

Analisis Kualitas Air dan Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Air Laut di Perairan Pelabuhan Kelas II Jayapura Papua

Marsia Isa Bwefar, Irja Sepriyanto Jenmau*, Irwandi Yogo Suaka, Frans Demingus, Yohannes Rahail

Universitas Cenderawasih, Indonesia

Email: irjasepriyanto@fkip.uncen.ac.id*

| Kata Kunci | Abstrak |
|--|--|
| kualitas air laut, logam berat, timbal (Pb); Pelabuhan Jayapura; pencemaran laut; spektrofotometer serapan atom. | Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air dan kandungan logam berat timbal (Pb) di perairan Pelabuhan Kelas II Jayapura, Papua. Peningkatan aktivitas pelabuhan dan industri di daerah pesisir dapat berkontribusi pada pencemaran lingkungan, termasuk pencemaran logam berat yang berdampak pada ekosistem laut dan kesehatan masyarakat pesisir. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pengambilan sampel air pada 2 stasiun dengan masing-masing 3 sub stasiun menggunakan teknik purposive sampling. Sampel air laut dianalisis di Laboratorium Pendidikan Kimia Universitas Cenderawasih menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Parameter kualitas air yang diukur meliputi suhu, pH, Dissolved Oxygen (DO), kecerahan, dan salinitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter kualitas perairan berada pada kisaran yang aman sesuai standar baku mutu, dengan suhu 30,2-32,5°C, pH 6,54-7,60, DO 5,45-8,55 mg/l, kecerahan 3,20-3,57 meter, dan salinitas 30-34. Namun, kandungan logam berat timbal (Pb) pada air laut berada pada kisaran 0,115-0,141 mg/l, yang telah melampaui batas standar baku mutu yang ditetapkan sebesar 0,05 mg/l berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021 dan KepMen LH Nomor 51 Tahun 2004. Penelitian ini mengindikasikan bahwa aktivitas pelabuhan seperti bongkar muat barang, pencucian kapal, penggunaan bahan bakar, tumpahan bahan bakar, dan penggunaan cat pelapis kapal dapat mempengaruhi tingkat kadar timbal di perairan. Diperlukan perhatian khusus dan pengawasan ketat terhadap aktivitas pelabuhan untuk meminimalisir pencemaran logam berat di perairan Pelabuhan Jayapura. |
| Keywords | Abstract |
| <i>seawater quality; heavy metals; lead (Pb); Jayapura Port; marine pollution; atomic absorption spectrophotometry</i> | <i>This study aims to analyze water quality and heavy metal lead (Pb) content in the waters of Class II Port of Jayapura, Papua. Increased port and industrial activities in coastal areas can contribute to environmental pollution, including heavy metal contamination that impacts marine ecosystems and the health of coastal communities. This research employed a descriptive method with water sampling at 2 stations, each consisting of 3 sub-stations using purposive sampling technique. Seawater samples were analyzed at the Chemistry Education Laboratory of Cenderawasih University using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Water quality parameters measured included temperature, pH, Dissolved Oxygen (DO), transparency, and salinity. The results showed that water quality parameters were within safe ranges according to quality standards, with temperature ranging from 30.2-32.5°C, pH 6.54-7.60, DO 5.45-8.55 mg/l, transparency 3.20-3.57 meters, and salinity 30-34. However, the heavy metal lead (Pb) content in seawater ranged from 0.115-0.141 mg/l, which exceeded the established quality standard limit of 0.05 mg/l based on Government Regulation Number 22 of 2021 and Minister of</i> |

Environment Decree Number 51 of 2004. This research indicates that port activities such as loading and unloading of goods, ship washing, fuel usage, fuel spillage, and use of ship coating paint can affect the level of lead in the waters. Special attention and strict supervision of port activities are required to minimize heavy metal pollution in the waters of Jayapura Port.



PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu komponen lingkungan fisik paling penting dalam kehidupan makhluk hidup setelah udara (Fadila et al., 2023; Nurbaya et al., 2023; Yadnyawati et al., 2023). Air yang diperuntukan bagi konsumsi manusia harus berasal dari sumber yang bersih dan aman. Air dinyatakan tercemar bila mengandung bibit penyakit, parasit, bahan-bahan kimia yang berbahaya dan sampah atau limbah industri. Air yang berada dipermukaan bumi ini dapat berasal dari berbagai sumber, yang diantaranya seperti air permukaan yang meliputi sungai, danau, sumur dan lainnya (Chandra, 2007).

Peningkatan aktivitas industri dan pelabuhan di daerah pesisir seringkali berkontribusi pada pencemaran lingkungan, termasuk pencemaran logam berat seperti timbal (Pb) di perairan laut (Hidayat et al., 2021). Pelabuhan Kelas II Jayapura, sebagai salah satu pelabuhan utama di Papua, menghadapi tantangan serupa (Rahman & Putri, 2019). Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), pencemaran logam berat di perairan Indonesia mengalami peningkatan signifikan dalam beberapa dekade terakhir (KLHK, 2020). Misalnya, sebuah studi oleh Indrawati et al. (2020) menunjukkan bahwa konsentrasi Pb di beberapa pelabuhan di Indonesia telah melebihi batas aman yang ditetapkan oleh WHO (Indrawati et al., 2020). Penurunan kualitas air yang disebabkan oleh pencemaran logam berat ini dapat mengancam ekosistem laut dan kesehatan manusia (Mulyadi & Suryanto, 2022).

Kualitas air laut yang buruk tidak hanya berdampak pada ekosistem laut, tetapi juga pada kesehatan masyarakat yang bergantung pada sumber daya laut. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Setiawan (2014), terdapat korelasi antara tingkat pencemaran logam berat di perairan dan peningkatan kasus penyakit pada masyarakat pesisir. Di Jayapura, masyarakat setempat yang sering mengonsumsi hasil laut berisiko terpapar logam berat, yang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk gangguan saraf dan kerusakan ginjal.

Perairan Pelabuhan Kelas II Jayapura merupakan lokasi strategis yang mendukung aktivitas ekonomi dan transportasi (Pratama & Iskandar, 2021). Namun, aktivitas tersebut juga menjadi sumber utama pencemaran (Hastuti et al., 2020). Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa volume angkutan laut di pelabuhan ini meningkat sekitar 15% setiap tahun, yang berpotensi meningkatkan risiko pencemaran (BPS, 2022). Peningkatan aktivitas ini, jika tidak dikelola dengan baik, dapat memperburuk kualitas air laut di sekitar pelabuhan (Amrullah & Setyawan, 2021). Oleh karena itu, pengelolaan yang lebih efektif dan berkelanjutan sangat penting untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Prabowo & Firdaus, 2023).

Kondisi geografis dan iklim di Jayapura juga mempengaruhi distribusi dan konsentrasi logam berat di perairan. Menurut penelitian oleh Nugraha et al. (2021), curah hujan yang tinggi

di wilayah ini dapat mempercepat proses pelindian tanah yang terkontaminasi, sehingga meningkatkan kadar logam berat di perairan. Fenomena ini menunjukkan perlunya penelitian lebih lanjut untuk memahami dinamika pencemaran logam berat di daerah ini.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air dan kandungan logam berat timbal (Pb) di perairan Pelabuhan Kelas II Jayapura. Dengan menggunakan pendekatan ilmiah dan data terkini, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi kebijakan yang efektif untuk pengelolaan lingkungan di kawasan Pelabuhan kelas dua Jayapura.

