

Kandungan Timbal (Pb) pada Air Laut, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis*, Linnaeus, 1758) di Pantai Utara, Semarang

Shendy Naumi Tamba, Bambang Yulianto, Ita Widowati*

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Corresponding author, e-mail: itawidowati214@gmail.com

ABSTRAK: Pantai Utara, Semarang merupakan kawasan perairan yang padat aktivitas pelabuhan, antropogenik, dan domestik yang berpotensi membuang limbah logam berat, seperti Timbal (Pb) ke perairan. Penelitian ini bertujuan untuk memantau konsentrasi Pb pada air laut, sedimen, dan kerang hijau. Penelitian dilakukan dengan metode deskriptif kuantitatif dan teknik *purposive sampling*. Pengambilan sampel dilakukan dua periode (September dan Oktober 2024) di empat stasiun dengan dua kali pengulangan, mencakup pengukuran parameter kualitas air secara *in-situ*. Sampel yang dianalisis meliputi air laut, sedimen, dan kerang hijau, menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) di Laboratorium BBTPPI, Semarang. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi Pb pada kerang hijau lebih tinggi pada Oktober, sedangkan pada sedimen lebih tinggi pada September (6,972–12,720 mg/kg). Konsentrasi Pb pada air laut Oktober (<0,0030 mg/kg) lebih tinggi dibanding September (<0,0021 mg/kg). Kerang hijau dari stasiun II (lokasi budidaya) tercatat melebihi baku mutu (1,650 mg/kg). Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) berada pada kategori sedang ($100 < BCF \leq 1000$), dan *Contamination Factor* (CF) lebih tinggi pada periode September. Jenis sedimen didominasi pasir lempung (*loamy sand*) yang memiliki daya adsorpsi lebih tinggi dibanding pasir (*sand*). Kerang hijau yang berukuran besar dan berumur lebih tua menunjukkan akumulasi Pb yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, konsentrasi Pb pada air dan sedimen di lokasi penelitian tidak melebihi baku mutu, sedangkan pada kerang hijau yang melebihi atau mendekati baku mutu perlu ditindaklanjuti.

Kata kunci: Air Laut; *Perna viridis*; Sedimen; Pantai Utara, Semarang; Timbal

Heavy Metal Content of Lead (Pb) in Sea Water, Sediment, and Green Mussels (*Perna viridis*, Linnaeus, 1758), in the Waters of Tanjung Emas Port and its Surroundings, Semarang

ABSTRACT: The North Coast of Semarang is a water area with dense port, anthropogenic, and domestic activities that can potentially discharge heavy metal waste, such as Lead (Pb), into the waters. This study aims to monitor Pb concentrations in seawater, sediment, and green mussels. The study was conducted using a quantitative descriptive method and a purposive sampling technique. Sampling was carried out in two periods (September and October 2024) at four stations with two repetitions, including *in situ* water quality parameter measurements. The samples analyzed included seawater, sediment, and green mussels, using the Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) method at the BBTPPI Laboratory, Semarang. The results showed that the Pb concentration in green mussels was higher in October, while in the sediment it was higher in September (6,972–12,720 mg/kg). The Pb concentration in seawater in October (<0,0030 mg/kg) was higher than in September (<0,0021 mg/kg). Green mussels from station II (cultivation location) were recorded as exceeding the quality standard (1,650 mg/kg). The Bioconcentration Factor (BCF) value is in the moderate category ($100 < BCF \leq 1000$), and the Contamination Factor (CF) is higher in the September period. The type of sediment is dominated by loamy sand, which has a higher adsorption capacity than sand. Larger and older green mussels show higher Pb accumulation. Overall, the Pb concentration in water and sediment at the research location did not exceed the quality standard, while green mussels that exceed or approach the quality standard need to be followed up.

Keywords: North Coast, Semarang; *Perna viridis*; Lead; Seawater; Sediment

PENDAHULUAN

Pelabuhan Tanjung Emas, Muara Banjir Kanal Barat (BKB), dan Muara Banjir Kanal Timur (BKT) merupakan perairan pantai dan menjadi kawasan penting di Kota Semarang dengan peran dan letak strategis untuk mendukung berbagai aktivitas, diantaranya perikanan, industri, dan distribusi barang/jasa. Ketiga kawasan ini berada pada satu aliran perairan yang terhubung dan memiliki paparan buangan limbah tergolong tinggi, terutama logam berat dari aktivitas rumah tangga, perikanan, limbah bahan bakar perahu, dan industri (keramik, perkapalan, pelayaran, perbaikan atau bengkel kapal, bongkar muat, dan tekstil). Indikasi cemaran logam berat yang diduga berupa timbal (Pb), tembaga (Cu), seng (Zn), kadmium (Cd), kromium (Cr), dan besi (Fe) (Hidayah *et al.*, 2021). Aktivitas industri dan pelayaran di sekitar pelabuhan diduga berpotensi menyebabkan pencemaran logam berat, seperti Timbal (Pb). Hal ini dikarenakan Pb merupakan logam berat yang sulit terdegradasi dan beracun, serta dominan ditemukan di wilayah pesisir yang padat dengan aktivitas manusia, terutama berkaitan dengan pelabuhan, industri, pelayaran kapal, serta aktivitas perbaikan dan perawatan kapal. Sungai Banjir Kanal Barat dan Banjir Kanal Timur bermuara ke Laut Jawa dan berpengaruh besar membawa limbah dari berbagai aktivitas di daratan yang berpotensi mengakibatkan pencemaran Pantai Utara. Hal demikian dikarenakan terdapat hubungan erat dengan aliran perairan antar ketiga lokasi (Siringoringo *et al.*, 2022).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa Pantai Utara, Semarang telah tercemar oleh logam berat, salah satunya adalah Timbal (Pb). Menurut data dari beberapa penelitian terdahulu, konsentrasi Timbal (Pb) di wilayah ini cenderung tinggi, baik pada media air laut, sedimen, maupun biota laut. Berdasarkan hasil penelitian Kusuma *et al.* (2022), menyatakan bahwa kandungan Timbal (Pb) pada air laut dan kerang hijau di Perairan Tambak Lorok, Semarang telah melewati nilai baku mutu, sedangkan sedimen masih berada pada nilai rentang baku mutu yang telah ditetapkan. Logam berat yang terakumulasi ke perairan umumnya terendap, terencerkan, terdispersi, terserap oleh biota laut sekitar dan sedimen. Logam berat dapat terakumulasi dalam sedimen di perairan yang kemudian terikat dengan senyawa organik maupun anorganik melalui proses adsorpsi dan pembentukan senyawa kompleks (Aziz *et al.*, 2022). Keberadaan spesies berupa kerang hijau (*P. viridis*) menjadi peminat komoditas pangan terbesar. Jumlah kelimpahan produksi spesies kerang hijau (*P. viridis*) tergolong tinggi dan mendominasi, yang dimana berada pada urutan pertama dan kedua, yaitu kerang darah (*Anadara granosa*) (Salsabila *et al.*, 2024). Aspek tersebut didukung dari jumlah populasi melimpah dan penangkapan lebih mudah. Hal ini dikarenakan karakteristik yang sesuai dengan pertumbuhan kerang hijau dan kebanyakan masyarakat setempat membudidayakan spesies ini. Selain itu, peran kerang hijau (*P. viridis*) dapat sebagai bioindikator kualitas perairan, terutama untuk logam berat (Kusuma *et al.*, 2022). Kerang hijau (*P. viridis*) terindikasi dapat berisiko terkontaminasi oleh paparan logam berat. Akumulasi Pb pada kerang hijau didukung oleh proses *filter feeder*, dimana banyak komponen senyawa aktif masuk dan menumpuk di dalam jaringan tubuh. Paparan logam berat di tubuh biota ini tidak berisiko signifikan, melainkan bagi manusia yang mengonsumsi dapat berisiko buruk. Manusia yang mengonsumsi kerang hijau (*P. viridis*) dapat menyebabkan gangguan kesehatan, bahkan kematian.

