

**SEBARAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd)
DI PERAIRAN PESISIR ANYER HINGGA PANIMBANG
PROVINSI BANTEN**

SKRIPSI

Oleh

**ARYANI DEVI CAHYANTI
NPM 2214201031**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**SEBARAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd)
DI PERAIRAN PESISIR ANYER HINGGA PANIMBANG
PROVINSI BANTEN**

Oleh

**ARYANI DEVI CAHYANTI
NPM 2214201031**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERIKANAN**

Pada

**Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

SEBARAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd) DI PERAIRAN PESISIR ANYER HINGGA PANIMBANG PROVINSI BANTEN

Oleh

ARYANI DEVI CAHYANTI

Wilayah pesisir Anyer hingga Panimbang, Provinsi Banten, berpotensi tercemar logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang berasal dari aktivitas industri aki dan baterai, peleburan logam, penggunaan cat dan pigmen, galangan kapal, industri pelapisan logam, pupuk fosfat, serta industri plastik di sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pola sebaran spasial dan temporal Pb dan Cd pada perairan pesisir Anyer hingga Panimbang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deskriptif kuantitatif dengan analisis spasial. Pengolahan dan penyajian data dilakukan menggunakan perangkat lunak pemetaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara spasial konsentrasi Pb tertinggi teridentifikasi di perairan Pantai Laguna dan Teluk Lada, sedangkan konsentrasi Cd tertinggi ditemukan di perairan Pantai Kosambi dan sekitar PLTU Labuan. Secara temporal, konsentrasi Pb cenderung menurun selama periode 2023–2025, sementara konsentrasi Cd meningkat pada tahun 2024 sebelum kembali menurun pada tahun 2025. Konsentrasi Pb pada umumnya masih memenuhi baku mutu air laut ($\leq 0,008$ mg/L), sedangkan Cd pada beberapa lokasi sedikit melampaui ambang batas ($0,001$ mg/L) berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021. Kondisi ini menunjukkan bahwa perairan pesisir Anyer–Panimbang masih optimal untuk mendukung biota perairan dan kegiatan budidaya, namun pemantauan kualitas perairan secara berkelanjutan tetap diperlukan untuk mengantisipasi perubahan konsentrasi logam berat di masa mendatang.

Kata Kunci: Logam Berat, Pb, Cd, Perairan Anyer-Panimbang

ABSTRACT

DISTRIBUTION OF THE HEAVY METALS LEAD (Pb) AND CADMIUM (Cd) IN COASTAL WATERS FROM ANYER TO PANIMBANG BANTEN PROVINCE

By

ARYANI DEVI CAHYANTI

The coastal area from Anyer to Panimbang, Banten Province, is potentially contaminated with heavy metals lead (Pb) and cadmium (Cd) originating from the battery and battery industry, metal smelting, paint and pigment use, shipyards, metal plating, phosphate fertilizers, and the surrounding plastic industry. This study aims to examine the spatial and temporal distribution patterns of Pb and Cd in the coastal waters from Anyer to Panimbang. The method used in this study is a quantitative descriptive approach with spatial analysis. Data processing and presentation were carried out using mapping software. The results showed that spatially the highest Pb concentrations were identified in the waters of Laguna Beach and Lada Bay, while the highest Cd concentrations were found in the waters of Kosambi Beach and around the Labuan PLTU. Temporally, Pb concentrations tended to decrease during the 2023–2025 period, while Cd concentrations increased in 2024 before decreasing again in 2025. Pb concentrations generally still meet seawater quality standards (≤ 0.008 mg/L), while Cd in several locations slightly exceeds the threshold (0.001 mg/L) based on Government Regulation Number 22 of 2021. This condition indicates that the Anyer–Panimbang coastal waters are still optimal for supporting aquatic biota and cultivation activities, but continuous monitoring of water quality is still needed to anticipate changes in heavy metal concentrations in the future.

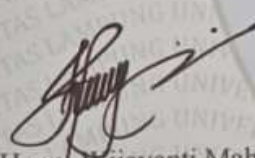
Keywords: Heavy Metals, Pb, Cd, Anyer-Panimbang Waters

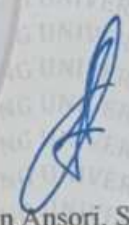
Judul skripsi : SEBARAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN
KADMIUM (Cd) DI PERAIRAN PESISIR
ANYER HINGGA PANIMBANG PROVINSI
BANTEN

Nama Mahasiswa : **Aryani Devi Cahyanti**
Nomor Pokok Mahasiswa : 2214201031
Program Studi : Sumberdaya Akuatik
Fakultas : Pertanian

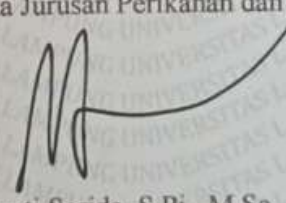
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Henni Wijayanti Maharani, S.Pi., M.Si.
NIP. 198101012008012042


Sofian Ansori, S.Si., M.Si.
NIP. 199101042015031001

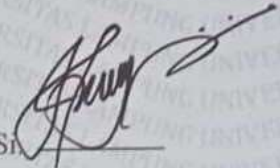
2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan


Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198309232006042001

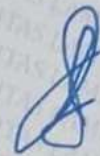
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Henni Wijayanti Maharani, S.Pi., M.Si.



