cr dan Fe pada setiap biota dan lokasi penelitian menunjukkan tidak adanya perbedaan sedangkan logam Fe menunjukkan adanya perbedaan.

Kata Kunci : Kromium, Besi, biota laut, Kontaminasi

PEDAHULUAN

Aktifitas di Pesisir Utara Pulau Jawa sangat pesat terutama industri yang terkait dengan logam seperti yang berada di Semarang dan Tegal. Industri yang terkait dengan logam seperti industri galangan kapal, pabrik baja, pengecoran logam, pelapisan baja banyak terdapat di kedua daerah tersebut (Suryono & Indardjo, 2022, 2023). Banyaknya aktifitas yang bergerak disektor manufaktur yang menggunakan logam di daerah pesisir tentunya juga akan berdampak dilingkungan tersebut.

Logam terdapat di lingkungan perairan sebagai akibat dari proses alam dan aktivitas manusia (França *et al.*, 2005). Aktivitas antropogenik dapat meningkatkan konsentrasi logam karena pesatnya industrialisasi, urbanisasi, perubahan penggunaan lahan secara besar-besaran, dan juga dapat dikaitkan dengan peningkatan limpasan air dari daratan (Rahman *et al.*, 2012). Pencemaran logam berat di lingkungan terus mendapat perhatian serius karena sifatnya yang persisten, akumulatif, toksik yang dapat mengakibatkan gangguan fungsi sistem saraf, penurunan kecerdasan, dan gejala karsinogenik pada manusia (Hu *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2015). Kebanyakan logam berat bersifat non-esensial (tidak diperlukan dalam sistem fisiologis organisme) kecuali Fe, Cu,

Co, Cr, Mn, Se, Ni, dan Zn yang diperlukan dalam konsentrasi kecil (Najamuddin *et al.*, 2023). Logam berat di lingkungan alam terdapat dalam konsentrasi yang sangat kecil (*trace elements*), namun konsentrasinya dapat meningkat ke tingkat yang membahayakan kelangsungan hidup organisme (Suvarapu & Baek, 2017; Zhu *et al.*, 2020). Peningkatan konsentrasi logam berat tersebut di lingkungan perairan terjadi karena sifat bioakumulatifnya (Esmailbeigi *et al.*, 2021; Shirdel *et al.*, 2020). Dinamika dan perilaku logam berat di lingkungan dipengaruhi oleh parameter fisika-kimia lingkungan perairan seperti suhu, salinitas, pH, oksigen terlarut, padatan tersuspensi, kandungan organik terlarut dan proses hidrodinamika air. Faktor hidrodinamik yang berperan penting dalam dinamika dan sebaran logam berat di lingkungan perairan adalah sirkulasi massa air oleh arus, pasang surut, dan proses pengadukan atau pencampuran massa air (Pranoto *et al.*, 2016).

Logam berat adalah kontaminan yang paling umum dan tersebar luas di biota perairan di seluruh dunia (Gupta & Singh, 2011). Karena bahaya senyawa tersebut banyak penelitian tentang logam berat terhadap biota di perairan (Canli & Atli, 2003). Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mempelajari dampak logam berat pada biota perairan, seperti ikan (Shah *et al.*, 2020), invertebrata (Hamed *et al.*, 2020), moluska (Abd-Allah *et al.*, 2020), dan krustasea (Ramon *et al.*, 2021). Logam berat dapat terakumulasi di dalam air dan organisme serta sedimen karena stabilitas dan sifat non-biodegradasinya di lingkungan perairan (Fu *et al.*, 2020). Logam berat seperti Hg, Cd, As, Pb, Ni, Cr, dan Cu telah dilaporkan terdapat di ekosistem laut, terutama di sedimen tempat logam terakumulasi karena berat molekul dan struktur kimianya yang berat (Yang *et al.*, 2020; Kazemi *et al.*, 2022). Berdasarkan sifat biokimianya, banyak logam yang dibutuhkan oleh organisme dalam konsentrasi kecil (logam esensial), namun dapat menghasilkan efek toksik dalam jumlah berlebihan (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). Logam berat seperti Hg, As, Pb dan Cu juga telah mengkontaminasi organisme benthik didasar perairan Semarang dan Tegal (Suryono & Indarjo, 2022; 2023). 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 benthik di perairan Semarang dan Tegal Jawa Tengah.

