

# Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Hasil Tangkapan Nelayan Pesisir Semarang dan Tegal Jawa Tengah

Chrisna Adhi Suryono\* dan Agus Indardjo

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, SH. Kampus UNDIP Tembalang Semarang 50275 Indonesia  
Email: chrisnaundip@gmail.com

## Abstract

### Concentrations of Heavy Metals Lead (Pb) and Cuprum (Cu) in the Catches of Coastal Fishermen in Semarang and Tegal, Central Java

Coastal areas of Semarang and Tegal are the fishing ground area of traditional fishermen. But with the increasing activity in coastal and marine areas it will increase heavy metal contaminants in these waters which are allegedly contaminating existing biota. Heavy metals are pollutants that can accumulate in marine life. This study aims to know the concentration of lead metals (Pb) and copper (Cu) on the catch of the coastal fishermen of Semarang and Tegal, Central Java. Analysis of Pb and Cu concentration in tissue organisms using ICPMS. The results of the analysis showed that Pb and Cu metals were found in biota such as white shrimp (*P. merguensis*), crab (*P. pelagicus*), coocle (*A. inaequivalvis*) and gastropods (*H. ternatanus*). The highest concentration of Pb in the four biota captured in Semarang (4.48-5.76 ppm) and Tegal (0.53-3,055 ppm). Whereas the highest Cu metal in the biota argued in the Tegal waters (0.16 - 0.197ppm) while in Semarang (0.03-0.177 ppm) Semarang. The highest concentration of Pb (3,055-5.58 ppm) is found in gastropods both in Semarang and Tegal. Thus, the metal Cu (0.177-0.197 ppm) in gastropods from Tegal and Semarang. Gastropods accumulate the highest Pb and Cu metal in the two regions of the fishing ground.

**Keywords:** lead, copper, marine life, contamination

## Abstrak

Pesisir Semarang dan Tegal merupakan daerah fishing ground nelayan tradisional. Namun dengan semakin meningkatnya aktifitas di wilayah pesisir dan laut tersebut akan meningkatkan kontaminan logam berat di perairan tersebut yang diduga akan mengkontaminasi biota yang ada. Logam berat merupakan polutan yang dapat terakumulasi dalam biota laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Hasil Tangkapan Nelayan Pesisir Semarang dan Tegal Jawa Tengah. Analisa konsentrasi Pb dan Cu dalam jaringan organisme menggunakan ICPMS. Hasil analisa menunjukkan logam Pb dan Cu ditemukan dalam biota seperti udang putih (*P. Merguensis*), rajungan (*P. pelagicus*), kerang bulu (*A. inaequivalvis*) dan gastropoda (*H. ternatanus*). Konsentrasi tertinggi Pb di keempat biota yang ditangkap di Semarang (4,48–5,76 ppm) dan Tegal (0,53– 3,055 ppm). Sedangkan logam Cu tertinggi pada biota yang ditangkap di perairan Tegal (0,16– 0,197ppm) sedangkan di Semarang (0,03–0,177 ppm) Semarang. Konsentrasi tertinggi Pb (3,055–5,58 ppm) terdapat dalam gastropoda baik di Semarang maupun Tegal. Demikian logam Cu tertinggi (0,177 - 0,197 ppm) pada gastropoda dari Tegal dan Semarang. Gastropoda mengakumulasi logam Pb dan Cu tertinggi di kedua daerah fishing ground tersebut.

**Kata Kunci :** Timbal, Tembaga, biota laut, kontaminasi

## PENDAHULUAN

Sumberdaya biotik yang berasal dari laut seperti ikan, kerang, udang, maupun moluska banyak ditangkap di pesisir pantai Utara Pulau Jawa sebagai sumber pangan (Suryono dan Indardjo, 2022; Suryono *at al*, 2019). Namun dengan semakin meningkatnya berbagai aktifitas di pesisir Utara

Jawa Tengah tentunya juga akan mengancam keberlangsungan sumberdaya tersebut. Salah satu ancaman sumberdaya biotik yang ada di perairan laut di Jawa Tengah adalah cemaran logam berat (Suryono dan Indarjo, 2022).