Aktivitas yang cenderung padat di perairan Pelabuhan Tanjung Emas, Semarang menghasilkan limbah yang berdampak pada kualitas air, kerang hijau (*P. viridis*), dan ancaman keamanan pangan (*food safety*). Hal ini perlu dilakukan penelitian kandungan logam berat Timbal (Pb) pada air laut, sedimen, dan kerang hijau (*P. viridis*) di perairan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk *monitoring* nilai konsentrasi logam berat Timbal (Pb) di Pantai Utara, Semarang melalui komponen kerang hijau (*P. viridis*), sedimen, dan air laut. Hal ini berguna untuk menambah pembaharuan dan kelengkapan data dari waktu ke waktu sebagai referensi penelitian tindak lanjut, serta membantu dalam upaya perencanaan penurunan tingkat pencemaran di masa mendatang.

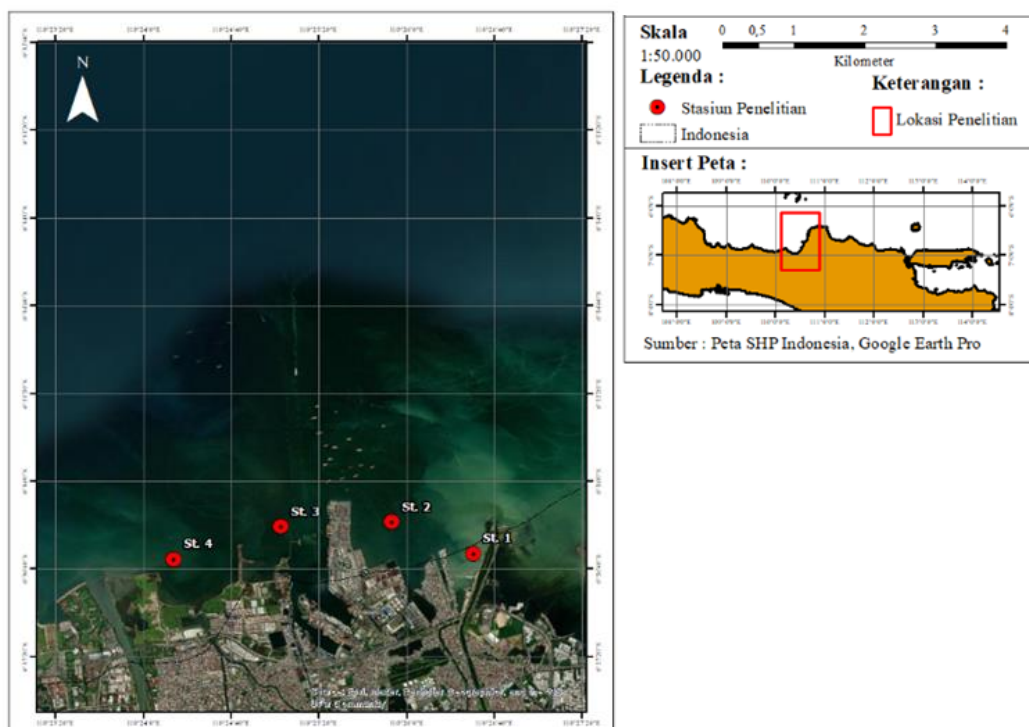
MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan pada penelitian berupa air laut, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*). Metode yang digunakan penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif yang bertujuan

untuk menggambarkan fenomena, keadaan, atau variabel secara sistematis dan faktual melalui analisis data numerik yang dikumpulkan menggunakan survei dan pengambilan sampel secara langsung, serta menjawab rumusan masalah yang bersifat deskriptif (Nurhabiba *et al.*, 2023). Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 18 September 2024 dan 22 Oktober 2024 pagi hari pukul 07.00 sampai 11.00 WIB dengan kondisi perairan surut. Lokasi pengambilan sampel dibagi menjadi 4 stasiun dengan cara *purposive sampling*, yaitu mempertimbangkan letak titik koordinat berdasarkan aktivitas manusia, serta sumber pencemaran logam berat Timbal (Pb) yang berdampak pada perairan dan biota laut di area tersebut. Jarak antar stasiun adalah sekitar 1 km. Stasiun penelitian terdiri dari Stasiun I (Muara Banjir Kanal Timur), Stasiun II (area budidaya kerang), Stasiun III (Pelabuhan Tanjung Emas), dan Stasiun IV (Muara Banjir Kanal Barat) Semarang, Jawa Tengah.

Pengukuran parameter kualitas perairan dilakukan secara *in situ*, yang dilakukan pada saat yang bersamaan dengan pengambilan sampel di setiap stasiun penelitian. Parameter yang diukur secara langsung adalah suhu, salinitas, pH, *Dissolved Oxygen* (DO), kecerahan, dan kedalaman. Pengambilan sampel air laut dilakukan dengan menggunakan alat botol nansen (SNI 6989.59:2008) dan metode komposit (1/3 lapisan air), serta representatif. Pengambilan sampel kerang hijau menggunakan tangan kosong. Kerang hijau (*P. viridis*) diambil secara acak yang menempel pada substrat bambu dengan jumlah yang diambil adalah ± 100 individu atau dengan berat daging keseluruhan mencapai target 100 g. Sampel disimpan ke dalam *coolbox*. Pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan metode representatif dan prosedur yang telah ditetapkan sesuai standarisasi dalam penelitian, yaitu SNI 3414 : 2008 dengan *grab sampler*. Jumlah sampel sedimen yang diambil adalah 550 g (250 g (untuk memenuhi jumlah berat minimum kebutuhan analisis logam berat di laboratorium BBTPPI) dan 300 g (untuk analisis granulometri di Laboratorium Geologi Laut, FPIK, Universitas Diponegoro)). Pengambilan sedimen dalam jumlah tersebut dilakukan untuk memenuhi jumlah berat minimum kebutuhan analisis logam berat di laboratorium, yaitu sebanyak 250 g dan 300 g untuk analisis granulometri.

