

Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen di Perairan Pantai Kupa-Kupa Kabupaten Halmahera Utara

Concentration of Heavy Metal Lead (Pb) in Sediment in the Kupa-Kupa Beach, North Halmahera Regency

Sophia N. M. Fendjalanga^a, Krisye^{b*}, Krisostomus Rupilu^c

^aProgram Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Kec. Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku, Indonesia

^bProgram Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Kec. Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku, Indonesia

^cProgram Studi Pengelolaan Perikanan Pesisir, Politeknik Perdamaian Halmahera, Jl. Trans Tobelo – Galela Desa Wari Ino, Kec. Tobelo, Kabupaten Halmahera Utara, Maluku Utara, Indonesia

Article Info:

Received: 11 – 04 - 2023

in revised form: 15 04 - 2023

Accepted: 19 – 05 - 2023

Available Online: 15 – 06 - 2023

Kata kunci:

Kupa-Kupa; Logam Berat;
Sedimen; Timbal

Keywords:

Kupa-Kupa; Heavy Metal;
Sediment; Lead

Corresponding Author:

*E-mail:

krisye@fpik.unpatti.ac.id

DOI:

<https://doi.org/10.30598/jcds.v1i1.11196>

Abstrak: Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat non esensial yang sering ditemukan di perairan dan bersifat toksik. Perairan Pantai Kupa-Kupa yang berada di Kecamatan Tobelo Selatan Kabupaten Halmahera Utara merupakan salah satu daerah pesisir yang memiliki tekanan lingkungan cukup besar akibat aktivitas masyarakat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menganalisa konsentrasi timbal pada sedimen di perairan Pantai Kupa Kupa. Penentuan titik sampling menggunakan metode *Purposive sampling* berdasarkan pertimbangan tertentu oleh peneliti, dimana lokasi penelitian dibagi menjadi 5 stasiun. Sampel sedimen yang digunakan untuk analisa diambil dengan menggunakan *sediment core* kemudian dimasukkan ke dalam wadah plastik. Sampel sedimen dipreparasi sebelum dianalisis di Balai Laboratorium Kesehatan dan Kalibrasi Alat Kesehatan Provinsi Maluku. Konsentrasi logam berat timbal di perairan Pantai Kupa-Kupa yang terdapat pada sedimen berikisar antara 3,81 mg/kg sampai 10,05 mg/kg, dimana menurut PP No. 22 Tahun 2021 konsentrasi ini termasuk dalam kategori aman.

Abstract: Lead (Pb) is one type of non-essential heavy metal that is often found in waters and is toxic. The waters of Kupa-Kupa Beach located in South Tobelo District, North Halmahera Regency are one of the coastal areas that have considerable environmental pressure due to community activities. Therefore, it is necessary to conduct research to analyze the concentration of lead in sediments in the waters of Kupa Kupa Beach. Determination of sampling points using the *Purposive sampling* method based on certain considerations by researchers, where the research location is divided into 5 stations. Sediment samples used for analysis are taken using sediment cores and then put into plastic containers. Sediment samples were prepared before analysis at the Center for Health Laboratory and Medical Device Calibration of Maluku Province. The concentration of lead heavy metal in the waters of Kupa-Kupa Beach found in sediments ranges from 3.81 mg/kg to 10.05 mg/kg and is included in the safe category.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Copyright © 2023 to Authors

PENDAHULUAN

Pencemaran perairan merupakan salah satu masalah lingkungan yang saat ini menjadi perhatian dan banyak dikaji untuk mencari solusi terkait penanganan dampak terhadap lingkungan dan ekologi. Salah satu bahan pencemar perairan laut yang dapat menurunkan kualitas lingkungan adalah logam berat. Pencemaran logam berat selalu menjadi permasalahan yang sering dihadapi (Putra *et al.*, 2022), sebagai dampak dari perkembangan industri yang dimanfaatkan oleh manusia, meningkatnya urbanisasi dan kepadatan penduduk serta pemanfaatan kawasan pesisir sebagai daerah transportasi, pemukiman, maupun pariwisata (Fendjalang *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2020). Oleh karena itu, polutan logam berat merupakan kontaminan yang paling banyak ditemukan dan terakumulasi pada biota akuatik (Behzadi *et al.*, 2020), dimana walaupun terkontaminasi dalam konsentrasi yang rendah namun tetap berpengaruh terhadap fisiologis biota (Zeraatkar *et al.*, 2016). Logam berat dapat menyebabkan kematian (*lethal*) dan non - kematian (*sub lethal*) seperti gangguan pertumbuhan, perilaku dan karakter morfologi pada beberapa organisme akuatik (Effendy *et al.*, 2018).