Sekretaris : Sofian Ansori, S.Si., M.Si.



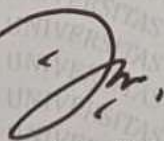
Penguji Bukan Pembimbing : Dr. Qadar Hasani, S.Pi., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
196411181989021002



Tanggal lulus ujian skripsi: 20 Januari 2024



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN PERIKANAN DAN KELAUTAN

Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145 Telp (0721) 704946 Fax (0721) 770347

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi yang berjudul **“Sebaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di Perairan Pesisir Anyer hingga Panimbang, Provinsi Banten”** tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh pihak lain untuk mendapatkan karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebut dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata dalam naskah skripsi ini ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur fabrikasi, falsifikasi, plagiat dan konflik kepentingan saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Bandar Lampung, 12 Februari 2026

Yang membuat pernyataan

Aryani Devi Cahyanti
NPM. 2214201031

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Daya Murni, Kecamatan Tumijajar, Kabupaten Tulang Bawang Barat, Provinsi Lampung, pada 15 November 2004, sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Sucahyono dan Ibu Priyanti Wijayanti. Penulis menempuh pendidikan formal di Taman Kanak-kanak Al Hidayah Daya Murni pada tahun 2009–2010, kemudian melanjutkan pendidikan dasar di SDN 04 Daya Murni pada tahun 2010–2016. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMPN 1 Tumijajar pada tahun 2016–2019, dan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Tumijajar pada tahun 2019–2022.

Pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Program Studi Sumberdaya Akuatik, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (HIMAPIK) sebagai anggota pada tahun 2024, serta aktif dalam organisasi Pagar Nusa Universitas Lampung sebagai sekretaris pada tahun 2023.

Penulis juga pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Ekologi Perairan pada tahun 2023 dan mata kuliah Mikrobiologi Akuatik pada tahun 2024. Selain itu, penulis telah mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Ratu Jaya, Kecamatan Sungkai Tengah, Kabupaten Lampung Utara, Provinsi Lampung selama 40 hari pada bulan Januari hingga Februari 2025. Penulis juga melaksanakan kegiatan Praktik Umum dan riset di Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang yang berlokasi di Jalan Raya Carita, Desa Umbul Tanjung, Kecamatan Cinangka, Kabupaten Serang, Provinsi Banten.

Untuk orang tua tercinta, Ibu Priyanti Wijayanti dan Bapak Sucahyono, terima kasih atas doa yang tak pernah berhenti, pengorbanan yang tak terhitung, serta dukungan sepenuh hati yang menjadi cahaya dalam perjalanan penulis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “*Sebaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di Perairan Pesisir Anyer hingga Panimbang, Provinsi Banten*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana perikanan di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan FP Unila;
2. Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan;
3. Henni Wijayanti Maharani, S.Pi., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama;
4. Sofian Ansori, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Pembantu/Sekretaris;
5. Dr. Qadar Hasani, S.Pi., M.Si. selaku Penguji Utama dan Pembimbing Akademik;
6. Bapak Sucahyono dan Ibu Priyanti Wijayanti selaku orangtua;
7. drh. Toha Tusihadi selaku Kepala BPKIL Serang beserta seluruh staf dan analis laboratorium.

Bandar Lampung, Januari 2026

Aryani Devi Cahyanti

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat	3
1.4 Kerangka Pikir	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Logam Berat	5
2.1.1 Timbal (Pb)	6
2.1.2 Kadmium (Cd)	7
2.2 Akumulasi Logam Berat	7
2.3 <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS)	9
2.4 Parameter Kualitas Air	10
2.4.1 Suhu.....	10
2.4.2 Potensial Hidrogen (pH).....	10
2.4.3 Oksigen Terlarut.....	12
2.4.4 Salinitas	12
2.4.5 Nitrat	13
2.4.6 Ortofosfat	14
2.4.7 Curah Hujan	15
III. METODE PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat	16
3.2 Bahan dan Alat	18
3.2.1 Bahan	18
3.2.2 Alat.....	19
3.3 Rancangan Penelitian	20
3.4 Prosedur Penelitian.....	21
3.4.1 Pengujian sampel data primer	21
3.4.2 Pengumpulan Data Sekunder	24
3.4.2 Analisis Deskriptif Kuantitatif	25
3.4.3 Analisis Spasial	25

