

Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang

Noor Muhtaroh¹, Jafron Wasiq Hidayat^{1,2,3}, dan Fuad Muhammad^{1,2,3}

¹Program Studi Magister Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, 50275; e-mail: wasiqjep@gmail.com

²Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 50241

³Jurusan Biologi, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 50275

ABSTRAK

Kegiatan antropogenik dapat menyebabkan pencemaran logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo. Logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) dapat merugikan lingkungan dan ekosistem perairan terutama mempengaruhi kelangsungan hidup biota yang hidup di dalamnya, termasuk kerang hijau (*Perna viridis*). Mengonsumsi kerang hijau (*Perna viridis*) yang tercemar logam berat dapat membahayakan kesehatan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-November 2022 di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) pada air, sedimen dan jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*). Pengujian logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil penelitian nilai kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) pada air di stasiun 1 dan 3 melebihi baku mutu. Namun, nilai kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) pada sedimen, dan jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) masih dibawah baku mutu.

Kata kunci: Perairan Pantai, logam berat, air, sedimen, kerang hijau

ABSTRACT

Anthropogenic activities can cause heavy metal pollution of lead (Pb) and zinc (Zn) in the coastal waters of Mangunharjo Village. Heavy metals lead (Pb) and zinc (Zn) can harm the environment and aquatic ecosystems, especially affecting the survival of biota living in them, including green mussels (*Perna viridis*). Consuming green mussels (*Perna viridis*) polluted with heavy metals can be harmful to health. This research was conducted in January-November 2022 in the coastal waters of Mangunharjo Village, Semarang City. The purpose of this study was to analyze the content of heavy metals lead (Pb) and zinc (Zn) in water, sediment, and soft tissue of green mussels (*Perna viridis*). Testing for heavy metals lead (Pb) and zinc (Zn) using *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). The results showed that the heavy metal content of lead (Pb) and zinc (Zn) in water at stations 1 and 3 exceeded the quality standards. However, the values of heavy metals lead (Pb) and zinc (Zn) in sediment and soft tissue of green mussels (*Perna viridis*) were still below the quality standards.

Keywords: coastal waters, heavy metals, water, sediment, green mussels

Citation: Muhtaroh, N., Hidayat, W, J., dan Muhammad, F. (2024). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 600-608, doi:10.14710/jil.22.3.600-608

1. PENDAHULUAN

Kawasan pesisir Kelurahan Mangunharjo merupakan kawasan mangrove yang telah di konversi menjadi area pertambakan ikan dan udang. Sistem budidaya yang dikembangkan umumnya masih sistem tradisional dengan produktivitas yang masih rendah. Lokasi tambak budidaya di Wilayah Kelurahan Mangunharjo tersebar pada beberapa tempat diantaranya berada di sekitar pesisir pantai, lokasi pemukiman, perairan sungai, muara sungai,

dan kawasan industri. Penurunan kualitas air diakibatkan oleh adanya zat pencemar baik berupa komponen-komponen organik maupun anorganik (Ramliia *dkk*, 2018). Komponen anorganik seperti logam berat termasuk logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn). Logam berat merupakan zat yang berbahaya dan beracun jika kadarnya melebihi ambang batas yang ditentukan karena dapat merugikan lingkungan dan ekosistem perairan. Kontaminasi logam berat dapat mengakibatkan

kematian (*lethal*) maupun bukan kematian (*sublethal*), seperti terganggunya pertumbuhan, tingkah laku, dan karakteristik morfologi berbagai organisme akuatik (Aris *dkk.*, 2021).

Sumber logam berat timbal (Pb) dihasilkan oleh buangan aktivitas transportasi kendaraan bermotor, bengkel otomotif di sekitar tambak ikan yang menghasilkan air limbah yang berasal dari percikan oli bekas, dan aktivitas masyarakat menggunakan perahu motor dengan bahan bakar bensin yang beradiktif (Jusuf *dkk.*, 2021). Kelurahan Mangunharjo terdapat sungai beringin sebagai jalur transportasi kapal nelayan yang digunakan untuk mencari ikan sehingga tumpahan minyak dari kapal dapat menjadi masukan cemaran logam berat timbal (Pb) dan limbah aktivitas bengkel kendaraan bermotor di sekitar sungai juga mengandung logam berat timbal (Pb).

Salah satu logam berat esensial yang dibutuhkan hampir semua organisme dalam jumlah sedikit yaitu logam berat seng (Zn). Logam seng (Zn) dalam jumlah yang sangat sedikit dapat berperan dalam mendorong perkembangan pertumbuhan organisme. Namun, apabila kadar logam berat seng (Zn) melebihi baku mutu yang ditetapkan dapat menyebabkan terjadinya pencemaran yang berbahaya bagi organisme (Santana *dkk.*, 2018). Pencemaran logam berat seng (Zn) di wilayah Kelurahan Mangunharjo dapat berasal dari zat warna dalam cat kapal nelayan, aktivitas limbah rumah tangga (korosi pipa-pipa air, limbah produk-produk konsumen misalnya pada formula detergen), dan limbah pertanian yang banyak menggunakan pupuk pestisida yang mengandung logam berat seng (Zn). Yin *et al.*, (2015) logam berat seng (Zn) dapat disebabkan karena ada pelepasan pelapis anti *fouling* pada cat kapal yang berada di lingkungan perairan.

Kerang hijau (*Perna viridis*) dari Famili *Mytilidae* yang sering dijadikan sebagai *sentinel organism* yang tepat dalam program monitoring lingkungan perairan. Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan salah satu organisme air yang hidup menetap (*sessile*), *filter feeder* berfungsi menyaring atau memfilter partikel-partikel yang ada di depan organ sifon yang rawan mengakumulasi logam berat dan mampu hidup pada tekanan ekologis yang tinggi, sehingga dapat mengakumulasi logam berat dalam tubuh kerang hijau pada perairan yang terkontaminasi logam berat (Triantoro *dkk.*, 2017). Pola hidup dengan cara *sedentary animal* yang dimungkinkan tidak dapat menghindari bahan pencemar yang mencemari lingkungan hidupnya dapat menggambarkan suatu wilayah kajian (Purbonegoro, 2018).