MATERI DAN METODE

Sampel biota dalam penelitian diambil dari pesisir Utara Jawa Tengah tepatnya di pesisir Semarang dan Tegal. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan alat penangkap kerang (*dragger/ garuk*) (Suryono *et al.*, 2018; 2019; Suryono & Indardjo, 2022; 2023) pada bulan Mei – Juli 2023. Sampel selanjutnya diambil dagingnya untuk analisa logam berat Kromium (Cr) dan Besi (Fe), analisa logam berat mengacu pada (Liu *et al.*, 2013). Tahapan analisa logam berat dalam daging biota: Didistribusi daging dengan HNO₃ (Super pure, Merck, Germany) dalam tabung Teflon. Konsentrasi logam diukur dengan Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) (Elan DRC II, Perkin Elmer Company, USA).

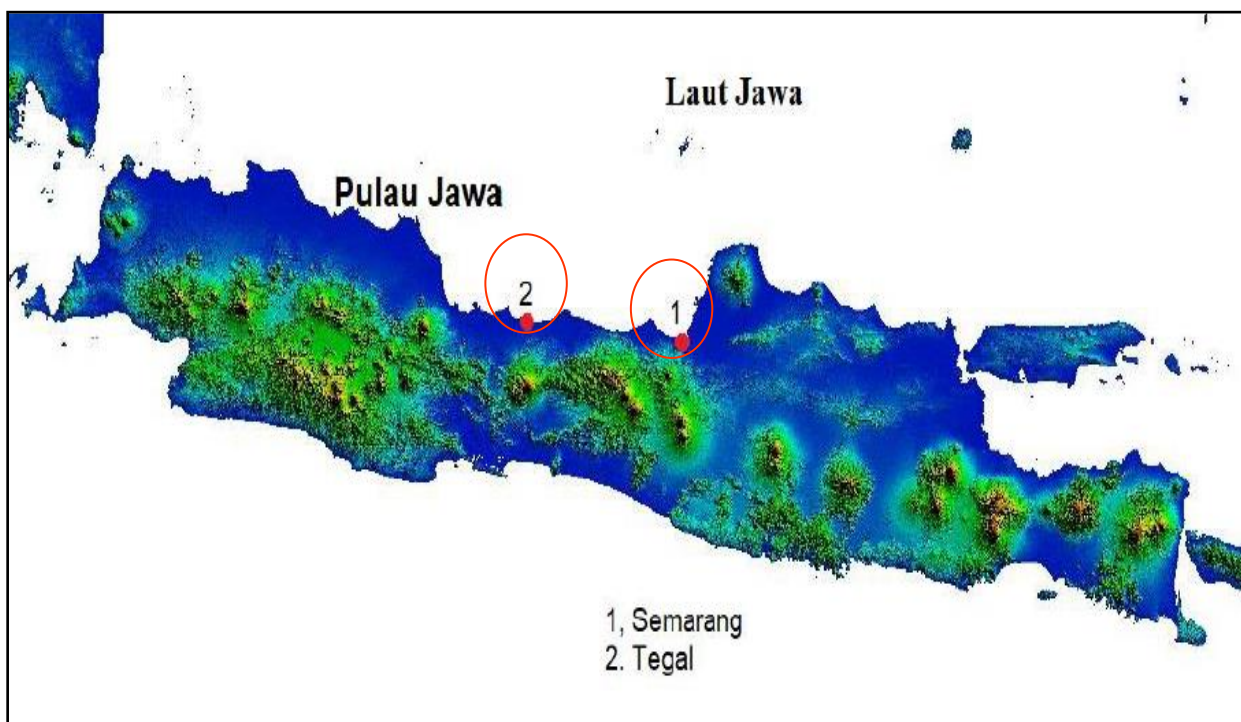
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengambilan sampel dari perairan Semarang dan Tegal dengan menggunakan *dragger* sebagian besar berupa biota sebagai berikut: Udang putih (*Penaeus merguensis*), Rajungan (*Portunus pelagicus*), Kerang bulu (*Anadara inaequalis*) dan Gastropoda (*Hemifusus ternatanus*) (Gambar 2).

