

Kandungan Pb pada *Perna viridis* di Muara Sungai Kendal serta Analisis MTI Terhadap Manusia

Muhammad Iqomatuddin, Ita Widowati*, Adi Santoso

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Corresponding author, e-mail: ita_jusup@yahoo.co.id

ABSTRAK: Muara Sungai Kendal terletak di pesisir utara Pulau Jawa yang dikelilingi oleh kegiatan industri dan aktivitas masyarakat yang mengalami pertumbuhan penduduk. Hal tersebut diduga menjadi sumber logam berat Pb diperairan dan mengontaminasi kerang hijau sebagai komoditas setempat. Pengaruh negatif yang dihasilkan Pb pada lingkungan dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan Pb dalam air dan sedimen, faktor konsentrasi dan biokonsentrasi, serta batas aman konsumsi per minggu pada kerang hijau bagi masyarakat. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret – April 2022. Metode penelitian adalah deskriptif analitik dengan pemilihan lokasi berdasarkan *purposive sampling*. Analisa kandungan Pb pada sampel menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) dan analisis data yang dilakukan meliputi faktor konsentrasi, faktor biokonsentrasi dan MTI (*Maximum Tolerable Intake*). Hasil kandungan Pb dalam air berkisar 0,372–0,572 ppm, pada sedimen berkisar 5,291-16,399 ppm, dan jaringan lunak kerang hijau berkisar 1,31–4,036 ppm. Nilai *Bio Concentration Factor* (BCF) kerang hijau terhadap air berkisar 3,4–9,24 dan sedimen berkisar 0,14–0,62 dengan kategori kadar rendah, sedangkan Faktor Konsentrasi (FK) berkisar 9,25–39,9 kali. Batas aman konsumsi kerang hijau per minggu untuk rata-rata berat badan laki-laki 60 kg adalah 0,37–1,15 kg per minggu sedangkan rata-rata berat badan perempuan 45 kg adalah 0,28–0,86 kg per minggu setiap individu.

Kata kunci: Kendal; *Perna viridis*; Pb; MTI; BCF

Pb Content in Perna viridis at the Kendal River Estuary and MTI Analysis on Humans

ABSTRACT: *The estuary of the Kendal River is located on the northern coast of Java Island, surrounded by industrial activities and community activities that are experiencing population growth. This is suspected to be a source of heavy metal Pb in the waters and contaminates green mussels as a local commodity. Pb's negative effect on the environment can damage the environment and human health. This study aims to determine the Pb content in water and sediment, concentration and bioconcentration factors, and the community's safe limit for weekly consumption of green mussels. The research was conducted in March – April 2022. The research method was descriptive-analytic, selecting locations based on purposive sampling. Analysis of the Pb content in the sample used the AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry) method, and the data analysis performed included concentration factors, bioconcentration factors, and MTI (Maximum Tolerable Intake). The results of Pb content in water ranged from 0.372 to 0.572 ppm; in sediments, it ranged from 5.291 to 16.399 ppm; and in green mussel meat, it ranged from 1.31 to 4.036 ppm. The Bio Concentration Factor (BCF) value of green mussels to water ranged from 3.4 to 9.24, sediment ranged from 0.14 to 0.62 in the lowgrade category, while the factor concentration (FK) ranged from 9.25 to 39.9 times. The safe limit of green mussel consumption per week for an average male body weight of 60 kg is 0.37–1.15 kg per week, while the average body weight of a female of 45 kg is 0.28–0.86 kg /week/individual*

Keywords: *Kendal; Perna viridis; Pb; MTI; BCF*

PENDAHULUAN

Kabupaten Kendal merupakan wilayah yang terletak di pesisir utara Pulau Jawa yang mengalami peningkatan jumlah penduduk dari 1.022.485 juta penduduk pada tahun 2020 menjadi 1.038.863 juta penduduk pada tahun 2021 yang mengakibatkan peningkatan konsumsi hingga menimbulkan masalah pada lingkungan akuatik. Wilayah pesisir memiliki kerentanan terhadap bahan pencemar dari kegiatan industri menciptakan polutan ke dalam perairan (Condor

et al., 2021). Menurut Ali *et al.* (2016), kegiatan industrialisasi menghasilkan limbah negatif didukung dengan pertumbuhan berkelanjutan di sektor industri. Jenis limbah yang dihasilkan di antaranya limbah tekstil, farmasi, kertas, dan cat pewarna yang mengandung logam berat. Logam berat memiliki resisten yang cukup besar dan sulit terurai, bahkan mudah terakumulasi pada kolom air, termasuk Timbal (Pb). Timbal (Pb) mempunyai ciri yang beracun dengan toksisitas tinggi bagi organisme yang menyebabkan masalah kesehatan dan lingkungan (Jaishankar *et al.*, 2014). Penggunaan Timbal (Pb) dalam kegiatan industri sebagai bahan dasar pembuatan cat sebagai katalisator untuk produksi zat warna (Garvano *et al.*, 2017). Industri-industri yang berada di Kawasan Industri Kendal yang berpotensi menghasilkan limbah Pb adalah PT. Dae Young Textile (tekstil), PT Evergen Resources (farmasi dan kosmetik), PT. Master Kidz Indonesia dan PT App Timber yang memanfaatkan Pb sebagai cat dalam pembuatan permainan anak dan pengolahan kayu lapis.

Penelitian terhadap logam Pb di perairan Kabupaten Kendal telah dilakukan di antaranya oleh Garvano *et al.* (2017), menunjukkan Pb pada sedimen di Muara Sungai Waridin sebesar 9,339 mg/kg. Penelitian Supriharyono *et al.* (2015), menunjukkan Pb dalam air sebesar <0,029 mg/l sedangkan bivalvia *C. gigas* sebesar 4,85 mg/kg yang melebihi baku mutu untuk konsumsi pangan (Yulianto *et al.*, 2019). Hal ini membuat Perairan Kendal tercemar oleh Pb termasuk biota. Kerang Hijau (*Perna viridis*) merupakan populasi organisme yang sangat terpapar polutan karena bersifat menetap (*sessil*) dan menempel pada substrat dengan memperoleh makanan secara *filter feeder*. Menurut Liliandri dan Aunirohim (2013), menjelaskan bahwa kerang hijau (*Perna viridis*) termasuk organisme yang cepat berkembangbiak pada kondisi lingkungan dan ekologi yang tinggi sehingga intensitas akumulasi logam Pb lebih efektif.