Pencemaran logam berat yang masuk ke lingkungan perairan akan terakumulasi dalam sedimen atau biota yang dapat bertambah seiring dengan berjalannya waktu (Natsir *et al.*, 2020; Permata *et al.*, 2018). Logam berat memiliki sifat yang mudah mengikat dan mengendap di dasar perairan kemudian terakumulasi dalam sedimen (Rochyaton *et al.*, 2006). Di sisi lain, sedimen adalah tempat hidup organisme benthik sekaligus menjadi salah satu daerah perangkap bagi logam berat (Miranda *et al.*, 2018). Sedimen bermanfaat dalam pengukuran tingkat kontaminasi dari suatu perairan, bukan hanya kemampuannya dalam mengakumulasi logam dan bahan organik tetapi juga dapat membawa sumber kontaminan ke dalam perairan (Mariani & Pompeo, 2008).

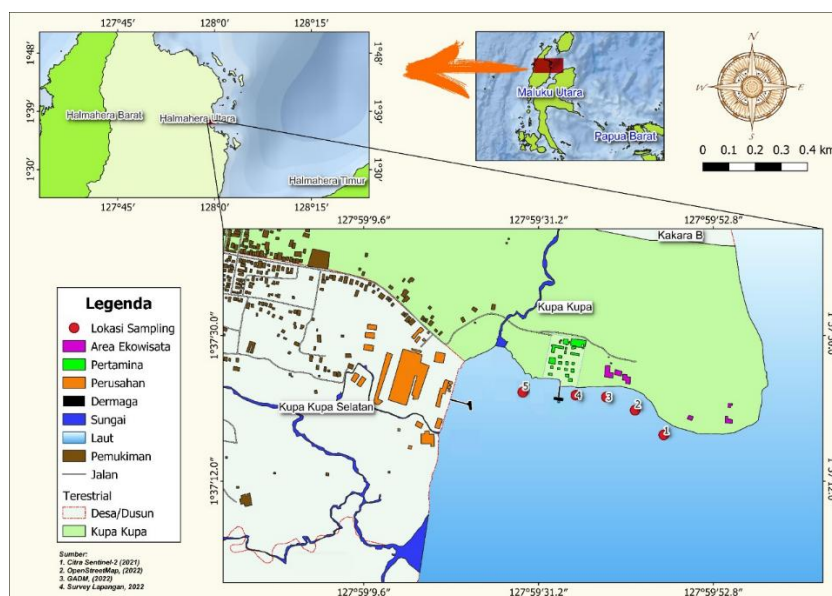
Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat non esensial yang sering ditemukan di perairan dan bersifat toksik. Keracunan kronis dapat terjadi pada biota akibat terpapar timbal dalam jumlah kecil namun berlangsung dalam jangka waktu yang lama sehingga absorpsi dan akumulasi semakin meningkat. Selain berdampak bagi biota perairan, timbal juga secara tidak langsung mengancam kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme laut yang sudah terkontaminasi (Malik *et al.*, 2021). Oleh karena itu, perlu dilakukan pemantauan konsentrasi logam berat timbal di perairan, termasuk di perairan Pantai Kupa-Kupa.

Perairan Pantai Kupa-Kupa yang berada di Kecamatan Tobelo Selatan Kabupaten Halmahera Utara merupakan salah satu daerah pesisir yang memiliki tekanan lingkungan cukup besar akibat aktivitas masyarakat. Hal ini karena adanya berbagai aktivitas yang dilakukan baik sebagai daerah dermaga, jalur transportasi bagi kapal pengangkut minyak untuk perusahaan bahan bakar, daerah wisata, daerah penangkapan, maupun daerah budidaya ikan. Ekosistem pesisir yang menunjang keberadaan organisme atau biota di Pantai Kupa yaitu ekosistem lamun dan terumbu karang. Oleh karena itu, perlu dilakukan

