

## Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Seng (Zn) Pada Sedimen Di Perairan Kabupaten Batang

Muhammad Azizi Dirgantara Buana Nata\*, Muslim, Lilik Maslukah

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia  
Email: muhammadazizi07@yahoo.com

### Abstrak

Wilayah pesisir Kabupaten Batang dimanfaatkan untuk menjadi tambak, pemukiman, kawasan wisata, industri, dan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). aktivitas antropogenik di wilayah pesisir dapat meningkatkan kandungan logam berat. Salah satu sumber pencemar logam berat adalah limbah yang dihasilkan dari pembakaran batubara memiliki kandungan logam berat yang berbahaya untuk lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) di dalam sedimen di perairan Kabupaten Batang dan hubungannya dengan jenis sedimen. Wilayah penelitian terletak pada 109°48'32,95" - 109°48'14,01" BT dan 6°53'59,15" - 6°53'15,40" LS. Data yang digunakan adalah sedimen dasar perairan Kabupaten Batang yang diambil pada September 2022. Analisis kandungan logam berat Pb dan Zn diperoleh dengan serapan atom dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan logam berat Pb berkisar antara 3,62 – 8,11 mg/Kg dengan rata-rata sebesar 5,07 mg/Kg dan kandungan logam berat Zn berkisar antara 20,97 – 45,45 mg/Kg dengan rata-rata sebesar 28,32 mg/Kg. Sebaran sedimen dasar perairan didominasi ukuran pasir dan lanau. Adapun jenis sedimen dasar perairan tidak mempengaruhi kandungan logam berat pada sedimen dasar.

**Kata kunci:** Pembangkit Listrik Tenaga Uap, Logam Berat, Kabupaten Batang, *Atomic Absorption Spectrophotometry*

### Abstract

#### *Analysis of Heavy Metal Content of Lead (Pb) and Zinc (Zn) in Sediments in Batang Regency Waters*

The coastal area of Batang Regency is utilized to become ponds, settlements, tourist areas, industry, and even as a power plant. Increased activity in coastal areas can lead to increased heavy metal concentration. The waste produced by burning coal contains heavy metals that harm to the environment. This study aimed to determine the concentrations of heavy metals lead (Pb) and zinc (Zn) in the sediments of the Batang Regency waters. The research area is located at 109°48'32.95" - 109°48'14.01" East Longitude and 6°53'59.15" - 6°53'15.40" South Latitude. The data used are the marine sediments of Batang waters taken in September 2022. Analysis of the content of heavy metals Pb and Zn was obtained by atomic absorption with the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method. The results of this study showed that the heavy metal lead (Pb) content ranges from 3.62 – 8.11 mg/Kg with an average of 5.07 mg/Kg and the heavy metal zinc (Zn) content ranges from 20.97 – 45.45 mg/Kg with an average of 28.32 mg/Kg. The distribution of marine sediments is dominated by sand and silt. Moreover, the bottom sediment type does not affect the heavy metal concentration in the marine sediments.

**Keywords:** Steam Power Plant, Heavy Metals, Batang Regency, *Atomic Absorption Spectrophotometry*

### PENDAHULUAN

Kabupaten Batang merupakan daerah yang terletak di sebelah utara Pulau Jawa dan berbatasan langsung dengan Kota Pekalongan. Kabupaten Batang memiliki garis pantai sepanjang 38,75 km dengan luas laut 287.060 km<sup>2</sup> serta memiliki jenis pantai berbatu dan berpasir (Gamawan *et al.*, 2018). Pesisir Kabupaten Batang saat ini dimanfaatkan untuk menjadi pemukiman, kawasan wisata, kawasan pertanian dan perikanan serta kawasan industri (Narto, 2022). Meningkatnya aktivitas di kawasan pesisir Kabupaten Batang memberikan efek positif dan negatif. Efek positif dari peningkatan industri ialah terbukanya lapangan pekerjaan dan meningkatnya taraf hidup di wilayah tersebut. Namun peningkatan aktivitas juga memiliki dampak negatif seperti menurunnya kualitas perairan akibat pembuangan limbah industri (Kurniawansyah *et*

*al.*, 2022). Salah satu kegiatan industri yang membuang limbah ke perairan Kabupaten Batang adalah pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batubara (Pramanik *et al.*, 2020).