Kerang hijau (*Perna viridis*) mengakumulasi Pb dalam jaringan lunak yang berdampak buruk bagi organisme dan kesehatan manusia. Kandungan Pb yang tinggi menyebabkan organisme kehilangan bobot badan hingga membunuhnya. Timbal dalam tubuh kerang masuk dari proses penyerapan melalui sifon dan terperangkap pada insang yang diteruskan menuju organ lain sebagai makanan. Timbal yang bersifat non esensial masuk dan tersebar ke jaringan lunak seperti kelenjar pencernaan, usus dan hati. Oleh karenanya kerang termasuk biota *filter feeder*. Akumulasi yang terus terjadi menyebabkan penumpukan pada jaringan lunak. Penimbunan Pb pada kerang hijau menyebabkan keracunan pada manusia yang menimbulkan penyakit seperti anemia, gangguan fungsi ginjal, hingga keterbelakangan mental (Gusnita, 2012). Keracunan Pb melalui kegiatan konsumsi kerang hijau akan masuk melalui aliran darah serta membatasi kerja enzim pembentukan hemoglobin pada manusia (Kusumastuti *et al.*, 2020). Untuk mengurangi dampak negatif tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan logam Pb dalam air, sedimen, dan jaringan lunak Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Muara Sungai Kendal dalam memahami tingkat pencemaran dan analisis batas aman konsumsi bagi masyarakat terhadap organisme komoditas setempat.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian menggunakan sampel air, sedimen, dan jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) yang diambil dari Muara Sungai Kendal dengan pengamatan parameter lingkungan seperti suhu, salinitas, oksigen terlarut (DO), pH, dan kecerahan. Metode penelitian dilakukan secara deskriptif analitik dan penentuan stasiun ditentukan berdasarkan *Purposive Sampling Method* dengan membagi lokasi secara merata untuk mewakili kondisi perairan yang memiliki hubungan erat (Arkianti *et al.*, 2019). Tiga stasiun pengambilan sampel di antaranya, stasiun 1 terletak paling jauh dari tepi muara atau pada menara perbatasan, stasiun 2 terletak pada bagian tengah atau lebih dekat dengan pintu masuk Muara Sungai Kendal, dan stasiun 3 terletak paling dekat dengan Muara

Sungai Kendal. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 1. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret – April 2022 dengan periode waktu pengambilan selama 1 bulan yaitu pada tanggal 23 Maret 2022 dan 20 April 2022. Setiap dilakukan sampling dilakukan pada tiga stasiun yang berbeda. Pada lokasi tersebut diambil sampel air, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*). Pengambilan sampel air yang diambil dimasukkan ke dalam botol 600 ml. Sampel sedimen diambil menggunakan *sedimen grab* sebanyak 500 gram berat basah. Kemudian sampel kerang hijau (*Perna viridis*) diambil dengan teknik *hand packing* menggunakan tangan secara langsung (Maulana *et al.*, 2017). Sampel air, sedimen, dan jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) yang diambil, kemudian dibawa ke Laboratorium Pengujian, Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro untuk analisis logam berat timbal (Pb) dengan metode AAS. Analisis data dilakukan dengan penentuan nilai faktor konsentrasi, biokonsentrasi, dan batas aman konsumsi sebagai berikut: Faktor Konsentrasi (FK): Informasi berapa kali lipat konsentrasi logam berat timbal pada badan air yang terendapkan pada sedimen dalam proses akumulasi (Siregar dan Edward, 2010).

$$FK: [Pb] \text{ sedimen} / [Pb] \text{ air}$$

Keterangan: [Pb] sedimen = Konsentrasi logam berat Pb dalam sedimen (mg/kg); [Pb] air = Konsentrasi logam berat Pb dalam air (mg/l)

Faktor Biokonsentrasi (FBC): Informasi mengenai nilai akumulasi bahan kimia yang masuk ke dalam tubuh organisme (Arifin *et al.*, 2021).

$$BCF: [Pb] \text{ org} / [Pb] \text{ ambien}$$

Keterangan: [Pb] org = Konsentrasi logam berat Pb dalam tubuh organisme (mg/kg); [Pb] ambien = Konsentrasi logam berat Pb dalam air (mg/l) dan sedimen (mg/kg)

Menurut Hidayah *et al.* (2014), nilai faktor biokonsentrasi dapat diklasifikasikan menjadi 3 golongan di antaranya Jika $BCF < 100$ = Kemampuan akumulasi organisme rendah (organisme *deconcentrator*); Jika $100 < BCF \leq 1000$ = Kemampuan akumulasi organisme sedang (organisme *microconcentrator*); Jika $BCF > 1000$ = Kemampuan akumulasi organisme tinggi (organisme *macroconcentrator*)

Batas Aman Konsumsi: Untuk mengetahui batas aman konsumsi kerang hijau (*Perna viridis*) yang telah terkontaminasi oleh logam Pb pada manusia melalui perhitungan yang diterbitkan oleh Joint FAO/WHO *Expert Committee on Food Additive* (JEFCA) (2004) dengan persamaan berikut:

$$MWI \text{ (gr): } \text{Berat Badan}^{(a)} \times PTWI^{(b)}$$

Keterangan: ^(a) = Untuk asumsi berat badan rata-rata sebesar 45 dan 65 kg; ^(b) = PTWI (*Provisional Tolerable Weekly Intake*) sebagai angka yang dikeluarkan lembaga pangan

Terkait satuan $\mu\text{g/kg}$ berat badan yang ditampilkan pada Tabel 1.