penelitian untuk menganalisa konsentrasi timbal pada sedimen di perairan Pantai Kupa Kupa.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret – April 2023 di perairan Pantai Kupa-Kupa, Kecamatan Tobelo Selatan, Kabupaten Halmahera Utara. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi; GPS untuk menentukan titik lokasi penelitian, *thermometer* untuk mengukur suhu, pH meter untuk mengukur pH air laut, *cool box* sebagai wadah penyimpanan sampel, DO meter untuk mengukur DO perairan, *shive shaker* untuk mengayakan tekstur sedimen, saringan bertingkat untuk menyaring tekstur sedimen, oven untuk mengeringkan sampel, timbangan untuk menimbang sampel sedimen. Pengukuran parameter lingkungan seperti salinitas, pH, suhu, DO dilakukan secara *in situ*.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Metode Penelitian

Penentuan titik sampling menggunakan metode *Purposive sampling* berdasarkan pertimbangan tertentu oleh peneliti, dimana lokasi penelitian dibagi menjadi 5 stasiun. Sampel sedimen yang digunakan untuk analisa diambil dengan menggunakan sedimen core kemudian dimasukkan ke dalam wadah plastik selanjutnya disimpan di dalam *coolbox* yang telah diberi ice gel, lalu diberi label untuk selanjutnya dianalisis. Sampel sedimen dipreparasi sebelum dianalisis di Balai Laboratorium Kesehatan dan Kalibrasi Alat Kesehatan Provinsi Maluku. Kandungan timbal selanjutnya dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer (AAS).

Metode Analisis Sedimen

Pengukuran butiran sedimen dilakukan dengan menggunakan proses pengayakan menggunakan sieve shaker yang dilakukan di laboratorium Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Pattimura. Pengayakan dari setiap sampel sedimen berlangsung selama 5 menit agar dapat menyaring butiran dari setiap tingkat ayakan. Metode analisis ukuran butir dan jenis sedimen menggunakan strategi pengayakan kering pada saringan bertingkat (*sieve analysis*) serta analisis granulometri. Dispersi ukuran butir diketahui menggunakan metode granulometri (Nugroho & Basit, 2014). Penentuan jenis sedimen menggunakan klasifikasi Diagram Segitiga *Shepard*.

Metode Analisis Data

Hubungan antara sedimen dengan timbal menggunakan analisis korelasi dengan bantuan *microsoft excel*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Perairan

Suhu perairan merupakan salah satu parameter kualitas perairan yang berpengaruh baik terhadap biota maupun terhadap reaksi biokimia di dalam perairan. Hasil pengukuran rata-rata suhu di perairan Pantai Kupa-Kupa yakni 32,4°C. nilai rata-rata salinitas perairan yang terukur yakni 31,2 ppt. Berdasarkan baku mutu dalam PP No. 22 Tahun 2021, maka nilai suhu dan salinitas di lokasi penelitian masih dalam kisaran optimal bagi kehidupan biota maupun untuk pemanfaatan sebagai daerah wisata bahari.