Analisis konsentrasi Timbal (Pb) pada sampel air laut, sedimen, dan kerang hijau (*P. viridis*) dilakukan di Laboratorium Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI), Semarang, Jawa Tengah. Analisis konsentrasi Timbal (Pb) dianalisis menggunakan *Atomic Absorption*



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Tabel 1. Nilai Nilai Acuan *Bioconcentration factor* (BCF (K – A)) Kerang Hijau Terhadap Air Laut

BCF (K – A)	Kategori Akumulasi
BCF > 1000	Tinggi
100 < BCF ≤ 1000	Sedang
BCF < 100	Redah

Sumber : Amelia *et al.*, (2019)

Spectrometry (AAS). Metode AAS mengarah pada pengukuran konsentrasi logam berat pada suatu komponen dengan mengukur absorbansi cahaya yang dilewati melalui sampel. Metode AAS diartikan sebagai metode teknik analisis secara kuantitatif dengan pemanfaatan pengukuran panjang gelombang dari cahaya oleh atom logam dalam keadaan bebas. Prinsip *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) *method* adalah pengatomisasian sampel cairan menggunakan nebulizer (Natasha *et al.*, 2024). Metode AAS memanfaatkan absorbansi cahaya oleh atom logam yang terionisasi, yang dimana hasil numerik dinyatakan dalam satuan mg/l atau ppm (*part per million*). Berdasarkan SNI 6989.4:2009, panjang gelombang untuk analisis kandungan Timbal (Pb) dalam sampel adalah 217,0 nm dan 283,3 nm dilengkapi background correction.

Analisis granulometri merupakan metode untuk mengukur karakteristik dari butir dalam sedimen. Ukuran *sieve* disesuaikan dengan skala *Wentworth*. Skala tersebut akan menjadi acuan dalam melakukan klasifikasi dari ukuran butir. Tahapan setelah *sieving* adalah *pipetting* untuk mendapatkan ukuran butir terkecil (Srijati *et al.*, 2017). Perhitungan nilai Faktor Konsentrasi (CF) mengacu pada perbandingan antara konsentrasi logam berat dalam sedimen dengan air laut. Faktor Biokonsentrasi (BCF) merupakan perbandingan antara tingkat konsentrasi dari logam berat pada biota dengan konsentrasi logam berat pada air laut (Amelia *et al.*, 2019).

$$\text{Faktor Konsentrasi (CF)} = \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat dalam Sedimen}}{\text{Konsentrasi Logam Berat dalam Air Laut}}$$

$$\text{Faktor Biokonsentrasi (BCF)} = \frac{\text{Konsentrasi Logam Berat dalam Kerang Hijau}}{\text{Konsentrasi Logam Berat dalam Sedimen}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perairan Pantai Utara, Semarang memiliki tingkat konsentrasi Timbal (Pb) yang bervariasi antar titik stasiun penelitian. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kondisi stasiun dan waktu pengambilan sampel. Faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, pH, Dissolved Oxygen (DO), kecerahan, dan kedalaman dapat mempengaruhi kondisi tiap stasiun. Suhu tertinggi periode September dan Oktober 2024 berada di stasiun II (area budidaya kerang) sebesar 32,3°C dan 32,5°C (Tabel 3). Nilai selisih dari kedua periode tergolong tidak jauh, yaitu 0,2°C. Tingkat suhu di keseluruhan stasiun cenderung berada pada standar baku mutu, yaitu Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 22 Tahun 2021 (28 – 32°C) dan Lampiran VIII. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 (Alami, mengindikasikan bahwa suatu perairan berada pada kondisi sesuai dengan kondisi alam) kecuali stasiun III (area budidaya kerang). Hasil data suhu perairan yang diperoleh sejalan dengan penelitian dari Sulistyo *et al.* (2024), dimana suhu perairan dengan rentang angka 30,5 – 32,2°C di stasiun perairan Dermaga Nusantara Pelabuhan Tanjung Emas, Semarang. Suhu tinggi cenderung terjadi di perairan dekat daratan akibat gesekan antar molekul air dan pengurangan volume air, yang memicu peningkatan energi panas. Variasi suhu dipengaruhi oleh proses pengadukan akibat cuaca, angin, dan pergerakan air (arus, gelombang, dan pasang surut), serta geografis dalam ruang dan waktu (Patty *et al.*, 2020).

Nilai pasang surut dan arus periode Oktober 2024 lebih tinggi daripada September 2024. Nilai angin dan gelombang periode September 2024 lebih tinggi dibandingkan Oktober 2024 dengan

selisih tidak berbeda jauh, yaitu 1,00 knot dan 0,003 m. Salinitas tertinggi periode September dan Oktober 2024 berada di stasiun I (Muara Banjir Kanal Timur) sebesar 34 ppt dengan nilai yang sama di stasiun III (Pelabuhan Tanjung Emas, Semarang) dan di stasiun I (Muara Banjir Kanal Timur) sebesar 29 ppt (Tabel 3). Salinitas tertinggi berada pada periode September 2024. Salinitas yang tinggi cenderung memiliki nilai curah hujan rendah (Soenardjo & Mentari, 2023).

Berdasarkan data, menunjukkan bahwa curah hujan terendah terjadi pada periode September 2024 dan sebaliknya nilai tertinggi terjadi pada periode Oktober 2024 (Tabel 2). Nilai salinitas di stasiun I dan III periode September 2024 sesuai baku mutu Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 22 Tahun 2021 (33 – 34 ppt) dan Lampiran VIII. Peraturan Pemerintah Nomor 22

Tabel 2. Hasil Parameter Perairan Sekitar Tanjung Emas, Semarang

No.	Parameter	Satuan	Sampling		Baku Mutu
			September	Oktober	
			2024	2024	
A.	Stasiun I (Muara Banjir Kanal Timur)				KepMen LH No. 22 Tahun 2021
1.	Suhu	°C	29	31,7	28 – 32
2.	Salinitas	ppt	34	29	33 – 34
3.	Derajat Keasaman (pH)	-	7,8	7,72	7 – 8,5
4.	<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	mg/L	5,71	3,04	>5
5.	Kecerahan	cm	57	42,5	>300
B.	Stasiun II (Area Budidaya Kerang)				KepMen LH No. 22 Tahun 2021
1.	Suhu	°C	32,3	32,5	28 – 32
2.	Salinitas	ppt	30	26	33 – 34
3.	Derajat Keasaman (pH)	-	7,5	7,7	7 – 8,5
4.	<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	mg/L	5,52	5,83	>5
5.	Kecerahan	cm	86	75	>300
C.	Stasiun III (Pelabuhan Tanjung Emas)				Lampiran VIII PP No. 22 Tahun 2021
1.	Suhu	°C	30,7	31,8	Alami
2.	Salinitas	ppt	34	26	Alami
3.	Derajat Keasaman (pH)	-	7,7	7,76	6,5 – 8,5
4.	<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	mg/L	5,83	6,64	>5
5.	Kecerahan	cm	135,5	175	>300
D.	Stasiun IV (Muara Banjir Kanal Barat)				KepMen LH No. 22 Tahun 2021
1.	Suhu	°C	31,5	30,9	28 – 32
2.	Salinitas	ppt	30	26	33 – 34
3.	Derajat Keasaman (pH)	-	7,6	7,8	7 – 8,5
4.	<i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	mg/L	5,66	6,89	>5
5.	Kecerahan	cm	88,5	100	>300