Nilai MWI yang didapatkan dapat dihitung berat maksimal dalam mengonsumsi jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) pada setiap minggunya. Perhitungannya menggunakan rumus *Maksimum Tolerable Intake* (MTI) dengan persamaan berikut (Kalangie *et al.*, 2018):

$$MTI = MWI / [Pb] \text{ org}$$

Keterangan: MWI = *Maksimum Weekly Intake* (asumsi berat badan 45 kg dan 60 kg); [Pb] org = Konsentrasi logam berat Pb dalam tubuh organisme (mg/kg)

Tabel 1. PTWI (*Provisional Tolerable Weekly Intake*)

Baku Mutu	Jenis Logam	PTWI (mg/kg)
SNI 7387 (2009)	Timbal (Pb)	0,025

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perairan Kabupaten Kendal mengandung logam berat Timbal (Pb) dalam lingkungan yang terdapat pada ketiga sampel yaitu air laut, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*). Pengambilan sampel penelitian dilihat pada Gambar 1 sedangkan hasil pengukuran logam berat Timbal (Pb) pada air, sedimen, dan jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) disajikan pada Tabel 2.

Hasil pengukuran Pb dalam air dari Muara Sungai Kendal disajikan dalam Tabel 2 menghasilkan nilai 0,372 – 0,572 ppm. Nilai yang diperoleh melebihi baku mutu PP Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 sebesar 0,008 mg/l. Kandungan Pb terlarut dalam air tertinggi terdapat pada stasiun 2 sebesar 0,572 ppm. Hal tersebut karena terletak pada kawasan Muara Sungai Kendal dan lebih dekat ke arah barat pada Kawasan Industri Kendal sehingga bahan pencemar yang masuk lebih besar yang terbawa arus. Sedangkan terendah pada stasiun 1 sebesar 0,372 ppm karena terdapat lalu lintas kapal nelayan yang menyebabkan pengadukan bahan organik. Aktivitas kapal sekitar perairan menjadi faktor penyumbang keberadaan Pb di laut (Nurfadhilla *et al.*, 2020). Bahan bakar minyak yang digunakan mengandung zat tambahan berupa *tetraethyl* yang mengandung Pb sebagai *antiknock* pada mesin kapal untuk meningkatkan mutu kendaraan (Ali *et al.*, 2019). Di samping itu, Pb digunakan oleh kapal-kapal nelayan pada kawasan hilir sebagai cat dalam proses reparasi kapal. Timbal di air laut juga dihasilkan dari kegiatan industri tekstil yang diduga dari Kawasan Industri Kendal. Menurut Haryono *et al.* (2017), timbal hasil kegiatan industri digunakan sebagai katalisator untuk memberikan pigmen. Sehingga menjadi penyebab utama peningkatan konsentrasi Pb di perairan. Hasil pengamatan Pb di air laut menurun pada April 2022 walaupun kondisi tetap melebihi baku mutu. Penurunan konsentrasi akibat peningkatan intensitas curah hujan pada rentang 2 bulan (Putri *et al.*, 2015). Curah hujan bulanan Maret 2022 sebesar 119,9 mm dan April 2022 sebesar 125,3 mm yang membuat konsentrasi Pb turun. Menurut Rudiyantri *et al.* (2019), menyebutkan proses purifikasi semakin efektif saat debit air meningkat sehingga pengenceran dapat terjadi yang memicu penurunan Pb di air laut.

Hasil pengukuran Pb dalam sedimen dari Muara Sungai Kendal disajikan dalam Tabel 2 menghasilkan nilai 5,291 – 16,399 ppm pada bulan Maret hingga April 2022. Menurut Alisa *et al.* (2020), baku mutu dari Pb dalam sedimen yang ditetapkan oleh ANZECC/ARMCANZ Tahun 2000 sebesar 50 mg/kg. Kandungan Pb pada sedimen tertinggi pada stasiun 1 bulan Maret 2022 sebesar 16,399 ppm dan stasiun 3 bulan April 2022 sebesar 11,574 ppm. Konsentrasi Pb pada sedimen di bawah baku mutu. Timbal pada sedimen lebih tinggi daripada air laut dan jaringan lunak kerang hijau. Menurut Trisyani (2020), menjelaskan bahwa Pb yang semula terlarut dalam air mengalami proses absorpsi oleh partikel halus dan terendapkan pada sedimen. Perairan di muara terjadi pertemuan arus pasang yang membuat partikel menjadi halus. Kandungan Pb mengalami peningkatan pada bulan April 2022 di stasiun 2 dan 3 akibat tingkat akumulasi dari hasil aktivitas manusia dari pasar ikan dan nelayan. Sedangkan pada stasiun 1 turun akibat Pb yang semakin tersebar menuju ke arah laut lebih jauh. Peningkatan Pb pada sedimen didukung dengan perairan setempat yang sedang proses konstruksi pada kawasan TPI Bandengan yang membuat material sedimen terangkut. Tingkat konsentrasi Pb dalam sedimen disebabkan masuknya secara geologis melalui proses pengikisan batuan dan limbah domestik, serta penggalian sekitar perairan (Putri *et al.*, 2015). Masuknya bahan pencemar dipengaruhi curah hujan melalui *run off* yang membuat konsentrasi Pb pada sedimen meningkat. Hasil pengamatan Pb pada sedimen dipengaruhi oleh lalu lintas kapal nelayan yang melewati stasiun sehingga terjadi pengadukan sedimen didukung dengan kondisi arus yang lemah karena perairannya dibatasi oleh daratan (Rizkiana *et al.*, 2017). Proses pengadukan membuat Pb mudah terikat pada partikel sedimen Perairan Kendal yang bersifat lumpur. Menurut Handayani *et al.* (2016), mengatakan bahwa kondisi sedimen dengan kandungan

berlumpur yang tinggi meningkatkan akumulasi Pb. Sedimen dengan kandungan lumpur tinggi berukuran lebih halus sehingga lebih mudah mengikat Pb (Rahmah *et al.*, 2019). Hal tersebut karena ukuran sedimen yang lebih halus memiliki ruang partikel yang dapat terikat antara partikel sedimen dengan Pb (Maslukah, 2013).