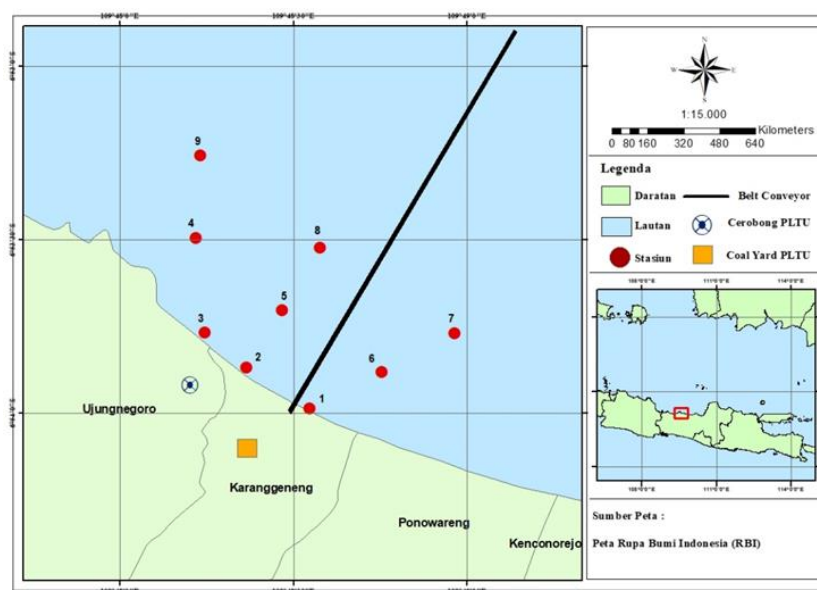
Pembangkit listrik yang terletak di Kabupaten Batang adalah PLTU, yang diharapkan dapat memasok kebutuhan listrik di Pulau Jawa. PLTU Batang terletak di beberapa desa (Prabandari & Rengga, 2018; Priyono *et al.*, 2021). Dampak dari aktivitas PLTU di perairan Kabupaten Batang menimbulkan dampak negatif untuk lingkungan seperti kerusakan lingkungan dan menurunnya hasil tangkapan ikan nelayan. Limbah yang dihasilkan oleh pembakaran batubara yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) banyak mengandung logam berat (Prawardani & Rachmanto, 2023).

Logam berat adalah salah satu polutan yang beracun dan dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan dan perilaku ataupun kematian (Pratiwi, 2020). Timbal (Pb) merupakan logam berat yang bersifat karsinogenik. Zat karsinogenik merupakan zat yang dapat menumbuhkan sel kanker dan dapat menyebabkan perubahan genetik suatu sel yang diwariskan oleh induk kepada keturunannya (mutasi genetik) (Boskabady *et al.*, 2018). Logam berat timbal masuk ke perairan melalui aktivitas industri seperti pembuatan baterai, pabrik cat serta penggunaan bahan bakar yang mengandung timbal (Budiastuti *et al.*, 2016). Keberadaan timbal di lingkungan bukan hanya berbahaya bagi manusia, timbal juga berbahaya bagi makhluk hidup lainnya seperti ikan, udang, kerrang, dan tumbuhan. Sedangkan logam berat seng merupakan logam esensial yang masih dibutuhkan oleh tubuh di hampir semua organisme dengan jumlah yang sedikit. Sumber logam berat seng adalah penggunaan pupuk kimia dan penggunaan cat (Patty *et al.*, 2018). Namun, jika melebihi ambang batas yang telah ditentukan, logam tersebut dapat berbahaya untuk kehidupan organisme dan bersifat toksik.