Kerang hijau (*Perna viridis*) mempunyai *enzim detoksifikasi* (enzim untuk mengeluarkan racun) dalam jumlah yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan organisme vertebrata yang kurang mampu mengeluarkan zat racun di dalam tubuhnya dibandingkan dengan organisme vertebrata sehingga dapat mengakumulasi bahan pencemar persisten seperti logam berat (Yaqin *dkk.*, 2015). Keberadaan wilayah pesisir yang sebagai penampung terakhir bagi sungai yang bermuara dan membawa limbah yang

telah tercemar logam berat yang berasal dari limbah rumah tangga, limbah industri, limbah pertanian, kegiatan budidaya dan aktivitas kapal nelayan sehingga dapat membuat logam berat terakumulasi di dalam perairan pantai dan sangat membahayakan bagi masyarakat terutama Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang terutama yang mengkonsumsi hasil laut seperti kerang hijau (*Perna viridis*) yang telah terkontaminasi logam berat, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) pada air, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan bulan November 2022 di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo. Analisis kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) dalam air, sedimen, dan jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) dilakukan secara *exsitu* di Balai Laboratorium Kesehatan dan Pengujian Alat Kesehatan Provinsi Jawa Tengah dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), sedangkan analisis faktor fisika dan kimia air dilakukan langsung di lokasi penelitian (*insitu*) yang diukur; suhu, salinitas, pH, dan DO (oksigen terlarut).

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu: thermometer, hand refractometer, kertas pH lakmus, cool box, kantong plastic klip, DO meter, kamera, GPS, *Ekman grab*, botol sampel 500 ml, kertas label, dan perahu.

Bahan yang digunakan pada penelitian yaitu sampel air, sedimen, kerang hijau (*Perna viridis*), dan aquades.

2.3. Cara Kerja

2.3.1. Penentuan Lokasi Stasiun Penelitian

Penentuan lokasi pengambilan sampel penelitian ditentukan dengan menggunakan metode *purposive random sampling* yang merupakan penentuan lokasi sampling dengan beberapa pertimbangan tertentu oleh peneliti (Miranda *dkk.*, 2018). Penentuan titik pengambilan sampel (air, sedimen, dan kerang hijau) berdasarkan keberadaan sumber pencemar logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) pada masing-masing stasiun dan berdasarkan informasi dari nelayan setempat mengenai lokasi keberadaan kerang hijau (*Perna viridis*). Pembagian stasiun pengambilan sampel (air, sedimen, dan kerang) diantaranya: stasiun 1 (6°56'27.6"S 110°19'15.1"E) lokasi berupa tambak budidaya dekat dengan laut, stasiun 2 (6°56'29.7"S 110°18'644.5"E) lokasi berupa tambak tanpa mangrove, dan stasiun 3 (6°56'17.8"S 110°18'51.7"E) lokasi berupa tambak budidaya dekat dengan muara sungai. Peta titik stasiun dapat dilihat pada Gambar 1.

2.3.2. Pengambilan Sampel

Sampel air diambil dengan menggunakan botol plastik berbahan *polytilen* ukuran 500 ml, sampel air permukaan perairan pada kedalaman berkisar antara 30-50 cm. Sementara, sampel sedimen diambil dengan menggunakan *sediment grab (Ekman grab)* dengan cara *grab* diikat dengan tali kemudian *grab* dijatuhkan dari atas permukaan air hingga *grab* jatuh di dasar, sedimen yang diambil sekitar 10 cm dari permukaan *Ekman grab*. Selanjutnya *grab* ditarik sampai atas, sampel sedimen diperoleh hingga 250 gr. Sedangkan sampel kerang hijau diambil pada saat air laut surut, kerang hijau diambil dengan menggunakan tangan kemudian dipisahkan antara jaringan lunak dengan cangkangnya berdasarkan ukuran cangkang yaitu kecil (27-40 mm), sedang (46-50 mm), besar (55-61mm) sebagaimana yang sudah dilakukan oleh Tantansarit *et al.*, (2013); Khusnul *dkk.*, (2014); Yaqin *dkk.*, (2014); Os *dkk.*, (2014); Astari *dkk.*, (2021); Lahati *dkk.*, (2022).

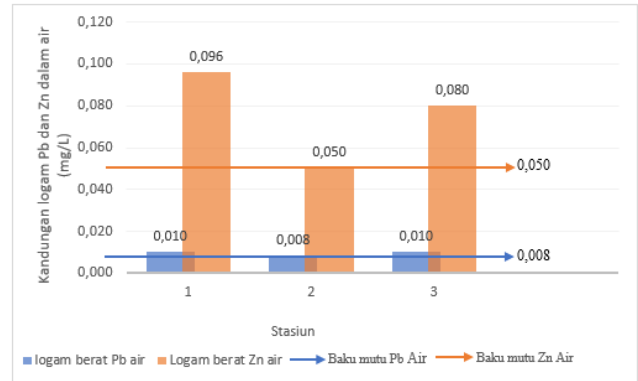
Hingga diperoleh 200 mg/Kg. Kemudian dianalisis kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) di Balai Laboratorium Kesehatan dan Pengujian Alat Kesehatan Provinsi Jawa Tengah dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)* dengan acuan SNI 6989.84.2019 untuk air, SNI 06-6992.3-2004 untuk sedimen dan kerang hijau tentang cara uji logam berat

Pb dan Zn secara *Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kandungan Logam Berat timbal (Pb) Dan seng (Zn) dalam Air, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*)

Hasil pengukuran kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) dalam air di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Histogram kadar logam berat Pb dan Zn dalam air