Hasil pengukuran Pb dalam jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) dari Muara Sungai Kendal disajikan dalam Tabel 2 menghasilkan nilai 1,31 – 4,036 ppm pada bulan Maret hingga April 2022. Timbal dalam jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) telah melebihi baku mutu SNI 7387 Tahun 2009 sebesar 1,5 mg/kg. Hasil pengamatan menunjukkan Pb dalam tubuh kerang hijau tertinggi pada stasiun 3 di bulan Maret sebesar 4,036 ppm dan stasiun 2 di bulan April 2022 sebesar 2,015 ppm. Hal tersebut dipengaruhi oleh lalu lintas kapal pada stasiun 3 yang memberikan kontribusi Pb sedangkan pada stasiun 2 diduga akibat pengaruh dari arah barat berupa kegiatan industri. Tingginya Pb pada organisme akuatik banyak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Menurut Salman (2020), menyatakan bahwa logam berat pada organisme biofilter semakin meningkat akibat konsentrasi logam berat pada air dan sedimen yang tinggi. Berdasarkan hasil menunjukkan terjadi penurunan kadar Pb dalam kerang hijau di Bulan April 2022. Hal tersebut akibat pengaruh kualitas perairan terkait kelarutan Pb. Kandungan Pb dalam kerang hijau relatif lebih tinggi dibandingkan Pb dalam air. Hal tersebut menunjukkan Pb yang terkandung dalam air terjadi akumulasi pada tubuh kerang. Sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia saat mengonsumsi yang membuat Pb semakin menumpuk pada tingkatan trofik paling tinggi melalui proses rantai makanan (Nurhayati dan Putri, 2019). Tingkat akumulasi Pb pada setiap kerang hijau memiliki perbedaan. Menurut Priambodo *et al.* (2021), menyebutkan perbedaan tingkat akumulasi Pb pada kerang hijau dipengaruhi oleh laju filtrasi serta perbedaan ukuran, usia, dan habitatnya. Ukuran kerang hijau yang diperoleh berukuran mulai dari kecil hingga besar dengan ukuran 2 – 10 cm. Semakin besar ukuran dan pertumbuhan kerang hijau menunjukkan tingkat konsentrasi Pb yang semakin tinggi yang telah terakumulasi. Sedangkan efektivitas kerang hijau dalam mengakumulasi Pb lebih bagus pada kerang yang berukuran sedang karena memiliki metabolisme yang lebih stabil pada fase produktif (Andrew *et al.*, 2014). Kerang termasuk organisme bivalvia mampu mengakumulasi Pb dalam tubuhnya mencapai 370 mg/kg (Hartati *et al.*, 2001). Menurut Govindasamy *et al.* (2014), bahwa kemampuan untuk hidup kerang hijau pada konsentrasi Pb di lingkungan sebesar 3,24 mg/l selama pemaparan 96 jam. Kadar Pb dalam jaringan lunak kerang hijau telah melebihi baku mutu untuk dikonsumsi oleh manusia. Kerang hijau sebagai spesies yang sifatnya *filter feeder* memiliki mobilitas yang rendah dengan potensi paparan dan akumulasi yang besar. Kerang hijau memiliki tingkat toleransi yang tinggi terhadap konsentrasi Pb sehingga membuat akumulasi lebih besar. Akumulasi

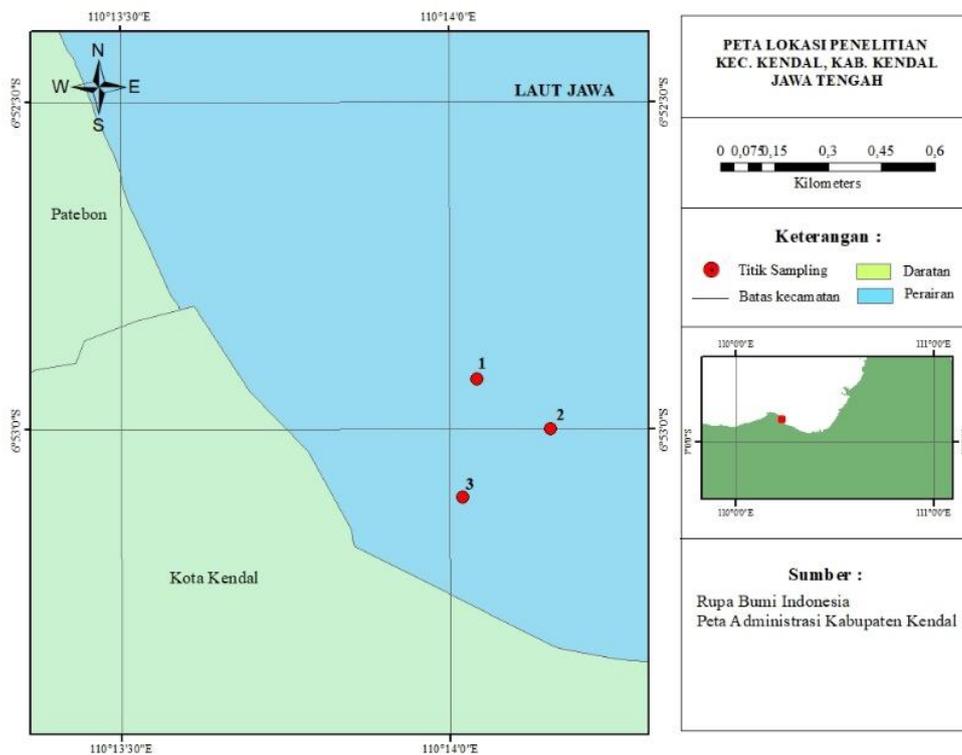
Tabel 2. Hasil Uji Logam Pb pada Air Laut, Sedimen, dan Jaringan Lunak Kerang Hijau

