

# Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cu Pada Sedimen di Perairan Muara Sungai Genuk, Semarang

Husnul Khotimah, Baskoro Rochaddi\*, Sri Yulina Wulandari

Departemen Oseanografi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, SH. Kampus UNDIP Tembalang Semarang 50275

## Abstract

### Heavy Metal Concentrations Pb and Cu in Sediments in the Estuary Waters of the Genuk River, Semarang

The Genuk waters in Semarang constitute a large area of industrial and human activities. The presence of this activity altered the concentration of heavy metals in the water's base sediment. This study aims to determine the levels of Pb, Cu, and organic metals in water, as well as the relationship between heavy metal and organic concentrations and the water's measuring materials. Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), which was utilized for the analysis of heavy metals. For sediment fraction analysis utilizing the wet sieving method. The analysis revealed that the concentration of the heavy metal Cu was greater than that of the heavy metal Pb. With heavy metal Cu between 10.626 and 17.18 mg/kg and heavy metal Pb between 4.644 and 8.571 mg/kg, while the silt fraction dominated the sediment component at all research locations. The correlation test revealed a positive relationship between the heavy metals Pb and Cu and the sand fraction, which were 0.7614 and 0.555%, respectively. In this study,  $r = 0.5639$  and  $r = 0.4091$ , respectively, indicated a positive connection between organic carbon and silt and clay sediment fractions.

**Keywords:** Heavy Metals, Pb and Cu, Sediment, Genuk Waters

## Abstrak

Perairan Genuk, Semarang merupakan kawasan kegiatan industri dan manusia. Adanya aktivitas ini berdampak kepada konsentrasi logam berat pada sedimen dasar di perairan tersebut. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui konsentrasi logam berat Pb, Cu dan karbon organik serta mengetahui korelasi antara konsentrasi logam berat dan karbon organik dengan ukuran butir di perairan tersebut. Spektrofotometri Serapan Atom digunakan untuk menentukan konsentrasi logam berat. Untuk fraksi sedimen menggunakan analisis metode pengayakan basah. Hasil penelitian yang didapatkan yaitu konsentrasi logam berat Cu lebih tinggi dibandingkan logam berat Pb. Dengan logam Cu 10,626 – 17,18 mg/kg dan logam Pb 4,644 – 8,571 mg/kg. Persentase fraksi sedimen di semua titik lokasi penelitian didominasi oleh fraksi lanau. Hasil uji korelasi didapatkan korelasi positif antara logam berat Pb dan Cu dengan fraksi pasir masing-masing yaitu sebesar 0,7614 dan 0,5515. Dalam penelitian ini terdapat hubungan positif antara karbon organik dengan fraksi sedimen lanau dan lempung dengan nilai masing-masing  $r = 0,5639$  dan  $r = 0,4091$ .

**Kata kunci :** Logam Berat, Pb dan Cu, Sedimen Dasar, Perairan Genuk

## PENDAHULUAN

Perairan Genuk merupakan kawasan pesisir di wilayah Semarang yang dimanfaatkan sebagai daerah pemukiman, transportasi dan penangkapan ikan. Industri yang ada di kawasan Genuk, seperti pabrik mebel, pabrik kerupuk, pabrik kertas, industri otomotif dan industri pakan ternak (Indrayana *et al.*, 2014).

Muara sungai di kawasan Genuk melewati berbagai kawasan industri di daerah tersebut dan pemukiman penduduk dengan berbagai aktivitas. Hal ini menimbulkan tingginya risiko pencemaran logam berat. Secara alami muara sungai atau daerah estuari merupakan daerah pengendapan bagi ion-ion yang terlarut di daerah percampuran antara air tawar dan laut (Hunter, 1983). Maka ada dugaan sedimen yang terbawa aliran air dan diendapkan di muara sungai diduga juga mengendapkan beberapa polutan seperti logam berat. Sedimen di beberapa daerah pesisir Kota Semarang seperti daerah Tugu telah terkontaminasi logam berat seperti Cr, Pb dan Cu (Suryono, 2016; Suryono *et al.*, 2019). Tingginya kandungan silt dan clay pada sedimen di daerah muara biasanya terbawa saat banjir dengan membawa berbagai polutan seperti logam berat, hal

