P-ISSN: 1412-3657, E-ISSN: 2716-5078 olume 26, Nomor 1, 30-41

Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Lamun *Enhalus acoroides*, Air dan Sedimen Di Perairan Kupa-Kupa Kabupaten Halmahera Utara

Lead (Pb) Concentration In Seagrass Enhalus acoroides, Water And Sediments At Kupa-Kupa Beach, North Halmahera Regency

Sophia N. M. Fendjalang[1*], Joice W. Loupatty[1], Krisye Pasanea[2], Velani Lelerang[3]

[1] Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Jl. Mr.Chr. Soplanit, Ambon, Indonesia, 97233.

[2] Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Jl. Mr.Chr. Soplanit, Ambon, Indonesia, 97233.

[3] Program Studi Manajemen Sumberdaya Kelautan dan Pulau-Pulau Kecil Pascasarjana Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Ambon, Indonesia, 97233.

ABSTRAK

Logam berat timbal (Pb) merupakan jenis bahan pencemar yang banyak ditemukan di perairan tawar maupun laut. Lamun berfungsi sebagai fitoremediator yang membersihkan air laut dengan menyerap logam terlarut. Perairan.Kupa-Kupa merupaka bagian wilayah pesisir yang mengalami tekanan yang signifikan dari berbagai aktivitas antropogenik. Oleh sebab itu, kajian untuk menganalisa konsentrasi Pb pada lamun, air dan sedimen pada lokasi tersebut penting untuk dilakukan sebagai salah satu cara untuk menilai kualitas dan kesehatan lingkungan perairan pesisir. Riset ini dilaksanakan pada bulan Juli - Agustus 2023. Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode purposive sampling di mana area riset dipetakan menjadi 5 stasiun. Penelitian yang dilakukan di Pantai Kupa-Kupa, menunjukkan bahwa meskipun parameter kualitas air meliputi suhu, salinitas, dan oksigen terlarut masih berada dalam kisaran optimal untuk mendukung kehidupan biota air tetapi konsentrasi timbal (Pb) di air laut telah melebihi ambang batas standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 dan SEPA 2000 yaitu 3,62-46,67 mg/l. Konsentrasi timbal pada sedimen masih berada dalam batas aman yaitu 3,81-10,05 mg/l, sedangkan konsentrasi pada lamun Enhalus *acoroides* menunjukkan akumulasi logam berat yang cukup signifikan dengan karakteristik bioakumulator pada beberapa lokasi penelitian yaitu sebesar 3,42-6,92 mg/l.

Kata kunci: Lamun, logam berat, Pantai Kupa-Kupa, sedimen, timbal (Pb)

ABSTRACT

Lead (Pb) is a heavy metal pollutant commonly found in both freshwater and marine environments. Seagrass functions as a phytoremediator, helping to purify seawater by absorbing dissolved metals. The waters of Kupa-Kupa are part of a coastal region experiencing significant pressure from various anthropogenic activities. Therefore, it is crucial to analyze Pb concentrations in seagrass, water, and sediment in this area as a means to assess coastal water quality and environmental health. This research was conducted from July to August 2023. Sampling locations were determined using a purposive sampling method, with the study area divided into five stations. The study conducted at Kupa-Kupa Beach revealed that, although water quality parameters—including temperature, salinity, and dissolved oxygen—remained within optimal ranges for supporting aquatic life, Pb concentrations in seawater exceeded the standard quality limits set by Government Regulation No. 22 of 2021 and SEPA 2000, ranging from 3.62 to 46.67 mg/L. Lead concentrations in sediment remained within safe limits, ranging from 3.81 to 10.05 mg/L. Meanwhile, Pb accumulation in the seagrass Enhalus acoroides exhibited significant bioaccumulation characteristics at several study locations, with concentrations ranging from 3.42 to 6.92 mg/L

Keywords: Seagrass, heavy metal, Kupa-Kupa Beach, sediment, lead (Pb)

***Corresponding Author:**
Sophia N.M. Fendjalang,
Program Studi Peternakan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura;
sophia.fendjalang@lecturer.unpatti.ac.id

Diterima: 20-02-2025
Disetujui: 11-04-2025
Diterbitkan: 30-04-2025

Kutipan: Fendjalang, S.N.M., Loupatty, J.W., Pasanea, K., Lelerang, V. (2025). Konsentrasi Timbal (Pb) Pada Lamun *Enhalus acoroides*, Air dan Sedimen di Perairan Kupa-Kupa Kabupaten Halmahera Utara. *Jurnal Ilmiah AgriSains*, 26(1), 30-41. https://doi.org/10.22487/jiagrisains.v26i1.2025.30-41

PENDAHULUAN

Pencemaran air merupakan permasalahan di lingkungan perairan sehingga telah dilakukan berbagai kajian untuk memitigasi masalah tersebut dalam suatu lingkungan ekosistem. Kadmium (Cd), seng (Zn), merkuri (Hg), tembaga (Cu), dan timbal (Pb) adalah beberapa unsur logam berat yang diketahui sebagai bahan pencemar yang sering ditemukan terakumulasi di perairan tawar dan juga perairan laut karena sifatnya beracun, persisten, dan bioakumulatif (Liu et al., 2021). Di sisi lain, penambahan populasi manusia dan urbanisasi yang mengakibatkan berkurangnya lahan darat dan makin maraknya pembangunan ke wilayah pesisir. Pemanfaatan wilayah pesisir sebagai lokasi pemukiman, industri, wisata, pertanian serta transportasi merupakan pintu masuknya bahan pencemar ke perairan (S. Fendjalang et al., 2022; Zhu et al., 2020). Beberapa industri biasanya menggunakan logam berat tersebut pada proses produksinya seperti tekstil, cat, kimia, farmasi, dan percetakan (Carolin et al., 2017). Oleh sebab itu, logam berat tersebut paling sering ditemukan pada organisme yang hidup di air (Tayemeh et al., 2020), sebagaimana diketahui bahwa keberadaan zat tersebut meskipun dalam konsentrasi rendah, dapat memberikan efek pada organisme yang terpapar (Zeraatkar et al., 2016). Timbal (Pb) bersifat toksik, persisten, dan bioakumulatif serta sering ditemukan pada perairan (Liu et al., 2021; Pattipeiluhu & Fendjalang, 2024)