Tahun 2021 (Alami), terkecuali stasiun lain perlu dipantau agar tidak lebih rendah dari baku mutu dan optimalisasi bagi biota laut. Hal ini dikarenakan nilai salinitas berada di bawah baku mutu, tetapi masih tergolong optimal untuk keberlangsungan hidup kerang hijau. Nilai pH masih berada dalam standar baku mutu dengan range nilai 7–8,5 (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 22 Tahun 2021) dan 6,5–8,5 (Lampiran VIII. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021) (Tabel 3). Stasiun I (Muara Banjir Kanal Timur) periode Oktober 2024 memiliki nilai Dissolved Oxygen (DO) 3,04 mg/L tergolong berada di bawah standar baku mutu. Nilai acuan tingkat kecerahan yang baik adalah >300 cm yang terdapat dalam Lampiran VIII. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 dan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 22 Tahun 2021. Kecerahan tergolong tinggi, apabila dapat mencapai nilai >50% dari acuan kedalaman perairan. Nilai kecerahan yang tergolong sesuai dengan acuan adalah stasiun III (Pelabuhan Tanjung Emas, Semarang) sebesar 53,8% dengan nilai kecerahan 175 cm dan kedalaman 325 cm (Tabel 3). Kecerahan rendah dalam suatu perairan mengindikasikan bahwa banyak partikel yang tersuspensi di area tersebut. Tingkat kecerahan berkaitan dengan kekeruhan. Nilai antar keduanya saling berbanding terbalik (Hamuna *et al.*, 2018).

Berdasarkan analisis kandungan logam berat Timbal (Pb) dalam sampel air laut di perairan sekitar Tanjung Emas, Semarang didapatkan hasil akhir pada periode September dan Oktober 2024 adalah <0,0021 dan <0,0030 mg/kg (Tabel 4). Konsentrasi Pb pada air laut Oktober lebih tinggi daripada September 2024. Kedua hasil yang didapatkan masih berada nilai baku mutu. Tingkat konsentrasi yang tinggi dipengaruhi oleh tingkat curah hujan yang tinggi. Faktor pendukung lain yang meningkatkan nilai konsentrasi Pb pada air laut adalah kondisi dan proses fisik (Nuri *et al.*, 2023). Perubahan kondisi dan proses fisik perairan dapat disebabkan oleh arus, gelombang, pasang surut, dan angin. Curah hujan tinggi umumnya meningkatkan kekuatan angin yang mempengaruhi kekuatan arus dan gelombang, serta pasang surut untuk proses pengadukan dan pengikatan senyawa dalam kolom air akibat gesekan antara sedimen dengan air laut. Hal ini berpotensi meningkatkan nilai konsentrasi logam berat Timbal (Pb) pada air laut (Palar *et al.*, 2008).

Suhu tinggi dapat meningkatkan kelarutan logam berat secara kimiawi di perairan, sehingga mengalami peningkatan konsentrasi (Tielman *et al.*, 2018). Selain itu, suhu tinggi dapat meningkatkan sistem laju dari metabolisme biota yang mampu meningkatkan akumulasi dan kelarutan senyawa logam berat Timbal (Pb) di perairan. Derajat keasaman (pH) rendah dapat meningkatkan toksisitas logam berat. Hal ini diperkuat oleh Alisa *et al.* (2020), menyatakan bahwa pH rendah mampu mempercepat proses kelarutan Pb dalam ion dan bersifat mengganggu keseimbangan kadar CO₂. September 2024 pH lebih rendah dan salinitas lebih tinggi dibandingkan Oktober 2024. Salinitas rendah dan pH tinggi mendukung peningkatan konsentrasi logam berat di air karena meningkatkan kelarutan senyawa tersebut (Abiyana & Mahmiah, 2021; Cantika *et al.*, 2023). Nilai *Dissolved Oxygen* (DO) rendah dapat mengindikasikan suatu perairan memiliki konsentrasi Pb tinggi. DO yang rendah dapat mempengaruhi proses degradasi dan biokonversi Pb, metabolisme biota, dan peningkatan stres oksidatif di perairan (Titahena *et al.*, 2024). DO mengendapkan unsur logam berat berupa Timbal (Pb) menjadi Oksida Timbal (PbO₂) dengan toksisitas rendah, kurang larut atau cenderung mengendap dan tidak mudah terserap biota laut, serta lebih stabil dalam air (Handayani *et al.*, 2022). Tingkat kekeruhan yang tinggi menjadi acuan bahwa perairan memiliki tingkat kecerahan rendah dan menandakan bahwa intensitas matahari sulit masuk ke perairan. Perairan dengan kekeruhan yang tinggi dapat terindikasi memiliki sedimentasi dan senyawa polutan, seperti logam berat Timbal (Pb) tinggi. Kekeruhan tinggi dapat berasal dari partikel tersuspensi akibat curah hujan dan aktivitas manusia maupun alam (Patty *et al.*, 2020). Adanya partikel polutan di perairan dapat meningkatkan risiko paparan logam berat Timbal (Pb) pada biota laut. Penelitian ini memiliki curah hujan tertinggi periode Oktober dengan nilai konsentrasi Pb lebih besar daripada September. Hal tersebut menandakan bahwa penelitian ini tidak seutuhnya sejalan dengan kesimpulan dari penelitian Tielman *et al.* (2018), yang menyatakan bahwa semakin tinggi curah hujan akan meningkatkan debit air, sehingga konsentrasi logam berat Timbal (Pb) lebih mudah terbawa oleh arus dan gelombang secara luas ke berbagai arah dan area, serta pengenceran lebih dominan yang mengarah pada penurunan nilai konsentrasi Timbal (Pb).

Hasil konsentrasi Pb pada sedimen di perairan sekitar Tanjung Emas, Semarang didapatkan hasil tergolong rendah dan masih berada di bawah batas baku mutu SEPA dan US – EPA. (ANZECC/ARMCANZ (2000)), yaitu 50 mg/kg (Tabel 5). Tingginya nilai konsentrasi disebabkan oleh aktivitas pelabuhan, seperti bongkar muat, kegiatan nelayan, jalur transportasi laut, sisa limbah industri, dan aktivitas pemukiman (Siringoringo *et al.*, 2022). Tingkat lalu lintas pelayaran kapal yang tinggi menyebabkan peningkatan kelarutan Pb di perairan. Hal ini menyebabkan terjadinya resuspensi dan pengikatan dalam kolom air.

Stasiun I dan IV memiliki tipe sedimen pasir dengan persentase pasir tertinggi sebesar 92,31% dan 92,41%. Konsentrasi Pb periode September dari stasiun I sampai IV adalah 12,720 mg/kg; 8,560 mg/kg; 7,294 mg/kg; dan 6,972 mg/kg. Konsentrasi Pb periode Oktober di keseluruhan stasiun adalah <2,344 mg/kg. Berdasarkan hasil tersebut mengindikasikan bahwa sedimen pasir memiliki keterkaitan dengan konsentrasi timbal. Hal ini dikarenakan tekstur dan ukuran partikel sedimen memiliki rongga sebagai ruang untuk logam berat terendap dan terakumulasi. Stasiun II dan III memiliki tipe sedimen pasir lempung dengan persentase pasir lebih rendah dan nilai dari lumpur lebih tinggi. Lanau dan lempung tidak memiliki keterkaitan dengan konsentrasi Pb di sedimen karena rongga lebih kecil yang menyebabkan sulit untuk masuk ke dalam substrat. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen pasir memiliki konsentrasi Timbal (Pb) tinggi dibandingkan pasir lempung karena faktor ukuran partikel dan porositasnya (Fendjalang *et al.*, 2023).