tersebut dapat dijadikan petunjuk adanya peningkatan atau penurunan tingkat pencemaran (Daessle *et al.*, 2009). Peningkatan logam berat dalam sedimen disebabkan oleh pengendapan logam berat yang terlarut dan partikel maupun ikatan yang mengalir melalui saluran pembuangan (Galanopoulou *et al.*, 2009). Sedimen dapat menjadi perangkap polutan dan telah terbukti sangat efisien sebagai cara untuk mengidentifikasi dampak lingkungan (Strauch *et al.*, 2008). Sedimen juga memiliki kemampuan dalam menyimpan polutan yang anti air (hydrophobic pollutants) atau bahan biomarker (Viguri *et al.*, 2002). Sedimen ternyata sangat bermanfaat dalam pengukuran tingkat kontaminasi dari ekosistem perairan, bukan hanya kemampuannya dalam mengakumulasi logam dan bahan organik namun juga mampu membawa sumber kontaminan ke dalam perairan (Mariani dan Pompeo 2008). Materi kimia biasanya lepas dari sedimen ke perairan disebabkan oleh kondisi lingkungan dan kondisi fisika-kimia seperti (pH, redox potensial dan aktivitas mikrobiologis) hal tersebut dapat mengkontaminasi perairan dan sistem lingkungan lainnya yang berakibat penurunan kualitas perairan (Froehner dan Martins 2008). Namun kemampuan sedimen dalam menyerap dan melepaskan material yang anti air (hydrophobic compounds) tergantung pada kandungan bahan organik karbon dalam sedimen (Rutemberg dan Goni 1997). Suryono (2016) menemukan peningkatan konsentrasi logam berat dalam sedimen akan diikuti penurunan kelimpahan dan keanekaragaman organisme dasar perairan di Perairan Tugu Semarang. Lebih lanjut Azizah *et al.* (2018) menemukan kandungan logam berat Pb dalam sedimen di Perairan Teluk Awur Jepara meningkat dari bulan ke bulan. Najamuddin *et al.* (2020) menyimpulkan dalam penelitiannya parameter tekstur, kandungan organik karbon dalam sedimen, dan potensial redoks sedimen memberikan pengaruh terhadap distribusi dan akumulasi logam berat Pb dan Zn dalam sedimen di Perairan Sungai, Estuaria, dan Pantai Kabupaten Gowa. Darmansyah *et al.* (2020) menyimpulkan konsentrasi logam berat Cu mempunyai korelasi positif terhadap fraksi pasir, sedangkan logam berat Ni dan Mn mempunyai korelasi positif terhadap fraksi lumpur di Core Sedimen Perairan Pantai Marunda, Teluk Jakarta. Dari informasi berbagai penelitian menunjukkan bahwa logam berat konsentrasinya semakin meningkat dalam sedimen yang ada disuatu perairan termasuk di daerah muara sungai atau estuaria. Hal ini menyebabkan perlunya pengukuran kadar logam berat dalam sedimen. Pb dan Cu, dua unsur yang umum tetapi berbahaya menjadi subjek utama penelitian ini. Berdasarkan kondisi tersebut, maka penelitian konsentrasi logam berat Pb dan Cu pada sedimen muara sungai Genuk Semarang perlu dilakukan

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di muara sungai Genuk Semarang, dengan pengambilan sampel meliputi 10 titik lokasi seperti pada gambar 1 dengan pertimbangan stasiun 1 yang berada di sungai terletak dengan permukiman warga sehingga banyak terkena aktivitas manusia. Stasiun 2 yang berada di mulut sungai terletak dengan ekosistem mangrove dan masih dekat dengan permukiman warga sehingga masih terkena aktivitas manusia. Di Muara Sungai, dekat dengan permukiman warga dan menjadi tempat aktivitas nelayan, terdapat pada stasiun 3 dan stasiun 4. Stasiun 5 dan stasiun 6 berjarak  $\pm 2$  km dari kawasan industri sehingga berpengaruh karena adanya aktivitas tersebut. Stasiun 7 berjarak  $\pm 1$  km dengan kawasan ekosistem mangrove yang masih terpengaruh limbah industri. Stasiun 8, stasiun 9 dan stasiun 10 merupakan peralihan ke perairan lepas sehingga jauh dari daratan, dan diduga tidak terpengaruh oleh aktivitas industri dan buangan limbah rumah tangga.