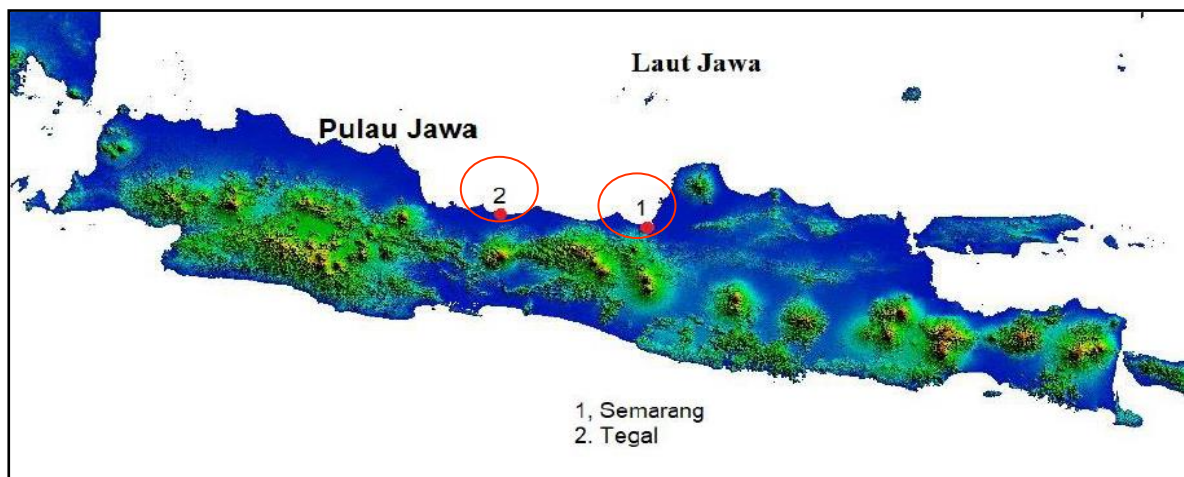
Logam berat adalah salah satu polutan paling serius di lingkungan dan telah menarik perhatian luas di seluruh dunia karena sifat toksisitas, persistensi, dan bioakumulasinya (Bosch *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2021). Semakin pesatnya perkembangan urbanisasi dan industrialisasi di wilayah pesisir, logam berat terus masuk ke lingkungan laut melalui limpasan sungai dan masukan dari atmosfer (Suvarapu dan Baek, 2017; Zhu *et al.*, 2020). Jumlah logam yang berlebihan di lingkungan pesisir dan laut menimbulkan potensi ancaman terhadap ekosistem laut dan kesehatan manusia (Liu *et al.*, 2021). Terlebih adanya industrialisasi telah menimbulkan tekanan serius pada biota laut di seluruh dunia (Kazemi *et al.*, 2022). Infrastruktur petrokimia, industri minyak, aktivitas pelayaran, air limbah kota, dan proses alami adalah sumber kontaminan laut yang paling utama, yang telah menyebabkan perubahan permanen pada flora dan fauna di lingkungan laut (Esmailbeigi *et al.*, 2021; Shirdel *et al.*, 2020). Polutan logam merupakan kontaminan yang paling banyak terdapat di biota laut yang terakumulasi di dalam tubuh organisme (Tayemeh *et al.*, 2020). Senyawa perusak tersebut dapat melewati membran sel dan mengganggu fungsi organ tubuh, antara lain hati, otot, ginjal, insang, kulit, dan usus (Garai *et al.*, 2021).

Logam berat dapat masuk ke jaringan organisme laut dapat melalui proses fisiologis, metabolisme dan kondisi lingkungan (Baki *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2018). Maka dari itu ada beberapa organisme laut yang dapat di jadikan indikator kontaminasi logam berat dalam jangka panjang (Baki *et al.*, 2018). Beberapa biota laut seperti bivalvia dapat digunakan untuk memantau pencemaran logam berat di air laut dan sedimen di wilayah pesisir (Zhou *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2017). Sedangkan organisme bentik dapat dianggap sebagai indikator kontaminasi logam berat di sedimen permukaan (Liu *et al.*, 2019). Ikan dapat digunakan sebagai biomonitor yang sangat baik untuk kontaminasi logam berat dalam air (Zhou *et al.*, 2008). Namun yang paling mengkhawatirkan bahwa logam berat yang mengontaminasi organisme laut dapat tertransportkan ke dalam tubuh manusia karena proses biomagnifikasi (Ali *et al.*, 2019).