Jenis Sampel	Stasiun	Pengulangan		Baku Mutu
		Maret 2022	April 2022	
Air Laut (mg/l)	1	0,411	0,372	0,008 mg/l ^(a)
	2	0,572	0,432	
	3	0,437	0,422	
Sedimen (mg/kg)	1	16,399	5,969	50 mg/kg ^(b)
	2	5,291	7,291	
	3	6,531	11,574	
Kerang Hijau (mg/kg)	1	2,427	1,31	1,5 mg/kg ^(c)
	2	1,942	2,015	
	3	4,036	1,642	

Keterangan : a) PP Republik Indonesia No.22 Tahun 2021; b) ANZECC/ARMCANZ Tahun 2000; c) SNI 7387 Tahun 2009

Pb pada tubuh kerang hijau masuk melalui insang hingga mencapai organ target yaitu hati (Safitri *et al.*, 2018). Timbal yang masuk dalam tubuh kerang hijau bersifat toksik, karena mengalami biotransformasi dan tidak dapat dieksresikan dari tubuh kerang maka akan tersimpan dan terendapkan pada organ seperti hepatopankreas, ginjal, dan gonad (Emawati *et al.*, 2015). Bahkan menurut Barokah *et al.* (2019), menyebutkan bahwa Pb dapat mengganggu proses metabolisme dan membuat kerang kehilangan bobot tubuhnya. Sehingga, Pb yang telah terakumulasi oleh kerang hijau dari Muara Sungai Kendal telah tercemar dan dapat mengganggu kesehatan manusia saat mengonsumsi yang dapat merusak fungsi organ hingga menghambat pembentukan hemoglobin pada manusia (Kusumastuti *et al.*, 2020).

Kondisi lingkungan memiliki pengaruh terhadap konsentrasi Pb di Muara Sungai Kendal yang dapat dilihat dari beberapa parameter fisika dan kimia. Nilai yang dihasilkan disajikan pada Tabel 3 dan merujuk pada baku mutu berdasarkan PP Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel di Muara Sungai Kendal

Tabel 3. Parameter Lingkungan Muara Sungai Kendal Bulan Maret – April 2022

Parameter	Maret 2022			April 2022			Baku Mutu ^{*)}
	1	2	3	1	2	3	
Suhu (°C)	35,4	37	35,7	29,1	31,3	30,2	28 – 32
pH	7,44	7,35	7,3	8,46	8,32	8,3	7 – 8,5
Salinitas (ppt)	28	27	28	28	30	30	33 - 34
DO (mg/l)	5,24	5,35	6,19	6,4	6,71	6,83	> 5
Kecerahan (cm)	25,5	40,5	37	21,5	26	27,5	-
Arus (m/s)	0,05	0,07	0,04	0,04	0,05	0,03	-

^{*)} PP Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021

Hasil pengukuran menunjukkan suhu perairan berkisar 29,1–37 °C. Suhu perairan memberikan pengaruh terhadap kelarutan Pb di perairan. Semakin tinggi suhu perairan maka senyawa logam berat Pb akan lebih mudah larut dalam air dan mempercepat akumulasi pada tubuh organisme. Hal tersebut karena proses metabolisme meningkat sehingga dapat memicu peningkatan reaksi pembentukan ikatan antara Pb dengan protein dalam tubuh kerang (Budiastuti *et al.*, 2016). Berdasarkan penelitian ini menunjukkan suhu pada bulan Maret 2022 lebih tinggi daripada bulan April 2022 sehingga Pb pada air lebih besar. Suhu perairan sangat mempengaruhi kadar oksigen terlarut di perairan. Peningkatan suhu perairan akan menurunkan jumlah oksigen terlarut dalam air. Kadar oksigen berkisar 5,24 – 6,83 mg/l dengan terjadi peningkatan pada bulan April 2022 karena suhu perairan yang lebih rendah dari sebelumnya. Penurunan oksigen terlarut menyebabkan Pb semakin meningkat. Hal tersebut diperkuat oleh Usman *et al.* (2015), yang menyatakan bahwa peningkatan DO tidak signifikan dengan peningkatan Pb. Keberadaan oksigen dalam air menurun akibat zat pencemar yang mengonsumsi oksigen seperti bahan-bahan organik dan anorganik dari limbah domestik dan industri. Nilai pH pada Muara Sungai Kendal cenderung basa berkisar 7,3–8,46. Derajat Keasaman (pH) perairan mempengaruhi konsentrasi Pb di perairan. Kelarutan Pb akan lebih tinggi saat pH rendah sehingga toksisitas dan akumulasi semakin besar. Hal tersebut diperkuat oleh Malau *et al.* (2018), yang menyatakan bahwa semakin tinggi pH dapat menurunkan kelarutan Pb dalam air karena pH dapat mengubah kestabilan karbonat pada air menjadi hidroksida yang membentuk ikatan partikel dan mengendap pada sedimen. Nilai salinitas yang terukur pada penelitian berkisar 27 - 30 ppt. Salinitas memiliki pengaruh terhadap keberadaan Pb karena ketika salinitas turun maka daya toksik dan tingkat akumulasi Pb semakin meningkat (Mahasri *et al.*, 2014). Hal ini sesuai dengan penelitian dimana salinitas terendah yaitu 27 ppt dengan Pb yang tergolong besar. Arus perairan tergolong rendah berkisar 0,03–0,07 m/s yang mendukung Pb dapat terakumulasi pada air maupun sedimen. Sedangkan kecerahan berkisar 21,5 –40,5 cm dimana ketika kecerahan menurun dapat disebabkan oleh pengadukan bahan organik menuju kolom air oleh pengaruh kapal-kapal.