*Sediment grab* digunakan untuk pengambilan sampel sedimen. Sampel diambil sebanyak 2 kali dan sampel hasil yang telah diambil dimasukkan plastik. Pengambilan kualitas perairan dilakukan secara langsung bersamaan pengambilan sampel sedimen. Suhu, salinitas, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (DO) yang membentuk kualitas perairan diukur dan di catat.

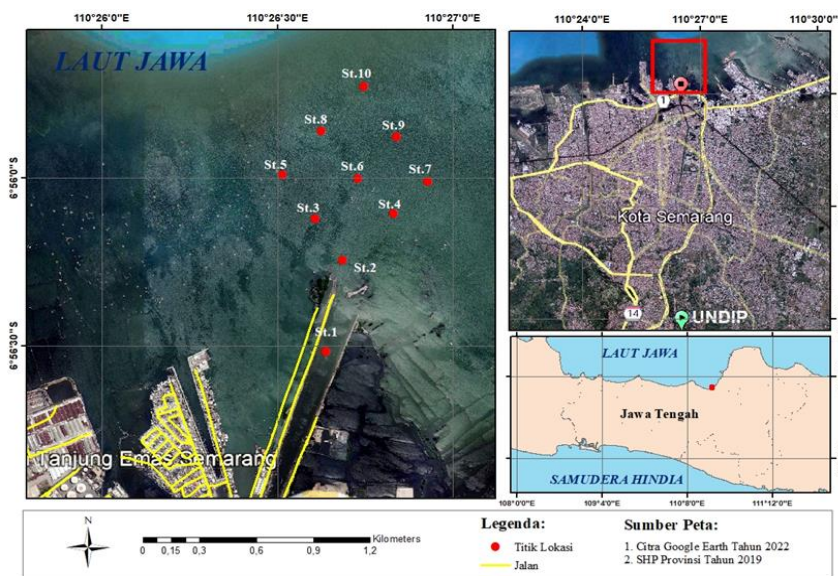
Sampel sedimen dianalisis jenis, ukuran, dan konsentrasi logam berat serta karbon organik. Analisa kandungan logam berat Pb dan Cu dilakukan dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)- Nyala (SNI 6989.8.2009). Untuk logam berat Cu metode yang digunakan yaitu metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)- Nyala (SNI 6989.6.2009).

Metode pipetting dan *sieving* basah digunakan untuk menentukan ukuran butir sedimen. Segitiga Shephard digunakan untuk mengklasifikasikan sedimen menurut distribusi ukuran butirnya.

Metode gravimetri digunakan untuk mengukur karbon organik. Sebanyak 20 gram sedimen diambil sampelnya dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam. Sampel sedimen dihaluskan dan ditimbang sekitar 0,5 gram dan kemudian dibakar di 550°C selama 4 jam dalam tungku. Sampelnya ditimbang, dan hilangnya karbon organik terlihat oleh perbedaan antara berat sedimen sebelum dan setelah pengeringan (Citra *et al.*, 2020).

$$\%BO = \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100\%$$

Dimana %BO = Persentase karbon organik dalam sedimen,  $W_o$  = Berat sedimen awal (gram),  $W_t$  = Berat sedimen yang tersisa setelah pemanasan 550°C.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa konsentrasi logam berat Pb dan Cu serta karbon organik pada sedimen dasar perairan di daerah penelitian menunjukkan hasil bervariasi. Konsentrasi Pb berkisar 4,644 sampai dengan 8,571 mg/kg; konsentrasi Cu berkisar 10,626 sampai dengan 17,180 mg/kg serta karbon organik berkisar 2,99 sampai dengan 24,29 %. Hasil pengukuran konsentrasi logam berat Pb, Cu dan karbon organik dalam sedimen di sajikan pada Tabel 1.