Tabel 3. Data Sekunder Parameter Arus, Gelombang, Pasang Surut, Angin, dan Curah Hujan

Parameter	Periode 2024	Stasiun			
		I	II	III	IV
Arus	September		Rata – rata 3,80 cm/s		
	Oktober		Rata – rata 3,96 cm/s		
Gelombang	September		Rata – rata 0,309 m		
	Oktober		Rata – rata 0,303 m		
Pasang Surut	September		Rata – rata 136 cm		
	Oktober		Rata – rata 185 cm		
Angin	September		Rata – rata 4,83 knot		
	Oktober		Rata – rata 3,83 knot		
Curah Hujan	Sebelum <i>Sampling</i>	Total 14 mm dengan rata – rata 0,875 mm			
	Setelah <i>Sampling</i>	Total 143 mm dengan rata – rata 11,917 mm			
	Sebelum <i>Sampling</i>	Total 144,2 mm dengan rata – rata 11,092 mm			
	Setelah <i>Sampling</i>	Total 243,4 mm dengan rata – rata 10,582 mm			

Sumber: BMKG (Stasiun BMKG Meteorologi Maritim Klas II, Semarang)

Tabel 4. Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Air Laut di Perairan Sekitar Tanjung Emas, Semarang

Stasiun	Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) (mg/kg)	
	September	Oktober
	2024	2024
I	<0,0021	<0,003
II	<0,0021	<0,003
III	<0,0021	<0,003
IV	<0,0021	<0,003
Baku Mutu (mg/kg)*)	0,008; 0,05	

Keterangan :*) Peraturan Pemerintahan No. 22 Tahun 2021

Tabel 5. Hasil Analisis Granulometri pada Sampel Sedimen Perairan Sekitar Tanjung Emas, Semarang

Stasiun	Periode Sampling	Analisis Granulometri		
		Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
I	September	92,31	7,62	0,05
	Oktober	80,99	18,88	0,11
II	September	81,43	18,52	0,03
	Oktober	90,06	9,92	0,005
III	September	88,92	11,05	0,02
	Oktober	82,45	17,53	0,005
IV	September	92,41	7,54	0,03
	Oktober	80,39	19,59	0,01

Tabel 6. Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Sedimen di Perairan Sekitar Tanjung Emas, Semarang

Stasiun	Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) (mg/kg)	
	September	Oktober
	2024	2024
I	12,720	<2,344
II	6,972	<2,344
III	8,560	<2,344
IV	7,294	<2,344
Baku Mutu (mg/kg)	25,500 ^{*)} ; 30,240 ^{**)} ; 35,800 ^{***)} ; 47,820 ^{****)} ; 50 ^{*****)}	

Keterangan : ^{*)} *Swedish Environmental Protection Agency (S – EPA) Tahun 2000*; ^{**)} *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) dan Canadian Council of Ministers for the Environment (CCME)*; ^{***)} *Environmental Protection Agency (EPA)*; ^{****)} *United State Environmental Protection Agency (US – EPA) Tahun 2004*; ^{*****)} *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC dalam Interim Sediment Quality Guidelines (ISQG – Low) Tahun 2000*

Nilai konsentrasi Pb dalam sedimen dapat semakin tinggi dengan didukung oleh proses pengendapan dan akumulasi yang tinggi. Curah hujan yang tinggi mempengaruhi salinitas menjadi rendah. Periode September 2024 memiliki curah hujan yang rendah dengan salinitas perairan yang tinggi. Salinitas rendah cenderung memiliki sifat kelarutan yang lebih terlarut dan bergerak bebas dalam kolom air (Abiyana & Mahmiah, 2021). Konsentrasi Pb dalam sedimen periode September dengan nilai tertinggi berada pada sampel sedimen dibandingkan air laut. Kondisi yang sama terjadi pada periode Oktober 2024, namun data konsentrasi yang keseluruhan terbaca dan mendapatkan angka pasti adalah periode September 2024. Hal ini diperkuat oleh Soenardjo dan Mentari (2023), menyatakan bahwa nilai konsentrasi yang terbaca terjadi karena curah hujan rendah sehingga pengendapan terjadi di sedimen lebih besar. Peningkatan curah hujan periode Oktober 2024 mengakibatkan terjadinya pengadukan, pengenceran, pengikatan, dan pengakumulasian logam berat Timbal (Pb) pada sedimen dan air laut di perairan Tanjung Emas, Semarang.

Nilai konsentrasi Logam berat Timbal (Pb) periode September 2024 tertinggi hingga terendah berada pada stasiun I, III, II, dan IV. Klas ukuran kerang hijau berdasarkan cangkang, yaitu kecil (<4,0 cm), sedang (4,0 – 6,0 cm), dan besar (>6,0 cm). Curah hujan rendah selama periode pengambilan sampel menyebabkan pengendapan dan akumulasi semakin tinggi, sedimentasi dan nilai salinitas di perairan semakin tinggi (Yuliardi *et al.*, 2024). Ukuran kerang yang lebih besar, menghasilkan akumulasi besar. Tingginya konsentrasi pada stasiun III disebabkan oleh faktor

aktivitas pelabuhan yang mendominasi, dimana lebih menghasilkan limbah logam berat Timbal (Pb) lebih besar melalui bahan bakar, perbaikan dan perawatan kapal (cat, oli bekas, pelumas mesin, pengamplasan,), air balas kapal dan emisi gas buangan dari mesin (Darza, 2020).

Periode Oktober 2024 memperoleh hasil konsentrasi yang tidak jauh berbeda dengan periode September 2024. Namun, terdapat nilai konsentrasi Pb pada kerang hijau periode Oktober 2024 melebihi batas aman dari baku mutu sebesar 1,5 mg/kg dan nilai yang diperoleh adalah 1,650 mg/kg di Stasiun II (Area Budidaya Kerang). Tingginya nilai konsentrasi disebabkan oleh ukuran kerang hijau (*P. viridis*) yang besar memiliki tempat penyimpanan besar sesuai dengan ukuran tubuh untuk senyawa dalam jaringan tubuh. Hal ini diperkuat oleh Lahati *et al.* (2022), bahwa senyawa yang masuk ke jaringan tubuh melalui proses penyerapan dan penyaringan makanan dari waktu ke waktu dapat menumpuk, yang dimana dapat terakumulasi dan berbahaya bagi predator yang mengonsumsi spesies tersebut. Faktor yang menyebabkan konsentrasi Pb pada kerang hijau (*P. viridis*) periode Oktober 2024 tinggi adalah stasiun penelitian area budidaya kerang dekat Pelabuhan Tanjung Emas, identik dengan banyaknya bahan organik di perairan. Selain itu, tipe sedimen di stasiun ini adalah pasir (*sand*) sesuai acuan skala *Wentworth* (Widodo *et al.*, 2022), namun jumlah *silt* dan *clay* lebih besar dari stasiun lain. Hal ini menjadi faktor penyerapan Pb dalam kerang hijau diakibatkan oleh sedimen dengan partikel lebih kecil yang tersuspensi dalam kolom air. Sedimen yang identik memiliki ukuran butir semakin halus, maka kemampuan tinggi dalam mengakumulasi bahan organik, terutama karbon. Nilai konsentrasi Pb dalam sedimen berbanding lurus dengan bahan organik (Khotimah *et al.*, 2022). Hal demikian dapat mendukung proses pengikatan Timbal (Pb) dengan senyawa lain sehingga menjadi lebih kompleks dan konsentrasi semakin tinggi, serta kondisi dari perairan tergolong keruh berdasarkan hasil data parameter perairan. Kekeruhan yang tinggi diindikasikan memiliki konsentrasi senyawa polutan tinggi yang mengakibatkan kondisi perairan yang tercemar (Hamuna *et al.*, 2018).