Keberadaan logam berat di ekosistem pesisir dan laut di daerah penelitian telah banyak disampaikan. Logam As, Cr, Pb, Cu dan Fe ditemukan dalam sedimen dan air laut di pesisir sebelah barat Semarang (Suryono, 2016). Informasi keberadaan logam Pb, Cr dan Cd juga ditemukan dalam perairan pelabuhan Semarang (Suryono dan Djunaedi, 2017). Logam berat Pb dan Cu juga ditemukan dalam sedimen di muara Sungai Plumbon, Banjir Kanal Barat dan Sringin Semarang (Suryono *et al.*, 2019). Informasi selanjutnya Suryono *et al.*, (2018) menginformasikan logam As, Hg dan Mg telah mengontaminasi kerang bulu (*Anadara inaequalis*) air laut dan sedimen di perairan Brebes. Udang putih (*Penaeus merguensis*), Rajungan (*Portunus pelagicus*), Kerang bulu (*A. inaequalis*) dan Gastropoda (*Hemifusus ternatanus*) yang ditangkap di daerah Semarang dan Brebes juga ditemukan logam Hg dan As dalam jaringan tubuhnya (Suryono dan Indarjo, 2022). Kontaminasi logam berat ternyata telah mengontaminasi perairan seperti dalam air laut, sedimen maupun biota yang menjadi target nelayan pesisir di Semarang dan Brebes Jawa Tengah. Untuk melengkapi informasi kontaminasi logam berat terhadap biota yang ditangkap di daerah tersebut maka penelitian ini bertujuan mengetahui konsentrasi logam Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Hasil Tangkapan Nelayan Pesisir Semarang dan Tegal Jawa Tengah.

## MATERI DAN METODE

Biota yang digunakan dalam penelitian ini, merupakan biota yang didapatkan dari nelayan yang ditangkap dari perairan Semarang dan Tegal Jawa Tengah. Pengambilan sampel oleh nelayan menggunakan alat garuk kerang (dragger) dengan pengulangan sebanyak tiga kali (Suryono *et al.*, 2018). Sampel biota selanjutnya dipisahkan antara kulit untuk diambil dagingnya untuk keperluan analisa logam berat. Jaringan sampel daging biota selanjutnya dipersiapkan untuk



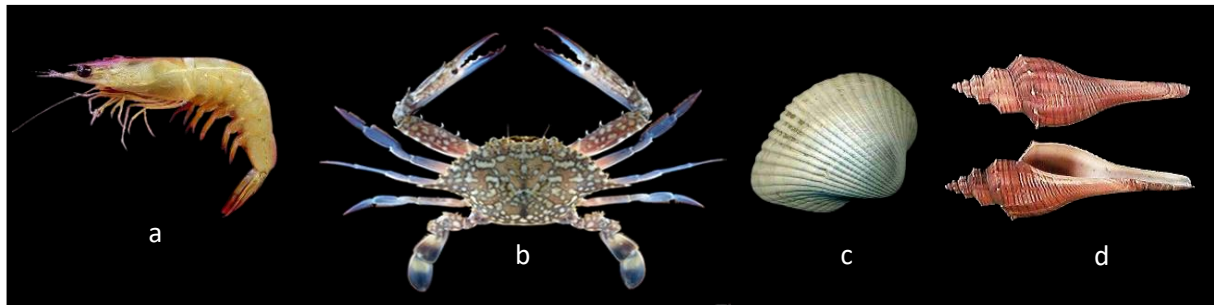
**Gambar 1.** Lokasi Pengambilan Sampel di Pesisir Utara Jawa Tengah

analisa kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu). Analisa logam berat dalam analisa ini mengacu pada (Liu *et al.*, 2013). Adapun tahapan dalam analisa daging biota didistruksi dengan HNO<sub>3</sub> (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).