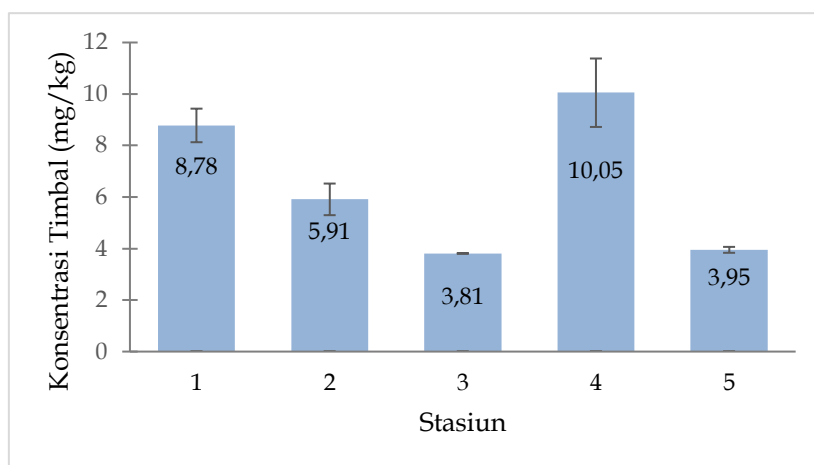
pH perairan mempengaruhi kehidupan biota perairan, termasuk keberadaan dan kelimpahan fitoplankton, dimana keberadaan dan kelimpahan plankton menentukan tingkat kesuburan perairan dan ketersediaan nutrient di perairan laut (Megawati *et al.*, 2014; Wahyuningsih *et al.*, 2021). pH perairan yang terukur pada lokasi penelitian yakni 9,04, nilai pH ini sudah melewati nilai pH ideal bagi kehidupan biota perairan jika mengacu dari PP No. 22 Tahun 2021. Hal ini menunjukkan bahwa biota perairan yang hidup di lokasi penelitian mampu beradaptasi terhadap pH perairan yang sudah melewati batas aman. Selain pH, oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) juga merupakan faktor pembatas keberadaan biota perairan, karena kandungan DO akan berpengaruh secara langsung terhadap aktivitas dan kondisi fisiologis biota perairan. Daya larut oksigen dipengaruhi oleh suhu dan salinitas perairan, dimana daya larut oksigen akan mempengaruhi proses penguraian bahan anorganik oleh mikroorganisme dan proses respirasi oleh biota perairan (Siburian *et al.*, 2017). Nilai rata-rata DO berdasarkan hasil pengukuran pada lokasi penelitian yaitu 7,86 mg/l. Nilai ini masih sesuai dengan baku mutu kualitas air laut, dimana nilai DO yang baik bagi kehidupan biota menurut PP No. 22 Tahun 2021 yaitu > 5 mg/l. Oleh karena itu,

nilai DO yang diperoleh pada lokasi penelitian menunjukkan bahwa perairan Pantai Kupa-Kupa masih dalam kondisi yang baik untuk kehidupan biota perairan.

Konsentrasi Timbal pada Sedimen

Timbal merupakan salah satu bahan pencemar yang berbahaya karena mempengaruhi proses fisiologis biota maupun aspek ekologis lingkungan. Timbal yang terdapat di perairan dapat berasal dari beberapa sumber, antara lain; tumpahan minyak, oli atau minyak pelumas, bensin ataupun air limpasan kapal (Hasyim, 2016), industri cat, industri pengelasan logam, industri perpipaan, industri percetakan (Humairo & Keman, 2017). Berdasarkan hasil analisa sampel, konsentrasi logam berat timbal pada stasiun 1 yakni 8,78 mg/kg, stasiun 2 sebesar 5,91 mg/kg, stasiun 3 sebesar 3,81 mg/kg, stasiun 4 sebesar 10,05 mg/kg, dan pada stasiun 5 sebesar 3,95 mg/kg. Bila dibandingkan dengan baku mutu sedimen menurut *Swedish Environmental Protection Agency* (SEPA), kisaran nilai timbal maksimum yang terkandung sebesar 25 mg/kg, maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi timbal pada sedimen di perairan Pantai Kupa-Kupa masih rendah dan aman. Hal ini karena nilai konsentrasi timbal masih di bawah ambang batas maksimum.

Nilai konsentrasi timbal pada sedimen tertinggi ditemukan pada Stasiun 4 dan stasiun 1, hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya di tahun 2022, dimana pada ke-2 stasiun yang sama ditemukan nilai konsentrasi timbal yang tinggi pada air laut yakni 0,78 mg/l pada stasiun 4 dan 0,77 mg/l pada stasiun 1 (Fendjalang *et al.*, 2022). Tingginya nilai konsentrasi timbal di stasiun 4 mungkin karena daerah stasiun 4 merupakan daerah dermaga kapal PT. Pertamina Persero (TBBM) sehingga ada rembesan minyak, bahan bakar, air limpasan kapal yang tanpa sengaja masuk ke perairan. Kasus yang sama juga terjadi pada beberapa penelitian lainnya, dimana diperkirakan sumber timbal di perairan berasal dari aktivitas kapal dan pelabuhan, proses pencucian dan pemeliharaan kapal, bahan bakar dan minyak yang masuk ke perairan (Haryono *et al.*, 2017; Lyusta *et al.*, 2017). Stasiun 1 juga merupakan lokasi pengamatan dengan nilai konsenrasi timbal pada sedimen yang tinggi setelah stasiun 4. Hal ini diduga karena lokasi stasiun 1 merupakan daerah yang sering terjadi perputaran arus sebelum air keluar dari perairan pantai Kupa-Kupa, hal ini karena stasiun 1 merupakan daerah tanjung sehingga proses pengendapan timbal pada sedimen terjadi pada daerah ini.