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	27
4.2 Parameter Kualitas Air	28
4.2.1 Suhu	28
4.2.2 Potensial Hidrogen (pH)	30
4.2.3 Oksigen terlarut.....	31
4.2.4 Salinitas	33
4.2.5 Nitrat	34
4.2.6 Ortofosfat	35
4.2.7 Curah hujan	37
4.3 Sebaran Timbal (Pb) di air pada Tahun 2023 – 2025	38
4.4 Sebaran Kadmium (Cd) di air pada Tahun 2023 – 2025	42
V. PENUTUP.....	47
5.1 Simpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Titik koordinat lokasi pengambilan sampel	18
2. Bahan yang digunakan dalam penelitian	18
3. Alat yang digunakan dalam penelitian	19
4. Suhu di perairan pesisir Anyer hingga Panimbang pada tahun 2023-2025	30
5. Potensial Hidrogen (pH) di perairan pesisir Anyer hingga Panimbang pada tahun 2023-2025	31
6. Konsentrasi oksigen terlarut di perairan pesisir Anyer hingga Panimbang pada tahun 2023-2025	33
7. Salinitas di perairan pesisir Anyer hingga Panimbang pada tahun 2023-2025	34
8. Konsentrasi nitrat di perairan pesisir Anyer hingga Panimbang pada tahun 2023-2025	35
9. Konsentrasi ortofosfat di perairan pesisir Anyer hingga Panimbang pada tahun 2023-2025	36
10. Curah Hujan di Perairan Pesisir Anyer hingga Panimbang tahun 2023-2025	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian	4
2. Peta lokasi penelitian.....	16
3. Kondisi lokasi stasiun penelitian: (a) Stasiun 1, (b) Stasiun 2, (c) Stasiun 3, (d) Stasiun 4, (e) Stasiun 5, dan (f) Stasiun 6.....	28
4. Sebaran Timbal (Pb) pada tahun 2023-2025: (a) Timbal (Pb) bulan Mei 2023, (b) Timbal (Pb) bulan September 2023, (c) Timbal (Pb) bulan Mei 2024, (d) Timbal (Pb) bulan September 2024, (e) Timbal (Pb) bulan Mei 2025, dan (f) Timbal (Pb) bulan September 2025.....	38
5. Sebaran Kadmium (Cd) pada tahun 2023-2025: (a) Kadmium (Cd) bulan Mei 2023, (b) Kadmium (Cd) bulan September 2023, (c) Kadmium (Cd) bulan Mei 2024, (d) Kadmium (Cd) bulan September 2024, (e) Kadmium (Cd) bulan Mei 2025, (f) Kadmium (Cd) bulan September 2025.....	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Pb dan Cd di Perairan Anyer hingga Panimbang.....	60
2. Dokumentasi Penelitian.....	61

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Wilayah pesisir Anyer hingga Panimbang di Provinsi Banten merupakan kawasan strategis yang membentang sepanjang pesisir Selat Sunda, dari Kecamatan Anyer di Kabupaten Serang hingga Kecamatan Panimbang di Kabupaten Pandeglang, dengan panjang garis pantai sekitar 60–70 km. Kawasan ini ditandai oleh perkembangan aktivitas sosial ekonomi yang cukup intensif. Data Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Banten periode 2023 menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan jumlah penduduk serta aktivitas ekonomi pesisir, terutama pada sektor perikanan, dan kawasan industri. Sepanjang wilayah tersebut berkembang berbagai aktivitas antropogenik yang berpotensi menjadi sumber pencemar logam berat, seperti industri aki dan baterai, peleburan dan pelapisan logam, penggunaan cat dan pigmen, galangan kapal, pemanfaatan pupuk fosfat, industri plastik, serta keberadaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di kawasan pesisir (Javed et al., 2018). Aktivitas tersebut berpotensi meningkatkan masukan logam berat ke perairan pesisir melalui limbah domestik dan industri, aktivitas perkapalan, serta limpasan daratan, yang selanjutnya mengalami proses fisikokimia dan transport massa air sehingga berkontribusi terhadap penyebaran serta akumulasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) di perairan pesisir dan sedimen dasar (Bayu & Andriyono, 2022).

Kondisi ini tentu menuntut perhatian lebih terhadap jenis logam berat yang umum mencemari perairan. Salah satu kelompok logam berat yang sering ditemukan dan bersifat berbahaya adalah timbal (Pb) dan kadmium (Cd). Secara alami logam berat memang dapat ditemukan di lingkungan (Nursagita & Titah, 2021), namun aktivitas manusia telah meningkatkan jumlahnya secara signifikan. Kedua logam tersebut tergolong toksik dan mudah terakumulasi dalam tubuh organisme

(bioakumulatif), bahkan pada kadar yang sangat rendah. Timbal (Pb), misalnya, dikenal sebagai logam berat yang dapat bertahan lama dalam perairan sebelum terendapkan atau teradsorpsi melalui berbagai reaksi fisik dan kimia (Maharani et al., 2024). Kadmium (Cd) menyebabkan gangguan kesehatan hingga keracunan kronis pada manusia jika masuk ke dalam rantai makanan.

Berdasarkan sifat dan dampak logam berat yang kompleks tersebut, penting untuk memahami bagaimana logam berat menyebar di perairan. Penyebarannya tidak terlepas dari pengaruh berbagai kondisi lingkungan seperti arus, suhu, salinitas, pH, dan kadar oksigen terlarut (DO). Curah hujan juga berperan besar, karena saat musim hujan, konsentrasi logam berat umumnya menurun akibat proses pengenceran, sedangkan pada musim kemarau justru cenderung meningkat karena air menjadi lebih terkonsentrasi. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi Pb dan Cd sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan yang dinamis, sehingga diperlukan pemantauan yang detail dan berkelanjutan untuk mengantisipasi dampaknya terhadap kualitas air dan biota perairan.