Hasil analisa terhadap logam berat Cr dan Fe pada biota yang ditemukan di daerah perairan pesisir Semarang dan Tegal mengindikasikan bahwa biota biota tersebut telah terkontaminasi oleh logam Cr dan Fe. Konsentrasi logam Cr pada biota yang ditemukan di Semarang berkisar 0,211–0,235 ppm, sedangkan di Tegal berkisar 0,1–0,218 ppm. Kontaminasi logam Fe terhadap biota yang berasal dari Semarang berkisar antara 0,718–0,909 ppm, sedangkan yang berasal dari Tegal 0,733–1,429 ppm. Kontaminasi logam terhadap biota benthik

yang ditemukan dari daerah Semarang dan Tegal bukan merupakan hal mengejutkan. Karena beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sedimen dan air laut yang berasal dari perairan Semarang juga ditemukan logam berat (Suryono, 2016; Suryono *et al.*, 2019). Informasi lebih lanjut mengungkapkan bahwa beberapa logam berat juga ditemukan di perairan, sedimen dan air tanah sekitar Semarang dan Tegal (Suryono & Rochaddi, 2017; Suryono *et al.*, 2018; Suryono & Indardjo, 2022). Keberadaan logam pada lingkungan di daerah tersebut diduga menjadi sumber kontaminasi terhadap biota yang ada di perairan daerah tersebut. Beberapa penelitian sebelumnya menginformasikan bahwa kontaminasi biota oleh logam berat disebabkan tercemarnya lingkungan laut seperti air laut dan sedimen oleh logam berat. Lingkungan laut yang telah tercemar logam berat seperti muara sungai, teluk, dan pesisir yang akhirnya akan menkontaminasi organisme laut yang hidup di lingkungan tersebut (Barletta *et al.*, 2019; Vallius, 2015; Ahumada *et al.*, 2011). Proses kontaminasi logam berat dalam biota tergantung dari konsentrasi maupun ikatan kimiawinya dalam lingkungan tersebut (Fan *et al.*, 2020).