Logam berat dapat masuk ke perairan melalui proses akumulasi, pelarutan, pengendapan, dispersi dan pengenceran. Hal ini dipengaruhi.oleh bermacam faktor sepert faktor kimia, faktor fisika, maupun faktor biologi, dan terakumulasi di sedimen atau organisme, serta akan mengalami peningkatan seiring dengan berjalannya waktu (Najamuddin et al., 2020; Natsir et al., 2020; Permata et al., 2018). Salah satu karakteristik logam berat di perairan adalah kecenderungan untuk berikatan dengan bahan organik sehingga menyebabkan logam berat berubah dari bahan terlarut menjadi partikel, yang selanjutnya akan mengalami pengendapan dan akumulasi di dasar perairan (Najamuddin et al., 2020). Sedimen pada dasar perairan merupakan habitat bagi organisme bentik sekaligus sebagai media perangkap logam berat di perairan (Munandar et al., 2016). Hal ini menyebabkan banyak penelitian terdahulu yang menggunakan sedimen untuk mengukur tingkat pencemaran suatu badan air..

Padang lamun adalah salah satu bagian dari ekologi yang memiliki peran krusial dalam ekosistem pesisir, selain terumbu karang dan hutan mangrove (Krisye et al., 2023). Daun lamun berfungsi sebagai fitoremediator yang membersihkan air laut dengan menyerap logam terlarut (Lee et al., 2019; Rosalina et al., 2022). Oleh sebab itu, lamun berperan penting sebagai bioindikator dalam memantau pencemaran logam berat di daerah pesisir. Kemampuan lamun dalam proses penyerapan dan penambahan konsentrasi logam berat seperti timbal (Pb) pada bagian jaringannya dapat menjadikan lamun sebagai indikator yang efektif untuk mengukur tingkat kontaminasi lingkungan (Al-Najjar et al., 2021). Lamun sebagai organisme bentik memiliki kontak langsung dengan sedimen yang sering menjadi tempat akumulasi logam berat, sehingga memberikan gambaran yang akurat mengenai kualitas perairan pesisir. Oleh karena itu, lamun tidak hanya penting untuk keseimbangan ekosistem laut, tetapi juga menjadi alat penting dalam upaya konservasi dan pengelolaan lingkungan pesisir.

Perairan Kupa-Kupa yang terletak di Kabupaten Halmahera Utara khususnya Kecamatan Tobelo Selatan adalah salah satu lokasi yang cukup banyak mengalami mengalami tekanan karena aktivitas masyarakat sekitar. Dermaga dan rute transit kapal minyak milik BUMN, lokasi rekreasi, tempat memancing ikan, dan tempat budidaya ikan merupakan beberapa aktivitas pada sering dilakukan di daerah ini. Terdapat ekosistem lamun di perairan Pantai Kupa-Kupa yang menjadi penopang kehidupan organisme. Oleh sebab itu, kajian untuk menganalisa konsentrasi Pb pada lamun, air dan sedimen pada

lokasi tersebut perlu diteliti agar dapat menilai kualitas dan kesehatan lingkungan perairan pesisir.

MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat

Riset ini.dilakukan dari bulan Juli hingga Agustus 2023 dengan lokasi di perairan. Pantai Desa Kupa-kupa, Kabupaten Halmahera Utara.

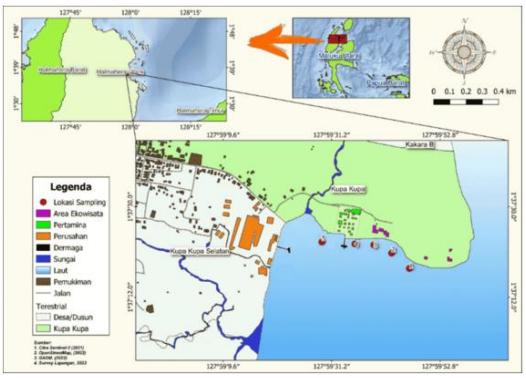
Materi Penelitian

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain; *global positioning system* (GPS) yang berfungsi untuk menandai lokasi riset, termometer untuk mengukur suhu air, pH meter.untuk mengukur tingkatan asam atau basa pada air, kotak sampel untuk menyimpan sampel, dissolved oxygen meter.untuk mengukur konsentrasi oksigen terlarut di perairan, *shive shaker* sebagai pengayak sedimen, saringan.bertingkat sebagai pemisah jenis butiran sedimen, oven yang digunakan untuk mengkeringkan sampel sedimen, dan timbangan digital. untuk mengukur bobot sampel sedimen. Pengukuran parameter lingkungan seperti DO, pH, salinitas dan suhu dilakukan langsung di lokasi penelitian (*in situ*).