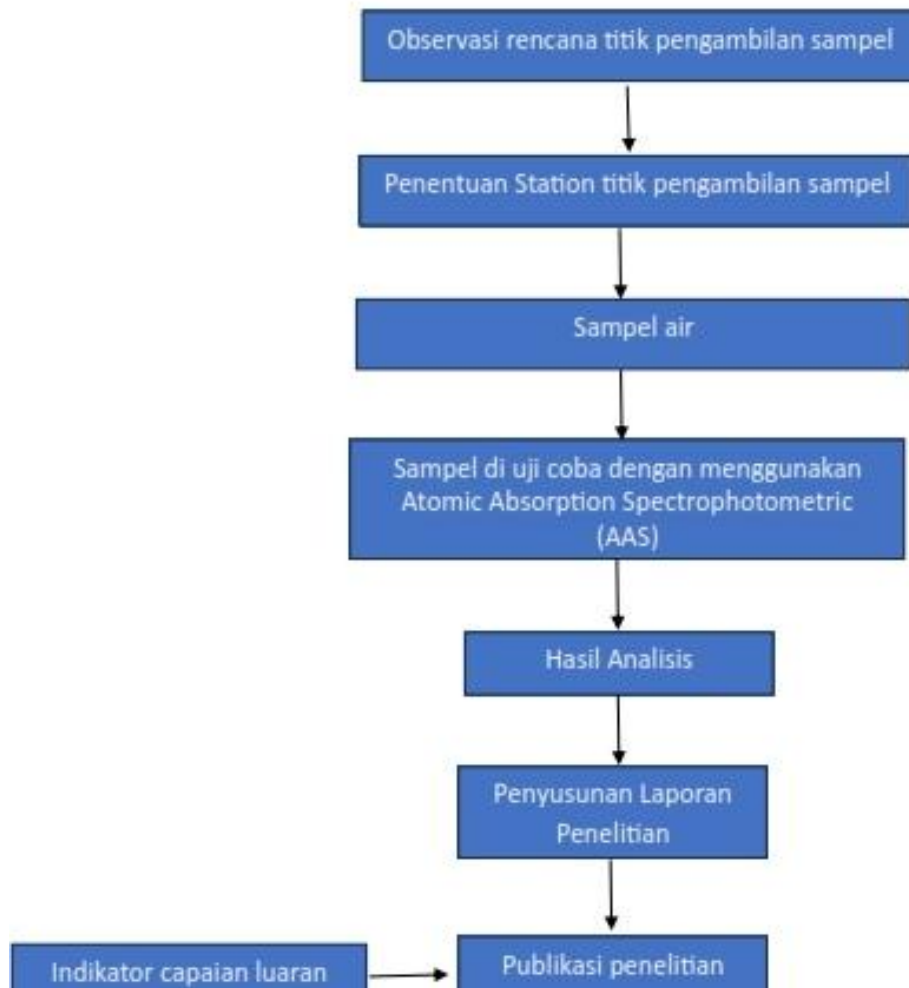
Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kualitas air dan kandungan logam berat timbal (Pb) di perairan Pelabuhan Kelas II Jayapura. Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk memperoleh data yang akurat mengenai kadar logam berat Timbal (Pb), pada air laut Pelabuhan kelas dua jayapura, sehingga dapat memberikan informasi tentang kondisi perairan Pelabuhan kelas dua Jayapura dan bermanfaat bagi pemerintah daerah dalam pengelolaan lingkungan di perairan Pelabuhan Jayapura. Serta dapat memberikan rekomendasi kebijakan yang efektif untuk pengelolaan lingkungan di kawasan Pelabuhan kelas dua Jayapura.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan April 2025. Pengambilan sampel air dilakukan di perairan Pelabuhan kelas II Jayapura. Jenis dari penelitian ini yaitu deskriptif yang dilakukan dengan cara observasi karena peneliti mengambil sampel secara langsung dari lapangan. Setelah itu dilakukan analisis di laboratorium. Sampel penelitian berupa sampel air. Rencananya akan terdapat 2 stasiun dengan setiap stasiun terdiri atas 3 sub stasiun pengambilan sampel. Penentuan lokasi ini didasarkan pada tingkat kemungkinan keberadaan limbah.