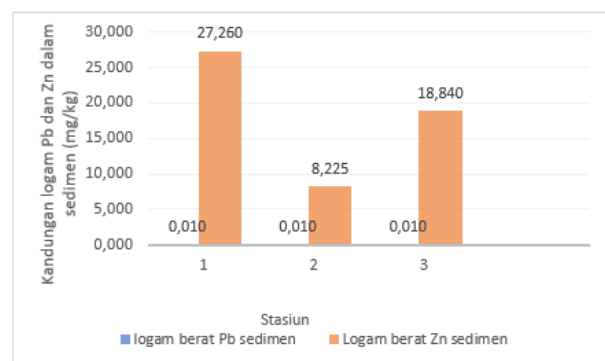
Gambar 2. Lokasi Penelitian

Kandungan logam berat timbal (Pb) dalam air tertinggi di stasiun 1 dan 3 memiliki nilai yang sama yaitu 0,010 mg/L yang melebihi baku mutu menurut PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tentang baku mutu air laut untuk biota laut yaitu berkisar 0,008 mg/L. Hal ini diduga pada stasiun 1 dan 3 memiliki nilai suhu yang lebih tinggi dari pada di stasiun 2 dan memiliki salinitas yang rendah serta adanya masukan dari kegiatan antropogenik seperti limbah domestik, limbah industri, limbah pertanian, pembuangan air pasang atau masuknya air tawar dari sungai, dan aktivitas kapal nelayan. Sukoasih *dkk.*, (2017) kenaikan nilai suhu tidak hanya akan meningkatkan metabolisme biota perairan dan dapat meningkatkan toksisitas logam berat di perairan. Nilai kandungan logam berat timbal (Pb) dalam air yang diperoleh lebih tinggi dari pada hasil penelitian dilakukan oleh Mirawati *dkk.*, (2016) logam berat timbal (Pb) di Perairan Mangunharjo yaitu berkisar <0,003 mg/L yang masih di bawah baku mutu Kepmen LH No. 51 tahun 2004. Sementara, nilai kandungan logam berat timbal (Pb) dalam air yang diperoleh lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hartanto *et al.*, (2022) yaitu berkisar antara 0,672 – 0,867 mg/L yang melebihi batas baku mutu Kepmen LH No. 51 tahun 2004. Hal itu disebabkan oleh air laut yang bersifat sangat dinamis dan terus bergerak mengikuti gelombang serta arah arus di perairan tersebut. Fernandes *dkk.*, (2023) sifat air laut yang dinamis sehingga mengakibatkan kadar logam berat akan tersebar secara merata di perairan dan pola arus berpengaruh terhadap keberadaan atau ketiadaan logam berat dalam suatu perairan dikarenakan arus laut mengakibatkan logam berat terlarut bergerak dari permukaan dan ke segala arah. Kandungan logam berat timbal (Pb) dalam air terendah terdapat di stasiun 2 yaitu berkisar 0,008 mg/L yang masih memenuhi baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup nilai kandungan logam berat timbal (Pb) untuk biota laut yaitu berkisar 0,008 mg/L. Hal ini diduga karena faktor curah hujan pada bulan Oktober–November 2022 yang menyebabkan menurunnya konsentrasi logam berat timbal (Pb). Semakin tinggi curah hujan, maka semakin tinggi pula debit air di perairan sehingga kadar logam berat timbal (Pb) dengan mudah terbawa oleh arus secara luas ke berbagai tempat. Selain itu, pada musim hujan kandungan logam berat dalam air cenderung lebih kecil karena adanya pengenceran (Tielman *dkk.*, 2018).

Nilai kandungan seng (Zn) tertinggi diperoleh di stasiun 1 yaitu berkisar 0,096 mg/L yang telah melebihi baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup nilai kandungan logam berat seng (Zn) untuk biota laut yaitu berkisar 0,05 mg/L. Hal ini diduga daerah tersebut menjadi daerah pencarian kerang hijau dan aktivitas kapal nelayan yang menyebabkan terjadinya pengadukan massa air (*turbulensi*) sehingga terjadi resuspensi

sedimen dasar ke kolom air yang diikuti proses *desorpsi* (lepasnya ikatan logam berat pada permukaan partikel) logam berat seng (Zn) sehingga terjadi penambahan (*addition*) logam berat terlarut dalam air, dan berkaitan dengan sumber logam berat seng (Zn) yang berasal dari sungai sebelum mengalami pengenceran pada musim hujan saat pengambilan sampel. Putra *dkk.*, (2015) ketika terjadi proses resuspensi sedimen di kolom perairan yang tercemar dapat mengakibatkan proses oksidasi yang menyebabkan lepasnya *trace metals* dari sedimen. Nilai kandungan logam berat seng (Zn) yang diperoleh lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Triantoro *dkk.*, (2017) nilai kandungan logam berat seng (Zn) dalam air di Perairan Tambak Lorok Semarang yaitu berkisar antara <0,001 – 0,009 mg/L yang masih di bawah baku mutu Permen LH No. 5 2014 dan penelitian yang oleh Difa *et al.*, (2022) kandungan logam berat seng (Zn) air di Perairan Tambak Lorok Semarang berkisar 0,0005 mg/L yang masih di bawah baku mutu PP No. 22 Tahun 2021. Azizah *dkk.*, (2020) peningkatan yang terus-menerus pada buangan air limbah industri yang mengandung senyawa logam berat beracun, cepat atau lambat akan merusak ekosistem di perairan sungai yang dapat diakibatkan karena logam berat sukar mengalami pelapukan baik secara fisika-kimia, maupun secara biologi.

Hasil pengukuran kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) dalam sedimen di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Histogram kadar logam berat Pb dan Zn dalam sedimen

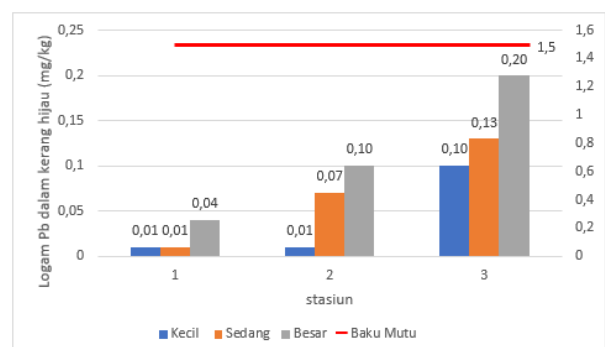
Nilai kandungan logam berat seng (Zn) dalam sedimen menggunakan pedoman mutu sedimen *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council/ANZECC dan Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand/ARMCANZ*, (2000) dan *Canadian Council of Ministers of the Environment / CCME*, (2001) dari Canada. Pedoman mutu sedimen ini digunakan dalam penelitian karena pedoman mutu logam berat dalam sedimen di Indonesia belum ditentukan, padahal senyawa-senyawa logam berat lebih banyak terakumulasi dalam sedimen (karena proses pengendapan) yang terdapat di kehidupan dasar (Lestari *dkk.*, 2015; Harmesa *dkk.*, 2020: Pratama *dkk.*,

2021: Yolanda *dkk.*, 2022). Kandungan logam berat timbal (Pb) dalam sedimen di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang pada setiap stasiun menunjukkan nilai yang sama yaitu berkisar 0,010 mg/kg. Mengacu baku mutu sedimen ANZECC/ARMCANZ (2000) dari Australia dan Selandia belum melampaui *low value* yaitu 50,0 mg/kg yang menunjukkan efek toksisitas rendah tetapi perlu adanya perhatian lebih lanjut dan bila dibandingkan dengan baku mutu CCME (2002) dari Kanada belum melewati ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines*) yaitu 30,2 mg/kg sebagai efek negatif yang dialami biota dan nilai PEL (*Probable Effect Level*) yaitu 112,0 mg/kg sebagai efek biologis merugikan yang dialami biota akibat paparan bahan pencemar. Hutagalung (1994) dalam Permana *dkk.*, (2022) menyatakan bahwa rendahnya logam berat dipengaruhi oleh siklus pasang surut, arus, gelombang, dan musim. Rendahnya nilai kandungan logam berat timbal (Pb) dalam sedimen diduga juga dipengaruhi fraksi sedimen berupa pasir. Mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Purba *dkk.*, (2022) dengan lokasi sampling yang sama dengan penelitian ini di setiap stasiun menunjukkan sedimen atau substrat berupa pasir (*sand*). Nurhidayah *dkk.*, (2020) fraksi pasir memiliki tekstur kasar sehingga logam berat lebih sulit terakumulasi pada sedimen bertekstur kasar dibandingkan dengan sedimen yang memiliki tekstur yang lebih halus. Nilai kandungan logam berat timbal (Pb) yang diperoleh lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mirawati *dkk.*, (2016) nilai kandungan logam berat timbal (Pb) dalam sedimen di Perairan Mangunharjo yaitu berkisar antara 0,030-3,69 mg/kg, dan hasil penelitian yang dilakukan oleh Wulandari *dkk.*, (2018) nilai kandungan logam berat timbal (Pb) pada sedimen di lahan tambak Kelurahan Mangunharjo yaitu berkisar antara 0,836-1,191 mg/kg.