Urutan kedua tertinggi terkait nilai konsentrasi Pb dalam kerang hijau ukuran kecil di stasiun III (Pelabuhan Tanjung Emas, Semarang). Keadaan ini didukung oleh ukuran sedimen lebih kasar dari komposisi pasir 82,45% berdasarkan hasil analisis granulometri dalam klasifikasi pasir lempung (*loamy sand*). Tingginya nilai konsentrasi disebabkan oleh limbah aktivitas pelabuhan (pelayaran, perawatan, pencucian transportasi perairan, dan bongkar muat), serta pengadukan sedimen di kolom air (Siringoringo *et al.*, 2022). Proses pengadukan lebih maksimal dalam keadaan ini karena didukung oleh curah hujan yang tinggi dengan kekuatan angin dan pergerakan air (arus, gelombang, dan pasang surut) yang dihasilkan besar (Handayani *et al.*, 2022). Faktor lain berupa ukuran kerang yang kecil memiliki sifat yang tidak dapat memisahkan atau membedakan senyawa yang diperlukan atau tidak untuk tubuh.

Ukuran kerang sedang di stasiun IV memiliki nilai konsentrasi ketiga tertinggi pada periode Oktober 2024. Hal ini disebabkan oleh ukuran kerang sedang dan tingkat kekeruhan perairan tergolong tinggi, yang dimana berada pada urutan kedua tertinggi dari keseluruhan stasiun. Ukuran sedang menandakan bahwa ukuran penyimpanan polutan atau senyawa yang tidak diperlukan jaringan tubuh dan kemampuan sistem kerja jaringan tubuh lebih meningkat dari ukuran kerang hijau yang kecil dan tidak lebih besar dari ukuran kerang hijau yang besar. Kekeruhan yang tinggi disebabkan oleh polutan yang berasal dari sisa limbah industri pada area sekitar perairan Tanjung Emas, Semarang (Patty *et al.*, 2020). Struktur fisik sedimen yang dimiliki adalah *sand* 80,39% lebih rendah dari stasiun lain dan lumpur lebih tinggi sebesar 20,00% lebih tinggi dari stasiun lain. Hal ini menandakan bahwa lebih banyak sedimen yang terangkat di kolom air daripada stasiun lain dan berpengaruh pada akumulasi Pb pada kerang tersebut. Ukuran kerang besar di stasiun IV memiliki nilai konsentrasi keempat tertinggi pada periode Oktober 2024. Hal yang sama terjadi pada ukuran kerang besar.

Penelitian ini serupa dengan penelitian Yaqin *et al.* (2014), bahwa nilai konsentrasi Pb dalam daging berkaitan dengan panjang cangkang dan berat total. Keadaan fisiologi stres pada kerang hijau (*P. viridis*) dapat disebabkan oleh cuaca. Hal ini mempengaruhi absorpsi Timbal (Pb) dari air ke biota (Chaerunnisa dan Supardi, 2021), dimana proses laju penyerapan lebih besar daripada laju pengeluaran dan sebaliknya terjadi. Hal ini sejalan dengan penelitian dari Noviansyah *et al.* (2021), menyatakan bahwa konsentrasi Pb di sedimen dan perairan memiliki nilai yang saling terhubung,

serta sejajar dengan konsentrasi dari daging kerang hijau (*P. viridis*) yang dipengaruhi oleh distribusi logam berat tersebut. Curah hujan tinggi mampu mempercepat pengenceran dan pengadukan, sehingga timbul gesekan antara permukaan sedimen dengan massa air laut (Azizah dan maslahat, 2021). Keadaan ini menyebabkan partikel sedimen yang terkontaminasi Pb tidak dapat larut di air, melainkan mengendap dalam sedimen atau terlepas ke kolom air (Nurhayati & Putri, 2019).

Tabel 7. Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Kerang Hijau (*P. viridis*) di Perairan Sekitar Tanjung Emas, Semarang

Stasiun	Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb)(mg/kg)		
	September		Oktober
	2024		2024
I	1,395	Kecil	<0,400
		Sedang	<0,400
		Besar	<0,400
II	0,703	Kecil	<0,400
		Sedang	<0,400
		Besar	1,650
III	1,060	Kecil	1,325
		Sedang	<0,400
		Besar	<0,400
IV	0,501	Kecil	<0,400
		Sedang	0,738
		Besar	0,694
Baku Mutu (mg/kg) ^{*)}	1,5		1,5

Keterangan : ^{*)} SNI 7387 : 2009 dan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM)

Tabel 8. Hasil *Bioconcentration Factor* (BCF) dari Kerang Hijau (*P. viridis*) dengan Air Laut, Periode September dan Oktober 2024

Stasiun Penelitian	Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb)		BCF	Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb)		BCF	
	Kerang Hijau	Air Laut		Kerang Hijau	Air Laut		
	September			Oktober			
	2024			2024			
I	1,395	<0,0021	>664,29	Kecil	<0,400	TDD	
				Sedang	<0,400	<0,003	TDD
				Besar	<0,400	TDD	
II	0,703	<0,0021	>334,76	Kecil	<0,400	TDD	
				Sedang	<0,400	<0,003	TDD
				Besar	1,650	>550	
III	1,060	<0,0021	>504,76	Kecil	1,325	>442	
				Sedang	<0,400	<0,003	TDD
				Besar	<0,400	TDD	
IV	0,501	<0,0021	>238,57	Kecil	<0,400	TDD	
				Sedang	0,738	<0,003	>246
				Besar	0,694	>231,33	

Keterangan : (TDD) = Tidak Dapat Dihitung

Tabel 9. Hasil *Concentration Factor* (CF) dari Sedimen dengan Air Laut, Periode September dan Oktober 2024

Stasiun Peneltian	Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb)		CF	Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb)		CF
	Sedimen	Air Laut		Sedimen	Air Laut	
	September			Oktober		
	2024			2024		
I (Muara Banjir Kanal Timur)	12,720	<0,0021	>6.057,14	<2,344	<0,003	TDD
II (Area Budidaya Kerang)	6,972	<0,0021	>3320	<2,344	<0,003	TDD
III (Pelabuhan Tanjung Emas)	8,560	<0,0021	>4.076,19	<2,344	<0,003	TDD
IV (Muara Banjir Kanal Barat)	7,294	<0,0021	>3.473,33	<2,344	<0,003	TDD