Penentuan faktor konsentrasi Pb diketahui untuk melihat perbandingan tingkat akumulasi logam berat pada sedimen dan kolom air. Sedangkan faktor biokonsentrasi diketahui untuk melihat kemampuan kerang hijau dalam mengakumulasi Pb pada air dan sedimen. Hasil pengukuran FK dan FBK disajikan dalam Tabel 4 dan Tabel 5. Berdasarkan hasil analisis FK menghasilkan angka yang variatif dengan nilai 9,25 - 39,9. Hal tersebut menunjukkan bahwa Pb yang terkandung dalam sedimen tertinggi pada stasiun 1 mencapai 39,9 kali lebih tinggi dari pada Pb dalam air dan terendah adalah 9,25 kali pada stasiun 2. Hal tersebut diperkuat oleh Siregar dan Edward (2010), yang menyatakan bahwa angka FK menjelaskan berapa kali lipat Pb dalam air yang terakumulasi pada sedimen di dasar laut. Berdasarkan hasil analisis FBK menunjukkan bahwa kerang hijau yang diperoleh dari Perairan Kendal lebih tinggi mengakumulasi Pb yang terkandung dalam air dibandingkan sedimen walaupun tingkat akumulasi yang tergolong rendah. Hal tersebut angka yang dihasilkan kurang dari 100 (Wardani *et al.*, 2014). Hal tersebut karena bentuk fisiologi kerang hijau yang hidup secara *filter feeder* dalam menyerap makanannya dan menyaring masuk ke dalam tubuh sehingga berbagai partikel yang bersifat esensial maupun non esensial yang terdapat dalam air dan sedimen ikut masuk dalam tubuhnya.

Tabel 4. Faktor Konsentrasi (FK) Logam Pb dalam Sedimen Terhadap Air dari Muara Sungai Kendal

Stasiun	Pengulangan	
	Maret 2022	April 2022
Stasiun 1	39,9	16,05
Stasiun 2	9,25	16,88
Stasiun 3	14,95	27,43

Tabel 5. Faktor Biokonsentrasi (FBK) Logam Pb dalam Kerang Hijau Terhadap Ambien

Stasiun	Pengulangan				Kadar
	Maret 2022		April 2022		
	Air	Sedimen	Air	Sedimen	
Stasiun 1	5,91	0,15	3,52	0,22	Rendah
Stasiun 2	3,4	0,37	4,66	0,28	Rendah
Stasiun 3	9,24	0,62	3,89	0,14	Rendah
Kadar Rendah	<100 ^{*)}				
Kadar Sedang	101 – 1000 ^{*)}				
Kadar Tinggi	>1000 ^{*)}				

Tabel 6. Batas Aman Konsumsi Daging Kerang Hijau dalam Seminggu dari Muara Sungai Kendal

Hasil Perhitungan	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
	Maret 2022		
Kandungan Pb (mg/kg)	2,427	1,942	4,036
MWI (mg/week)			
Laki-laki 60 kg		1,5	
Perempuan 45 kg		1,125	
MTI (kg/week)			
Laki-laki 60 kg	0,62	0,77	0,37
Perempuan 45 kg	0,46	0,58	0,28
	April 2022		
Kandungan Pb (mg/kg)	1,31	2,015	1,642
MWI (mg/week)			
Laki-laki 60 kg		1,5	
Perempuan 45 kg		1,125	
MTI (kg/week)			
Laki-laki 60 kg	1,15	0,74	0,91
Perempuan 45 kg	0,86	0,56	0,69

Berdasarkan hasil perhitungan MTI untuk orang dewasa dengan asumsi berat badan 45 kg untuk perempuan dan 60 kg untuk laki-laki menghasilkan rata-rata berbeda untuk dapat mengonsumsi kerang hijau (*Perna viridis*) yang diperoleh dari Perairan Kendal. Nilai MTI untuk laki-laki berat badan 60 kg berkisar 0,37 – 0,77 kg/minggu pada bulan Maret 2022 dan 0,36 – 0,75 kg/minggu pada bulan April 2022. Sedangkan untuk berat badan asumsi perempuan 45 kg berkisar 0,28 – 0,588 kg/minggu pada bulan Maret 2022 dan 0,27 – 0,57 kg/minggu pada bulan April 2022 (Tabel 6).

Kondisi kerang hijau (*Perna viridis*) yang diperoleh dari Muara Sungai Kendal telah tercemar oleh Pb yang melebihi baku mutu oleh SNI 7387 Tahun 2009 senilai 1,5 mg/kg. Sedangkan batas maksimum konsentrasi bahan pangan berupa kerang hijau (*Perna viridis*) yang terkontaminasi logam Pb untuk boleh dikonsumsi per minggu adalah sebesar 1,5 mg. Apabila aktivitas konsumsi kerang hijau yang terkontaminasi Pb terus masuk ke dalam tubuh manusia dengan asumsi berat badan rata-rata 45 kg pada perempuan dan 60 kg pada laki-laki maka akan terjadi penumpukan Pb yang bersifat toksik bagi tubuh. Sedangkan, nilai MTI menjelaskan setiap individu hanya dapat mengonsumsi kerang hijau pada laki-laki berat badan rata-rata 60 kg adalah 0,37 kg per minggu dan perempuan 45 kg sebesar 0,28 kg per minggu yang diambil dari residu Pb terkecil. Logam Pb bersifat *non-esensial* dan memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Efek toksik yang dihasilkan bersumber dari kontaminasi pada makanan. Penumpukan Pb pada tubuh manusia dapat menghambat kerja enzim dalam pembentukan hemoglobin (Hb) yang dapat memperlambat pematangan sel darah pada sumsum tulang belakang sehingga dapat terjadi penyakit anemia