Kandungan logam berat seng (Zn) pada sedimen di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang yaitu berkisar antara 8,225 – 27,26 mg/kg. Merujuk baku mutu sedimen ANZECC/ARMCANZ dari Australia dan Selandia Baru (2000) belum melampaui *low value* yaitu 200,0 mg/kg yang menunjukkan efek toksisitas rendah tetapi perlu adanya perhatian lebih lanjut dan bila dibandingkan dengan baku mutu CCME (2002) dari Kanada belum melewati ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines*) yaitu 124,0 mg/kg sebagai efek negatif yang dialami biota termasuk kerang hijau dan nilai PEL (*Probable Effect Level*) yaitu 271, 0 mg/kg sebagai efek biologis merugikan yang dialami biota akibat paparan bahan pencemar. Kandungan logam berat seng (Zn) dalam sedimen tertinggi terdapat di stasiun I berkisar 27,26 mg/kg yang merupakan daerah tambak budidaya dekat dengan laut, tingginya kandungan logam berat seng (Zn) dalam sedimen diduga banyaknya aktivitas kapal nelayan dan terdapat masukan limbah dari aktivitas antropogenik yang mengandung logam berat seng (Zn) seperti aktivitas industri, aktivitas rumah tangga, dan aktivitas pertanian, dimana limbah yang terbuang

langsung ke perairan yang kemudian mengendap pada dasar perairan yang menyebabkan cemaran logam berat seng (Zn). Logam berat seng (Zn) mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik, mengendap di dasar perairan, dan bersatu dengan sedimen. Selain itu, logam berat seng (Zn) memiliki kelarutan yang rendah dalam air (Adani *dkk.*, 2018). Logam berat yang sukar larut mengalami proses pengenceran dengan adanya pengaruh pola arus pasang surut di perairan yang lama-kelamaan akan turun ke dasar dan mengendap dalam sedimen, sehingga menunjukkan adanya akumulasi logam berat pada sedimen (Triantoro *dkk.*, 2017). Nilai kandungan logam berat seng (Zn) dalam sedimen yang diperoleh lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Triantoro *dkk.*, (2017) nilai kandungan logam berat seng (Zn) di Perairan Tambak Lorok yaitu berkisar 69,51- 403,45 mg/kg. Namun, nilai kandungan logam berat seng (Zn) dalam sedimen yang diperoleh lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Suprpto *el al.*, (2021) nilai kandungan logam berat seng (Zn) dalam sedimen di Teluk Semarang yaitu berkisar antara 1,1-2,6 mg/kg. Sementara, nilai kandungan logam berat seng (Zn) dalam sedimen terendah terdapat di stasiun 2 yaitu berkisar 8,225 mg/kg yang merupakan daerah tambak budidaya tanpa mangrove. Hal ini diduga saat pengambilan sampel sedimen pada musim hujan sehingga mengalami pengenceran dan sebagian terbawa menuju ke arah perairan laut lepas. Murraya *dkk.*, (2018) menyebutkan bahwa pada musim hujan kandungan logam berat dalam air cenderung lebih kecil karena pelarutan, sedangkan pada musim kemarau cenderung lebih tinggi karena logam berat menjadi terkonsentrasi. Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Purba *dkk.*, (2022) di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo pada stasiun yang sama menunjukkan dominansi sedimen berupa pasir. Rendahnya kandungan logam berat seng (Zn) dalam sedimen di stasiun 2 diduga juga dipengaruhi sedimen atau berupa pasir, dimana fraksi pasir dapat mengikat logam berat rendah.

Hasil pengukuran kandungan logam berat timbal (Pb) dalam kerang hijau (*Perna viridis*) di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang dapat dilihat pada Gambar 4.



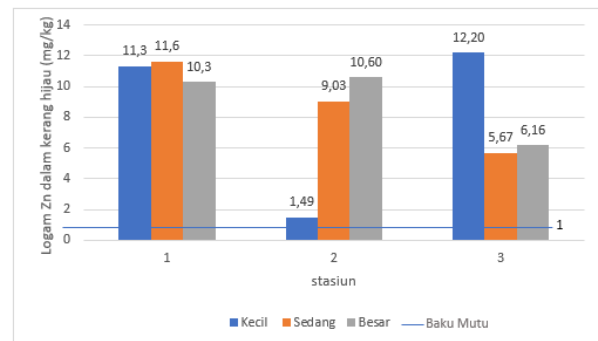
Gambar 4. Histogram kandungan logam berat Pb dalam kerang hijau (*Perna viridis*)

Kandungan logam berat timbal (Pb) dalam jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) berkisar antara 0,01- 0,10 mg/kg untuk ukuran kecil, ukuran sedang berkisar antara 0,01- 0,13 mg/kg, dan ukuran besar berkisar antara 0,04- 0,20 mg/kg. Jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh, menunjukkan masih di bawah ambang batas maksimum syarat mutu dan keamanan pangan oleh bahan nasional melalui SNI 7387:2009 tentang batas cemaran logam berat pada pangan untuk kadar logam berat timbal (Pb) yang diperbolehkan dalam tubuh biota laut yaitu berkisar 1,5 mg/kg. Perbedaan kandungan logam berat timbal (Pb) dalam kerang hijau pada tiap stasiun diduga sifat logam berat timbal (Pb) yang sulit di regulasi. Handayani *dkk.*, (2020) logam berat non esensial pada bivalvia termasuk kerang hijau seperti Pb, Cd, dan Hg sulit diregulasi sehingga akan terakumulasi secara terus-menerus.