Logam berat dapat tersebar di perairan secara alami ataupun antropogenik. Peningkatan aktivitas manusia secara masif pun dapat meningkatkan kandungan dan sebaran logam berat di lingkungan. Sebelum terjadinya revolusi industri, logam berat di lingkungan dapat dikontrol dengan baik oleh alam. Namun setelah terjadinya revolusi industri kandungan logam berat meningkat secara signifikan. Kegiatan industri seperti penambangan dan pembakaran batubara berkontribusi besar terhadap peningkatan kandungan logam berat di lingkungan (Jiang *et al.*, 2023). Selain itu sedimen memiliki peran yang besar dalam persebaran logam berat di perairan. Sedimen perairan yang berada di daerah estuari dengan perkembangan industri yang pesat adalah tempat terakhir dari logam berat yang dilepaskan ke lingkungan.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dengan dua tahap, yaitu tahap pengumpulan data dan analisis laboratorium dari 9 titik stasiun di perairan Kabupaten Batang. Penelitian dilaksanakan pada September 2022. Wilayah penelitian terletak pada  $109^{\circ}48'32,95''$  -  $109^{\circ}48'14,01''$  BT dan  $6^{\circ}53'59,15''$  -  $6^{\circ}53'15,40''$  LS Perairan Kabupaten Batang terletak di sebelah utara Pulau Jawa (Gambar 1).



**Gambar 1.** Wilayah Penelitian di perairan Kabupaten Batang

Pengukuran parameter oseanografi terdiri parameter fisika dan parameter kimia yang digunakan untuk mengetahui kualitas air di perairan Kabupaten Batang. Parameter oseanografi yang diukur adalah suhu, derajat keasaman, salinitas, oksigen terlarut, kecerahan, kedalaman, dan arus permukaan. Sampel sedimen untuk pengukuran logam berat Pb dan Zn diambil sebanyak 500 gram pada setiap stasiun dengan menggunakan *grab sampler*, kemudian dimasukkan ke dalam plastik *zipper*, dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis kandungan logam berat Pb dan Zn. Penentuan titik stasiun dilaksanakan secara acak dan tersebar di setiap stasiun yang merupakan perwakilan dari daerah sekitarnya. Logam berat yang berada di sampel sedimen dasar dideteksi menggunakan metode AAS. Metode AAS mempunyai kepekaan dan selektifitas yang tinggi serta dapat mendeteksi kandungan logam kurang dari 1 ppm (Zulfiah *et al.*, 2017). Sampel disiapkan satu persatu kemudian diisapkan melalui pipa kapiler pada alat AAS. Selanjutnya nilai deteksi logam berat dibaca dan dicatat serapan-masuknya gelombang. Selain itu sampel sedimen dasar juga dianalisis dengan metode analisis granulometri (Gemilang *et al.*, 2017). Sedimen dasar dilakukan *sieving* yang terdiri dari pengayakan dan pemipetan. Hasil *sieving* kemudian ditimbang dan diolah untuk mendapatkan persentase kumulatif dan diklasifikasikan menggunakan skala Wentworth dan segitiga Shepard (Harahap *et al.*, 2021).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Parameter Oseanografi

Hasil pengukuran parameter oseanografi menunjukkan bahwa nilai suhu berkisar antara 31 – 31,8°C. Nilai salinitas berkisar antara 28,7 – 32 ‰. Oksigen terlarut dengan nilai antara 5,75 – 7,54 ppm. Nilai derajat keasaman atau pH air laut berkisar antara 7,66 – 7,91 dan pH sedimen berkisar 4,8 – 5,8. Kecerahan perairan berkisar antara 0,77 meter hingga 1,68 meter dengan kedalaman antara 3 meter sampai 6,8 meter. Hasil parameter oseanografi dapat dilihat melalui Tabel 1.

### Kecepatan Arus Permukaan

Hasil pengukuran arus permukaan di wilayah penelitian menunjukkan bahwa arus permukaan bergerak ke arah utara. Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, kecepatan arus berkisar 0,05 – 0,23 m/s. Kecepatan arus permukaan maksimum terletak di stasiun 2 yang mencapai kecepatan 0,23 m/s, sedangkan untuk nilai minimum berada pada stasiun 5 dengan kecepatan 0,05 m/s. Hasil pengukuran dan pola sebaran arus permukaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Pola arus permukaan yang terjadi cenderung bergerak ke arah utara (Tabel 2). Kecepatan rata-rata arus permukaan yang didapatkan sebesar 0,117 m/s. Kecepatan arus tidak berpengaruh terhadap kandungan logam berat pada sedimen dasar perairan. Hal ini merujuk pada nilai korelasi keduanya yang rendah. Hal ini diperkuat oleh Usman *et al.* (2015), bahwa peningkatan kecepatan arus tidak berpengaruh secara langsung terhadap persebaran kandungan logam berat pada sedimen dasar. Namun arus yang tercatat pada stasiun 3, 4 dan 9 memiliki kecepatan yang relatif rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya. Kondisi ini berpengaruh terhadap kandungan logam berat pada sedimen dasar stasiun tersebut. Karena kecepatan arus yang kecil maka logam berat akan lebih mudah mengendap ke dasar perairan dan terikat dengan sedimen. Hal ini sesuai dengan pernyataan oleh Maslukah *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa arus yang tenang menyebabkan logam berat akan mengendap di dasar perairan.