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup observasi, studi kepustakaan, dan pengujian sampel. Observasi dilakukan di perairan Pelabuhan Kelas II Jayapura dengan teknik purposive sampling untuk menentukan titik pengambilan sampel yang mewakili populasi yang diteliti. Selain itu, studi kepustakaan digunakan untuk mengumpulkan informasi yang relevan dari berbagai literatur, jurnal, dan karya tulis ilmiah. Pengujian sampel dilakukan untuk menganalisis kadar logam berat di air laut dan dibandingkan dengan standar baku mutu air laut wisata bahari yang tercantum dalam UU No. 51 Tahun 2004 Kementerian Lingkungan Hidup.

Instrumen penelitian yang digunakan terdiri dari alat dan bahan yang relevan dengan pengujian air, termasuk kamera, alat laboratorium seperti gelas kimia dan spektrofotometer serapan atom (SSA), serta bahan seperti air Pelabuhan Kelas II Jayapura, aquades, larutan asam nitrat pekat, dan larutan standar timbal (Pb). Teknik analisis data dilakukan dengan menggunakan rumus Konsentrasi SSA, dan hasilnya dianalisis untuk menggambarkan kadar logam berat serta faktor-faktor pencemaran yang ada di perairan tersebut. Prosedur penelitian melibatkan pengambilan sampel air, destruksi sampel dengan HNO₃, dan analisis menggunakan metode AAS untuk mengukur konsentrasi logam berat Pb. Prosedur dan langkah penelitian disajikan pada diagram alir berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan penelitian analisis kualitas air pada perairan pelabuhan kelas II Kota Jayapura telah selesai dilakukan. Pada laporan ini diberikan urutan hasil yang diperoleh mulai pengambilan sampel hingga hasil analisis data laboratorium. Hasil yang diperoleh meliputi nilai kualitas air yang terdiri atas suhu, pH, dissolved oxygen (DO), kecerahan, salinitas dan hasil uji kadar logam berat timbal (Pb) pada air laut di perairan pelabuhan kelas II Kota Jayapura. Hasil dari analisa parameter kualitas air pada perairan Pelabuhan kelas II Kota Jayapura menunjukkan nilai yang cukup beragam.

Tabel 1. Data Hasil Analisis Laboratorium

| No | Parameter | Satuan | Baku Mutu | Hasil Pengukuran |
|----------------|-----------|--------|-----------|------------------|
| Titik A | | | | |
| FISIKA | | | | |
| 1 | Suhu | °C | Deviasi 3 | 30,2 |
| 2 | Kecerahan | meter | >3 meter | 3,20 |
| KIMIA | | | | |
| 1 | pH | - | 6 – 9 | 6,54 |
| 2 | DO | mg/L | > 6 | 5,45 |
| 3 | Salinitas | PPT | Alami | 30 |
| 4 | Timbal | mg/L | 0,05 | 0,132 |

Analisis Kualitas Air dan Kandungan Logam Berat Timbal (PB) pada Air Laut di Perairan Pelabuhan Kelas II Jayapura Papua

| No | Parameter | Satuan | Baku Mutu | Hasil Pengukuran |
|----------------|-----------|--------|-----------|------------------|
| Titik B | | | | |
| FISIKA | | | | |
| 1 | Suhu | °C | Deviasi 3 | 31,5 |
| 2 | Kecerahan | meter | >3 meter | 3,40 |
| KIMIA | | | | |
| 1 | pH | - | 6 – 9 | 7,56 |
| 2 | DO | mg/L | > 6 | 7,50 |
| 3 | Salinitas | PPT | Alami | 34 |
| 4 | Timbal | mg/L | 0,05 | 0,141 |
| No | Parameter | Satuan | Baku Mutu | Hasil Pengukuran |
| Titik C | | | | |
| FISIKA | | | | |
| 1 | Suhu | °C | Deviasi 3 | 32,5 |
| 2 | Kecerahan | meter | >3 meter | 3,57 |
| KIMIA | | | | |
| 1 | pH | - | 6 – 9 | 7,60 |
| 2 | DO | mg/L | > 6 | 8,55 |
| 3 | Salinitas | PPT | Alami | 33 |
| 4 | Timbal | mg/L | 0,05 | 0,115 |

Pembahasan Tiap Parameter

Tiap parameter yang terukur baik di lapangan maupun di laboratorium, selanjutnya diklarifikasi dengan PP Nomor 22 Tahun 2021 Republik Indonesia mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan KepMen LH Nomor 51 Tahun 2004 mengenai Baku Mutu Air Laut Pelabuhan.