Kandungan logam berat timbal (Pb) dalam jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) tertinggi terdapat pada jaringan lunak ukuran besar yang berada di stasiun 3 yaitu berkisar 0,20 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa logam berat timbal (Pb) terakumulasi dalam tubuh kerang hijau (*Perna viridis*). Kerang hijau yang berukuran besar akan melakukan proses makan yang lebih banyak dari pada kerang berukuran kecil, sehingga kerang berukuran besar dapat mengakumulasi logam berat lebih banyak daripada kerang berukuran kecil (Ulfah *dkk.*, 2019). Nurjanah *dkk.*, (2012) kandungan logam berat timbal (Pb) merupakan kontaminan tertinggi pada tubuh kerang ukuran konsumsi. Namun, hasil penelitian yang dilakukan oleh Lahati *dkk.*, (2022) di Perairan Teluk Semarang kandungan logam berat timbal (Pb) tertinggi pada kerang hijau ukuran kecil yaitu berkisar 1,86 mg/kg dan hasil penelitian yang dilakukan oleh Os *dkk.*, (2014) di Perairan Tanjung Balai Asahan kandungan logam berat timbal (Pb) tertinggi pada ukuran kecil yaitu berkisar 1,17 mg/kg. Sudewo, (2018) setiap ukuran biota mempunyai peran yang berbeda baik dalam fungsi metabolisme atau fisiologisnya sehingga dapat mempengaruhi distribusi logam berat pada jaringan yang berbeda dari biota akibatnya proses detoksifikasi logam berat juga dapat berbeda. Haryono *dkk.*, (2017) akumulasi logam berat dalam biota melalui rantai makanan, yang akhirnya akan membahayakan kesehatan manusia (*biomagnifikasi*). Faktor akumulasi dapat disebabkan perbedaan yaitu sifat-sifat biologis (jenis, umur, dan fisiologis) masing-masing jenis biota, perbedaan sifat fisika-kimia, dan aktivitas biota laut tersebut berada. Juharna *dkk.*, (2022) akumulasi logam berat terjadi pada kerang hijau karena logam berat membentuk senyawa kompleks dengan zat organik yang menyebabkan logam berat tidak bisa segera diekskresikan oleh kerang hijau. Suryono, (2015) logam berat seperti timbal (Pb) akan terakumulasi dalam jaringan insang yang akan direspon dengan mengeluarkan lendir yang menyelimuti insang sehingga mengakibatkan penurunan filtrasi pada kerang hijau, karena dalam memfiltrasi menggunakan

insang. Nilai kandungan logam berat timbal (Pb) dalam jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) terendah pada jaringan lunak ukuran kecil dan jaringan lunak ukuran sedang yang berada di stasiun 1 dan stasiun 2 menunjukkan nilai yang sama yaitu berkisar 0,01 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa kerang hijau (*Perna viridis*) yang memiliki ukuran kecil dan ukuran sedang dapat mengakumulasi logam berat timbal (Pb). Balqis *dkk.*, (2021) pada kerang hijau ukuran yang lebih besar atau kerang hijau yang berumur lebih tua dapat mengakumulasi logam berat lebih tinggi dibandingkan dengan kerang hijau yang berukuran kecil atau yang masih muda. Kecepatan akumulasi pada kerang hijau yang lebih muda sangat tinggi dan menurun seiring dengan bertambahnya usia, namun karena akumulasi berjalan terus, maka jumlah logam berat yang diakumulasi pada usia tua menjadi lebih tinggi. Hal ini terjadi karena akumulasi logam berat tidak identik dengan pertumbuhan pada kerang hijau.

Hasil pengukuran kandungan logam berat seng (Zn) dalam kerang hijau (*Perna viridis*) di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Histogram kandungan logam berat Zn dalam kerang hijau (*Perna viridis*)

Kandungan logam berat seng (Zn) dalam jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) yaitu berkisar antara 1,49 - 12,2 mg/kg untuk ukuran kecil, ukuran sedang berkisar antara 5,67 - 11,6 mg/kg, dan ukuran besar berkisar antara 6,16 - 11,6 mg/kg. Kandungan logam berat seng (Zn) dalam jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) yang diperoleh melebihi ambang batas maksimum syarat mutu dan keamanan pangan oleh bahan nasional melalui SNI 7387:2009 untuk kadar logam berat seng (Zn) yang diperbolehkan dalam tubuh biota laut yaitu berkisar 1 mg/kg. Logam berat seng (Zn) termasuk logam berat esensial yang dimana masih dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah atau dosis kecil. Prihati *dkk.*, (2020) logam berat esensial seperti tembaga (Cu), selenium (Se), besi (Fe), dan seng (Zn) berfungsi untuk menjaga metabolisme tubuh manusia dalam jumlah tertentu, jika berlebihan akan menimbulkan toksik pada tubuh. Silalahi *dkk.*, (2014) Logam berat yang bersifat esensial dibutuhkan organisme dalam pembentukan *heamosianin* dalam sistem darah dan *enzimatik*. Hasil pengukuran kandungan logam berat seng (Zn)

dalam jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) tertinggi pada jaringan lunak kerang hijau ukuran kecil yang berada di stasiun 3 yaitu berkisar 12,2 mg/kg. Hal ini diduga keberadaan logam berat seng (Zn) sebagai logam berat esensial yang dibutuhkan oleh organisme yang berkaitan dengan proses pertumbuhan dan perkembangan sehingga selama masa tersebut kemampuan untuk mengakumulasi logam berat seng (Zn) juga semakin tinggi. Os dkk., (2014) kerang hijau yang berukuran kecil memiliki kemampuan akumulasi yang lebih besar dibandingkan dengan kerang hijau yang berukuran besar. Pertumbuhan dan perkembangan kerang hijau telah mengalami puncaknya setelah pada tahap ukuran sedang kemudian mengalami penurunan perkembangan pada tahap ukuran besar. Namun, hasil penelitian yang dilakukan oleh Os dkk., (2014) di Perairan Tanjung Balai Asahan kandungan logam berat seng (Zn) tertinggi pada kerang hijau berukuran besar yaitu 295,93 mg/kg. Amriani dkk., (2011) semakin besar ukuran cangkang maka umur spesies tersebut juga diperkirakan lebih tinggi, sehingga waktu akumulasi logam berat telah berlangsung lebih lama dibandingkan kerang dengan ukuran cangkang kecil. Hasil pengukuran Kandungan logam berat seng (Zn) pada jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) terendah pada jaringan lunak ukuran kecil di stasiun 2 yaitu berkisar 1,49 mg/kg. Hal ini diduga pada proses bioakumulasi logam berat seng (Zn) dalam kerang hijau dipengaruhi oleh jenis dan ukuran. Sari dkk., (2017) besarnya ukuran diidentikkan dengan umur biota tersebut sehingga lama paparan logam berat yang diterima oleh biota yang mempunyai umur yang lebih tua akan mengakumulasi logam lebih banyak. Secara teoritis, cangkang kerang hijau yang berukuran besar sejalan dengan meningkatnya umur dengan meningkatnya konsentrasi logam berat dalam tubuh kerang. Namun, pada stasiun 2 tersebut terpental karena kerang hijau (*Perna viridis*) yang berukuran kecil mengakumulasi logam berat seng (Zn) lebih kecil. Kondisi ini ternyata telah diteliti oleh ahli biologi lain, yaitu Bat and Ozork (1999) dalam Os dkk., (2014) yang menduga telah terjadi *growth-dilution* dengan menggunakan objek penelitian pada *Mytilus edulis* termasuk kerang hijau. Mekanisme *Growth-dilution* yang berkaitan erat dengan cara makan kerang yaitu *filter-feeder* yaitu aliran air laut akan berlanjut menuju ke *labial palp* dimana pada bagian tersebut akan melalui beberapa proses penyaringan dengan *silia-silia*. Partikel yang berukuran kecil akan lolos, sementara yang berukuran besar akan dikeluarkan kembali melalui *sifon-inkuren* dalam bentuk *pseudofeces*. Xu et al., (2021) kerang hijau yang berukuran kecil mampu mencapai efisiensi pengurusan (*removal efficiency*) dengan memerlukan waktu yang lebih lama dibanding kerang hijau yang berukuran besar.