Berdasarkan kompleksitas permasalahan pencemaran logam berat serta tingginya aktivitas manusia di wilayah pesisir Anyer hingga Panimbang, Provinsi Banten, diperlukan suatu kajian ilmiah yang mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai pola sebaran logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) di perairan tersebut. Kurangnya data spasial yang akurat mengenai distribusi kedua logam berbahaya ini dapat menghambat upaya pengendalian pencemaran serta perlindungan ekosistem pesisir secara efektif. Oleh karena itu, penelitian ini disusun dengan judul “Sebaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di Perairan Pesisir Anyer hingga Panimbang, Provinsi Banten” sebagai bentuk kontribusi ilmiah dalam menyediakan informasi yang dapat dijadikan dasar untuk merumuskan kebijakan pengelolaan lingkungan pesisir yang lebih bijaksana, berbasis data, dan berkelanjutan.

1.2 Tujuan

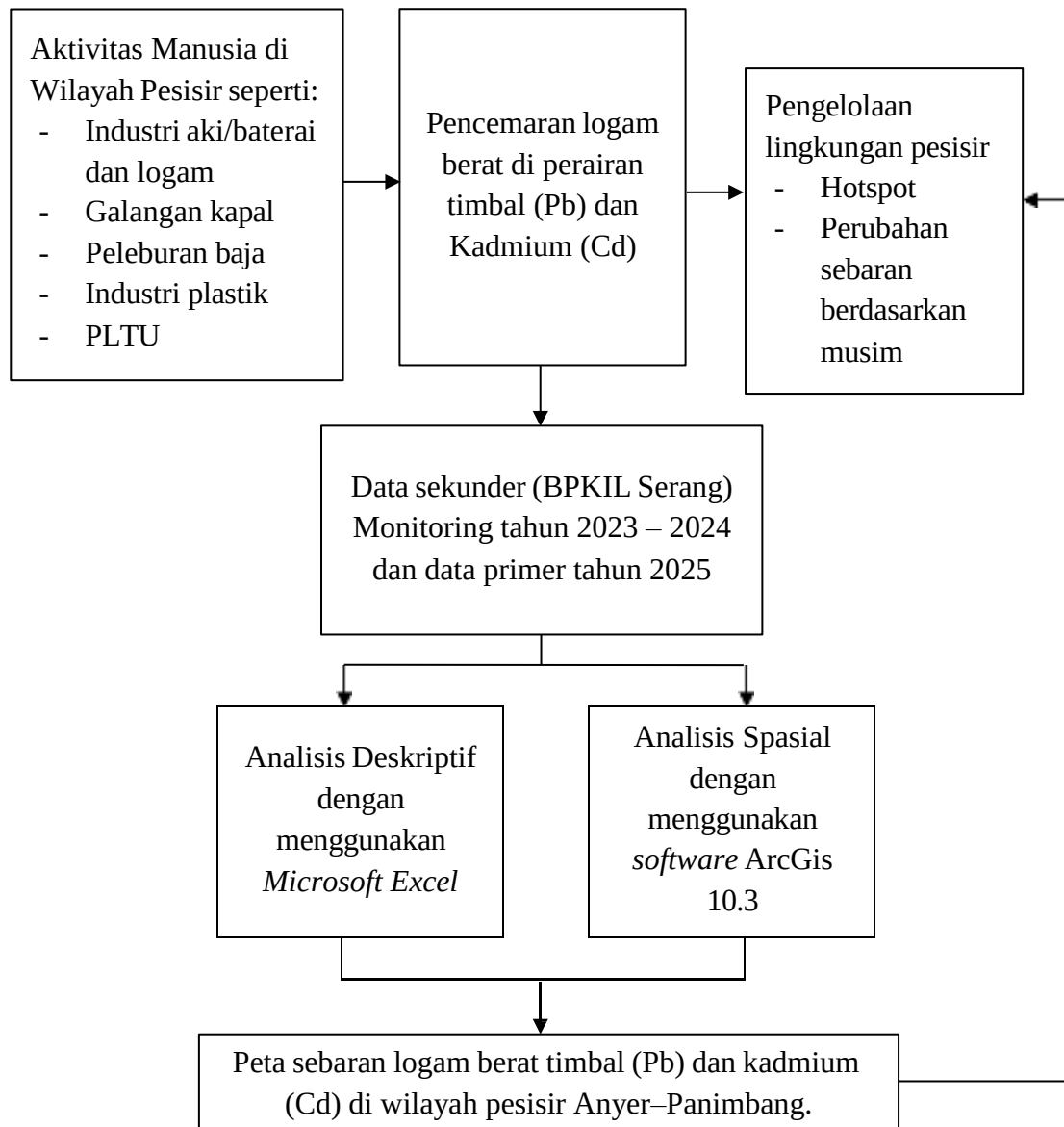
Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pola sebaran spasial dan temporal logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada air di perairan pesisir Anyer hingga Panimbang, Provinsi Banten.

1.3 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pola sebaran spasial dan temporal logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) di perairan pesisir Anyer–Panimbang sebagai dasar pemantauan kualitas perairan dan upaya pengelolaan lingkungan pesisir.