hingga hipertensi (Kusumastuti *et al.*, 2020). Enzim yang berperan dalam proses sintesis hemoglobin adalah Amino Levulinic Acid Dehidrase (ALAD) dan ferrokkelatase (Maskinah *et al.*, 2016). Pb pada darah manusia akan mengikat gugus aktif dari enzim ALAD dan tidak terputus serta terus berlanjut sehingga menghambat proses sintesis Hb. Keracunan Pb pada tubuh manusia akibat konsumsi kerang hijau yang berlebihan dapat masuk ke dalam jaringan lunak seperti sumsum tulang, sistem saraf, ginjal, dan hati. Efek kronis akan menyebabkan kontipasi pada sistem pencernaan, kerusakan sistem saraf, menurunnya kecerdasan, disfungsi ginjal, kardiovaskular, kematian janin, teratospermia pada laki-laki dan sakit kepala (Fibrianti dan Azizah, 2015). Menurut Jaishankar *et al.*, (2014), dampak paparan kronis dapat melumpuhkan tubuh hingga kematian. Efek yang dihasilkan dapat timbul ketika mengonsumsi kerang hijau (*Perna viridis*) yang telah melebihi MTI, sehingga harus tetap waspada agar mengurangi dampak negatif terhadap kesehatan manusia.

KESIMPULAN

Kandungan logam berat Pb dari sampel yang diperoleh dari Muara Sungai Kendal dalam air berkisar 0,372 – 0,572 ppm, dalam sedimen berkisar 5,291 – 16,399 ppm, dan jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) berkisar 1,31 – 4,036 ppm. Faktor konsentrasi menghasilkan kisaran 9,25 – 39,9 kali dan BCF_{o-w} berkisar 3,4 – 9,24 dan BCF_{o-s} berkisar 0,14 – 0,62 dengan kadar rendah. Batas aman konsumsi masyarakat yang aman terhadap kerang hijau yang diperoleh dari Muara Sungai Kendal untuk individu laki-laki rata-rata berat badan 60 kg yaitu 0,37 hingga 1,15 kg per minggu sedangkan individu perempuan rata-rata berat 45 kg yaitu 0,28 – 0,86 kg per minggu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I., 2019. Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 14(1): 1-14. DOI: 10.1155/2019/6730305
- Ali, M.M., Ali, M.L., Islam, M.S., & Rahman, M.Z., 2016. Preliminary Assesment of Heavy Metals in Water and Sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Journal of Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 5(1):27-35. DOI: 10.1016/j.enmm.2016.01.002
- Alisa, C.A.G., Albirqi, M.S., & Faizal, I., 2020. Kandungan Timbal dan Kadmium pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 5(1):21-26. DOI: 10.24198/jaki.v5i1.26523
- Andrew, S.O., Siregar, Y.I., & Efriyeldi., 2014. Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Zn pada Daging dan Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tanjung Balai Asahan. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan*, 1(2):1-11.
- Arifin, A.A., Suryono, C.A., & Setyati, W.A., 2021. Amankah Mengkonsumsisi Kerang Hijau *Perna viridis* Linnaeus, 1758 (Bivalvia: Mytilidae) yang Ditangkap di Perairan Morosari Demak. *Journal of Marine Research*, 10(3):377-386. DOI:10.14710/jmr.v10i3.31650
- Arkianti, N., Dewi, N.K., & Martuti, N.K.T., 2019. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan di Sungai Lamat Kabupaten Magelang. *Jurnal Life Science*, 8(1):54-63. DOI: 10.15294/lifesci.v8i1.29991
- Barokah, G.R., Dwiytino., & Nugroho, I., 2019. Kontaminasi Logam Berat (Hg, Pb, dan Cd) dan Batas Aman Konsumsi Kerang Hijau (*Perna viridis*) dari Perairan Teluk Jakarta di Musim Penghujan. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 14(2):95-106. DOI: 10.15578/jpbkp.v14i2.611
- Budiastuti, P., Raharjo, M., & Dewanti, N.A.Y., 2016. Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(5):119-125.
- Condor, A., Custodio, M., Chaname, F., Cuadrado, W., & Penalzoza, R., 2021. Heavy Metals and Arsenic in Water, Sedimen and The Muscle of *Oncorhynchus Mykiss* from The Tishgo River in The Central Andes of Peru. *Journal of Ecological Engineering*, 22(4):156-166. DOI: 10.12911/22998993/134045