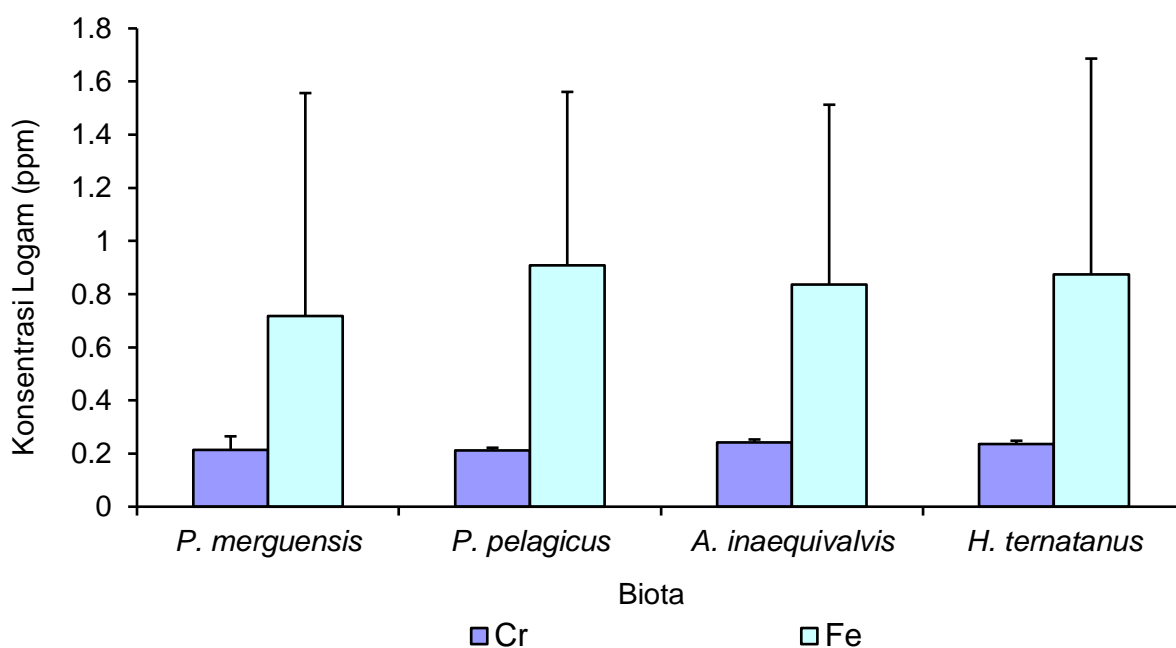
Konsentrasi logam berat Cr pada biota yang didapat di perairan Semarang secara berurutan: Kerang bulu > Gastropoda > Udang putih > Rajungan. Sedangkan kontaminasi logam Fe di secara berurutan sebagai berikut: Kerang bulu > Gastropoda > Udang putih > Rajungan (Gambar 3). Konsentrasi logam Cr terhadap biota laut yang ditangkap perairan Tegal secara berurutan sebagai berikut Gastropoda > Rajungan > Udang putih > Kerang bulu. Sedangkan konsentrasi logam Fe terhadap biota secara berurutan sebagai berikut Rajungan > Gastropoda > Kerang bulu > Udang putih (Gambar 4). Konsentrasi logam Cr tertinggi ditemukan pada kerang bulu *A. inaequalvis* yang ditemukan di perairan Semarang sebesar (0,242 ppm), sedangkan konsentrasi logam Fe tertinggi ditemukan pada rajungan *P. pelagicus* sebesar 1,429 ppm yang ditemukan di perairan Tegal. Ditemukannya logam berat seperti Cr dan Fe dalam biota bentik ditak terlepas dari logam tersebut dapat masuk ke dalam jaringan biota secara langsung atau melalui rantai makanan (Suryono & Indardjo, 2023; Dang, *et al.*, 2022; Jiang *et al.*, 2018; 2020) Konsentrasi logam berat tersebut bervariasi terhadap biota laut, terutama antara biota perenang seperti dan organisme bentik karena habitat, kebiasaan hidup dan fisiologis yang berbeda maka organisme bentik lebih tinggi (Gu *et al.*, 2022). Kondisi habitat yang berbeda tersebut yang diduga menyebabkan perbedaan konsentrasi logam antar biota di daerah penelitian.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Biota di Pesisir Semarang dan Tegal, Jawa Tengah