Gambar 2. Konsentrasi timbal pada tiap stasiun

Walaupun demikian, stasiun 1 – 5 merupakan daerah pantai yang biasanya dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai lokasi wisata (berenang dan menyelam), daerah pengambilan kerang (bivalvia – gastropoda), daerah penangkapan ikan karang serta daerah budidaya ikan dengan menggunakan KJA. Oleh karena itu, walaupun konsentrasi timbal di sedimen masih dalam kisaran nilai yang aman, namun tetap perlu diwaspadai.

Karakteristik Sedimen

Arus dan pasang surut merupakan faktor yang mempengaruhi proses pengendapan sedimen, sehingga secara alamiah ukuran dan jenis sedimen akan terseleksi yang menyebabkan adanya variasi ukuran dan jenis di suatu perairan (Bayhaqi & Dungga, 2015). Oleh karena itu, perairan dengan kecepatan arus yang kuat dicirikan dengan ukuran partikel sedimen yang kasar, sedangkan kecepatan arus yang lemah dicirikan dengan ukuran partikel yang halus (Nuraini & Wiyanto, 2021). Hasil analisis dominasi sedimen di perairan Pantai Kupa-Kupa dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini. Stasiun 1 didominasi oleh sedimen pasir, hal ini dikarenakan daerah stasiun 1 merupakan daerah tanjung, dimana arus yang keluar dari perairan pantai Kupa-Kupa yang bentuknya hampir menyerupai teluk serta letaknya yang dekat dengan perairan terbuka menyebabkan arus akan berputar di daerah ini sehingga sedimen dengan ukuran partikel yang besar yang terbawa arus lebih mudah mengendap di daerah ini. Oleh sebab itu pada stasiun 1 jenis sedimen yang mendominasi berturut-turut pasir (89,3%), kerikil (8,4%) dan lumpur dengan persentasi yang terkecil (2,3%). Pasir berlumpur merupakan dominasi sedimen yang ditemukan pada stasiun 2 – stasiun 5, adanya sedimen lumpur pada ke-4 stasiun ini disebabkan stasiun penelitian yang terletak pada lokasi perairan yang cenderung tertutup. Dominasi jenis sedimen jika dikaitkan dengan kecepatan arus pada ke-5 stasiun penelitian, maka sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Fendjalang (2022), dimana pada stasiun pengamatan yang sama memang memiliki kecepatan arus sangat lambat $0,05 - 0,08 \text{ ms}^{-1}$ sehingga jenis sedimen pada lokasi penelitian didominasi oleh sedimen dengan ukuran partikel halus.

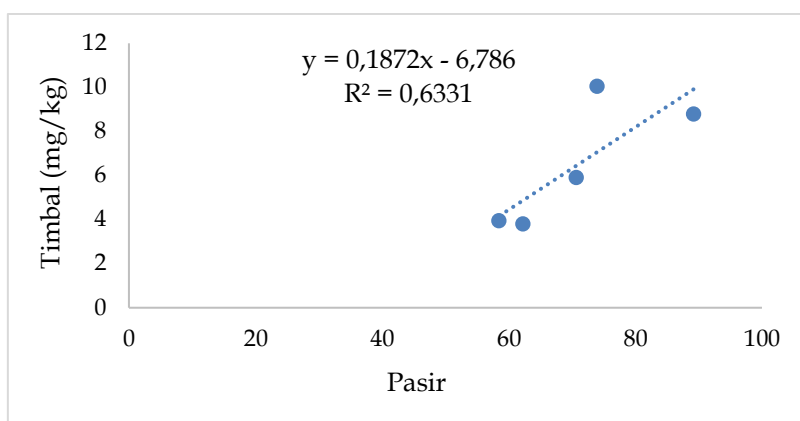
Tabel 1. Karakteristik sedimen pada tiap stasiun

No	Stasiun	Jenis Sedimen			Kategori Dominasi
		Kerikil (%)	Pasir (%)	Lumpur (%)	
1	1	8,4	89,3	2,3	Pasir
2	2	0,0	70,7	29,3	Pasir Berlumpur
3	3	0,0	62,3	37,7	Pasir Berlumpur
4	4	1,9	74,0	24,2	Pasir Berlumpur
5	5	1,2	58,5	40,2	Pasir Berlumpur