**Tabel 1.** Hasil Parameter Oseanografi

Stasiun	Suhu (°C)	Salinitas (‰)	DO (ppm)	pH		Kecerahan (m)	Kedalaman (m)
				Air Laut	Sedimen		
1	32,2	28,7	6,71	7,91	4,8	0,77	4,6
2	31,7	29,3	6,49	7,90	4,6	1,20	3,0
3	31,4	32,0	5,83	7,66	5,6	1,00	3,0
4	31,4	28,7	5,89	7,73	5,8	0,93	4,1
5	31,7	30,0	6,61	7,85	5,8	1,25	3,6
6	31,5	30,0	6,02	7,88	5	1,07	6,8
7	31,5	28,7	5,75	7,87	5,1	1,68	4,6
8	31,84	30,0	7,54	7,77	4,8	1,53	5,6
9	31	32,0	6,10	7,82	5,8	1,44	5,6

**Tabel 2.** Hasil Pengukuran Arus Permukaan

Stasiun	Latitude	Longitude	Kecepatan (m/s)	Arah
1	6°53'59,15"S	109°48'32,95"E	0,11	Utara
2	6°53'52,01"S	109°48'22,04"E	0,23	Barat Laut
3	6°53'46,03"S	109°48'14,75"E	0,07	Utara
4	6°53'29,67"S	109°48'13,26"E	0,07	Selatan
5	6°53'42,20"S	109°48'28,14"E	0,05	Utara
6	6°53'52,87"S	109°48'45,37"E	0,14	Utara
7	6°53'46,13"S	109°48'57,93"E	0,16	Utara
8	6°53'31,36"S	109°48'34,73"E	0,17	Utara
9	6°53'15,40"S	109°48'14,01"E	0,06	Timur Laut

**Tabel 3.** Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn)

Stasiun	Konsentrasi (mg/Kg)	
	Timbal (Pb)	Seng (Zn)
1	3,65	20,97
2	3,62	23,34
3	8,11	45,45
4	5,11	29,13
5	4,72	27,86
6	5,08	32,56
7	4,41	28,53
8	3,85	21,78
9	7,16	25,31
<b>Rata-rata</b>	<b>5,07</b>	<b>28,32</b>

### Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn)

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisa pada 9 stasiun, diketahui bahwa konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada sedimen dasar di wilayah penelitian berkisar antara 3,62 – 8,11 mg/Kg dengan rata-rata 5,07 mg/Kg. Konsentrasi timbal tertinggi pada stasiun 3 dengan nilai 8,11 mg/Kg dan konsentrasi terendah berada di stasiun 2 dengan nilai 3,62 mg/Kg. Sedangkan untuk konsentrasi logam berat seng (Zn) berkisar antara 20,97 – 45,45 mg/Kg dengan rata-rata sebesar 28,32 mg/Kg. Konsentrasi tertinggi berada pada stasiun 3 dengan nilai 45,45 mg/Kg dan konsentrasi terendah berada pada stasiun 1 dengan nilai sebesar 20,97 mg/Kg (Tabel 3).

Kandungan logam berat timbal dan seng pada tiap stasiun memiliki nilai yang bervariasi. Beberapa stasiun yang memiliki kandungan lebih tinggi daripada stasiun lainnya. Hal ini dikarenakan lokasi dan sumber dari tiap-tiap logam berat. Stasiun 1, 2 dan 8 memiliki kandungan logam berat timbal dan seng yang paling rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya. Hal ini diduga karena sumber logam berat di sekitar stasiun tersebut. Sesuai dengan pernyataan Rondi *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa tinggi rendahnya kandungan logam berat disebabkan oleh sumbernya. Sedangkan stasiun 3 memiliki kandungan logam berat timbal dan seng tertinggi diantara semua stasiun. Hal ini disebabkan karena wilayah tersebut merupakan daerah saluran pembuangan dari PLTU Batang melalui cerobong pembakaran batubara (Gambar 1). Sehingga konsentrasi timbal dan seng dapat dipengaruhi oleh sisa pembuangan limbah batubara. Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Prawardani & Rachmanto (2023) yang menyatakan bahwa limbah pembakaran batubara mengandung logam berat.