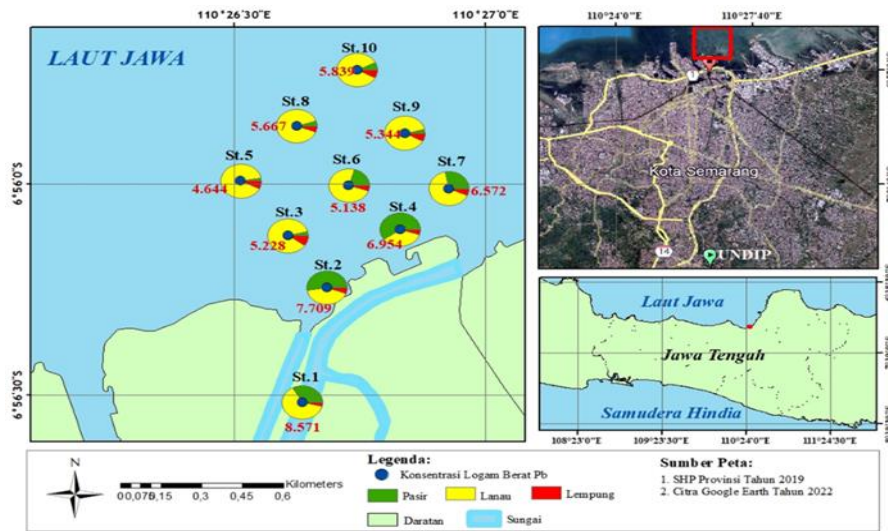
Konsentrasi logam timbal (Pb) di perairan Muara Sungai Genuk Semarang berkisar antara 4,644 – 8,571 mg/kg dan logam tembaga (Cu) berkisar antara 10,626 – 17,18 mg/kg. Konsentrasi logam Pb di perairan Muara Sungai Genuk Semarang tidak melebihi ambang baku mutu yaitu 50 mg/kg, demikian pula logam Cu tidak melebihi ambang baku mutu 65 mg/kg (ANZECC, 2000). Berdasarkan pedoman diatas dapat dikatakan bahwa kandungan logam berat Pb dan Cu di perairan Muara Sungai Semarang tidak melebihi baku mutu. Akan tetapi, logam berat harus tetap diwaspadai dikarenakan karena sifat akumulatifnya, sehingga perlu terus di amati karena logam-logam berat tersebut dapat menurunkan kualitas lingkungan di sekitarnya (Lestari & Budiyanto, 2013). Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan distribusi logam berat Pb dan Cu serta ukuran butir di lokasi penelitian.

Konsentrasi logam Cu memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan logam Pb. Berdasarkan hasil analisis terlihat bahwa stasiun 1 memiliki konsentrasi logam berat Pb dan Cu yang paling tinggi. Tingginya konsentrasi logam berat Pb dan Cu di Stasiun 1 karena berada tepat di sungai, area yang dekat dengan pemukiman penduduk sehingga terkena dampak limbah rumah tangga dan paling

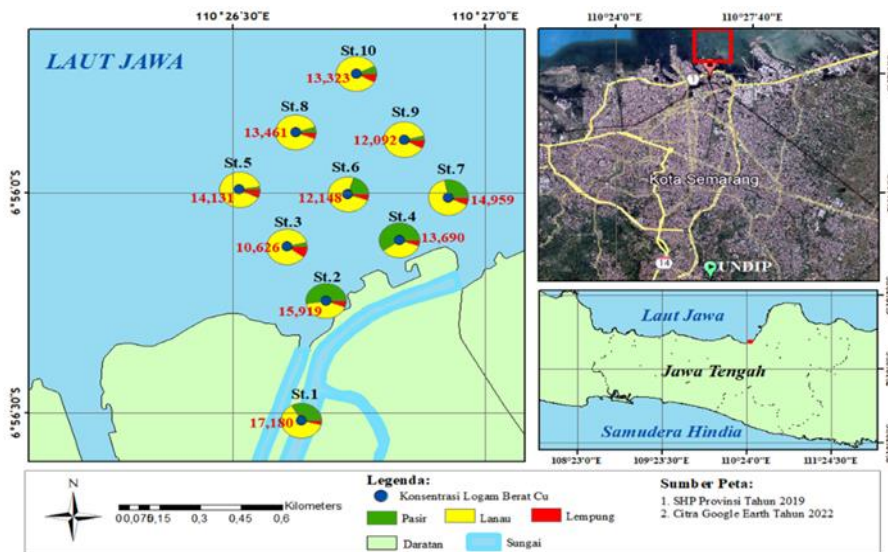
sering terpapar aktivitas penangkapan ikan. Konsentrasi logam berat Pb dan Cu yang tinggi juga dapat disebabkan oleh arus yang relatif (Wibowo & Cerlyawati, 2021).