1.4 Kerangka Pikir

Peningkatan aktivitas manusia di wilayah pesisir, seperti industri aki dan baterai, peleburan logam, penggunaan cat dan pigmen, galangan kapal, pelapisan logam, pupuk fosfat, industri plastik, serta operasional PLTU, berpotensi meningkatkan beban logam berat di perairan. Timbal (Pb) dan kadmium (Cd) bersifat toksik, persisten, dan bioakumulatif sehingga berisiko terhadap ekosistem laut dan kesehatan manusia. Fenomena ini menjadi dasar penyusunan kerangka pikir penelitian (Gambar 1) yang menggambarkan hubungan antara sumber pencemar, jalur masuk logam berat melalui aliran sungai, limpasan permukaan, dan deposisi atmosfer, serta proses dispersi oleh arus, pasang surut, dan dinamika musim yang menyebabkan variasi konsentrasi secara spasial dan temporal di perairan Anyer hingga Panimbang, Provinsi Banten. Berdasarkan kerangka tersebut, penelitian ini menganalisis pola sebaran Pb dan Cd menggunakan data sekunder BPKIL Serang tahun 2023–2024 dan data primer tahun 2025 secara deskriptif dan spasial dengan ArcGIS untuk mengidentifikasi distribusi, hotspot, serta perbedaan konsentrasi pada Mei dan September, sehingga hasilnya dapat mendukung evaluasi kualitas perairan dan pengelolaan lingkungan pesisir secara berkelanjutan.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Logam berat merupakan senyawa anorganik yang bersifat toksik dan umumnya memiliki kelarutan rendah di dalam air. Karakteristik ini menyebabkan logam berat sukar mengalami degradasi alami, sehingga keberadaannya cenderung persisten dan terakumulasi di lingkungan perairan dalam jangka waktu yang panjang. Di perairan, logam berat dapat berada dalam fase terlarut pada kolom air atau berasosiasi dengan partikel tersuspensi. Ikatan tersebut mendorong logam berat untuk mengendap dan terakumulasi di sedimen dasar perairan. Kondisi ini menjadikan sedimen sebagai kompartemen utama penyimpan logam berat sekaligus sumber pencemar sekunder apabila terjadi resuspensi akibat aktivitas fisik atau dinamika hidrodinamika perairan. Akumulasi logam berat tersebut berpotensi menurunkan kualitas perairan serta memberikan dampak negatif terhadap keseimbangan ekosistem dan organisme akuatik (Bubala et al., 2019).

Logam berat juga dapat terakumulasi di dalam jaringan organisme hidup melalui penyerapan langsung dari media air maupun secara tidak langsung melalui rantai makanan. Proses bioakumulasi dan biomagnifikasi ini menyebabkan konsentrasi logam berat meningkat pada tingkat trofik yang lebih tinggi, sehingga berpotensi menimbulkan efek toksik, baik pada organisme perairan maupun pada manusia sebagai konsumen akhir (Kurniawan & Mustikasari, 2019).

Logam berat secara alami terdapat di perairan dalam konsentrasi rendah yang umumnya masih berada di bawah ambang batas toksik. Logam berat bersifat persisten sehingga tidak dapat terurai secara alami di lingkungan perairan. Pada konsentrasi tertentu, beberapa jenis logam berat berperan dalam menunjang proses metabolisme organisme. Peningkatan konsentrasi logam berat hingga melampaui ambang batas yang ditetapkan menyebabkan logam tersebut bersifat toksik dan

dapat menimbulkan gangguan fisiologis hingga keracunan. Suatu logam berat dikategorikan sebagai pencemar ketika konsentrasinya melebihi baku mutu lingkungan yang berlaku. Keberadaan logam berat di perairan bersumber dari proses alami maupun dari aktivitas manusia (Javed et al., 2018).

2.1.1 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan logam berat yang digunakan sebagai aditif dalam bahan bakar kendaraan, seperti senyawa tetraethyl dan tetramethyl timbal, untuk meningkatkan performa pembakaran (Putri et al., 2024). Selain dari aktivitas transportasi laut, timbal juga dilepaskan ke lingkungan perairan melalui emisi dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batu bara. Pembakaran batu bara menghasilkan abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) yang mengandung logam berat, termasuk timbal, yang dapat terdispersi ke lingkungan perairan melalui aliran permukaan atau deposisi atmosfer. Menurut Triyanto et al. (2024), salah satu jenis logam berat yang bersifat non-esensial adalah Timbal (Pb). Pencemaran Pb di perairan dapat berasal dari berbagai aktivitas, seperti pembuangan air ballast dari kapal, limbah industri yang dibuang ke laut, kegiatan pengeboran minyak, serta limbah dari penggunaan pestisida dan aktivitas pertanian. Timbal dapat masuk secara alami ke perairan melalui pengendapan dari atmosfer akibat hujan, serta pelapukan batuan mineral oleh angin dan gelombang (Azizah & Maslahat, 2021).