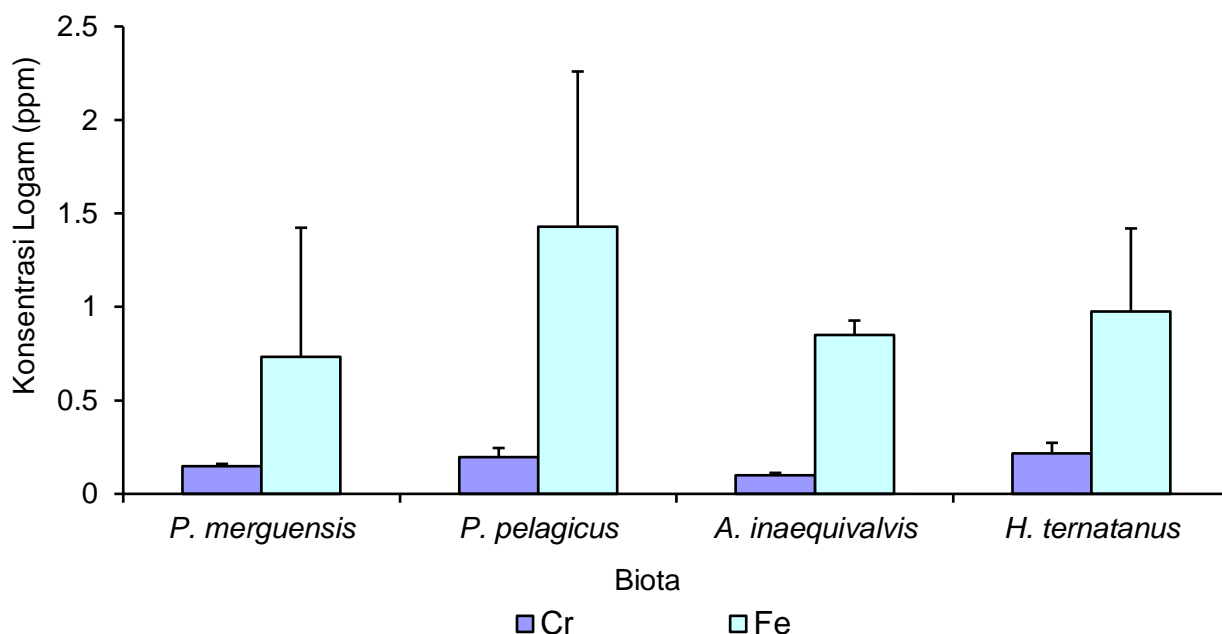


Gambar 2. Biota yang di dapat Perairan Semarang dan Tegal: (i) Udang putih, (ii) Rajungan, (iii) Kerang bulu dan (iv) Gastropoda.



Gambar 3. Konsentrasi Logam Kromium (Cr) dan Besi (Fe) di Biota di yang Ditangkap di Perairan Semarang

Logam Cr yang terdapat di semua biota dikedua wilayah (Semarang dan Tegal) menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata ($p=0,06 \geq 0,05$). Namun sebaliknya logam Fe yang terdapat dalam biota di kedua wilayah tersebut menunjukkan adanya perbedaan ($p=0,04 \leq 0,05$). Demikian juga bila dilihat konsentrasi Cr antar biota di daerah Semarang menunjukkan adanya perbedaan ($p=0,046 \leq 0,05$). Namun sebaliknya konsentrasi logam Fe dalam biota yang berasal dari Semarang menunjukkan tidak ada perbedaan ($p = 0,054 \geq 0,05$). Logam Cr antar biota di daerah Tegal tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($p=0,065 \geq 0,05$). Hal yang berbeda terlihat pada logam Fe yang terdapat dalam biota di perairan Tegal terlihat adanya perbedaan yang sangat nyata ($p=0,005 \leq 0,01$). Kontaminasi logam berat dalam organisme perairan dapat terjadi karena faktor faktor seperti umur, ukuran, jenis kelamin, aktifitas makan, dan status reproduksi suatu organisme laut. Sedangkan faktor lain seperti geokimiaawi lingkungan perairan yang dapat mempengaruhi bioakumulasi adalah karbon organik, kesadahan air, temperature, pH, oksigen terlarut, ukuran sedimen, dan sistem hidrologi (Elder and Collins, 1991; Martoja *et al.*, 1988). Logam berat Cr salah satu yang beracun dan dapat masuk secara langsung ke organisme laut dan teramplifikasi melalui rantai makanan (Jiang *et al.*, 2018). Ditemukanya logam Cr dan Fe dalam organisme benthik yang terdapat didaerah penelitian tidak terlepas ditemukanya logam tersebut