- Emawati, E., Aprianto, R., & Musfiroh, I., 2015. Analisis Timbal dalam Kerang Hijau, Kerang Bulu dan Sedimen di Teluk Jakarta. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 2(3):105-111. DOI: 10.15416/ijpst.v2i3.7907
- Eshmat, M.E., Mahasri, G., & Rahardja, B.S., 2014. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) di Perairan Ngemboh Kabupaten Gresik Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 8(1):101-108. DOI: 10.20473/jipk.v6i1.11387
- Fibrianti, L.D., & Azizah, R., 2015. Karakteristik, Kadar Timbal (Pb) dalam Darah dan Hipertensi Pekerja Home Industry Aki Bekas di Desa Talun Kecamatan Sukodado Kabupaten Lamongan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(1): 92-102. DOI:10.20473/jkl.v8i1.2015.92-102
- Garvano, M.F., Saputro, S., & Hariadi, H., 2017. Sebaran Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen Dasar di Sekitar Perairan Muara Sungai Waridin, Kabupaten Kendal. *Jurnal of Oseanografi*, 6(1):100-107.
- Govindasamy, H., Ramachandran, P., & Ramachandran, R., 2014. Toxic Effect of Lead on Biochemical and Histological Alterations in Green Mussel (*Perna viridis*) Induced by Environmentally Relevant Concentrations. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 77(5): 246-260. DOI:10.1080/15287394.2013.861777
- Gusnita, D., 2012. Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) di Udara dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal. *Jurnal Berita Dirgantara*, 13(3):95-101.
- Handayani, M.F., Muhlis, M., & Gunawan, E.R., 2016. Analisis Kandungan Logam Berat Pb pada Sedimen dan Kerang Darah (Genus: Anadara) di Perairan Pantai Labuhan Tereng Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 2(2):68-76. DOI:10.29303/jppipa.v2i2.204
- Hartati, R., Taufiq-SPJ, N., Widianingsih., & Suryono, C.A., 2001. Tolerance of The Oyster *Saccostrea forskahlii* to Aerial Exposure After Exposure to Lead. *Phuket Marine Biological Center Special Publication*, 25(1):243-246.
- Haryono, M.G., Mulyanto., & Kilawati, Y., 2017. Kandungan Logam Berat Pb Air Laut, Sedimen dan Daging Kerang Hijau *Perna viridis*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1):1-7. DOI: 10.29244/jitkt.v9i1.17864
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., & Beeregowda, K.N. 2014. Toxicity, Mechanism and Health Effects of Some Heavy Metals. *Journal of Interdiscip Toxicol*, 7(2):60-72. DOI: 10.2478/intox-2014-0009
- Kusumastuti, D., Setiaini, O., & Joko, T., 2020. Analisis Frekuensi Konsumsi Makanan Laut dan kandungan Logam Berat Pb dalam Darah Wanita Usia Subur (WUS) di Wilayah Kerja Puskesmas Bandarharjo. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(5):687-693.
- Liliandri, P., & Aunurohim, A., 2013. Kecepatan Filtrasi Kerang Hijau (*Perna viridis*) Terhadap *Chartoceros* sp dalam Media Logam Tercemar Kadmium. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(2): 149-154.
- Malau, R., Azizah, 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. DOI:10.14710/jkt.v21i2.3010
- Maskinah, E., Suhartono., & Wahyuni, N.E. 2016. Hubungan Kadar Timbal dalam Darah dengan Jumlah Eritrosit Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 15(2):42-45. DOI: 10.14710/jkli.15.2.42-45
- Masluhah, 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(1):55-62.
- Maulana, I.R., Nuraini, R.A.T., & Endrawati, H., 2017. Analisis Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) pada Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Trimulyo Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1):48-55. DOI:10.14710/jkt.v20i1.1104
- Nurfadhilla, N., Nurruhwati, I., Sunardi., & Zahidah., 2020. Tingkat Cemar Logam Berat Timbal (Pb) pada Tutut (*Filopaludina javanica*) di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 5(2):61-70. DOI:10.24198/jaki.v5i2.27268
- Nurhayati, D., & Putri, D.A., 2019. Bioakumulasi Logam Berat pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di

- Perairan Cirebon Berdasarkan Musim yang Berbeda. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 4(1):6-10. DOI: 10.24198/jaki.v4i1.23484
- Priambodo, B.A., Arif, M., & Rahardja, B.S., 2021. Studi Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Wilayah Ngembih, Gresik, dan PPDI Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong, Lamongan, Jawa Timur. *Jurnal Marinade*, 4(1):1-9. DOI: 10.31629/marinade.v4i1.3408
- Putri, W.A.E., Bengen, D.G., Prartono, T., & Riani, E., 2015. Konsentrasi Logam Berat (Cu dan Pb) di Sungai Musi Bagian Hilir. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(2):453-463. DOI: 10.29244/jitkt.v7i2.10993
- Rahmah, S., Maharani, H.W., & Efendi, E., 2019. Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cu pada Sedimen dan Kerang Darah (*Anadara granosa* Linn,1758) di Perairan Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung. *Aquatic Science Journal*, 6(1):22-27. DOI:10.29103/aa.v6i1.887
- Rizkiana, L., Karina, S., & Nurfadillah, N., 2017. Analisis Timbal (Pb) pada Sedimen dan Air Laut di Kawasan Pelabuhan Nelayan Gampong Deah Glumpang Kota Banda Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 2(1):89-96.
- Rudiyanti, S., Hanifah, N.N., & Ain, C., 2019. Analisis Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di Sungai Silandak Semarang. *Journal of Maquares*, 8(3):257-264. DOI: 10.14710/marj.v8i3.24264
- Safitri, S.S., Efendi, E., & Yudha, I.G., 2018. Pencemaran Pb dan Cu pada Kerang Hijau di Pulau Pasaran Lampung. *Jurnal Pengelolaan Perairan*, 1(2):10-18.
- Salman, S., 2020. Survei Parameter Fisika-Kimia Perairan dan Konsentrasi Logam Berat pada Kerang Hijau di Pulau Reklamasi C dan D di Teluk Jakarta. *Bio-Lectura:Jurnal Pendidikan Biologi*, 7(2):122-129. DOI: 10.31849/bl.v7i2.4697
- 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.
- Supriharyono., Marwah, R.A., & Haeruddin., 2015. Analisis Konsentrasi Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Air dan Ikan dari Perairan Sungai Wakak Kendal. *Management of Aquatic Resources Journal*, 4(3):37-41.
- Trisyani, N., 2020. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Air Laut, Sedimen, dan Daging Kerang Bambu (*Solen* sp.) di Pantai Madura. *Jurnal Kelautan*, 13(2):163-167. DOI: 10.21107/jk.v13i2.8270
- Usman, A.F., Budimawan., & Budi, P., 2015. Kandungan Logam Berat Pb-Cd dan Kualitas Air di Perairan Biringkassi, Bungoro, Pangkep. *Jurnal Agrokompleks*, 4(9):103-107. DOI: 10.33373/dms.v4i3.45
- Wardani, D.A.K., Dewi, N.K., & Utami, N.R., 2014. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Daging Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Muara Sungai Banjir Kanal Barat. *Life Science*, 3(1):1-8.
- Yulianto, B., Oetari, P.S., Febrihardi, S., Putranto, T.W.C., & Soegianto, A., 2019. Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Zn) Concentrations in Edible Bivalves Harvested from Northern of Central Java, Indonesia. *International Conference on Science and Technology for Environmental Protection*, 259(1):1-11. DOI:10.1088/1755-1315/259/1/012005