Stasiun 4 dan 9 memiliki kandungan logam berat timbal dan seng yang cukup tinggi. Kondisi ini diduga disebabkan oleh saluran pembuangan yang berasal dari PLTU Batang ke laut. Hal ini diperkuat oleh Siregar & Edward (2010) yang menyatakan bahwa pembuangan limbah industri berperan terhadap kandungan logam berat di perairan. Stasiun 5, 6 dan 7 memiliki nilai yang cukup tinggi. Kondisi ini disebabkan oleh aktivitas aktivitas pelayaran yang berada di sekitar stasiun tersebut. Meningkatnya aktivitas pelayaran dapat menyebabkan meningkatnya kandungan logam berat di lautan karena perairan dapat tercemar oleh logam berat yang berasal dari keroposnya lapisan cat kapal, rembesan oli, dan tumpahan bahan bakar yang berasal dari kapal (Hadi *et al.*, 2018).

**Tabel 4.** Perbandingan Kandungan Logam Berat Pb dan Zn di Beberapa Lokasi di Dunia

Lokasi	Pb	Zn	Referensi
Kabupaten Batang	5,07	28,32	Penelitian ini
Teluk Jakarta	9,686	58,53	Edward <i>et al.</i> , (2021)
Teluk Ambon	14,4 – 24,5	51,3 - 163	Manullang <i>et al.</i> , (2017)
Perairan Jeneberang	0,449 – 3,33	48,28 – 79,27	Najamuddin <i>et al.</i> , (2020)
Selat Berhala, Provinsi Jambi	6,2	25,2	Susantoro <i>et al.</i> , (2015)
Pelabuhan Bangshan, Laut Bohai (China)	27,3	83,9	Jiang <i>et al.</i> , (2023)
Yanbu, Saudi Arabia	37,9	144,7	Alharbi <i>et al.</i> , (2019)
Pesisir Digha, India ( <i>Summer</i> )	9,5125	65,14	Patra <i>et al.</i> , (2023)
Pesisir Digha, India ( <i>Winter</i> )	50,6	56,47	
Perairan Utara Laut Cina Selatan	38,5	116,8	Zhang <i>et al.</i> , (2022)

Nilai logam berat timbal dan logam berat seng pada sedimen tidak menunjukkan pola tertentu (Tabel 3). Kondisi ini dapat terjadi karena tidak adanya pengaruh lokasi terhadap kandungan logam berat. Pola sebaran logam berat menunjukkan bahwa kandungan logam berat pada sedimen dasar dipengaruhi oleh sumber logam berat itu sendiri. Hal ini disebabkan karena kandungan logam berat banyak dipengaruhi oleh kondisi tiap stasiun. Kondisi ini sesuai dengan pernyataan Kusuma *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa pola sebaran logam berat di sedimen dasar dipengaruhi oleh tingkat pengendapan dari sumbernya. Selanjutnya sebaran kandungan logam berat pada wilayah penelitian tidak dipengaruhi oleh kedalaman perairan yang ditunjukkan dengan nilai korelasi yang rendah. Namun kandungan logam berat di sedimen dasar dipengaruhi oleh kondisi tiap stasiun yang mempunyai sumber logam berat (Silalahi *et al.*, 2023). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat di sekitar PLTU Batang memiliki kandungan yang relatif rendah untuk wilayah perairan Indonesia dan di dunia. Beberapa perbandingan untuk kandungan logam berat di wilayah Indonesia dan dunia disajikan pada Tabel 4.