Metode Penelitian

Metode *purposive sampling* digunakan untuk menentukan lokasi sampling, dimana penentuan dilakukan berdasarkan pertimbangan peneliti yang mengacu dari penelitian sebelumnya, dimana lokasi sampling dipetakan.dalam 5 stasiun (gambar 1). Sampel sedimen yang analisis sebanyak 500 gr, diambil menggunakan alat *sediment core* dimulai dari permukaan substrat hingga kedalaman 10 cm. Sampel lamun *E. acoroides* diambil utuh dari daun sampai akar dan keseluruhan bagian ini yang selanjutnya dianalisis. Sampel kemudian ditempatkan dalam kantong sampel dan disimpan dalam kotak penyimpanan yang telah dimasukan *ice gel* sebelumnya. Sampel air laut yang digunakan sebanyak 600 ml yang disimpan dalam botol kaca. Setiap sampel diberi label untuk proses analisis lebih lanjut. Sebelum dianalisis di Balai Laboratorium Kesehatan dan Kalibrasi Alat Kesehatan Provinsi Maluku, Sampel sedimen perlu dipreparasi terlebih dahulu sebelum dibawa ke Lab. Kesehatan dan Kalibrasi Alat Kesehatan Provinsi Maluku. Konsentrasi timbal dalam sampel kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer (AAS). Analisis Pb pada air laut dilakukan berdasarkan SNI 6989.8.2009, sedangkan sampel sedimen dan lamun dianalisis dengan menggunakan standar SNI 06-6992.3-2004. Data hasil penelitian yang diperoleh dari analisis laboratorium kemudian dikelompokkan dan dibandingkan dengan standar baku mutu konsentrasi Pb dalam air laut menurut Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, sedangkan untuk standar baku timbal pada lamun dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 dan baku mutu SEPA (*Swedish Environmental Protection Agency*) Tahun 2000.

Diameter dan jenis butir sedimen dianalisis memakai metode penyaringan kering dengan saringan bersusun dan teknik granulometri. Pengukuran diameter butiran sedimen dilakukan melalui metode granulometri, di mana setiap sampel sedimen diayak selama sekitar 5 menit untuk memisahkan butiran berdasarkan ukuran ayakan. Sementara itu, jenis sedimen diklasifikasikan menggunakan Diagram Segitiga Shepard. Seluruh proses pengukuran dilaksanakan di Lab. Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Analisis Data

Hasil analisa konsentrasi logam berat timbal pada air dan sedimen dijabarkan secara deskriptif, sedangkan untuk mengetahui akumulasi timbal.di lamun serta persentase serapan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Faktor biokonsentrasi menurut (Ghosh & Singh, 2005)

$$\mathrm{FBK} = \frac{\mathrm{Kb}}{\mathrm{Cw}}$$

Sebagaimana diketahui bahwa FBK merupakan faktor biokonsentrasi, Kb merupakan konsentrasi logam berat pada lamun, dan Cw merupakan.konsentrasi logam berat pada sedimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Lingkungan

Hasil pengukuran kualitas air di lokasi riset terbagi atas dua data yaitu parameter fisik dan parameter kimia. Pengukuran parameter fisik dilakukan pada parameter suhu, sedangkan parameter kimia berupa pH, DO dan salinitas. Parameter fisika maupun kimia dilakukan pengukuran langsung pada lokasi penelitian (*in situ*). Selain parameter fisika-kimia perairan, tipe sedimen juga dianalisis untuk melihat pengaruh tipe sedimen terhadap konsentrasi timbal di perairan. Hasil pengukuran terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Lingkungan

Stasiun	Suhu (°C)	pH	Salinitas (ppt)	DO (mg/l)	Tipe sedimen
1	32	8,9	31	7,8	Pasir
2	32	9	33	7,89	Pasir Berlumpur
3	33	8,9	31	7,88	Pasir Berlumpur
4	32	9,2	31	7,89	Pasir Berlumpur
5	33	9,2	30	7,88	Pasir Berlumpur
Rerata	32,4	9,04	31,2	7,868	

Keterangan : Superskrip yang berbeda pada susunan baris dan kolom sama menunjukkan sangat berbeda nyata(P<0,01): KN = kulit nanas; DS= daun singkong

Salah satu indikator kualitas perairan yang mempengaruhi organisme akuatik maupun proses biokimia dalam ekosistem perairan yakni suhu. Nilai rata-rata suhu air yang diukur sebesar 32,4°C. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021, rata-rata suhu di lokasi riset berada pada rentang optimum untuk mendukung kehidupan organisme akuatik dan juga pemanfaatan lokasi untuk kawasan rekreasi. Suhu perairan juga berperan dalam menentukan konsentrasi timbal di dalam air. Suhu yang meningkat di perairanakan meningkatkan kepekatan logam berat yang terakumulasi di perairan (Rachmaningrum, 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Usman et al. (2015) mengenai

kadar Cu-Pb di Perairan Biringkassi menunjukkan bahwa pada suhu 38°C konsentrasi logam berat sangat tinggi, sementara konsentrasi terendah terdeteksi pada suhu di bawah 30°C. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu air laut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap fluktuasi kadar timbal di perairan.