Timbal (Pb) sebagai salah satu logam berat di perairan akan melalui tiga tahapan proses, yakni pengendapan, penjerapan (adsorpsi), dan penyerapan (absorpsi) oleh organisme yang hidup di dalamnya. Pada umumnya, logam berat memiliki kelarutan yang tinggi dalam air, sehingga berpotensi membahayakan kehidupan organisme akuatik (Juharna et al., 2022). Akumulasi timbal di lingkungan perairan dapat menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan manusia. Paparan timbal dapat menghambat pembentukan hemoglobin, menyebabkan anemia, merusak sistem saraf pusat dan perifer, ginjal, serta sistem reproduksi. Pada anak-anak, paparan timbal dapat menyebabkan gangguan perkembangan, cacat rangka, dan kerusakan sel somatik (Fitria et al., 2023). Selain itu, timbal yang terakumulasi dalam tubuh organisme akuatik dapat masuk ke rantai makanan, meningkat-

kan risiko toksisitas bagi organisme tingkat trofik yang lebih tinggi, termasuk manusia yang mengonsumsi hasil perairan tersebut (Syafriiliansyah & Purnomo, 2022).

2.1.2 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan logam berwarna putih keperakan yang bersifat lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa, dan mudah bereaksi membentuk senyawa oksida saat dipanaskan. Dalam lingkungan perairan, kandungan kadmium umumnya berasal dari aktivitas antropogenik, terutama akibat pembuangan limbah domestik dan industri (Jais et al., 2020). Beberapa sektor industri seperti tekstil, baterai, cat, dan plastik diketahui berkontribusi terhadap pelepasan kadmium ke lingkungan melalui limbah cair (Indirawati, 2017). Kadmium yang telah masuk ke perairan dapat mengalami proses bioakumulasi, tidak hanya dalam sedimen tetapi juga pada organisme akuatik seperti plankton, moluska, dan ikan. Keberadaan kadmium dalam rantai makanan ini meningkatkan risiko toksisitas bagi organisme tingkat trofik yang lebih tinggi, termasuk manusia yang mengonsumsi hasil perairan (Yang et al., 2025).

Kadmium sebagai logam berat bersifat toksik dan terakumulasi di jaringan tubuh organisme secara bertahap. Logam ini sulit dieliminasi oleh tubuh, sehingga paparan kronis dapat menyebabkan kerusakan pada berbagai organ vital, seperti ginjal, tulang, hati, jantung, otak, testis, serta sistem peredaran darah (Huang et al., 2017). Kadmium juga diketahui dapat mengganggu fungsi hormonal dan sistem reproduksi. Paparan kadmium dalam jumlah tertentu berpotensi menimbulkan gangguan psikologis, yang diduga berkaitan dengan kemiripan sifat kimianya dengan unsur seng yang berperan penting dalam fungsi neurologis (Ali et al., 2023).

2.2 Akumulasi Logam Berat

Akumulasi logam berat di lingkungan perairan kini menjadi isu yang sangat mengkhawatirkan karena berpotensi menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan manusia (Azaharah & Ameliyah, 2025). Logam berat seperti kadmium (Cd) dan timbal (Pb) kerap terdeteksi dalam air, dan karena sifatnya yang dapat

terakumulasi serta diserap oleh organisme akuatik, keberadaannya menimbulkan kekhawatiran yang besar (Siaka et al., 2016). Salah satu contohnya adalah logam timbal, yang seiring waktu dapat mengendap di dasar perairan. Logam berat bersifat non-biodegradable, sehingga tidak dapat terurai secara alami dan cenderung menumpuk di lingkungan perairan dalam bentuk sedimen. Sedimen ini kemudian berperan sebagai reservoir atau sumber sekunder yang dapat melepaskan kembali logam berat ke kolom air, tergantung pada kondisi fisiko-kimia perairan.

Berbagai aktivitas antropogenik yang berkontribusi terhadap pencemaran ini antara lain berasal dari korosi logam tua, emisi dari kendaraan bermotor, pengangkatan kembali debu tanah yang telah terkontaminasi timbal, aktivitas pelayaran dan navigasi kapal, proses pengecatan kapal, kegiatan bongkar muat batu bara kokas, aktivitas di pelabuhan perikanan, penggunaan bahan bakar dan pupuk, serta kegiatan transportasi yang berkaitan dengan pertambangan (Razi et al., 2023).

Logam berat yang masuk ke lingkungan perairan, baik melalui sungai maupun laut, akan mengalami berbagai proses fisik, kimia, dan biologis yang menentukan nasibnya di dalam ekosistem akuatik. Salah satu proses utama adalah pengendapan, yaitu pergerakan logam berat dari kolom air menuju sedimen dasar perairan. Proses ini umumnya terjadi karena logam berat cenderung berikatan dengan partikel tersuspensi, seperti lumpur halus, bahan organik, atau mineral, melalui mekanisme adsorpsi, yaitu proses melekatnya molekul pada permukaan zat lain (Fendjalang et al., 2025). Partikel tersuspensi yang telah terikat logam berat ini kemudian mengendap ke dasar perairan membentuk sedimen yang mengandung konsentrasi pencemar yang tinggi (Haryati et al., 2022).

Logam berat dapat diserap langsung oleh organisme akuatik, seperti fitoplankton, zooplankton, bivalvia, ikan, dan organisme lainnya, melalui proses absorpsi (proses masuknya zat ke dalam volume atau tubuh zat lain) (Liesdiawan et al., 2025). Ketika logam berat sudah berada dalam tubuh organisme, terjadi proses bioakumulasi, dan jika terus bergerak ke tingkat trofik yang lebih tinggi, akan menyebabkan biomagnifikasi, yang berbahaya bagi makhluk hidup, termasuk manusia yang mengonsumsi hasil perairan tersebut (Ouyang et al., 2023).