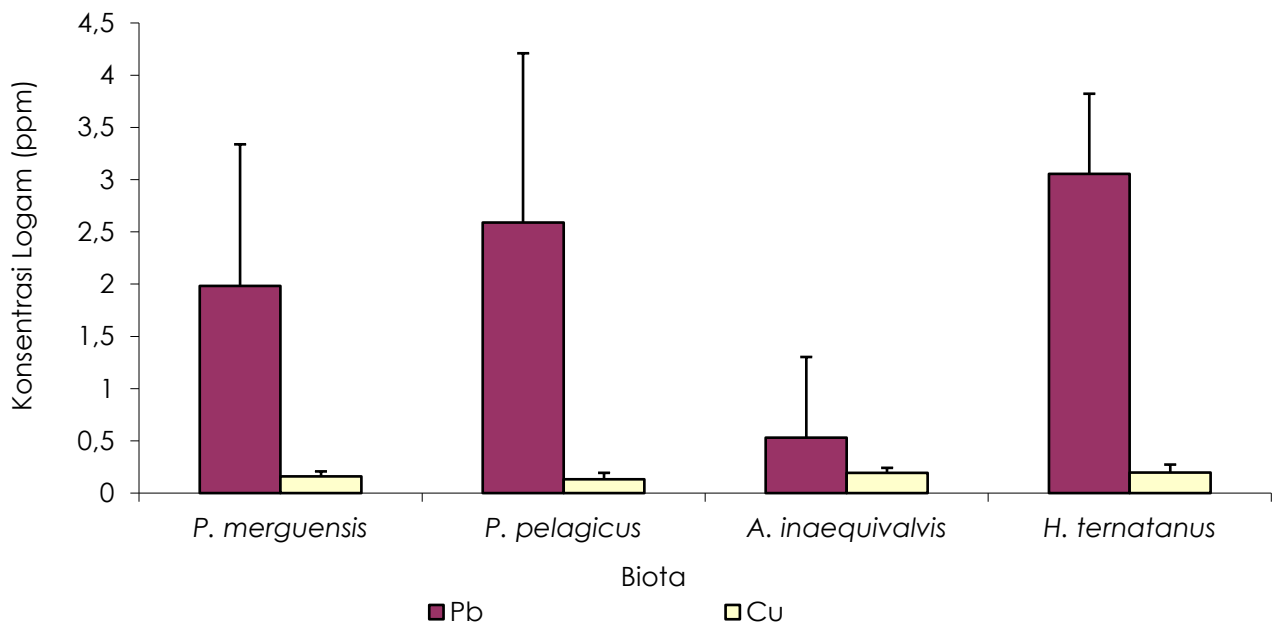
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil tangkapan nelayan di perairan Tegal dan Semarang Jawa Tengah yang menggunakan garuk (dragger) sebagian besar menemukan biota sebagai berikut Udang putih (*Penaeus merguensis*), Rajungan (*Portunus pelagicus*), Kerang bulu (*Anadara inaequalvis*) dan Gastropoda (*Hemifusus ternatanus*) (Gambar 2).

Hasil analisa terhadap logam berat Pb dan Cu pada biota yang ditangkap di daerah perairan pesisir Tegal dan Semarang mengindikasikan bahwa biota biota tersebut telah terkontaminasi oleh logam Pb dan Cu. Konsentrasi logam Pb pada biota yang ditemukan di Tegal berkisar 0,3 - 3,06 ppm, sedangkan di Semarang berkisar 4,48–5,76 ppm. Sedangkan logam Cu yang mengontaminasi biota yang berasal dari Tegal konsentrasinya berkisar antara 0,13–0,197 ppm, sedangkan yang berasal dari Semarang 0,03–0,18 ppm. Bukan hal yang mengejutkan ditemukannya logam Pb dan Cu dalam biota yang berasal dari daerah Tegal dan Semarang. Penelitian terhadap sedimen dan air laut yang berasal dari perairan Semarang juga ditemukan logam tersebut (Suryono, 2016; Suryono *et al.*, 2019). Informasi lebih lanjut mengungkapkan bahwa beberapa logam berat seperti Hg dan As juga ditemukan di perairan sekitar Tegal (Suryono *et al.*, 2018; Suryono dan Indardjo, 2022). Demikian juga di wilayah perairan Semarang kedua jenis logam tersebut juga ditemukan di dalam sedimen, air laut bahkan dalam air tanah (Suryono dan Rochaddi, 2017). Keberadaan logam Pb dan Cu pada lingkungan (air dan sedimen) daerah tersebut yang diduga menjadi sumber kontaminasi terhadap biota yang ada di perairan daerah tersebut. Beberapa penelitian menginformasikan kontaminasi logam berat dalam biota laut tentunya disebabkan oleh tercemarnya lingkungan laut oleh logam berat. Beberapa penelitian menyatakan lingkungan laut telah telah tercelar logam berat seperti lingkungan muara sungai (Barletta *et al.*, 2019), teluk (Ahumada *et al.*, 2011; Yu *et al.*, 2017) dan perairan pesisir (Vallius, 2015) yang akhirnya akan mengontaminasi organisme laut yang hidup di lingkungan tersebut. Keberadaan logam logam tersebut dalam biota laut telah mengalami beberapa proses dan tergantung pula dari konsentrasi maupun ikatan kimiawinya dalam lingkungan tersebut (Fan *et al.*, 2020). Konsentrasi logam berat tersebut bervariasi terhadap spesies biota laut, terutama antara biota perenang seperti ikan dan organisme bentuk (krustacea dan moluska) karena habitat, kebiasaan hidup dan fisiologis yang berbeda (Gu *et al.*, 2022).