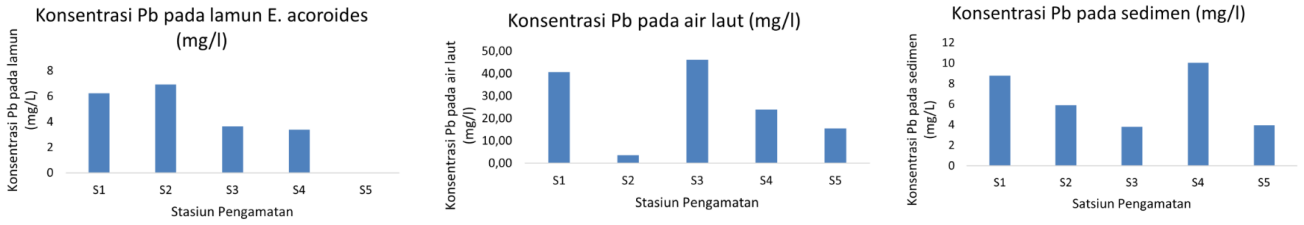
Rata-rata nilai salinitas yang terukur pada lokasi riset yakni 31,2 ppt. Menurut PP No. 22 Tahun 2021, nilai tersebut masuk dalam kisaran yang baik untuk mendukung kehidupan organisme serta pemanfaatan ruang pesisir sebagai tempat rekreasi/wisata. Salinitas perairan berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi logam berat di laut, terutama dalam mengontrol kelarutan dan mobilitasnya. Penelitian yang dilakukan oleh Jin et al. (2025) menyatakan bahwa salinitas yang lebih tinggi cenderung menurunkan kelarutan logam berat seperti timbal (Pb) karena proses kompleksasi dengan ion klorida yang melimpah di air laut. Sebaliknya, pada perairan dengan salinitas rendah, logam berat lebih mudah terlarut dan tersuspensi dalam kolom air, sehingga meningkatkan bioavailabilitasnya bagi organisme laut. Selain itu, Zhang et al. (2024) menemukan bahwa perubahan salinitas mempengaruhi distribusi logam berat dalam ekosistem estuari, di mana logam cenderung mengendap di area dengan salinitas tinggi dan tetap tersuspensi di wilayah dengan salinitas lebih rendah. Oleh karena itu, variasi salinitas dalam perairan laut dapat menjadi faktor penting dalam menentukan tingkat pencemaran logam berat dan dampaknya terhadap lingkungan laut.

Faktor lain yang memengaruhi kehidupan organisme akuatik adalah pH air. Nilai pH juga berhubungan dengan keberadaan dan jumlah fitoplankton, yang merupakan indikator produktivitas perairan dan ketersediaan nutrien di laut (Megawati et al., 2014; Wahyuningsih et al., 2021). Di lokasi riset, pH air tercatat sebesar 9,04, yang sudah melewati batas ideal untuk kehidupan biota air sesuai dengan PP No. 22 Tahun 2021. Namun, kondisi ini menggambarkan kemampuan organisme di perairan tersebut untuk beradaptasi terhadap kondisi pH yang melampaui nilai ambang batas. Pada seluruh stasiun pengukuran, nilai pH tercatat telah melampaui standar baku mutu, yang berkontribusi terhadap akumulasi timbal dalam air. Peningkatan pH cenderung menurunkan kadar oksigen, menaikkan toksisitas dan dapat berpengaruh dengan kadar kelarutan logam berat Pb.. Faktor pH juga berperan dalam proses absorpsi ion logam di dalam larutan, di mana ion H^+ bersaing dengan kation lain untuk berikatan dengan situs aktif (Sangkota et al., 2017). Oleh sebab itu, semakin rendah pH atau semakin asam suatu perairan, maka kelarutan logam dalam kolom air meningkat, yang pada akhirnya menyebabkan tingkat toksisitas yang lebih tinggi (Juharna et al., 2022) .

Selain pH, kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*/DO) turut menjadi parameter penting yang mempengaruhi kehidupan organisme akuatik, karena kandungan oksigen terlarut berdampak langsung pada aktivitas serta kondisi fisiologis biota. Kelarutan oksigen dipengaruhi oleh suhu juga salinitas air, yang kemudian memengaruhi proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme serta respirasi organisme akuatik (Siburian et al., 2017). Di lokasi penelitian, nilai rata-rata oksigen terlarut mencapai 7,86 mg/L. Nilai tersebut masih memenuhi standar kualitas air laut, di mana menurut PP No. 22 Tahun 2021, kadar DO yang baik untuk kehidupan biota air adalah lebih dari 5 mg/L. Dengan demikian, kadar DO yang terukur menunjukkan bahwa kualitas oksigen terlarut di Pantai Kupa-kupa cukup baik untuk mendukung kehidupan organisme akuatik. Kadar oksigen terlarut (DO) di perairan laut memiliki hubungan erat dengan konsentrasi timbal (Pb), di mana rendahnya DO dapat meningkatkan akumulasi logam berat dalam air. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Anayet et al. (2024), penurunan kualitas air laut akibat aktivitas antropogenik menyebabkan menurunnya kadar oksigen terlarut, yang pada gilirannya berkontribusi terhadap peningkatan akumulasi logam berat, termasuk timbal, di lingkungan laut. Hal ini terjadi karena oksigen terlarut berperan dalam reaksi oksidasi-reduksi dalam air.

Konsentrasi Timbal pada Air Laut, Sedimen dan Lamun

Timbal (Pb).diketahui sebagai salah satu bahan pencemar.lingkungan berbahaya, karena bersifat racun dan berpengaruh terhadap aspek ekologis maupun aspek biologis di dalam kolom air. Konsentrasi Pb yang terukur pada lamun, air laut, dan sedimen pada lokasi riset dapat dilihat pada gambar 2, 3 dan 4.



(a) (b) (c)

Gambar 2. (a) Konsentrasi Pb pada lamun *E. Acoroides*; (b) konsentrasi Pb pada air laut; (c) konsentrasi Pb pada sedimen

Hasil analisis konsentrasi Pb yang terukur di perairan pantai Kupa-kupa cukup bervariasi baik dari stasiun 1 sampai stasiun 5. Konsentrasi Pb pada lamun 3,42-6,92 mg/l, air laut 3,62-46,67 mg/l dan sedimen 3,81-10,05 mg/l (gambar 2). Lamun diketahui sebagai salah satu bioindikator lingkungan, dimana seluruh bagian tanaman lamun secara umum digunakan untuk mendeteksi kontaminasi logam berat, baik yang terdapat pada sedimen maupun air. Oleh karena itu, lamun dikenal sebagai tanaman bioindikator dan bioakumulator.