Gambar 4. Konsentrasi Logam Kromium (Cr) dan Besi (Fe) di Biota di yang Ditangkap di Perairan Tegal

dalam air laut dan sedimen (Suryono, 2016). Berdasarkan sifat biokimianya, banyak logam yang dibutuhkan oleh organisme hidup dalam konsentrasi kecil untuk kepentingan pertumbuhan, namun dalam kadar besar dapat menyebabkan efek toksik (Merciai *et al.*, 2014). Kromium (Cr) dan besi (Fe) merupakan logam esensial yang memiliki peran biologis penting dalam organisme perairan (La Colla *et al.*, 2017). Bagaimapun keberadaan logam dalam organisme laut terutama yang dimakan oleh manusia juga akan menimbulkan ancaman kesehatan bagi manusia (DeForest *et al.*, 2007), terlebih sampel sampel biota yang diambil dari perairan Semarang dan Tegal seperti udang putih, rajungan dan kerang bulu merupakan biota yang dikonsumsi masyarakat.

KESIMPULAN

Biota bentik dari perairan Semarang dan Tegal seperti Udang putih, Rajungan, Kerang bulu, Gastropoda telah terkontaminasi logam Cr dan Fe. Konsentrasi logam Cr pada biota yang ditemukan di Semarang berkisar 0,211–0,235 ppm, sedangkan di Tegal berkisar 0,1–0,218 ppm. Kontaminasi logam Fe pada biota yang berasal dari Semarang berkisar antara 0,718 – 0,909 ppm, sedangkan yang berasal dari Tegal 0,733 –1,429 ppm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan luaran dari penelitian Non APBN Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro No: 31/UN7.F10/PP/III/2023, dengan judul. Distribusi Logam Berat dan Kemampuan Bioakumulasi Organisme Laut di Perairan Utara Jawa.

DAFTAR PUSTAKA

Ahumada, I., Rudolph, A., Gonzalez, E., Fones, G., Saldias, G., & Ahumada-Rudolph, R., (2011). Dissolved trace metals in the water column of Reloncavi 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, 36–79.
- 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 frissikutum*): Cyto-genotoxicity and histopathology approach. *Marine Pollution Bulletin*, 163, p.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, p.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, p.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, p.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 J*, 2(1), 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. *The 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., Hea, J.Y., Yea, 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. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.07.
- 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, p.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.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
- Martoja, M., Ballan-Dufrancais, C., Jeantet, A. Y., Truchet, M. & Coulon, J. (1988). Influence of the chemical composition of the environment on the bivalve animals contaminated experimentally by an industrial effluent', *Annales de L'Institut Oceanographique* 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*, In Press, doi: 10.1016/j.chnaes.2023.09.002
- Prartono T., Najamuddin., H.S. Sanusi., I.W. & Nurjaya, (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.
- Shah, N., Khan, A., Ali, R., Marimuthu, K., Uddin, M.N., Rizwan, M., Rahman, K.U., Alam, M., Adnan, M., Jawad, S.M., Hussain, S., & Khisroon, M. (2020) Monitoring bioaccumulation (in Gills and Muscle Tissues), hematology, and genotoxic alteration in ctenopharyngodon idella exposed to selected heavy metals. *BioMed Research International*, 2020: p.6185231. doi: 10.1155/2020/6185231
- 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 & Physiology*, 232: p.108756. doi: 10.1016/j.cbpc.2020.108756.
- Suryono, C. A., Pratikto, I, & Rusmaharani, A. (2019). Logam Berat Anthropogenik 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 & Rochaddi. (2017). Logam berat Pb, Cr dan Cd dalam Perairan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1), 25–29
- 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
- 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., Widada, S., Rochaddi, B., Subagiyo., Setyati, W.A, & Susilo, E.S. (2018). Kontaminasi Arsen, Merkuri dan Magnesium pada Air Laut, Sedimen dan *Anadara inaequalvis* (Mollusca: Bivalvia, Bruguiera, 1792) di Perairan Brebes, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21 (2), 150-154. doi: 10.14710/jkt.v21i2.3850
- Suvarapu, L.N., & Baek, S.O. (2017). Determination of heavy metals in the ambient atmosphere. *Toxicology and Industrial Health*, 33, 79–96
- Vallius, H. (2015). Quality of the surface sediments of the northern coast of the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 250–255.
- 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., Gexin 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: p.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, p.110901