Logam berat yang berada di perairan tidak selalu dalam bentuk bebas atau larut sempurna, melainkan dapat bereaksi dengan ion-ion lain yang ada di dalam air, seperti ion karbonat (CO_3^{2-}), hidroksida (OH^-), dan klorida (Cl^-). Ion-ion ini berperan dalam membentuk senyawa kompleks atau senyawa tidak larut (presipitat), seperti PbCO_3 atau $\text{Cd}(\text{OH})_2$, sehingga mempercepat proses pengendapan logam berat ke dasar perairan (Rahayu & Mangkoedihardjo, 2022). Namun demikian, kondisi lingkungan seperti pH, suhu, salinitas, dan potensi oksidasi reduksi (redoks) juga dapat memengaruhi kestabilan logam berat tersebut di dalam sedimen. Dalam kondisi tertentu, logam berat dapat mengalami remobilisasi dari sedimen kembali ke kolom air.

2.3 *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*

Metode *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)* merupakan teknik yang tepat dan umum digunakan untuk analisis kadar logam dalam berbagai jenis sampel, termasuk sampel perairan. Metode ini memiliki sejumlah keunggulan, antara lain tingkat sensitivitas yang tinggi, akurasi yang baik, serta kemampuan analisis yang cepat dan teliti. Selain itu, prosedur pelaksanaannya relatif sederhana dan efisien, karena tidak memerlukan tahap pemisahan unsur logam sebelum dilakukan pengukuran. Keunggulan-keunggulan tersebut menjadikan AAS sebagai salah satu metode yang banyak digunakan dalam analisis logam berat di bidang lingkungan, industri, maupun penelitian akademik (Purnawija et al., 2021).

Teknik *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)* merupakan metode analitik yang banyak digunakan untuk mengukur kadar logam berat dalam berbagai jenis sampel, termasuk air, sedimen, dan jaringan biota. Metode ini bekerja berdasarkan prinsip penyerapan cahaya oleh atom bebas dari unsur logam yang dianalisis, di mana setiap unsur menyerap panjang gelombang cahaya tertentu secara spesifik (Nurhamiddin & Ibrahim, 2018). Atomisasi sampel dilakukan melalui nyala api atau tungku grafit untuk mengubah unsur logam menjadi bentuk atom bebas. Teknik *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)* memiliki sensitivitas yang tinggi, sehingga mampu mendeteksi logam berat dalam konsentrasi yang sangat rendah, serta memberikan hasil yang akurat dan presisi. Karena keandalannya, *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)* sering digunakan da-

lam pemantauan kualitas lingkungan, analisis pangan, serta penelitian di bidang kesehatan dan industri (Razi et al., 2023).

2.4 Parameter Kualitas Air

2.4.1 Suhu

Suhu adalah ukuran derajat panas atau dinginnya suatu benda yang berperan penting dalam berbagai proses biologis dan fisik, termasuk dalam lingkungan budidaya. Sebagai faktor fisik, suhu secara langsung memengaruhi laju pertumbuhan organisme melalui pengaruhnya terhadap kecepatan reaksi kimia dalam tubuh serta kestabilan struktur molekul seperti protein. Suhu yang optimal dapat mendukung metabolisme dan aktivitas fisiologis organisme budidaya secara efisien, sedangkan suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat menghambat pertumbuhan, menyebabkan stres, bahkan kematian. Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian suhu menjadi aspek penting dalam pengelolaan kualitas lingkungan budidaya (Naillah et al., 2017).

Peningkatan suhu perairan dapat memperbesar risiko akumulasi dan toksisitas logam berat terhadap organisme akuatik. Hal ini terjadi karena suhu yang lebih tinggi cenderung meningkatkan laju metabolisme organisme air, sehingga mempercepat proses penyerapan logam berat ke dalam jaringan tubuh. Selain itu, suhu tinggi juga dapat meningkatkan kelarutan dan mobilitas logam berat di dalam air, membuatnya lebih tersedia secara hayati dan mudah masuk ke rantai makanan. Sedangkan suhu rendah cenderung menurunkan kelarutan dan memperlambat bioakumulasi. Dalam jangka panjang, kombinasi antara peningkatan suhu dan konsentrasi logam berat ini dapat memperburuk dampak toksik, mengganggu fungsi fisiologis, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup organisme budidaya (Sholihah & Irawanto, 2025).

2.4.2 Potensial Hidrogen (pH)

Potensial hidrogen (pH) merupakan parameter kimia yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan berdasarkan konsentrasi ion hidrogen (H^+) yang terkandung di dalamnya. Nilai pH sangat penting dalam lingkungan

perairan karena memengaruhi reaksi kimia, ketersediaan nutrisi, serta tingkat toksisitas senyawa seperti amonia bagi organisme akuatik (Naillah et al., 2017). Derajat keasaman (pH) merupakan parameter kimia yang menggambarkan konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam suatu larutan. Nilai pH bersifat dinamis dan dapat mengalami fluktuasi dalam kurun waktu tertentu. Perubahan pH dipengaruhi oleh suhu, aktivitas dekomposisi bahan organik, proses fotosintesis, serta masuknya unsur atau senyawa asing ke dalam perairan. Faktor-faktor ini secara langsung maupun tidak langsung dapat memengaruhi keseimbangan kimia dalam ekosistem akuatik (Sudewa & Hadiatna, 2017).