Kandungan logam berat timbal dan seng pada PLTU Batang jika dibandingkan dengan kandungan logam berat di berbagai perairan di Indonesia relatif lebih rendah (Tabel 4). Sebagai contoh dengan perairan Teluk Jakarta dan Teluk Ambon. Hal ini terjadi karena aktivitas antropogenik pada perairan Teluk Jakarta dan Teluk Ambon memiliki intensitas yang lebih tinggi serta perairan tersebut memiliki daerah aliran sungai yang lebih banyak dibandingkan dengan perairan Kabupaten Batang. Kondisi ini sesuai dengan Jiang *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa peningkatan aktivitas manusia di kawasan pesisir berperan dalam meningkatnya kandungan logam berat. Namun logam berat timbal diperairan Kabupaten Batang memiliki nilai yang lebih tinggi daripada perairan Jeneberang, Provinsi Sulawesi Selatan. Hal ini dapat terjadi karena tidak ada kegiatan industri yang terdapat di sekitar perairan Jeneberang, Sulawesi Selatan. Sesuai dengan pernyataan Perumal *et al.* (2021) bahwa kegiatan industri memicu peningkatan kandungan logam berat pada sedimen dasar perairan. Sedangkan untuk logam berat seng diperairan Kabupaten Batang memiliki kandungan yang lebih tinggi daripada Selat Berhala, Provinsi Jambi. Hal ini terjadi karena banyaknya aktivitas kapal yang beroperasi di sekitar perairan PLTU Batang. Sejalan dengan pernyataan yang dikatakan oleh Patra *et al.* (2023) bahwa peningkatan aktivitas pelayaran dapat menyebabkan meningkatnya kandungan logam berat.

### Ukuran Butir Sedimen

Berdasarkan hasil pengolahan, didapatkan persentase ukuran butir sedimen dasar pada wilayah penelitian di perairan Kabupaten Batang. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5. Ukuran sedimen dasar di wilayah penelitian didominasi oleh pasir dan lanau. Berdasarkan uji statistik menunjukkan bahwa tidak ada hubungan antara logam berat terhadap ukuran butir sedimen. Melainkan kandungan logam berat pada sedimen dasar memiliki korelasi dengan sumber logam berat seperti pembakaran batubara yang menghasilkan logam berat timbal dan seng (Kurniawan, 2017). Fenomena serupa juga terjadi pada penelitian yang telah dilaksanakan oleh Paramita *et al.* (2017) bahwa ukuran butir tidak mempengaruhi kandungan logam berat di sedimen.

**Tabel 5.** Klasifikasi Jenis Ukuran Butir Sedimen

Stasiun	Persentase Ukuran Butir Sedimen (%)			Jenis Sedimen
	Pasir (Sand)	Lanau (Silt)	Lempung (Clay)	
1	7,46	76,44	16,10	Lanau
2	12,49	72,40	15,11	Lanau lempung
3	98,71	1,28	0,00	Pasir
4	5,97	77,78	16,25	Lanau
5	99,02	0,79	0,19	Pasir
6	98,96	0,84	0,20	Pasir
7	99,01	0,79	0,20	Pasir
8	4,42	79,75	15,83	Lanau
9	7,99	76,25	15,76	Lanau