**Tabel 1.** Konsentrasi Logam Berat dan Karbon organik dalam Sedimen

Stasiun	Timbal (mg/kg)	Tembaga (mg/kg)	Karbon organik (%)
1	8,571	17,180	14,81
2	7,709	15,919	14,62
3	5,228	10,626	22,8
4	6,954	13,690	2,99
5	4,644	14,131	16,02
6	5,138	12,148	13,79
7	6,572	14,959	24,29
8	5,667	13,461	20,72
9	5,344	12,092	13,96
10	5,839	13,323	15,21



**Gambar 2.** Hasil Konsentrasi Logam Berat Pb Beserta Jenis Sedimen



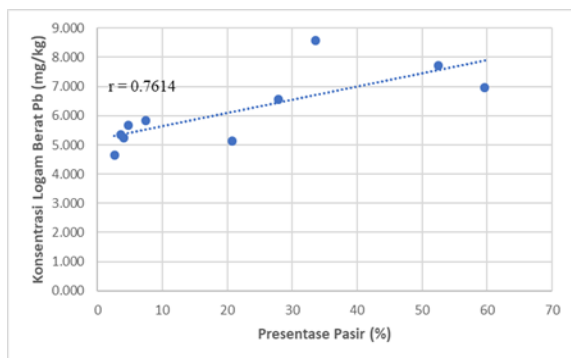
**Gambar 3.** Hasil Konsentrasi Logam Berat Cu Beserta Jenis Sedimen

Analisa besar butir terhadap contoh sedimen dari daerah penelitian terdiri fraksi pasir, lanau dan lempung dengan persentase yang bervariasi. Secara umum fraksi lanau sebagai penyusun sedimen yang paling besar, kemudian fraksi pasir dan fraksi lempung paling kecil (Tabel 2). Hasil analisa korelasi antara persentase ukuran butir sedimen dengan konsentrasi Pb, Cu dan karbon organik untuk mengetahui hubungan diantara parameter (Gambar 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 dan 11).

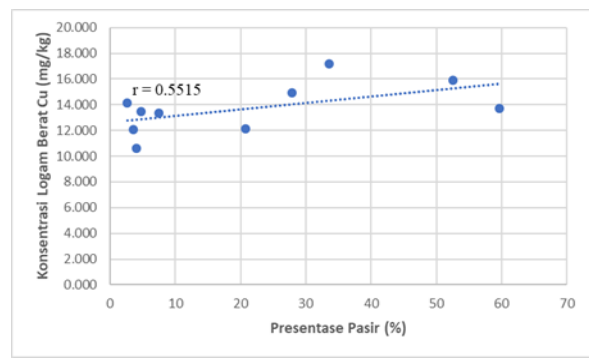
Ukuran butir merupakan faktor lain yang dapat berpengaruh pada konsentrasi logam berat dalam sedimen. Hal tersebut terlihat lanau memiliki ukuran sedimen yang halus dan dengan demikian mendukung pengikatan logam dalam sedimen. Persentase kandungan lanau yang tinggi juga biasanya menghasilkan konsentrasi logam berat yang tinggi. Akan tetapi berdasarkan analisis korelasi, hubungan antara partikel sedimen (pasir, lanau, lempung) dengan logam berat Pb dan Cu menunjukkan bahwa logam Pb lebih memiliki hubungan korelasi positif yang tinggi dengan fraksi pasir yaitu  $r = 0,7614$  (Gambar 3), hal ini dapat terjadi di interpretasikan dikarenakan adanya resistensi

**Tabel 2.** Presentase Ukuran Butir Pada Sedimen Dasar di Perairan Muara Sungai Genuk, Semarang

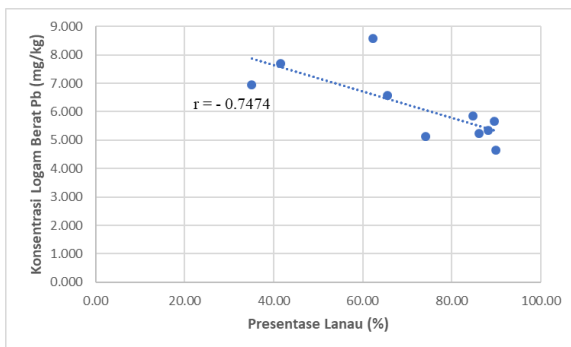
Stasiun	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)	Jenis Sedimen
1	33,62	62,20	4,18	Lanau Berpasir
2	52,55	41,56	5,89	Pasir Berlanau
3	4,05	86,11	9,84	Lanau
4	59,66	35,07	5,26	Pasir Berlanau
5	2,63	89,88	7,49	Lanau
6	20,79	74,16	5,06	Lanau Berpasir
7	27,84	65,48	6,68	Lanau Berpasir
8	4,77	89,62	5,60	Lanau
9	3,55	88,11	8,34	Lanau
10	7,5	84,69	7,80	Lanau