**Gambar 2.** Hasil tangkapan nelayan di perairan Tegal dan Semarang Jawa Tengah a. Udang putih (*P. Merguensis*), b. Rajungan (*P. Pelagicus*), c. Kerang bulu (*A. inaequalvis*), dan d. Keong (*H. ternatanus*)



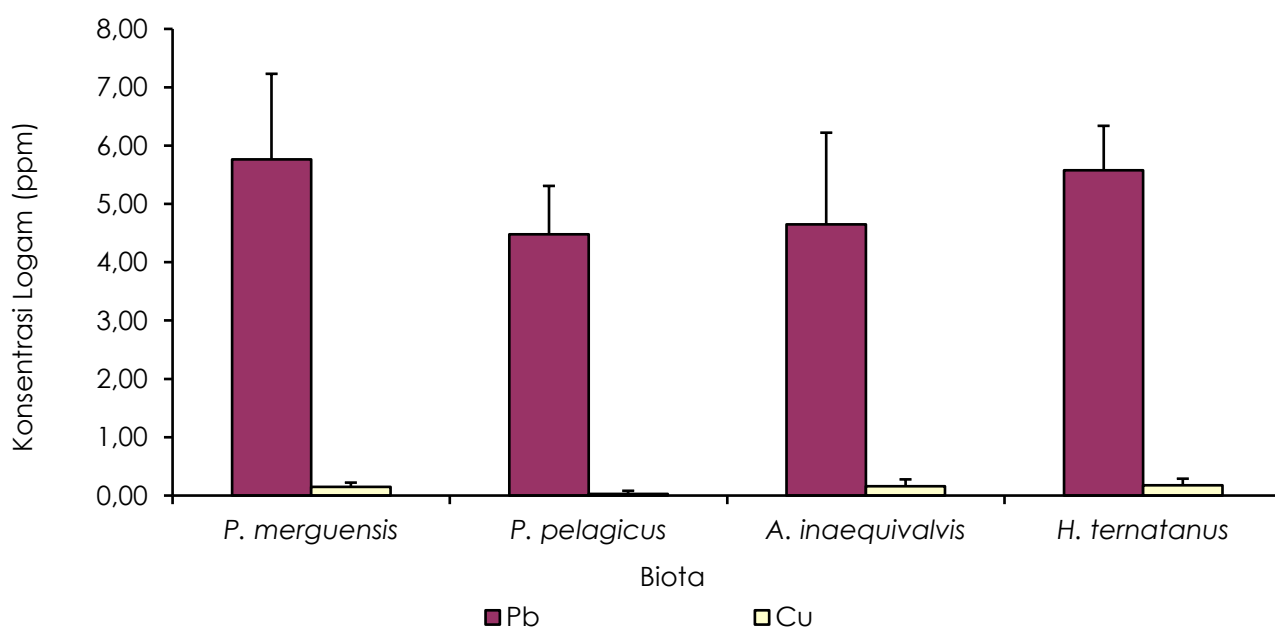
**Gambar 3.** Konsentrasi Logam Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) di Biota di yang Ditangkap di Perairan Tegal

Bila dilihat konsentrasi logam berat Pb pada biota yang didapat di perairan Tegal maka secara berurutan: Gastropoda > Rajungan > Udang putih > Kerang bulu. Sedangkan kontaminasi Cu di secara berurutan sebagai berikut Gastropoda > Kerang bulu > Udang putih > Rajungan (Gambar 3). Gastropoda (*H. ternatanus*) yang didapat di perairan Tegal menunjukkan konsentrasi logam Pb dan Cu yang tertinggi.