4. KESIMPULAN

Kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) pada air di stasiun 1 dan 3 melebihi baku mutu.

Namun, nilai kandungan logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) pada sedimen, dan jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) masih di bawah baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

- Amriani., Hendarto, B., Hadiyanto, A. 2011. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Seng (Zn) Pada Kerang Darah (*Anadara Granosa L.*) Dan Kerang Bakau (*Polymesoda Bengalensis L.*) Di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, (9) 2: 45-50
- ANZECC and ARMCANZ. 2000. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council dan Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. ANZECC dan ARMCANZ, Canberra (AU)
- Anzori, I., Pringgenies, D., Redjeki, S. 2019. Pengaruh Kenaikan Ph Terhadap Kandungan Logam Berat Cu Dan Cd Serta Struktur Insang Dan Mantel Kerang *Anadara Granosa* Dengan Studi Scanning Electron Microscopy (SEM). *Jurnal Moluska Indonesia*, (3)1:23-27
- Aprhodita, V, S., Santoso, A., Riniatsih, I. 2022. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air, Sedimen, Dan Lamun *Enhalus Acoroides* Di Perairan Pantai Sanur Kota Denpasar. *Journal Of Marine Research*, (11)2:227-236
- Arief, H, R., Masyamsir., Dhahiyat, Y. 2012. Distribusi Kandungan Logam Berat Pb Dan Cd Pada Kolom Air Dan Sedimen Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, (3)3:175-182
- Aris, M., Ibrahim, A, T., Nasir, L. 2021. Kontaminasi Logam Nikel (Ni) Pada Struktur Jaringan Ikan. *Budidaya Perairan*, (9) 1: 64-72
- Arifin, A, A., Suryono, A, C., Setyati, A, W. 2021. Amankah Mengonsumsi Kerang Hijau *Perna Viridis* Linnaeus, 1758 (*Bivalvia: Mytilidae*) Yang Ditangkap Di Perairan Morosari Demak. *Journal of Marine Research*, (10)3: 377-386
- Astari, D, F., Batu, L, F, T, D., Setyobudiandi, I. 2021. Akumulasi Besi (Fe) Pada Kerang Hijau Di Perairan Tanjung Mas, Semarang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, (26) 1:120-127
- Balqis., Emiyarti., Takwir, A. 2021. Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Sedimen Dan Kerang (*Polymesoda erosa*) Di Desa Totobo Sulawesi Tenggara. *Sapa Laut*, (6)4:297-303
- 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* (1)2: 121-127
- Chen XP, Zhang YQ, Tong YP, Xue YF, Liu DY, Zhang W, Deng Y, Meng QF, Yue SC, Yan P, Cui ZL, Shi XJ, Guo SW, Sun YX, Ye YL, Wang ZH, Jia LL, Ma WQ, He MR, Zhang XY, Kou CL, Li YT, Tan DS, Cakmak I, Zhang FS, Zou CQ (2017) Harvesting more grain zinc of wheat for human health. *Sci Rep-UK* 7:7016.
- Difa, N, J., Muskananfolo, R, M., A'in, C. 2022. Bioconcentration Factors Of Heavy Metals Copper (Cu) And Zinc (Zn) In Green Mussels (*Perna viridis*) In The Waters Of Tambak Lorok Semarang. *Aquasains*, (11)1:1231-1246
- Dharmadewi, M, I, A., Wiadnyana, G, A, G, I. 2019. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis L.*) Yang