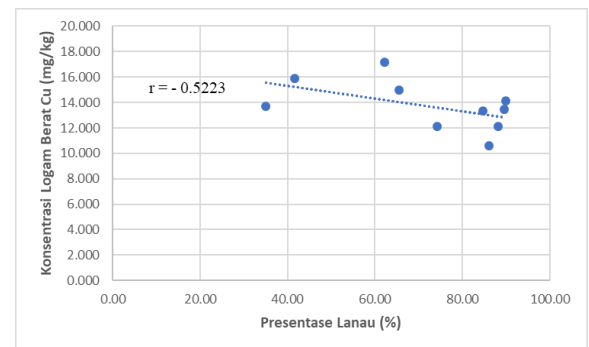
**Gambar 4.** Korelasi Logam Berat Pb dan Pasir



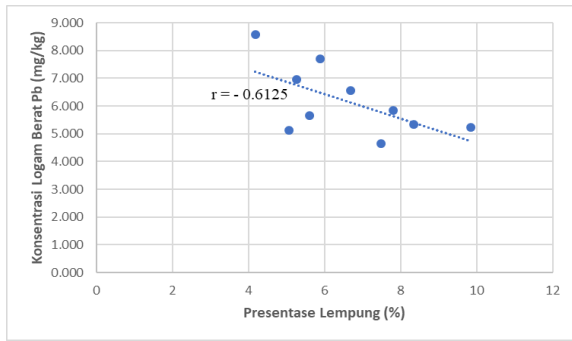
**Gambar 5.** Korelasi Logam Berat Cu dan Pasir



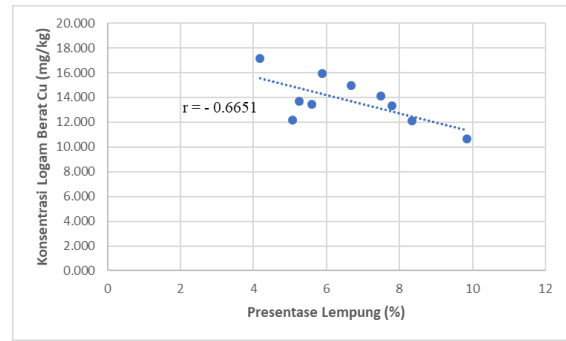
**Gambar 6.** Korelasi Logam Berat Pb dan Lanau



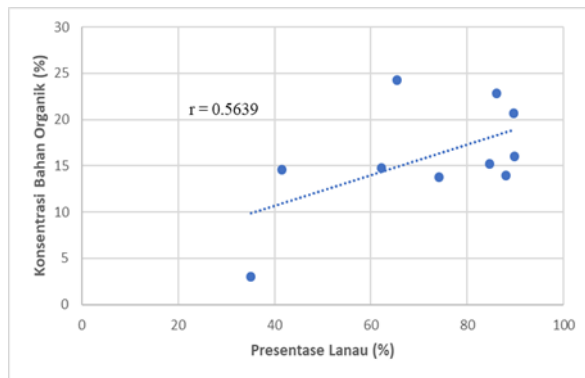
**Gambar 7.** Korelasi Logam Berat Cu dan Lanau



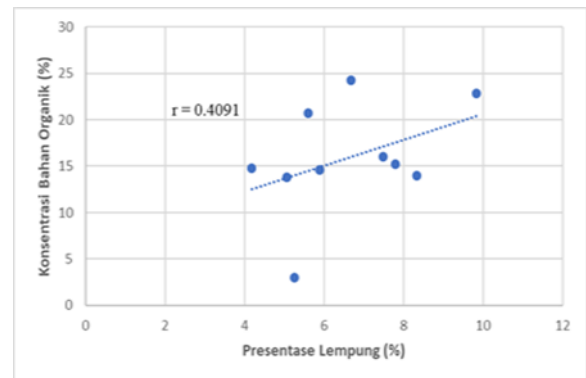
**Gambar 8.** Korelasi Logam Berat Pb dan Lempung