Seluruh tubuh lamun secara alami terendam di kolom air, hal inilah yang membuat lamun mampu menyerap serta menyimpan logam berat (Ahmad et al., 2015; Hasibuan et al., 2020). Proses fisiologi lamun berperan penting dalam mengatur kemampuan lamun dalam menyimpan logam berat, hal ini disebabkan adanya aktivitas transpor logam berat dalam tubuh lamun dapat berlangsung secara aktif maupun pasif (Llagostera et al., 2011). Pengendapan Pb yang terjadi di sedimen selanjutnya akan.diserap oleh akar lamun dengan cara yang sama dengan proses penyerapan nutrien.dari sedimen melalui akar (Irhamni et al., 2017). Jaringan eksodermis dan jaringan endodermis pada akar akan mengakumulasi Pd dari sedimen. Selain melalui akar, penyerapan Pb juga terjadi di daun walaupun konsentrasi yang terserap hanya sedikit, dimana daun lamun melakukan penyerapan dalam kolom air melalui kutikula. sebagai pengganti fungsi stomata pada daun (Bidayani et al., 2017; Sugiyanto et al., 2016). Konsentrasi Pb di lamun *E. acoroides* pada perairan kupa-kupa sudah melampaui ambang batas baku mutu PP RI Nomor 22 Tahun 2021 dan baku mutu SEPA Tahun 2000 yaitu 0,008 mg/l.

Konsentrasi Pb terendah yang terkandung di air laut terdapat pada stasiun 2 yaitu 3,62 mg/l dan tertinggi pada stasiun 3 dengan nilai 46,2 mg/l (gambar 3). Hal ini menandakan konsentrasi Pb yang terdapat di air laut pantai Kupa-kupa sudah melampaui ambang batas baku mutu dari PP RI Nomor 22 Tahun 2021 dan baku mutu SEPA (*Swedish Environmental Protection Agency*) Tahun 2000 yaitu 0,005 mg/l. Tingginya konsentrasi Pb di air laut diduga karena dekat daerah pelabuhan minyak milik BUMN dan transportasi kapal nelayan (Fendjalang et al., 2022). Menurut hasil riset dari Haryono et al. (2017) tentang kandungan Pb di Perairan Lekok juga menunjukkan kadar Pb yang cukup tinggi. Kenaikan konsentrasi ini kemungkinan disebabkan oleh aktivitas kapal di area pelabuhan, seperti pembersihan dan pemeliharaan armada nelayan, serta tumpahan bahan bakar minyak yang tidak disengaja ke dalam perairan, yang berperan sebagai sumber utama pencemaran logam Pb..

Beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi konsentrasi Pb di perairan yakni; sedimen dan kualitas sedimen (Malsiu et al., 2020), arus (Rondi et al., 2021), faktor musim

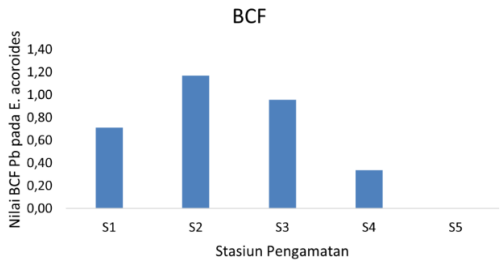
(Najamuddin et al., 2016) dan perubahan pada ekosistem perairan (Najamuddin & Surahman, 2017). Arus yang kuat akan cepat membawa logam berat sehingga lambat untuk tersuspensi ke dalam sedimen begitu juga sebaliknya jika arus lambat maka logam berat akan cepat tersuspensi ke dalam sedimen. Konsentrasi Pb terendah yang terkandung di sedimen terdapat pada stasiun 3 yakni 3,81 mg/l dan tertinggi pada stasiun 4 yakni 10,05 mg/l (gambar 4). Konsentrasi Pb di sedimen masih dibawah nilai standar baku mutu SEPA (*Swedish Environmental Protection Agency*) Tahun 2000 yaitu 25 mg/l. Berdasarkan hasil analisa maka dapat diketahui bahwa konsentrasi Pb di sedimen masih pada tahapan yang aman sebab nilai yang terukur tergolong rendah dan belum mencapai nilai ambang batas.

Perbedaan tipe dan ukuran sedimen mempengaruhi kemampuan sedimen dalam mengikat dan mengakumulasi logam.berat, yang pada akhirnya berdampak pada pola distribusi logam berat tersebut di perairan (Najamuddin et al., 2020). Konsentrasi timbal pada stasiun 4 walaupun bersubstrat pasir berlumpur tetapi memiliki konsentrasi Pb yang tinggi. Substrat pasir berlumpur diketahui memiliki korelasi negatif terhadap penyerapan timbal, tetapi berbeda pada stasiun ini. Hal ini diduga dipengaruhi oleh keberadaan area pelabuhan kapal minyak milik BUMN, sehingga memungkinkan adanya potensi rembesan minyak dan air limpasan dari kapal yang masuk ke perairan tanpa sengaja. Fenomena serupa juga dilaporkan dalam penelitian-penelitian sebelumnya, di mana aktivitas pelabuhan dan kapal, pencucian dan pemeliharaan kapal, serta tumpahan bahan bakar menjadi sumber utama masuknya timbal kedalam perairan (Haryono et al., 2017; Lyusta et al., 2017).

Hal ini dapat dilihat juga pada stasiun 1 dimana menunjukkan konsentrasi timbal yang tinggi dalam sedimen, meskipun berada di bawah nilai stasiun 4. Kondisi ini kemungkinan terkait dengan jenis sedimen di stasiun 1, yaitu pasir, yang diketahui memiliki hubungan positif dengan konsentrasi timbal dalam substrat. Struktur dan ukuran partikel pasir yang lebih longgar menciptakan ruang yang memungkinkan logam berat mudah terperangkap, berikatan, dan mengendap di antara partikel, sehingga masuk ke dalam substrat (Fendjalang et al., 2023; Khotimah et al., 2022; Putra et al., 2022). Selain itu, lokasi stasiun 1 yang berada di kawasan tanjung, yakni area di mana arus berputar sebelum mengalir keluar dari perairan Kupa-Kupa, berpotensi meningkatkan proses pengendapan serta akumulasi logam berat ke dalam substrat. Hal yang sama ditemukan oleh Li et al. (2025), bahwa tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen sangat dipengaruhi oleh pergerakan air, terutama dalam ekosistem estuari dan daerah dengan perubahan arus yang signifikan. Regulasi aliran air dapat memicu erosi atau pengendapan sedimen, yang berdampak pada distribusi logam berat.