- Beredar Di Pasar Badung. Jurnal Emassains: Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains, (Viii) 2: 161- 169
- Dhimas, F, A., Yulianto, B., Sedjati, S. 2013. Studi Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Dalam Air, Sedimen, Dan Jarigan Lunak Kerang Darah (*Anadara Granosa* Linn) Di Sungai Morosari Dan Sungai Gonjol Kecamatan Saying, Kabupaten Demak. Journal Of Marine Research, (2) 2: 45-54
- Ezraneti, R., Muliani, Khalil, M. 2017. Logam Berat Timbal (Pb) Pada Beberapa Tambak Di Sekitar Kawasan Industri Kabupaten Aceh Utara Dan Kota Lhokseumawe: Keong Bakau (*Telescopium Telescopium*) Sebagai Bioindikator. Temu Ilmiah Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI), Hal: 047-052
- Farizky, K, C., Fitriani, M., Hidayati, V, H., Rahardja, S, B., Andriyono, S. 2022. Studi Bioakumulasi Logam Berat (Pb, Cd, Dan As) Pada Rumput Laut (*Caulerpa racemosa*) Dari Tambak Tradisional Di Brondong, Lamongan. Journal Perikanan, (12)4: 722-733
- FAO/WHO. 2011. JOINT FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods Fifth Session. Rome (IT): FAO.
- Gafur, A., Abbas, H, H. 2022. Kontaminasi Logam Berat Kadmium Dan Kromium Serta Batas Konsumsi Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Di Muara Sungai Tallo Kota Makassar. Hygiene, (8) 1:19-25
- Harmesa., Lestari., Budiyanto, F. 2020. Distribusi Logam Berat Dalam Air Laut Dan Sedimen Di Perairan Cimanuk, Jawa Barat, Indonesia. Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia, (5)1: 19-32
- Handayani, P., Kurniawan, Adibrata, S. 2020. Kandungan Logam Berat Pb Pada Air Laut, Sedimen Dan Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Di Pantai Sampur Kabupaten Bangka Tengah. Pelagicus: Jurnal Iptek Terapan Perikanan Dan Kelautan, (1)2:97-105
- Hartanto, A, Z., Hartoko, A., Haeruddin. 2022. Bioconcentration Of Lead At Avicennia Marina In Mangunharjo, Semarang Coastal Area. Jurnal Segara, (18)3:113-120
- Irawati, Y., Lumbanbatu, D, T, F., Sulistiono. 2018. Logam Berat Kerang Totok (*Geloina Erosa*) Di Timur Segara Anakan Dan Barat Sungai Donan, Cilacap. Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia. 21(2): 233-243
- Juharna, m, f., widowati, i., endrawati, h. 2022. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. Bulletin oseanografi marina, (11)2:139-148
- Jusuf, D, D., Pinintoan, R, O., Akili, H, R. 2021. Analisis Kandungan Timbal. (Pb) Dan Seng.(Zn) Pada Air Dan Ikan Di Tambak Ikan Kecamatan Remboken Kabupaten Minahasa Tahun 2021. Jurnal Kesmas, (10) 6: 82-92
- Kalangie, N, P., Mandagi, A., Masngi, K., Luasunaung, A., Pangalila, F., Iwata, M. 2013. Sebaran Suhu Dan Salinitas Di Teluk Manado. Jurnal Perikanan Dan Kelautan Tropis, (IX)2:71-75
- Kariada, N., T., Liesnoor, D., Dewi, K, N. 2013. Kumulasi Logam Cu Pada Avicennia Marina Di Wilayah Tapak, Tugurejo, Semarang. Saintekmol: Jurnal Sains Dan Teknologi, (11)2:167-178
- Kurniasari, E., Nurwahyunani, A. 2016. Kandungan Logam Seng (Zn) Dan Khromium (Cr) Pada Ikan Lundu (*Mystus Nigriceps*) Di Perairan Sungai Silugonggo Kecamatan Juwana. Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Entrepreneurship III Tahun 2016, Hal: 373-377
- Khotimah, K., Rochaddi, B., Wulandari, Y, S. 2022. Konsentrasi Logam Berat Pb Dan Cu Pada Sedimen Di Perairan Muara Sungai Genuk, Semarang. Jurnal Kelautan Tropis, (25)3: 463-470
- Kusuma, B, R., Supriyantini, E., Munasil. 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
- Lestari., Budiyanto, F. 2013. Konsentrasi Hg, Cd, Cu, Pb, dan Zn Dalam Sedimen Di Perairan Gresik. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, (5)1: 182- 191.
- Masykur, HZ., amin, b., jasil., siregar, h, s. 2018. Analisis Status Mutu Air Sungai Berdasarkan Metode STORET Sebagai Pengendalian Kualitas Lingkungan (Studi Kasus: Dua Aliran Sungai di Kecamatan Tembilahan Hulu, Kabupaten Indragiri Hilir, Riau). Dinamika lingkungan Indonesia, (5) 2: 84-96
- Mardani, S, P, N., Restu, W, I., Sari, W, H, A. 2018. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Badan Air Dan Ikan Di Perairan Teluk Benoa, Bali. Current Trends In Aquatic Science (1)1: 106-113
- Matatula, J., Poedjirahajoe, E., Pudyatmoko, S., Sadono, R. 2019. Keragaman Kondisi Salinitas Pada Lingkungan Tempat Tumbuh Mangrove Di Teluk Kupang, NTT. Jurnal Ilmu Lingkungan, (17)3:425-434
- Mirawati, F., Supriyantini, E., Nuraini, T, A, R. 2016. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air, Sedimen, Dan Kerrang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Trimulyo Dan Mangunharjo Semarang. Bulletin Oseanografi Marina, (5) 2: 121-126.
- Miranda, F., Kurniawan., Adibrata, S. 2018. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Sedimen Di Perairan Sungai Pakil Kabupaten Bangka. Akuatik: Jurnal Sumberdaya Perairan, (12)2:84-92
- Mustofa, A., Mulyo, H. 2020. Analisis Pola Sebaran Parameter Fisika Air Laut Sebagai Daya Dukung Usaha Budidaya Tambak Ikan Di Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Jurnal Enggano, (5) 1: 40-52
- Najamuddin., Pratono, T., Sanusi, S, H., Nurjaya, W, I. 2016. Distribusi Dan Perilaku Pb Dan Zn Terlarut Dan Partikulat Di Perairan Estuaria Jeneberang, Makassar. Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis, (8)1:11-28
- Nurhidayah, T., Maslukah, L., Wulandari, Y, S., Kurnia. 2020. Distribusi Vertikal Logam Pb, Zn, Cr Dan Keterkaitannya Terhadap Karbon Organik Sedimen Di Pantai Marunda, Jakarta. Bulletin Oseanografi Marina, (9)2:125-132
- Noviansyah, E., Batu, L, F, T, D., 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 (JIPI), (26)2: 128-138
- Os, S, A., Siregar, I, Y., Efriyeldi. 2014. Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Zn Pada Daging Dan Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Tanjung Balai Asahan. Jurnal Online Mahasiswa, (1)2:1-11
- Parker R. 2012. Aquaculture Science. New York: Delmar
- Pratama, A, R., 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, (14)1:11-19