**Gambar 9.** Korelasi Logam Berat Cu dan Lempung



**Gambar 10.** Korelasi Karbon organik dengan Lanau



**Gambar 11.** Korelasi Karbon organik dengan Lempung

fraksi butiran yang secara umum lebih tinggi sehingga dalam transpornya ukuran butirnya relatif tidak banyak berubah. Fraksi sedimen pasir yang memiliki ukuran butir lebih besar dibanding lanau dan lempung memiliki resistensi yang tinggi dikarenakan ukuran butir lebih besar dan kasar sebagian diantaranya tersusun oleh material logam berat. Sedangkan korelasi antara konsentrasi Pb dengan persentase lanau dan lempung memiliki nilai negatif dengan nilai  $r = -0,7474$  dan  $r = -0,6125$ . Hubungan antara logam Cu dengan fraksi sedimen pasir juga menunjukkan nilai positif yaitu 0,5515 yang berarti hubungan korelasi antara keduanya sedang (Gambar 4).

Secara umum, karbon organik juga berasosiasi dengan fraksi sedimen. Hasil analisis karbon organik berkisar antara 2,99% hingga 24,29%, dengan konsentrasi terendah di Stasiun 4 sebesar 2,99%, dan konsentrasi tertinggi di Stasiun 7 sebesar 24,29%. Hubungan antara karbon organik dan fraksi sedimen ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11. Karbon organik berkorelasi positif dengan komponen lanau ( $r = 0,5639$ ) dan lempung ( $r = 0,4091$ ). Menurut Maslukah (2013), umumnya sedimen berbutir halus mengalami peningkatan kandungan karbon organik. Semakin halus sedimen, semakin besar kemampuannya untuk mengakumulasi karbon organik. Hal tersebut selaras dengan pernyataan Galanopoulou *et al.* (2009) yang melakukan penelitian di pelabuhan Keratsini dan teluk Saronikos Yunani logam berat antropogenik seperti Cd, Pb, Zn, Mn, As, Se, Cr, Cu keberadaannya dalam sedimen bagian atas berbanding lurus dengan bahan organik karbon. Daessle *et al.* (2009) menginformasikan peningkatan logam antropogenik dalam sedimen bagian permukaan dan bawah tergantung dari masukan oleh aktivitas dan adanya perubahan sepanjang Delta Colorado. Keberadaan logam berat dalam sedimen akan mengikat menurut waktu karena proses akumulasi dalam sedimen ha tersebut akan membahayakan bagi lingkungan muara Sungai Genuk. Salah satu yang terkena dampak langsung kontaminasi logam berat dalam sedimen adalah organisme menthik yang menetap dalam perairan tersebut seperti kerang *Anadara sp.* di Brebes (Suryono *et al.*, 2018). Biota benthik mampu mengakumulasi logam berat baik langsung maupun melalui rantai makanan (Won *et al.*, 2016 & Velez *et al.*, 2015).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil riset bisa disimpulkan kalau konsentrasi logam Cu di daerah penelitian mempunyai nilai yang lebih besar dibanding dengan logam Pb. Untuk logam berat Pb berkisar 4,644–8,571 mg/kg dan logam berat Cu berkisar 10,626–17,18 mg/kg, dengan konsentrasi tertinggi masing-masing terdapat pada stasiun 1. Logam berat Pb dan Cu merupakan material yang jauh lebih resisten dibandingkan bahan organik khususnya karbon terlihat dari ukuran butir yang berkorelasi positif terhadap Pb dan Cu adalah pasir sedangkan karbon organik berkorelasi positif dengan lanau dan lempung.