Biokonsentrasi Timbal pada Lamun E. acoroides

Faktor biokonsentrasi dinyatakan sebagai perbandingan antara konsentrasi Pb pada lamun dengan konsentrasi Pb pada sedimen sebagai media tumbuh. Analisa faktor biokonsentrasi dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa.kemampuan lamun dalam menyerap dan menyimpan logam berat melalui pengukuran tingkat faktor biokonsentrasi (FBK). Nilai FBK dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Biokonsenrasi faktor Pb pada lamun *E. acoroides*

Tumbuhan merupakan mahkluk hidup yang melakukan penyerapan pada substrat untuk memperoleh nutrient dan bertahan hidup. Berdasarkan kemapuan penyerapan, tanaman menjadi tiga kategori (Baker, 1981; Sugiyanto et al., 2016) yaitu (1) Akumulator, merujuk pada tanaman dengan nilai FBK > 1. Tumbuhan akumulator mampu menyerap dan menyimpan logam dalam jaringan tanamannya pada konsentrasi yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan konsentrasi logam yang terkandung di substrat. (2) Ekskluder, kategori ini ditandai dengan nilai FBK < 1. Tumbuhan ekskluder secara efektif menghambat logam berat agar tidak masuk ke bagian atas tanaman, meskipun kadar logam di sekitar perakaran tetap tinggi. (3) Indikator, tanaman dengan nilai FBK = 1 dikategorikan sebagai bioindikator. Tumbuhan ini mampu beradaptasi terhadap keberadaan logam berat dengan menghasilkan senyawa kimia yang berfungsi sebagai pengikat logam atau mengubah struktur logam berat, kemudian menyimpannya pada bagian yang tidak sensitif.

Penghitungan bioakumulasi Pb dilakukan menggunakan rumus dari . Proses ini bertujuan untuk menganalisa kemampuan lamun dalam mengakumulasi logam berat melalui pengukuran tingkat faktor biokonsentrasi (FBK). Berdasarkan hasil penghitungan, bioakumulasi Pb pada lamun *E. acoroides* menunjukkan nilai rata-rata FBK 0,64. Nilai FBK tertinggi terdapat pada stasiun 2, yakni 1,17, sedangkan yang terendah pada stasiun 5 yakni 0. Berdasarkan pengelompokan kategori tanaman berdasarkan nilai FBK, maka *E. acoroides* pada stasiun 1, 3, 4 dan 5 termasuk tipe ekskluder, sedangkan *E. acoroides* pada stasiun 2 termasuk tipe akumulator. Hasil riset ini juga didukung oleh Sugiyanto et al. (2016), yang mengemukakan bahwa faktor biokonsentrasi *E. acoroides* bersifat ekskluder, yakni tanaman ini mampu membatasi terserapnya logam berat ke jaringan atas tumbuhan, meskipun konsentrasi logam berat di sedimen tetap tinggi. Nilai FBK menunjukkan bahwa *E. acoroides* mampu mengakumulasi Pb.pada lingkungan perairan Pantai Kupa-Kupa. Hal ini juga diperkuat dengan pernyataan Mirawati et al. (2016), yakni spesies *E. acoroides*.memiliki kemampuan menyerap, menyimpan dan juga mengakumulasi logam berat di lokasi perairan tempatnya bertumbuh.

Peningkatan konsentrasi timbal (Pb) di air laut dapat berdampak langsung terhadap tingkat akumulasi Pb dalam ekosistem pesisir, khususnya dalam lamun dan sedimen. Logam berat seperti Pb cenderung tersuspensi dalam kolom air sebelum akhirnya mengalami proses pengendapan dan terserap oleh substrat dasar. Lamun, sebagai vegetasi laut yang memiliki kemampuan bioakumulasi, dapat menyerap Pb melalui akar dan daun, sehingga berpotensi menjadi indikator pencemaran logam berat. Selain itu, sedimen berfungsi sebagai penyimpan utama Pb dalam ekosistem laut, di mana logam berat dapat terikat pada partikel organik dan anorganik, membentuk cadangan pencemaran jangka panjang. Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi Pb di air laut, maka semakin besar pula potensi bioakumulasi dalam lamun serta akumulasi dalam sedimen, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem pesisir.

KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa meskipun parameter kualitas perairan seperti suhu, salinitas, dan oksigen terlarut masih berada dalam kisaran optimal untuk mendukung kehidupan biota air, konsentrasi timbal (Pb) di air laut telah melebihi ambang batas standar baku mutu yang diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 dan SEPA 2000. Konsentrasi timbal pada sedimen masih berada dalam batas aman, sedangkan konsentrasi pada lamun *E. acoroides* menunjukkan akumulasi logam berat yang cukup signifikan dengan karakteristik bioakumulator pada beberapa lokasi penelitian.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang turut membantu dalam penelitian ini. Terutama kepada pemerintah daerah maupun pemerintah desa yang telah memberikan izin penelitian di wilayah Pantai Kupa-Kupa.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, F., Azman, S., Said, M. I. M., & Baloo, L. (2015). Biomonitoring of metal contamination in estuarine ecosystem using seagrass. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *13*(1), 41. https://doi.org/10.1186/s40201-015-0198-7