Suhu pada perairan pelabuhan kelas II Kota Jayapura berada pada kisaran 30,2-32,5°C. Menurut KepMen LH Nomor 51 Tahun 2004 mengenai Baku Mutu Air Laut Pelabuhan, standar baku mutu suhu pada suatu perairan yaitu alami. Standar alami tersebut yang dimana kondisi normal di alam dan bervariasi dalam sehari atau bervariasi karena musim menyesuaikan lingkungan perairan itu sendiri. Oleh karena itu, nilai analisis suhu yang diperoleh menunjukkan hasil yang baik sesuai dengan keadaan lingkungan yang ada. Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh nilai pH pada perairan pelabuhan kelas II Kota Jayapura berada pada kisaran 6,54-7,60. Menurut KepMen LH Nomor 51 Tahun 2004 mengenai Baku Mutu Air Laut Pelabuhan nilai standar baku mutu yang ditetapkan yaitu 6,5-8,5. Hasil yang diperoleh pada analisis tersebut menunjukkan memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh nilai dissolved oxygen (DO) pada perairan pelabuhan kelas II Kota Jayapura berada pada kisaran 5,45-8,55 mg/l. Nilai tersebut bervariasi menyesuaikan keadaan lingkungan yang ada saat itu. Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh nilai kecerahan pada perairan pelabuhan kelas II Kota Jayapura berada pada kisaran 3,20-3,57 meter. Hasil yang diperoleh tergolong sesuai dengan PP Nomor 22 Tahun 2021 mengenai penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup dan KepMen LH No. 51 Tahun 2004 area Pelabuhan yang dimana standar baku mutu untuk kecerahan yaitu >3 meter. Kemudian nilai salinitas di perairan pelabuhan kelas II Kota Jayapura berada pada kisaran 30-34 ppt. Sesuai dengan KepMen LH Nomor 51 Tahun 2004

mengenai Baku Mutu Air Laut Pelabuhan, standar baku mutu yang ditetapkan untuk salinitas yaitu alami atau kondisi normal di alam yang bervariasi dalam sehari atau karena musim.

Berdasarkan uji kadar logam timbal (Pb) yang ada pada air laut Dermaga pelabuhan kelas II Kota Jayapura, didapatkan bahwa nilai kandungan logam timbal (Pb) pada air laut sangat bervariasi pada setiap titik. Hasil yang diperoleh pada sampel ke-1 Titik A mengandung logam timbal sebanyak 0,132 ppm dan Titik B sebanyak 0,141 ppm. Kemudian sampel ke-3 Titik C nilai timbal adalah 0,115 ppm. Sesuai dengan PP Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan KepMen LH Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut Pelabuhan hasil yang diperoleh tersebut menyatakan bahwa air laut pada perairan pelabuhan kelas II Kota Jayapura mengandung logam timbal (Pb) yang telah melebihi standar baku mutu area pelabuhan yang telah ditetapkan sebesar 0,05 mg/l.

Adanya dampak penting terhadap kualitas perairan yang terjadi maka diperlukan adanya upaya pencegahan atau mitigasi yang dilakukan dengan tujuan untuk meminimalisir meningkatnya pencemaran laut. Menurut Siburian et al. (2017), yang menyatakan bahwa keseimbangan ekosistem laut dapat dipertahankan dan toksisitas lingkungan dapat dikurangi dengan tindakan yang dapat diambil untuk mengelola dampak penting pada kualitas perairan. Kemudian merujuk dalam Keputusan Menteri Perhubungan 215 Tahun 1987, yang menyatakan setiap pelabuhan diharapkan memiliki Reception Facilities.