Keterangan: (TDD) = Tidak Dapat Dihitung

Stasiun I mencatat nilai BCF tertinggi pada periode September 2024, mengindikasikan paparan logam berat diduga disebabkan oleh aliran limbah padat atau cair dari aktivitas industri, aktivitas masyarakat yang tergolong padat berupa pelayaran nelayan, aktivitas perikanan, dan pariwisata (Shafani *et al.*, 2022). Hal ini dikarenakan hasil dari aktivitas tersebut menghasilkan residu, diantaranya kandungan Pb. BCF tertinggi periode Oktober 2024 di stasiun II (Tabel 8), khususnya pada kerang hijau berukuran besar yang menunjukkan bahwa ukuran kerang mempengaruhi kemampuan akumulasi logam berat serta didukung oleh kondisi perairan yang cenderung memiliki banyak kandungan bahan organik dan dipengaruhi oleh aktivitas pelabuhan karena berada pada titik lokasi yang berdekatan. Hal ini menggambarkan pola adaptasi biologis, serta faktor perairan yang berkontribusi terhadap akumulasi logam berat. *Range* (BCF) ($K - A$), yaitu $100 < BCF \leq 1000$ (Amelia *et al.*, 2019). Kondisi ini menandakan bahwa kerang memiliki kemampuan akumulasi tingkat moderat, yang dimana proses akumulasi dalam rantai makanan melalui media air laut. Selain itu, nilai moderat menunjukkan potensi risiko kontaminasi logam berat yang dapat berlanjut ke tingkat trofik yang lebih tinggi, sehingga perlu pemantauan berkala dan upaya penurunan tingkat bahan pencemar ke perairan tersebut.

Nilai *Concentration Factor* (CF) dari sedimen dengan air laut periode September 2024 cenderung tinggi dengan kisaran antara 3.320 hingga lebih dari 6.057 (Tabel 9). Hal ini menunjukkan bahwa Timbal (Pb) lebih cenderung terkonsentrasi dalam sedimen dibandingkan dalam air laut. Variasi nilai CF dipengaruhi oleh sumber pencemaran, terutama dari aktivitas manusia di sekitar perairan dan parameter dari perairan tersebut. Tingginya CF di stasiun I disebabkan oleh paparan pencemaran langsung dari daratan, yang dimana aliran muara membawa limbah aktivitas rumah tangga, industri, dan transportasi laut (Sulistyo *et al.*, 2024). Faktor salinitas (34 ppt) yang lebih stabil, lebih memudahkan Pb mengendap dalam sedimen dan DO (5,71mg/L) menunjukkan kondisi oksigenasi baik cenderung terjadi proses oksidasi yang membentuk senyawa kurang larut dalam air atau Pb tetap mengendap dalam sedimen, serta didukung dengan faktor kedalaman perairan yang rendah. Nilai CF tertinggi kedua berada di Stasiun III yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang pada dari pelabuhan dan industri, salinitas (34 ppt), dan DO (5,87). Nilai ketiga tertinggi adalah stasiun IV yang sumber pencemarannya dari aliran in membawa limbah industri dan domestik, tetapi lebih kecil dibandingkan Banjir Kanal Timur. Salinitas (30 ppt) menyebabkan perubahan keseimbangan logam berat dalam sedimen dan air, serta didukung dengan parameter DO sedikit lebih rendah daripada stasiun lain. Nilai CF terendah berada di stasiun II karena lingkungan lebih stabil dan pencemaran lebih kecil (Hidayah *et al.*, 2021). Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) ($K - A$) dan *Concentration Factor* (CF) saling berkaitan. Nilai BCF ($K - A$) cenderung tinggi karena kemampuan kerang hijau dalam menyerap logam berat dari perairan. Berdasarkan Tampubolon *et al.* (2021), perubahan konsentrasi Timbal (Pb) dalam sedimen dan air laut dipengaruhi oleh sedimentasi melalui proses pengadukan tersuspensi dan resuspensi yang diakibatkan oleh pergerakan air laut.

KESIMPULAN

Secara keseluruhan, konsentrasi Pb pada air dan sedimen di lokasi penelitian tidak melebihi baku mutu, sedangkan pada kerang hijau yang melebihi atau mendekati baku mutu perlu ditindaklanjuti (stasiun II (area budidaya kerang) 1,650 mg/kg (besar)). Terdapat keterkaitan antara kandungan Timbal (Pb) pada air laut, sedimen, dan kerang hijau di lokasi penelitian. Salinitas dan DO berperan dalam akumulasi dan pengendapan dalam sedimen yang didukung oleh arus lemah, serta parameter kualitas air. Ukuran butir sedimen yang didominasi oleh pasir lempung (*loamy sand*) memiliki kapasitas adsorpsi lebih tinggi dibandingkan pasir (*sand*). Kerang hijau dengan ukuran tubuh lebih besar dan umur lebih tua menunjukkan kemampuan akumulasi lebih tinggi dibandingkan kerang berukuran kecil dan berusia muda. Nilai BCF ($K - A$), yaitu $100 < BCF \leq 1000$ kategori sedang dan CF dari sedimen dengan air laut periode September lebih tinggi dibandingkan Oktober 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Abiyana, H.Z. & Mahmiah, 2021. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Bahan Baku Air untuk Produksi Garam di Kawasan Ladang Garam Sedayulawas Lamongan. *Jurnal Riset Kelautan Tropis*, 3(2): 94–105. DOI: 10.30649/jrkt.v3i2.45
- Alisa, C.A.G., Albirqi, P.M.S. & Faizal, I., 2020. Kandungan Timbal dan Kadmium pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. *Akuatika Indonesia*, 5(1): 21–26. DOI: 10.24198/jaki.v5i1.26523
- Amelia, F., Ismarti., Ramses. & Rozirwan, 2019. Biokonsentrasi Faktor Logam Berat pada Kerang dari Perairan Batam, Kepulauan Riau, Indonesia. *EduChemia: Jurnal Kimia dan Pendidikan*, 4(2):152–163. DOI: 10.30870/educhemia.v4i2.5529
- Azizah, M. & Maslahat, M., 2021. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) dalam Tubuh Ikan Wader (*Barbodes binotatus*) dan Air Sungai Cikaniki, Kabupaten Bogor. *Limnotek : perairan darat tropis di Indonesia*, 28(2): 83–93. DOI: 10.14203/limnotek.v28i2.331
- Aziz, A.S.A., Mahdiana, A., Prayogo, N.A. & Hidayati, N.V., 2022. Akumulasi Logam Berat Cd Pada Matriks Air, Sedimen, Dan Ikan Nilem (*Osteochilus hasselti*) di Sungai Tajum Kabupaten Banyumas Jawa Tengah. *Agritech: Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, 24(2): 174–184. DOI: 10.30595/agritech.v24i2.15499
- Cantika, R.M., Sasongko, A.S. & Cahyadi, F.D., 2023. Kandungan Logam Berat di Perairan Pulau Merak Kecil. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 16(3): 281–290. DOI: 10.21107/jk.v16i3.20584
- Chaerunnisa, R. & Supardi, U.S., 2021. Persentase Penurunan Kadar Logam Berat Timbal pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Pasca Proses Depurasi oleh Nelayan Teluk Jakarta. *EduBiologia: Biological Science and Education Journal*, 1(2): 121–127. DOI: 10.30998/edubiologia.v1i2.9573
- Darza, S.E., 2020. Dampak Pencemaran Bahan Kimia dari Perusahaan Kapal Indonesia Terhadap Ekosistem Laut. *Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi, dan Akuntansi*, 4(3): 1831–1852. DOI: 10.31955/mea.v4i3.753
- Fendjalang, S.N., Krisye, K. & Rupilu, K., 2023. Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen di Perairan Pantai Kupa – Kupa Kabupaten Halmahera Utara. *Journal of Coastal and Deep Sea*, 1(1): 13–21. DOI: 10.30598/jcds.v1i1.11196
- Hamuna, B., Tanjung, R.H. & Maury, H., 2018. Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika – Kimia di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1): 35–43.
- Handayani, C.O., Sukarjo, S. & Dewi, T., 2022. Penilaian tingkat cemaran logam berat pada lahan pertanian di hulu sungai Citarum, Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3): 508–516. DOI: 10.14710/jil.20.3.508-516
- Hidayah, Q.N., Mahardika, M.P. & Permatasari, D.A.I., 2021. Analisis Kandungan Logam Berat Pb, Cd, dan Hg pada Air Minum Isi Ulang Depot Air Minum (DAM) di Kecamatan Tangen Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom. *Duta Pharma Journal*, 1(1): 57–67. DOI: 10.47701/djp.v1i1.1193