## DAFTAR PUSTAKA

- ANZECC, 1992. Australian and New Zealand Guidelines for The Assessment and Management of Contaminated Sites. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council National Health and Medical Research Council.
- Azizah, R., Malau, R., Susanto, A.B., Santoso, G.W., Hartati, R., Irwani & Suryono. 2018. Kandungan Timbal Pada Air, Sedimen, Dan Rumput Laut *Sargassum* sp. Di Perairan Jepara, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(2):155-166
- Daessle, L.W., Ramos, S.E., Carriquiry, J.D. & Camacho, V.F. 2002. Clay dispersal and the geochemistry of manganese in the Northern Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 22:1311–1323. doi: 10.1016/S0278-4343 (02)00007-9
- Darmansyah K.R., Wulandari, S.Y., Marwoto, J. & Supriyantini, E. 2020. Profil Vertikal Logam Berat Tembaga (Cu), Nikel (Ni), Dan Mangan (Mn) di Core Sedimen Perairan Pantai Marunda, Teluk Jakarta. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(1):98-104
- Froehner, S. & Martins, R.F. 2008., Evaluation of the chemical composition of sediments from the Barigüi river in Curitiba, Brazil. *Química Nova*, 31(8):2020– 2026
- Galanopoulou, S., Vgenopoulos, A., & Conispoliatis, N. 2009. Anthropogenic Heavy Metal Pollution in the Surficial Sediments of the Keratsini Harbor, Saronikos Gulf, Greece. *Water, Air, & Soil Pollution*. 202(1):121-130
- Hunter, K.A., 1983. On the estuarine mixing of dissolved substances in relation to colloid stability and surface properties. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47:467–473. doi: 10.1016/0016-7037(83)90269-7
- Indrayana, R., Yusuf, M. & Rifai, A. 2014. Pengaruh Arus Permukaan Terhadap Sebaran Kualitas Air di Perairan Genuk Semarang. *Jurnal Oseanograf*, 3(51):651–659.
- Lestari., & Budiyanto, F. 2013. Konsentrasi Hg, Cd, Cu, Pb, dan Zn Dalam Sedimen di Perairan Gresik. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1):182–191.
- Mariani, C.F. & Pompeo, M.L.M. 2008. Potentially bioavailable metals in sediment from a tropical polymictic environment—Rio Grande Reservoir, Brazil. *The Journal of Soils and Sediments*, 8(5):284– 288
- Maslukah, L. 2013. Hubungan antara konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cu, Zn dengan bahan organik dan ukuran butir dalam sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(3):55-62.
- Najamuddin, Tahir, I., Paembonan, R.E. & Inayah. Pengaruh Karakteristik Sedimen terhadap Distribusi dan Akumulasi Logam Berat Pb dan Zn di Perairan Sungai, Estuaria, dan Pantai. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(1):1-14
- Rutemberg, K.C. & Goni, M.A. 1997. Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and  $\delta^{13}\text{COC}$  in arctic, temperate, and tropical coastal sediments: Tools for characterizing bulk sedimentary organic matter. *Marine Geology*, 139(1):123–145
- Strauch, G., Möder, M., Wennrich, R., Osenbrück, K., Gläser, H.R. & Schladitz, T. 2008. Indicators for assessing anthropogenic impact on urban surface and groundwater. *The Journal of Soils and Sediments*, 8(1):23–33
- Suryono, C.A. 2016. Akumulasi logam berat Cr, Pb dan Cu dalam sedimen dan hubunannya dengan organisme dasar di perairan Tugu Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(2):143–149
- 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., Widada, S., Rochaddi, B., Subagiyo., Setyati, W. & Susilo, E.S. 2018. Kontaminasi logam berat Arsen, Mercury dan Magnesium pada air laut, sedimen dan *Anadara inaequalis* (Mollusca: Bivalvia, Brugiera, 1792) di Perairan Brebes Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(2):150-154
- Velez, C., Figueira, E., Soares, A. & Freitas, R. 2015. Spatial distribution and bioaccumulation patterns in three clam populations from a low contaminated ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 155:114–125
- Viguri, J., Verde, J. & Irabien, A. 2002. Environmental assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in surface sediments of the Santander Bay, Northern Spain. *Chemosphere*, 48:157–165
- Wibowo, A.B. & Cerlyawati, H. 2021. Analisa Kandungan Logam Cd, Pb, Zn Dan Cu pada Tangki Ballast Kapal Niaga di Pelabuhan Kendal dan Tanjung Mas Semarang. *Jurnal Maritim Polimarin*, 7(1):32-39.
- Won, E.J., Kim, K.T., Choi, J.Y., Kim, E.S. & Ra, K. 2016. Target organs of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* for studying metal accumulation and biomarkers in pollution monitoring: laboratory and in-situ transplantation experiments. *Environmental Monitoring and Assessment* 188(10):478-477