Konsentrasi logam Pb terhadap biota laut yang ditangkap perairan Semarang secara berurutan sebagai berikut Udang putih > Kerang bulu > Gastropoda > Rajungan. Sedangkan konsentrasi logam Cu terhadap biota secara berurutan sebagai berikut Gastropoda > Kerang bulu > Udang putih > Rajungan (Gambar 4). Udang putih terkontaminasi logam Pb tertinggi di perairan Semarang sedangkan Gastropoda (*H. ternatanus*) terkontaminasi logam Cu tertinggi. Rata rata konsentrasi logam Pb pada semua biota baik yang ditangkap di Tegal maupun Semarang lebih tinggi bila dibandingkan dengan logam Cu.

Logam Pb yang terdapat di semua biota di kedua wilayah (Tegal dan Semarang) menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ( $p=0,001 \leq 0,01$ ). Namun sebaliknya logam Cu yang

terdapat dalam biota di kedua wilayah tersebut menunjukkan tidak adanya perbedaan ( $p=0,07 \geq 0,05$ ). Demikian juga bila dilihat konsentrasi Pb antar biota di daerah Tegal tidak menunjukkan perbedaan dalam biota ( $p=0,058 \geq 0,05$ ). Demikian pula terhadap Pb dalam biota yang berasal dari Semarang ( $p=0,061 \geq 0,05$ ). Logam Cu antar biota di daerah Tegal tidak menunjukkan tidak adanya perbedaan yang sangat nyata ( $p=0,074 \geq 0,05$ ). Hal yang sama terlihat pada Cu yang terdapat dalam biota di perairan Semarang ( $p=0,056 \geq 0,05$ ). Kontaminasi logam berat dalam organisme perairan dapat terjadi karena faktor seperti umur, ukuran, jenis kelamin, aktifitas makan, dan status reproduksi suatu organisme laut. Sedangkan faktor lain seperti geokimiawi 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 seperti As, Hg, Cd, Cr, dan Pb yang sangat sangat beracun dapat masuk secara langsung ke organisme laut dan teramplifikasi melalui rantai makanan (Jiang *et al.*, 2018; Yu *et al.*, 2020). Karena logam Pb dapat masuk secara langsung ke biota, hal ini yang terlihat dari hasil penelitian mengapa logam Pb konsentrasinya lebih tinggi bila dibandingkan dengan Cu pada semua biota di kedua daerah penelitian. Keberadaan logam berat tersebut di perairan yang dapat mengontaminasi biota di alam maupun yang dibudidayakan seperti tiram dan kerang (Dang, *et al.*, 2022). Informasi beberapa penelitian menunjukkan bahwa logam Pb selalu ada dan lebih tinggi lebih tinggi konsentrasinya bila dibandingkan dengan logam Cu, baik dalam lingkungan air, sedimen maupun biota. Dengan ditemukannya logam berat dalam biota laut seperti kerang, udang dan rajungan mengindikasikan bahwa logam Pb dan Cu nantinya dapat terakumulasi dalam tubuh manusia melalui jaring makanan. Hal tersebut dikarenakan logam berat sebagai kontaminan antropogenik utama di lingkungan pesisir dan laut di seluruh dunia (Ruilian *et al.*, 2008; Naser, 2013). Logam-logam tersebut menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan manusia, organisme hidup dan ekosistem alami karena sifat toksisitas, persistensi dan bioakumulasinya (DeForest *et al.*, 2007). Hal tersebut dapat dipahami karena logam berat bersifat toksik atau karsinogenik bagi manusia (Fu dan Wang, 2011). Karena logam berat dapat terakumulasi dalam organisme hidup melalui rantai makanan dan berkontribusi terhadap degradasi ekosistem laut dengan mengurangi keanekaragaman dan kelimpahan jenis (Hosono *et al.*, 2011). Informasi tentang konsentrasi logam berat Pb dan Cu dari hasil tangkapan nelayan di pantai Utara Jawa Tengah sangat penting untuk diketahui.