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di perairan Kabupaten Batang maka kesimpulan yang dapat diberikan ialah kandungan logam berat timbal (Pb) berkisar antara 3,62 – 8,11 mg/Kg dengan rata-rata 5,07 mg/Kg. Sedangkan kandungan logam berat seng (Zn) berkisar antara 20,97 - 45,45 mg/Kg dengan rata-rata 28,32 mg/Kg. Sebaran sedimen dasar didominasi oleh ukuran pasir dan lanau. Adapun jenis ukuran butir sedimen tidak mempengaruhi kandungan logam berat timbal dan seng pada sedimen dasar wilayah penelitian di perairan Kabupaten Batang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alharbi, O. M. L., Khattab, R. A., Ali, I., Binnaser, Y. S. & Aqeel, A. 2019. Assessment of heavy metals contamination in the sediments and mangroves (*Avicennia marina*) at Yanbu coast, Red Sea, Saudi Arabia. *Marine Pollution Bulletin*, 149: p.110669. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110669>.
- Boskabady, M., Marefati, N., Farkhondeh, T., Shakeri, F., Farshbaf, A., & Boskabady, M. H. 2018. The effect of environmental lead exposure on human health and the contribution of inflammatory mechanisms, a review. *Environment International*, 120: 404-420. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.013>.
- Budiasuti, P., Rahadjo, M. & Dewanti, N. A. Y. 2016. Analisis pencemaran logam berat timbal di badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(5):119-124. <https://doi.org/10.14710/jkm.v4i5.14489>.
- Edward, Munawir, K., Yogaswara, D., Falahuddin, D., Kusnadi, A., Triandiza, T., Helfinalis, Wulandari, I. & Pesilette, R. N. 2021. Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn, Ni dan Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam Sedimen di Teluk Jakarta. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 5(1): 1-20. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2021.Vol.5.No.1.104>.
- Gamawan, R. P., Suryanti, S. & Wibawa, T. A. 2018. Pemetaan wilayah penangkapan ikan teri (*Stolephorus sp*) berdasarkan data satelit ocean color di perairan Kabupaten Batang. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 3(2): 133-142. <https://doi.org/10.14710/ijfst.13.2.133-142>.
- Gemilang, W. A., Wisha, U. J. & Kusumah, G. 2017. Bed sediment distribution for identification of the coastal erosion in Brebes Subdistrict using granulometry analysis. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 10(1): 54–66. <http://doi.org/10.21107/jk.v10i1.2156>.
- Hadi, I., Suhendrayatna & Muchlisin, Z. A. 2018. Status mutu air dan kandungan logam berat pada air dan sedimen di muara Krueng Aceh, Kota Banda Aceh. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 7(2): 91-99. <https://doi.org/10.13170/depik.7.2.8606>.
- Harahap, S. A., Yuliadi, L. P. S., Purba, N. P. & Aulia, A. A. 2021. Mapping of Sediment on the Waters Around Panjang Island, Banten Bay, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 6(2): 99-106. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2021.6.2.5057>.
- Jiang, W., Chu, H., Liu, Y., Chen, B., Feng, Y., Lyu, J., Yuan, J., Wang, L., Li, J. & Hou, W. 2023. Distribution of heavy metals in coastal sediments under the influence of multiple factors: A case study from the south coast of an industrialized harbor city (Tangshan, China). *Science of The Total Environment*, 889: p.164208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164208>.