Korelasi Sedimen dan Konsentrasi Timbal

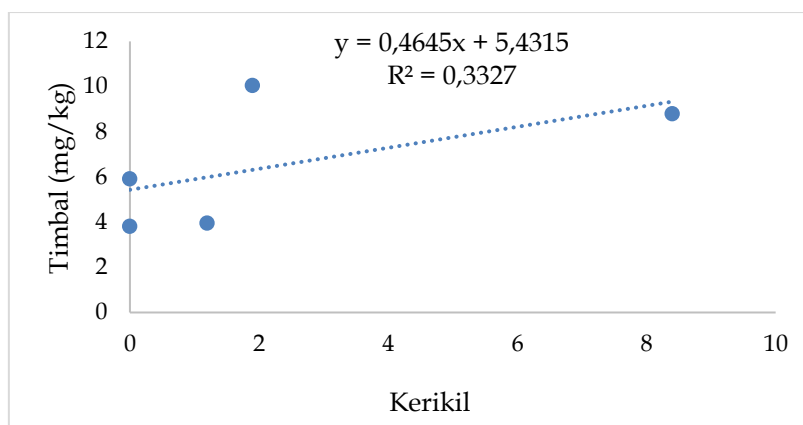
Berdasarkan hasil analisis data, untuk sedimen pasir dan konsentrasi timbal memiliki nilai determinasi ($R^2 = 0,6331$) dan nilai korelasi positif kuat ($r = 0,7956$) yang

menandakan bahwa semakin tinggi persentasi dari substrat pasir maka jumlah konsentrasi timbal juga ikut meningkat. Hal ini berkaitan dengan tekstur dan ukuran partikel sedimen pasir yang cukup memberikan rongga sehingga logam berat mudah mengendap dan masuk kedalam substart. Penelitian yang dilakukan Putra *et al* (2022) dan Khotimah *et al* (2022) juga menunjukkan hasil yang sama dimana korelasi sedimen pasir memiliki nilai korelasi positif dengan konsentrasi timbal.



Gambar 3. Korelasi pasir dan timbal

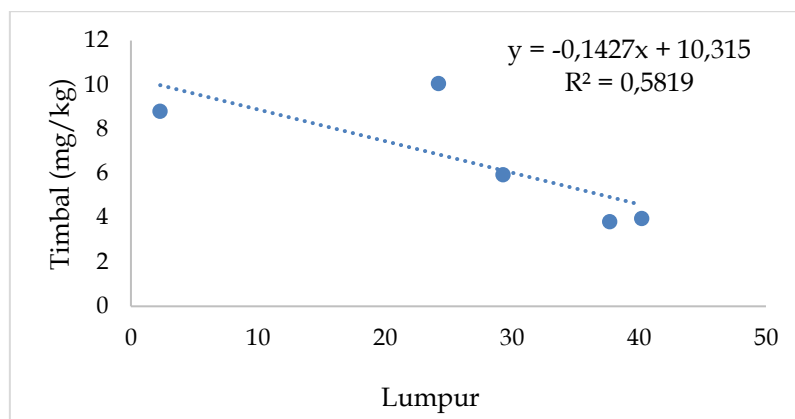
Berdasarkan hasil analisis data, untuk sedimen kerikil dan konsentrasi timbal memiliki nilai determinasi ($R^2 = 0,3327$) dan nilai korelasi positif sedang ($r = 0,5767$). Sedimen kerikil tidak berbeda jauh dengan sedimen pasir hanya saja tingkat korelasinya yang sedang. Hal ini berkaitan dengan tekstur dan ukuran partikel kerikil yang memberikan rongga lebih besar dibandingkan pasir sehingga logam berat mudah masuk dan juga keluar dari substrat.