- Khotimah H., Rochaddi B. & Wulandari SY., 2022. Analisis Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cu) Pada Sedimen di Perairan Muara Sungai Genuk, Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(3): 463–470. DOI: 10.14710/jkt.v25i3.16716
- Kusuma, R.B., Supriyanti, E. & Munasik., 2022. Akumulasi Logam Pb Pada Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tambak Lorok serta Analisis Batas Aman Konsumsi untuk Manusia. *Journal of Marine Research*, 11(2): 156–166. DOI: 10.14710/jmr.v11i2.31781
- Lahati, S., Hartoko, A. & Haeruddin, H., 2022. Biokonsentrasi Logam Plumbum (Pb) Terhadap Kerang Hijau (*Perna viridis*) dari Perairan Teluk Semarang. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 27(2): 151–157.
- Natasha, F., Pratama, G. & Pardi, H., 2024. Temuan Akumulasi Logam Berat pada Ikan Dengan Metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). *MERDEKA: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(5): 396–408. DOI: 10.62017/merdeka
- Noviansyah, E., Batu, D.T.F.L. & Setyobudiandi, I., 2021. Kandungan Logam Kadmium (Cd) pada Air Laut, Sedimen, dan Kerang Hijau di Perairan Tambak Lorok dan Perairan Morosari. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(1) :128 – 135. DOI: 10.18343/jipi.26.1.128
- Nurhayati, D. & Putri, D. A., 2019. Bioakumulasi Logam Berat pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Cirebon Berdasarkan Musim yang Berbeda. *Akuatika Indonesia*, 4(1): 6–10. DOI: 10.24198/jaki.v4i1.23484
- Nuri, N. S., Santoso, A. & Widowati, I., 2023. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Kerang Bulu (*Anadara antiquata*) di Perairan Bandengan Kendal serta Analisis Batas Aman Konsumsi. *Journal of Marine Research*, 12(3): 403 – 412. DOI: 10.14710/jmr.v12i3.35276
- Patty, S. I., Nurdiansah, D. & Akbar, N., 2020. Sebaran Suhu, Salinitas, Kekeruhan, dan Kecerahan di Perairan Laut Tumbak – Bantenan, Minahasa Tenggara. *Jurnal Ilmu Kepulauan*, 3(1): 77–87. DOI: 10.33387/jikk.v3i1.1862
- Salsabila, N., Suprijanto, J. & Ridlo, A., 2024. Analisis Kadar Pb dan Cu pada Kerang Hijau Budidaya di Tambak Lorok serta Analisis Risiko Kesehatan Konsumsi untuk Manusia. *Journal of Marine Research*, 13(2): 347–354. DOI: 10.14710/jmr.v13i2.38865
- Shafani, R.H., Nuraini, R.A.T. & Endrawati, H., 2022. Identifikasi dan Kepadatan Mikroplastik di Sekitar Muara Sungai Banjir Kanal Barat dan Banjir Kanal Timur, Kota Semarang, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 11(2): 245–254. DOI: 10.14710/jmr.v11i2.31885
- Siringoringo, V.T., Pringgenies, D. & Ambariyanto, A., 2022. Kajian Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg), Tembaga (Cu), dan Timbal (Pb) pada *Perna viridis* di Kota Semarang. *Journal of Marine Research*, 11(3): 539–546. DOI: 10.14710/jmr.v11i3.33864
- Soenardjo, N. & Mentari, R. J., 2023. Akumulasi Logam Pb dan Cu pada Akar, Daun dan Serasah Mangrove di Perairan Pekalongan. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(3): 456–464. DOI: 10.14710/buloma.v12i3.48984
- Srijati, S., Rochaddi, B. & Widada, S., 2017. Analisis Laju Sedimentasi di Perairan Muara Sungai Waridin Kabupaten Kendal. *Journal of Oceanography*, 6(1): 246–253.
- Sulistyo, A.A.H., Suprijanto, J. & Yulianto, B., 2024. Analisis Kualitas Air dan Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Laut di Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Kota Semarang Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 13(1): 108–114. DOI: 10.14710/jmr.v13i1.38751
- Tampubolon, O.F.R., Ismanto, A., Suryoputro, A.A.D., Muslim, M. & Indrayanti, E., 2021. Simulasi Pola Sebaran Logam Berat Tembaga (Cu) di Perairan Kota Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(2): 174–188. DOI: 10.14710/ijoce.v3i2.11164
- Tielman, M, E., Suprijanto, J. & Widowati, I., 2018. *Biomonitoring* Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dalam Air, Sedimen dan Kerang Ceplos (*Macridiscus* Sp.) serta Analisis Angka Keamanan Konsumsi yang Diambil dari Perairan Tambak Lorok, Kota Semarang. *Journal of Marine Research*, 7(4): 231–238. DOI: 10.14710/jmr.v7i4.25921
- Titahena, M.F., Mariwy, A. & Sunarti, S., 2023. Studi Remediasi Tanah Tercemar Logam Merkuri (Hg) Menggunakan Tumbuhan Teki (*Cyperus rotundus*). *Jurnal Reka Lingkungan.*, 11(2): 95–104. DOI: 10.26760/rekalingkungan.v11i2.95-104
- Widodo., F.G.R., Suwitaningsih, D.A., Abdillah, D.R., Faridh, W.M.I., Mahendra, S., Hotman, A.G., Romadhan, G.W., Suryatmodjo, A.G.T., Irmawati, Y. & Cahyono, Y.D.G., 2022. Pengaruh

- Ukuran Butir Terhadap Uji Kuat Geser pada Batu Konglomerat berdasarkan. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan*, 1(1): 60–67. DOI: 10.31284/j.semitan.2022.3220
- Yaqin, K., Tresnati, J., Rape, R.A. & Aslam, M., 2014. The Use of Byssogenesis of Green Mussel, *Perna viridis*, As A Biomarker In Laboratory Study. *Current Nutrition and Food Science*, 10(2): 100–106.
- Yuliardi, A.Y., Rahman, H.A., Sari, R.J., Rahmalia, D.A., Nugroho, A.T. & Prayogo, L.M., 2024. Analisis Variasi Musiman Suhu, Salinitas, dan Arus Permukaan di Perairan Madura. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4): 292–305. DOI: 10.14710/ijoce.v6i4.24477