Al-Najjar, T., Wahsha, M., Al-Khushman, M., Khalaf, M., Hardage, K., Hayek, W., Khadra, K. A., & Paytan, A. (2021). Assessing Metal Content in Halophila stipulacea Seagrass as an Indicator of Metal Pollution in the Northern Gulf of Aqaba, Red Sea. *Ocean Science Journal*, *56*(4), 364–377. https://doi.org/10.1007/s12601-021-00031-1

Anayet, A. H., Abdullah Zawawi, M. A., Azman, S., A Rahman, N. A., & Md Zin, M. (2024). ASSESSMENT OF HEAVY METAL ACCUMULATION IN THE STRAITS OF JOHOR: A COMPREHENSIVE STUDY ON WATER, SEDIMENT, AND AQUATIC ORGANISMS. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, *86*(6), 203–214. https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v86.21970

Baker, A. J. M. (1981). Accumulators and excluders -strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, *3*(1–4), 643–654. https://doi.org/10.1080/01904168109362867

Bidayani, E., Rosalina, D., & Utami, E. (2017). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Lamun Cymodocea serrulata di Daerah Penambangan Timah Kabupaten Bangka Selatan. *Maspari Journal*, *9*(2), 169–176.

Carolin, C. F., Kumar, P. S., Saravanan, A., Joshiba, G. J., & Naushad, Mu. (2017). Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *5*(3), 2782–2799. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.029

Fendjalang, S. N. M., 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. https://doi.org/10.30598/jcds.v1i1.11196

Fendjalang, S., Rupilu, K., Simange, S. M., & Paparang, A. (2022). Analysis Of Lead (Pb) In the Coastal of Kupa Kupa Village, South Tobelo Dictrict, North Halmahera Regency. *Journal of Tropical Fisheries Management*, *6*(2), 126–133. https://doi.org/10.29244/jppt.v6i2.43894

Ghosh, M., & Singh, S. P. (2005). Comparative uptake and phytoextraction study of soil induced chromium by accumulator and high biomass weed species. *Applied Ecology and Environmental Research*, *3*(2), 67–79.

Haryono, M. G., Mulyanto, M., & Kilawati, Y. (2017). Kandungan logam berat Pb air laut, sedimen dan daging kerang hijau Perna vidis. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, *9*(1), 1–7.

Irhamni, I., Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. (2017). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan AiDalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, *1*(2), 75–84.

Jin, X., Liu, J., Wang, L., Yu, X., Wang, J., Jin, Y., Qiu, S., Liu, J., Zhao, Y., & Sun, S. (2025). Distribution characteristics and ecological risk assessment of heavy metal pollution in seawater near the Yellow River Estuary of Laizhou Bay. *Marine Environmental Research*, *203*, 106776. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106776

Juharna, F. M., Widowati, I., & Endrawati, H. (2022). Kandungan logam berat timbal (Pb)

dan kromium (Cr) pada kerang hijau (Perna viridis) di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, *11*(2), 139–148.

Khotimah, H., Rochaddi, B., & Wulandari, S. Y. (2022). Analisis Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cu) Pada Sedimen di Perairan Muara Sungai Genuk, Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, *25*(3), 463–470. https://doi.org/10.14710/jkt.v25i3.16716

Krisye, K., Rahman, R., Fendjalang, S. N. M., & Sirajuddin, N. T. (2023). Jenis dan Tutupan Lamun di Perairan Pulau Maginti, Kabupaten Muna Barat, Sulawesi Tenggara. *Grouper*, *14*(1), 24–28. https://doi.org/10.30736/grouper.v14i1.149

Lee, G., Suonan, Z., Kim, S. H., Hwang, D.-W., & Lee, K.-S. (2019). Heavy metal accumulation and phytoremediation potential by transplants of the seagrass Zostera marina in the polluted bay systems. *Marine Pollution Bulletin*, *149*, 110509. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110509

Li, W., Ye, J., Gao, X., Zhang, Y., Li, Y., & Li, H. (2025). Integrated ecological quality assessment of the sea area adjacent to the Yellow River estuary under multiple pollutants. *Frontiers in Marine Science*, *12*. https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1542611

Liu, R., Jiang, W., Li, F., Pan, Y., Wang, C., & Tian, H. (2021). Occurrence, partition, and risk of seven heavy metals in sediments, seawater, and organisms from the eastern sea area of Shandong Peninsula, Yellow Sea, China. *Journal of Environmental Management*, *279*, 111771. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111771

Llagostera, I., Pérez, M., & Romero, J. (2011). Trace metal content in the seagrass Cymodocea nodosa: Differential accumulation in plant organs. *Aquatic Botany*, *95*(2), 124–128. https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2011.04.005

Lyusta, A. H., Agustriani, F., & Surbakti, H. (2017). Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) Pada sedimen di Pulau Payung Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. *Maspari Journal*, *9*(1), 17–24.

Malsiu, A., Shehu, I., Stafilov, T., & Faiku, F. (2020). Assessment of Heavy Metal Concentrations with Fractionation Method in Sediments and Waters of the Badovci Lake (Kosovo). *Journal of Environmental and Public Health*, *2020*, 1–14. https://doi.org/10.1155/2020/3098594

Megawati, C., Yusuf, M., & Maslukah, L. (2014). Sebaran kualitas perairan ditinjau dari zat hara, oksigen terlarut dan pH di perairan Selatan Bali. *Jurnal Oseanografi*, *3*(2), 142–150.

Mirawati, F., Supriyantini, E., & Nuraini, R. A. T. (2016). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air, Sedimen, Dan Kerang Hijau (Perna viridis) Di Perairan Trimulyo Dan Mangunharjo Semarang. *BULETIN OSEANOGRAFI MARINA*, *5*(2), 121. https://doi.org/10.14710/buloma.v5i2.15731

Munandar, A., Ali, M. S., & Karina, S. (2016). Struktur Komunitas Makrozoobenthos di Estuari Kuala Rigaih Kecamatan Setia Bakti Kabupaten Aceh Jaya. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan Perikanan Unsyiah*, *1*(3).