**Gambar 4.** Konsentrasi Logam Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) di Biota di yang Ditangkap di Perairan Semarang

## KESIMPULAN

Organisme seperti Udang putih, Rajungan, Kerang bulu, Gastropoda yang ditangkap di perairan Tegal dan Semarang ditemukan logam berat Pb dan Cu. Konsentrasi tertinggi pada logam Pb (4,48 - 5,76 ppm) pada biota dari perairan Semarang sedangkan di perairan Tegal (0,53 – 3,055 ppm). Sedangkan logam Cu yang terdapat dalam biota di perairan Semarang (0,03 - 0,177 ppm) dan di perairan Tegal (0,131 – 0,197).

## UCAPAN TERIMAKASIH

Artikel ini merupakan luaran dari penelitian Non APBN Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro No: 249/UN7.5.10.2/PP.2022, dengan judul Kontaminasi Logam Berat pada Organisme Laut Hasil Tangkapan Nelayan di Pesisir Jawa Tengah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahumada, R., Rudolph, A., González, E., Fones, G., Saldías, G., & Ahumada-Rudolph, R. (2011). Dissolved trace metals in the water column of Reloncaví Fjord, Chile. *Latin american journal of aquatic research*, 39(3), 567-574.
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of chemistry*, 6730305, 14pages. doi: 10.1155/2019/6730305
- Baki, M.A., Hossain, M.M., Akter, J., Quraishi, S.B., Haque Shojib, M.F., Atique Ullah, A.K.M., & Khan, M.F. (2018). Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, 153–163
- 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.
- Bosch, A.C., O'Neill, B., Sigge, G.O., Kerwath, S.E., & Hoffman, L.C. (2016). Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(1), 32-48.
- 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, p.114140. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.114140
- DeForest, D., Brix, K., & Adams, W., (2007). Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: The inverse relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factors and exposure concentration. *Aquatic Toxicology*, 84, 236– 246.
- 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 frissi kutum*): 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
- Fu, F., & Wang, Q., (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *Journal of Environmental Management*, 92, 407–418.
- Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P., & Saha, N.C., (2021). Effect of heavy metals on fishes: Toxicity and bioaccumulation. *Journal of Clinical Toxicology*, 11, p.1000001.
- 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

- Hosono, T., Su, C., Delinom, R., Umezawa, Y., Toyota, T., Kaneko, S., & Taniguchi, M. (2011). Decline in heavy metal contamination in marine sediments in Jakarta Bay, Indonesia due to increasing environmental regulations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92, 297–306
- 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
- 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, Q., Liao, Y., & Shou, L. (2018). Concentration and potential health risk of heavy metals in seafoods collected from Sanmen Bay and its adjacent areas, China. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 356–364.
- Liu, Q., Xu, X., Zeng, J., Shi, X., Liao, Y., Du, P., Tang, Y., Huang, W., Chen, Q & Shou, L. (2019). Heavy metal concentrations in commercial marine organisms from Xiangshan Bay, China, and the potential health risks. *Marine Pollution Bulletin*, 141, 215–226. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.02.058
- 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, p.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 the bivalve animals contaminated experimentally by an industrial effluent', *Annales de L'Institut Oceanographique*, 64, 1–24.
- Naser, H.A. (2013). Assessment and management of heavy metal pollution in the marine environment of the Arabian Gulf: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 72, 6–13
- Ruilian, Y., Xing, Y., Yuanhui, Z., Gongren, H., & Xianglin, T. (2008). Heavy metal pollution in intertidal sediments from Quanzhou Bay, China. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 664–669.
- 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 C*, 232, p.108756. doi: 10.1016/j.cbpc.2020.108756.
- Suryono, C.A & Djunaedi, A. (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. (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., 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* Maret, 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 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
- Tayemeh, M.B., Esmailbeigi, M., Shirdel, I., Joo, H.S., Johari, S.A., Banan, A., Nourani, H., Mashhadi, H., Jami, M.J., & Tabarrok, M. (2020). Perturbation of fatty acid composition, pigments, and growth

indices of *Chlorella vulgaris* in response to silver ions and nanoparticles: A new holistic understanding of hidden ecotoxicological aspect of pollutants. *Chemosphere*, 238, p. 124576. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124576

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.

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