- Kurniawan, H. 2017. Analisis Pengaruh Kandungan Logam Berat Terhadap Energi Pembakaran Batubara. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 1(2): 121-128. <http://doi.org/10.22373/crc.v1i2.2083>.
- Kurniawansyah, E., Fauzan, A. & Mustari. 2022. Dampak Sosial dan Lingkungan Terhadap Pencemaran Limbah Pabrik. *CIVICUS: Pendidikan-Penelitian-Pengabdian Pendidikan Pancasila dan Kewarganegaraan*, 10(1): 14-20. <https://doi.org/10.31764/civicus.v10i1.9658>.
- Kusuma, A. H., Prartono, T., Atmadipoera, A. S. & Arifin, T. 2015. Sebaran logam berat terlarut dan terendapkan di perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6(1): 41-49. <https://doi.org/10.24319/jtpk.6.41-49>.
- Manullang, C. Y., Lestari, T. Y., Tapilatu, Y. & Arifin, Z. 2017. Assessment of Fe, Cu, Zn, Pb, Cd & Hg in Ambon Bay surface sediments. *Marine Research in Indonesia*, 42(2): 77-86. <http://doi.org/10.14203/mri.v42i2.170>.
- Maslukah, L., Wulandari, S. Y. & Yasrida, A. 2017. Rasio Organik Karbon Terhadap Fosfor Dalam Sedimen Di Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 6(1): 39-45. <https://doi.org/10.14710/buloma.v6i1.15740>.
- Najamuddin, Tahir, I., Paembonan, R. E. & Inayah. 2020. 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. <https://doi.org/10.14710/jkt.v23i1.5315>.
- Narto, S. 2022. Peran Pemerintah Daerah Kabupaten Batang Dalam Penanganan Konflik Di Kawasan Industri Terpadu Batang. *Journal of Social and Political Science*, 1(2): 59-67. <https://doi.org/10.1029/justice.v1i2.17>.
- Paramita, R. W. 2017. Kandungan logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) di air permukaan dan sedimen: studi kasus Waduk Saguling Jawa Barat. *Jurnal Reka Lingkungan*, 5(2): 1-12. <https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v5i2.25p>.
- Patra, A., Das, S., Mandal, A., Mondal, N. S., Kole, D., Dutta, P. & Ghosh, A. R. 2023. Seasonal variation of physicochemical parameters and heavy metal concentration in water and bottom sediment at harboring areas of Digha coast, West Bengal, India. *Regional Studies in Marine Science*, 62: p.102945. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102945>.
- Patty, J. O., Siahaan, R. & Maabuat, P. V. 2018. Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara-Sulawesi Utara. *Jurnal Bios Logos*, 8(1): 15-20. <https://doi.org/10.35799/jbl.8.1.2018.20592>.
- Perumal, K., Antony, J. & Muthuramalingam, S. 2021. Heavy metal pollutants and their spatial distribution in surface sediments from Thondi coast, Palk Bay, South India. *Environmental Sciences Europe*, 33(1): p.63. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00501-2>.
- Prabandari, D. & Rengga, A. 2018. Evaluasi Dampak Kebijakan Pembangunan PLTU terhadap Kehidupan Sosial Ekonomi Masyarakat Desa Karanggeneng Kecamatan Kandeman Kabupaten Batang. *Journal of Public Policy and Management Review*, 7(4): 333-346. <https://doi.org/10.14710/jppmr.v7i4.22050>.
- Prawardani, S. & Rachmanto, T. A. 2023. Kajian Dampak Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Awar-Awar. *Enviroous*, 4(1): 34-38. <https://doi.org/10.33005/enviroous.v4i1.137>.
- Pramanik, R. A., Purnomo, E. P. & Kasiwi, A. N. 2020. Dampak perizinan pembangunan pltu batang bagi kemajuan perekonomian masyarakat serta pada kerusakan lingkungan. *Kinerja*, 17(2): 248-256.
- Pratiwi, D. Y. 2020. Dampak Pencemaran Logam Berat Terhadap Sumber Daya Perikanan Dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1): 59-65. <https://doi.org/10.24198/akuatek.v1i1.28135>.
- Priyono, E. A., Suradi & Triasih, D. 2021. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Di Batang (Dalam Kajian Paradigma Kritis Dengan Pendekatan Sosio Legal). *Law, Development & Justice Review*, 4(1): 116-138. <https://doi.org/10.14710/ldjr.v4i1.12204>.
- Rondi, P. A., Maslukah, L. & Atmodjo, W. 2021. Pola Sebaran Horisontal Logam Berat Timbal (Pb) Dan Zeng (Zn) Pada Sedimen Di Perairan Muara Sungai Kaligung Tegal. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 14(1): 11-19. <https://doi.org/10.21107/jk.v14i1.8481>.
- Silalahi, F. R. W., Zainuri, M. & Wulandari, S. Y. 2023. Studi kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) di perairan muara sungai Cisadane Kabupaten Tangerang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(1): 1-6. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v5i1.14564>.

- Siregar, Y. I. & Edward, J. 2010. Faktor konsentrasi Pb, Cd, Cu, Ni, Zn dalam sedimen perairan pesisir kota dumai. *Maspari Journal: Marine Science Research*, 1(1): 1-10. <https://doi.org/10.56064/maspari.v1i1.1007>.
- Susantoro, T. M., Sunarjanto, D. & Andayani, A. 2015. Distribusi logam berat pada sedimen di perairan muara dan laut Propinsi Jambi. *Jurnal Kelautan Nasional*, 10(1): 1-11. <http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v10i1.4>.
- Usman, A. F., Budimawan & Budi, P. 2015. Kandungan logam berat Pb-Cd dan kualitas air di perairan Biringkassi, Bungoro, Pangkep. *Agrokompleks*, 4(9): 103-107.
- Zhang, S., Pan, S., Li, G. & Liu, Z. 2022. Spatial variation, sources, and potential ecological risk of metals in sediment in the northern South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 181: p.113929. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113929>.
- Zulfiah, A., Seniwati & Sukmawati. 2017. Analisis Kadar Timbal (Pb), Seng (Zn) Dan Tembaga (Cu) Pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) Yang Berasal Dari Labakkang Kab. Pangkep Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *As-Syifaa Jurnal Farmasi*, 9(1): 85-91. <https://doi.org/10.56711/jifa.v9i1.257>.