Najamuddin, N., Tahir, I., Paembonan, R. E., & Inayah, I. (2020). Pengaruh Karakteristik Sedimen terhadap Distribusi dan Akumulasi Logam Berat Pb dan Zn di Perairan Sungai, Estuaria, dan Pantai. *Jurnal Kelautan Tropis*, *23*(1), 1. https://doi.org/10.14710/jkt.v23i1.5315

Najamuddin, Prartono, T., Sanusi, H. S., & Nurjaya, I. W. (2016). Seasonal distribution and geochemical fractionation of heavy metals from surface sediment in a tropical estuary of Jeneberang River, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, *111*(1–2), 456–462. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.106

Najamuddin, & Surahman. (2017). Dispersion, Speciation, and Pollution Assessment of Heavy Metals Pb and Zn in Surface Sediment from Disturbed Ecosystem of Jeneberang Waters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *89*, 012030. https://doi.org/10.1088/1755-1315/89/1/012030

Natsir, N. A., Hanike, Y., Rijal, M., & Bacthiar, S. (2020). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Air, Sedimen Dan Organ Mangrove Di Perairan Tulehu. *Biosel: Biology Science and Education*, *8*(2), 149. https://doi.org/10.33477/bs.v8i2.1144

Pattipeiluhu, S., & Fendjalang, S. (2024). Heavy Metal Contamination in Freshwater and Marine Tilapia Culture in the Waters of Poka, Ambon Bay, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, *28*(6), 1539–1553. https://doi.org/10.21608/ejabf.2024.397159

Permata, M. A. D., Purwiyanto, A. I. S., & Diansyah, G. (2018). Kandungan logam berat Cu (tembaga) dan Pb (timbal) pada air dan sedimen di kawasan industri Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Marine Science*, *1*(1), 7–14.

Putra, M. D. N., Widada, S., & Atmodjo, W. (2022). Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen Dasar di Perairan Banjir Kanal Timur Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, *4*(3), 13–21. https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i3.13398

Rachmaningrum, M. (2015). Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Perairan Sungai Citarum Hulu Segmen Dayeuhkolot-Nanjung. *Jurnal Reka Lingkungan*, *3*(1), 19–29.

Rondi, P. A., Maslukah, L., & Atmodjo, W. (2021). POLA SEBARAN HORISONTAL LOGAM BERAT TIMBAL (PB) DAN ZENG (ZN) PADA SEDIMEN DI PERAIRAN MUARA SUNGAI KALIGUNG TEGAL. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, *14*(1), 11–19. https://doi.org/10.21107/jk.v14i1.8481

Rosalina, D., Rombe, K. H., Jamil, K., & Surachmat, A. (2022). Analysis of heavy metals (Pb and Cd) in seagrasses Thalassia hemprichii and Enhalus acoroides from Pulau Sembilan, South Sulawesi Province, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, *23*(4). https://doi.org/10.13057/biodiv/d230448

Sangkota, V. D. A., Supriadi, S., & Said, I. (2017). Pengaruh aktivasi kimia arang tanaman eceng gondok (Eichhornia Crassipes) terhadap adsorpsi logam timbal (Pb). *Jurnal Akademika Kimia*, *6*(1), 48–54.

Siburian, R., Simatupang, L., & Bukit, M. (2017). Analisis kualitas perairan laut terhadap aktivitas di lingkungan pelabuhan Waingapu- Alor Sumba Timur. *JPKM*, *23*(1), 225–232.

Sugiyanto, R. A. N., Yona, D., & Kasitowati, R. D. (2016). Analisis akumulasi logam berat timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada lamun (Enhalus acoroides) sebagai agen fitoremediasi di Pantai Paciran, Lamongan. *Seminar Nasional Perikanan Dan Kelautan VI*, 449–445.

Tayemeh, M. B., Esmailbeigi, M., Shirdel, I., Joo, H. S., Johari, S. A., Banan, A., Nourani, H., Mashhadi, H., Jami, M. J., & Tabarrok, M. (2020). Perturbation of fatty acid composition, pigments, and growth indices of Chlorella vulgaris in response to silver ions and nanoparticles: A new holistic understanding of hidden ecotoxicological aspect of pollutants. *Chemosphere*, *238*, 124576. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124576

Usman, A. F., Budimawan, B., & Budi, P. (2015). Kandungan logam berat Pb-Cd dan kualitas air di perairan Biringkassi, Bungoro, Pangkep. *Jurnal Agrokompleks*, *4*(9), 103–107.

Wahyuningsih, N., Suharsono, S., & Fitrian, Z. (2021). KAJIAN KUALITAS AIR LAUT DI PERAIRAN KOTA BONTANG PROVINSI KALIMANTAN TIMUR. *JURNAL RISET PEMBANGUNAN*, *4*(1), 56–66. https://doi.org/10.36087/jrp.v4i1.94

Zeraatkar, A. K., Ahmadzadeh, H., Talebi, A. F., Moheimani, N. R., & McHenry, M. P. (2016). Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review. *Journal of Environmental Management*, *181*, 817–831. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.059

Zhang, L., Wu, Y., Li, J., Ni, Z., Ren, Y., Lin, J., & Huang, X. (2024). Hydrodynamics and

dissolved organic matter components shaped the fate of dissolved heavy metals in an intensely anthropogenically disturbed estuary. *Science of The Total Environment*, *934*, 173293. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173293

Zhu, A., Liu, J., Qiao, S., & Zhang, H. (2020). Distribution and assessment of heavy metals in surface sediments from the Bohai Sea of China. *Marine Pollution Bulletin*, *153*, 110901. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110901

.