Gambar 4. Korelasi kerikil dan timbal

Berdasarkan hasil analisis data, untuk sedimen lumpur dan konsentrasi timbal memiliki nilai determinasi ($R^2 = 0,5819$) dan nilai korelasi negatif kuat ($r = 0,7628$). Sedimen lumpur memiliki korelasi yang berbanding terbalik dengan sedimen pasir dan sedimen kerikil terhadap konsentrasi timbal. Semakin tinggi presentasi sedimen lumpur maka jumlah konsentrasi timbal akan semakin rendah. Hal ini berkaitan dengan tekstur dan

ukuran partikel lumpur yang halus. Rongga atau ruang yang dihasilkan sedimen lumpur sangat kecil sehingga logam berat sulit untuk masuk ke dalam substrat. Penelitian yang dilakukan Putra *et al* (2022) dan Khotimah *et al* (2022) juga menunjukkan hasil yang sama dimana sedimen yang memiliki ukuran lebih kecil dari pasir seperti lanau dan lempung memiliki nilai korelasi negatif dengan konsentrasi timbal.



Gambar 5. Korelasi lumpur dan timbal

SIMPULAN

Konsentrasi logam berat timbal di perairan Pantai Kupa-Kupa yang terdapat pada sedimen berikisar antara 3,81 mg/kg sampai 10,05 mg/kg, dimana menurut PP No. 22 Tahun 2021 nilai konsentrasi yang diperoleh termasuk dalam kategori aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayhaqi A., Dungga, CM. 2015. Distribusi butiran sedimen di pantai Dalegan, Gresik, Jawa Timur. *Depik*, 4(3): 153- 159
- Behzadi TM., Esmailbeigi M., Shirdel I., Joo HS., Johari SA., Banan A., Nourani H., Mashhadi H., Jami MJ., 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. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124576>
- Effendy F., Tresnaningsih EWA., Wibowo S., Sri K., Dariana D., Setia B., Argana G., Lfke S., Dewi F., Effendi S. 2018. Penyakit Akibat Kerja Karena Paparan Logam Berat. *Seri Pedoman Tatalaksana Penyakit Akibat Kerja Bagi Petugas Kesehatan*.
- Fendjalang S., Rupilu K., Simange SM., Paparang A. 2022. Analysis Of Lead (Pb) In the Coastal of Kupa Kupa Village, South Tobelo Dictrect, North Halmahera Regency. *Journal of Tropical Fisheries Management*, 6(2): 126–133.
- Haryono MG, Mulyanto, 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.
- Hasyim UH. 2016. Review: Kajian Adsorpsi Logam dalam Pelumas Bekas dan Prospek Pemanfaatannya Sebagai Bahan Bakar. *J.Konversi*. 5(1):11-16.
- Humairo MV., S Keman. 2017. Kadar Timbal Darah dan Keluhan Sistem Syaraf Pusat pada Pekerja Percetakan Unipress Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 9 (1): 48 – 56.

- Khotimah H., Rochaddi B., Wulandari SY. 2022. Analisis Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cu) Pada Sedimen di Perairan Muara Sungai Genuk, Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(3): 463-470.
- Lyusta AH., Agustriani F., Surbakti H. 2017. Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) Pada sedimen di Pulau Payung Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. *Maspuri Journal*, 9(1):17-24.
- Mariani CF., Pompeo MLM. 2008. Potentially bioavailable metals in sediment from a tropical polymictic environment – Rio Grande Reservoir, Brazil. *The Journal of Soils and Sediments*, 8(5):284– 288
- Megawati C., Yusuf M., Maslukah L. 2014. Sebaran kualitas perairan ditinjau dari zat hara, oksigen terlarut dan pH di perairan Selatan Bali. *Jurnal Oseanografi*. Vol. 3(2). 142-150.
- Natsir NA., Hanike Y., Rijal M., Bachtiar 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): 149-159. <https://doi.org/10.33477/bs.v8i2.1144>
- Nugroho SH., Basit A. 2014. Sebaran Sedimen Berdasarkan Analisis Ukuran Butir Di Teluk Weda, Maluku Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(1): 229-240.
- Permata MAD., Purwiyanto AIS., 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 MDN., 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.
- Rochyatun E., Kaisupy MT., Rozak A. 2006. Distribusi Logam Berat dalam Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. *Makara Sains*, 10(1): 35-40
- 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
- Wahyuningsih N., Suharsono, Zhikri F. 2021. Kajian kualitas air laut di perairan Kota Bontang Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Riset Pembangunan*, 4(1): 56-66.
- Zeraatkar AK., Ahmadzadeh H., Talebi AF., Moheimani NR., McHenry MP. 2016. Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 181). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.059>
- 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>