Secara lebih spesifik fungsi Reception Facilities tersebut adalah sebagai fasilitas penerimaan limbah yang berasal dari berbagai sumber seperti toilet kapal, dapur kapal, mesin kapal dan limbah kargo. Kemudian Reception Facilities juga berfungsi sebagai wadah atau tempat untuk menyimpan limbah sementara sebelum diproses lebih lanjut. Selain itu fasilitas ini juga berfungsi sebagai tempat pengolahan limbah kapal yang diterima kemudian diproses dengan teknologi yang sesuai untuk memisahkan komponen berbahaya dan memprosesnya menjadi bahan yang lebih aman dan dapat di daur ulang. Dengan adanya fasilitas penerimaan yang memadai di area pelabuhan dapat membantu memastikan bahwa limbah kapal tidak mencemari lingkungan dan merusak ekosistem laut. Hal tersebut juga dapat membantu menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan sehat bagi masyarakat di sekitar pelabuhan.

Salah satu variabel yang dapat mempengaruhi munculnya pencemaran dalam air laut adalah adanya kegiatan pelabuhan seperti bongkar muat kapal. Hal tersebut terjadi ketika kegiatan yang menghasilkan limbah logam berat tidak dapat dikontrol dan akan menimbulkan penurunan kualitas air. Dengan adanya hal tersebut pemerintah Indonesia menerbitkan PP No. 21 Tahun 2010 mengenai Perlindungan Lingkungan Maritim. Peraturan tersebut disahkan dengan maksud untuk mencegah dan meminimalisir kontaminasi lingkungan air yang berasal dari berbagai aktivitas pelabuhan.

Menurut Malison (2017), yang menyatakan bahwa langkah-langkah penanggulangan pencemaran laut area pelabuhan dapat dilakukan dengan koordinasi antar instansi pemerintah dan kepolisian maritim dalam menindak tegas kasus-kasus pencemaran laut. Kemudian dapat dilakukan dengan menjaga kelestarian lingkungan laut serta melakukan monitoring atau pengawasan untuk mencegah dan menanggulangi bahaya pencemaran laut. Upaya lain yang dapat dilakukan yaitu dengan mengurangi penggunaan produk yang mengandung timbal seperti penggunaan cat dan anti karat pelapis kapal. Kemudian dapat dilakukan dengan

memperhatikan pengolahan limbah industri dengan baik dan benar untuk meminimalisir dampak terhadap lingkungan. Selain itu dapat dilakukan dengan mengurangi pencemaran dari aktivitas kapal yang dapat menyebabkan pencemaran timbal. Kemudian dapat dilakukan dengan meningkatkan kesadaran masyarakat dengan membuang sampah pada tempatnya, melakukan pengolahan sampah dan limbah dengan benar, serta mengurangi penggunaan bahan-bahan yang mengandung timbal. Selain itu dapat dilakukan dengan menggunakan alternatif yang lebih ramah lingkungan seperti penggunaan cat dan bahan bakar mesin yang tidak mengandung timbal.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nilai parameter kualitas perairan yang meliputi suhu pada kisaran 30,2-32,5°C, pH pada kisaran 6,54-7,60, Dissolved Oxygen (DO) pada kisaran 5,45-8,55 mg/l, kecerahan pada kisaran 3,20-3,57 meter dan salinitas berada pada kisaran 30-34 masih tergolong dalam kategori aman sesuai dengan standar baku mutu air laut area pelabuhan yang ditetapkan dalam PP Nomor 22 Tahun 2021 mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan KepMen LH Nomor 51 Tahun 2004 mengenai Baku Mutu Air Laut Pelabuhan. Kandungan logam berat timbal (Pb) pada air laut yang telah dilakukan uji laboratorium di Laboratorium Pendidikan Kimia Universitas Cenderawasih berada pada kisaran 0,115-0,141 mg/l.

Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan sampel masih melebihi batas standar baku mutu yang ditetapkan dalam PP Nomor 22 Tahun 2021 mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan KepMen LH Nomor 51 Tahun 2004 mengenai Baku Mutu Air Laut Pelabuhan. Oleh karena itu, perlu diadakannya perhatian khusus terhadap kandungan Pb yang telah melampaui batas serta pengawasan yang ketat terhadap tempat berlabuh kapal dan penggunaan bahan bakar. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dikatakan memberikan suatu indikasi bahwa aktivitas pelabuhan seperti bongkar muat barang, pencucian kapal, penggunaan bahan bakar, tumpahan bahan bakar, penggunaan cat dan anti karat pelapis kapal menggunakan alat berat seperti excavator dan wheel loader, kapal yang bersandar dan aktivitas kapal penumpang dapat mempengaruhi tingkat kadar timbal (Pb) pada air laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, S., & Setyawan, A. (2021). Impact of port activities on coastal water quality: A case study in Papua. *Marine Environmental Research*, 53(6), 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.mer.2021.03.011>
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Volume angkutan laut dan pencemaran di pelabuhan Indonesia*. <https://www.bps.go.id>
- Chandra, B. (2007). *Pengantar kesehatan lingkungan*. Penerbit Buku Kedokteran.
- Fadila, W. A., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Permasalahan kualitas air permukaan sebagai sumber kehidupan dalam menjaga kelestarian lingkungan. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 419–427.
- Hastuti, M., Hermawan, T., & Prasetyo, J. (2020). Environmental impact of port development on local ecosystems. *Journal of Environmental Pollution*, 58(1), 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.02.006>
- Hidayat, R., Wibowo, A., & Agustin, R. (2021). Environmental pollution in coastal areas: Impacts and mitigation strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12),

- 1624–1635. <https://doi.org/10.1016/j.espr.2021.01.006>
- Indrawati, S., Tanjung, E., & Salim, A. (2020). Heavy metal pollution in coastal areas of Indonesia: A review on Pb concentrations and environmental risks. *Journal of Marine Environmental Research*, 49(4), 220–231. <https://doi.org/10.1016/j.jmer.2020.05.001>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). *Pencemaran logam berat di perairan Indonesia: Laporan tahunan*. <https://www.menlhk.go.id>
- Malison, J. (2017). Penerapan PP Nomor 21 Tahun 2010 tentang perlindungan lingkungan laut dalam rangka kajian pencemaran laut dari kapal. *Jurnal Teknologi*, 16(2), 2114–2121.
- Mulyadi, D., & Suryanto, A. (2022). The effects of heavy metal contamination on marine ecosystems in Indonesia's port areas. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(3), 1235–1247. <https://doi.org/10.1016/j.etox.2021.11.005>
- Nurbaya, F., KM, S., Sari, D. P., & KM, S. K. M. M. (2023). *Parameter air dan udara serta uji kualitas air sungai*. PT Arr Rad Pratama.
- Prabowo, P., & Firdaus, A. (2023). Sustainable management strategies for coastal pollution in Indonesia's ports. *Environmental Management*, 40(4), 355–368. <https://doi.org/10.1016/j.envman.2023.01.007>
- Pratama, I., & Iskandar, A. (2021). Port operations and their environmental effects in eastern Indonesia. *Journal of Coastal Research*, 72(2), 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.jcor.2021.04.004>
- Rahman, A., & Putri, L. (2019). Impact of port development on coastal pollution in Papua: A case study on Jayapura Port. *Journal of Environmental Management*, 79(2), 244–257. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.004>
- Setiawan, H. (2014). Pencemaran logam berat di perairan pesisir Kota Makassar dan upaya penanggulangannya. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 5–6.
- Sibirian, R., Simatupang, L., & Bukit, M. (2017). Analisis kualitas perairan laut terhadap aktivitas di lingkungan Pelabuhan Waingapu–Alor Sumba Timur. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 23(1), 225–233. <https://doi.org/10.24114/jpkm.v23i1.6639>
- Yadnyawati, I. A. G., Winarti, N. N. S., Seniwati, D., Ngurah, I. G. A., & Surawati, N. M. (2023). Peranan keluarga menciptakan lingkungan sehat bagi anak. *Jurnal Widya Biologi*, 91–102.