- Muhtaroh, N., Hidayat, W. J., dan Muhammad, F. (2024). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 600-608, doi:10.14710/jil.22.3.600-608
- Prihati, R. S., Supapto, D., Rudiayati, S. 2020. Kadar Logam Berat Pb, Fe, Dan Cd Yang Terkandung Dalam Jaringan Lunak Kerang Batik (*Paphia Undulata*) Dari Perairan Tambak Lorok, Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, (4)1: 116-123
- Purbonegoro, T. 2020. Kajian Risiko Kesehatan Manusia Terkait Konsumsi Makanan Laut (*Seafood*) Yang Tercemar Logam. *Oseana*, (45) 2: 31-39
- Ramlia., Amir, R., Djalla, A. 2018. Uji Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Di Perairan Wilayah Pesisir Parepare. *Jurnal Ilmiah Manusia Dan Kesehatan*, (1) 3:255-264
- Rahma, A. D., Afiati, N., Rudiayanti, S. 2017. Analisis Biokonsentrasi Cadmium (Cd) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Poncol, Desa Bulu, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Journal of Maquares*, (6) 1: 10-16
- Rahmadani, T., Sabang, M. S., Said, I. 2015. Analisis Kandungan Logam Zink (Zn) Dan Timbal (Pb) Dalam Air Laut Pesisir Pantai Mambooro Kecamatan Palu Utar. *Jurnal Akademika Kimia*, (4) 4:197-203
- Rustiah, W., Noor, A., Maming, Lukman, M., Nurfadilah. 2019. Analisis Distribusi Logam Berat Timbal Dan Cadmium Dalam Sedimen Sepanjang Muara Sungai Dan Laut Perairan Spermonde, Sulawesi Selatan, Indonesia. *Indonesian Journal Of Chemical Research*, (7)1:1-8
- Sagita, A., Kurnia, R., Sulistiono. 2017. Budidaya Kerang Hijau (*Perna Viridis* L.) Dengan Metode Dan Kepadatan Berbeda Di Perairan Pesisir Kuala Langsa, Aceh. *Jurnal Riset Akuakultur*, (12) 1:57-68
- Santana, T, Y, K, I., Julyantoro, S, G, P., Wijayanti, P, P, N. 2018. Akumulasi Logam Berat Seng (Zn) Pada Akar Dan Daun Lamun *Enhalus Acoroides* Di Perairan Pantai Sanur, Bali. *Current Trend in Aquatic Science*, (1) 1: 47-56
- Sari, J, H, S., Kirana, A, F, J., Guntur. 2017. Analisis Kandungan Logam Berat Hg Dan Cu Terlarut Di Perairan Pesisir Wonorejo, Pantai Timur Surabaya. *Jurnal Pendidikan Geografi*, (22) 1:1-9
- Sarong, M. A., Jihan, C., Muchlisin, Z. A., Fadli, N., & Sugianto, S. (2015). Cadmium, lead and zinc contamination on the oyster *Crassostrea gigas* muscle harvested from the estuary of Lamnyong River, Banda Aceh City, Indonesia. *AACL Bioflux*, (8)1: 1-6.
- Setyoko., Indrianty., Pandia, S, E. 2018. Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Dan Zn Pada Tumbuhan *Rhizophora mucronata* Dan *Sonneratia Alba* Di Pesisir Hutan Mangrove Kuala Langsa. *Prosiding Seminar Nasional Biologi Dan Pembelajarannya Universitas Negeri Medan*, 12 Oktober 2018
- Sudewo, P, E. 2018. Analisis Kandungan Logam Pb, Cr, Cu Dan Zn Pada Cangkang Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Di Perairan Pulau Singkep Kabupaten Lingga Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Universitas Riau*, Hal: 1-12
- Sinaga, R, L, E., Muhtadi, A., Bakti, D. 2016. Profil Suhu, Oksigen Terlarut, Dan Ph Secara Vertikal Selama 24 Jam Di Danau Kelapa Gading Kabupaten Asahan Sumatera Utara. *Omni-Akuatika*, (12)2:1114-124
- Siregar, I, Y. 2007. Faktor Konsentrasi Dan Kondisi Tunak Radioaktif Perunut 109Cd Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, (1)1:1-9
- Sudir, S., Tumaruk, Y., Taebe, B., Naid, T. 2017. Analisis Kandungan Logam Berat As, Cd Dan Pb Pada *Eucheuma Cottonii* Dari Perairan Takalar Serta Analisis Maximum Tolerable Intake Pada Manusia. *Majalah Farmasi Dan Farmakologi*, (21)3:63-66
- Sukoasih, A., Widiyanto, T. (2017). Hubungan Antara Suhu, Ph Dan Berbagai Variasi Jarak Dengan Kadar Timbal (Pb) Pada Badan Air Sungai Rompong Dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah Tahun 2016. *Buletin Keslingmas*, 36(4), 360- 368
- Suprpto, D., Latifah, N., Suryani, S. 2021. Spatial Distribution Of Heavy Metal Content In The Water And Green Mussel (*Perna Viridis*) In Semarang Bay, Indonesia. *AACL Bioflux*, (14)1:298-308
- Suryono, A, C., Sabdono, A., Subagiyo. 2019. Bioakumulasi Arsen (As) Dan Merkuri (Hg) Pada Bivalvia Dari Pesisir Sekitar Demak Dan Surabaya Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, (22)2:157-164
- 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
- Triantoro, D, D., Suprpto, D., Rudiayanti, S. 2017. Kadar Logam Berat Besi (Fe), Seng (Zn) Pada Sedimen Dan Jaringan Lunak Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Tambak Lorok Semarang. *Journal of Maquares*, (6) 3:173-180
- Ulfah, S, E., Rahardja, S, B., Pursetyo, T, K. 2019. Studi Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Berbagai Ukuran Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Di Perairan Pantai Bancaran Kabupaten Bangkalan, Madura. *Journal Of Marine And Coastal Science*, (8) 3: 107-118
- Ubay, J., Hartati, R., Rejeki, S. 2021. Morfometri Dan Hubungan Panjang Berat Kerang Hijau (*Perna viridis*) Dari Perairan Tambak Lorok, Semarang Dan Morosari, Demak, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, (10) 4: 535-544
- Van Esch, G.J. 1977. Aquatic Pollutant And Their Potential Ecological Effects. In Hutzinger, O., I.H. Van Lelyuccid And B.C.J. Zoetemen, Ed. *Aquatic Pollution: Transformation And Biological Effects*, Proceeding Of The 2nd Int. Symp. On Aquatic Pollutants. Amsterdam: Pergamon Press, New York. Hlm 1-12
- Wibowo, A, B., Cerlyawati, H. 2021. Analisa Kandungan Logam Cd, Pb, Zn Dan Cu Pada Tangki Ballast Kapal Niaga Di Pelabuhan Kendal Dan Tanjung Mas Semarang. *Jurnal Maritim Polimarim*, (7)1:32-39.
- Widawati, D., Rudiayanti, S., Taufani, T, W. 2020. Biokonsentrasi Logam Berat Besi (Fe) Pada Kerang Hijau Di Pantai Morosari, Demak. *Pena Akuatik*, (19)1:26-33
- Wulandari, F, D., Kuntjoro, S. 2018. Keanekaragaman Gastropoda Dan Peranannya Sebagai Bioindikator Logam Berat Timbal (Pb) Di Pantai Kenjeran, Kecamatan Bulak, Kota Surabaya. *Lenterabio*, (7)3: 241-247
- Yaqin, K., Fachruddin, L., Rahim, F, N., 2015. Studi Kandungan Logam Timbal (Pb) Kerang Hijau (*Perna viridis*) Terhadap Indeks Kondisinya. *Jurnal Lingkungan Indonesia*, (3) 6:309-317
- Yin, S., Feng, C., Li, Y., Yin, L., Shen, Z. 2015. Heavy Metal Pollution in The Surface Water of The Yangtze Estuary: A 5-Year Follow-Up Study, *Chemosphere*, 138, 718-725