Kondisi pH air laut merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi kelarutan dan ketersediaan hayati logam berat di lingkungan perairan (Nindyapuspa & Ni'am, 2017). Semakin rendah nilai pH, maka tingkat keasaman air akan meningkat, yang menyebabkan logam berat lebih mudah terlarut dalam bentuk ionik (Kurniawan & Mulyanto, 2023). Dalam bentuk ion ini, logam berat seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd) menjadi lebih reaktif dan mudah diserap oleh organisme akuatik. Logam-logam tersebut dapat masuk ke dalam tubuh hewan air melalui beberapa jalur, antara lain lewat insang, makanan, maupun melalui proses difusi langsung melalui permukaan tubuh. Hal ini meningkatkan risiko akumulasi logam berat dalam jaringan biota perairan, yang pada akhirnya dapat berdampak buruk terhadap kesehatan organisme tersebut dan juga potensi biomagnifikasi di sepanjang rantai makanan (Kharisma et al., 2023).

Potensial hidrogen merupakan salah satu parameter kualitas air yang berpengaruh terhadap keberadaan dan kelarutan logam berat di perairan. Nilai pH yang terlalu rendah (bersifat asam) dapat meningkatkan kelarutan logam berat seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd), sehingga memperbesar potensi toksisitasnya terhadap organisme akuatik. Sebaliknya, pada pH yang lebih tinggi (basa), sebagian logam berat cenderung mengalami presipitasi dan mengendap di dasar perairan dalam bentuk senyawa kompleks. Dalam penelitian oleh Usman et al. (2025), ditemukan bahwa nilai pH di Sungai Bone masih berada dalam rentang baku mutu yang ditetapkan, yakni antara 7,11 hingga 7,5. Namun, meskipun pH berada pada kisaran netral hingga sedikit basa, kandungan logam Pb dan Cd dalam air tetap terdeteksi melebihi ambang batas. Hal ini mengindikasikan bahwa

selain pH, terdapat faktor lain yang turut memengaruhi dinamika logam berat di perairan, seperti sumber pencemar, aktivitas antropogenik, dan sifat kimia logam itu sendiri.

2.4.3 Oksigen Terlarut

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) merupakan bentuk oksigen (O_2) yang berada dalam keadaan terlarut di dalam air, dan secara alami jumlahnya dipengaruhi oleh tekanan parsial oksigen di atmosfer. Konsentrasi DO biasanya dinyatakan dalam satuan miligram per liter (mg/L) dan menjadi indikator penting dalam menentukan kualitas perairan. Beberapa faktor memengaruhi kadar DO, salah satunya adalah suhu air. Suhu memiliki peran penting dalam menentukan kapasitas pelarutan oksigen; semakin tinggi suhu air, maka kemampuan air untuk melarutkan oksigen akan semakin menurun. Dengan kata lain, perairan yang bersuhu tinggi cenderung memiliki kandungan oksigen terlarut yang lebih rendah dibandingkan dengan perairan yang bersuhu rendah (Wahyu et al., 2024).

Oksigen terlarut (DO) adalah salah satu indikator penting untuk mengetahui seberapa baik kualitas air di suatu perairan. Jika kadar DO terlalu rendah, hal ini bisa membahayakan makhluk hidup di dalam air seperti ikan dan biota lainnya karena mereka membutuhkan oksigen untuk bertahan hidup (Gholizadeh et al., 2016). Selain itu, kadar DO yang rendah juga dapat memperburuk pencemaran logam berat. Ketika oksigen di dalam air menurun, logam berat yang sebelumnya mengendap di dasar perairan bisa terlepas kembali ke air dan menjadi lebih mudah diserap oleh organisme (Yudo & Said, 2019). Hal ini membuat logam berat menjadi lebih beracun dan berbahaya bagi lingkungan (Pradona & Partaya, 2022).

2.4.4 Salinitas

Salinitas di perairan merupakan salah satu parameter utama yang memengaruhi ekosistem laut dan kualitas air. Kadar garam terlarut dalam air ini sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor alam, seperti tingkat penguapan, curah hujan, aliran air tawar dari sungai, serta kedalaman perairan. Di kawasan pesisir atau muara, Salinitas seringkali lebih rendah karena adanya campuran air tawar yang mengalir

dari sungai, sementara di perairan laut terbuka, salinitas umumnya lebih tinggi akibat penguapan yang lebih intensif. Salinitas memiliki dampak yang signifikan terhadap kehidupan di laut, karena banyak spesies, baik flora maupun fauna, yang memiliki toleransi terhadap salinitas tertentu. Perubahan salinitas dapat memengaruhi distribusi spesies, metabolisme organisme, dan proses-proses biogeokimia yang terjadi di perairan, termasuk siklus karbon dan nitrogen. Selain itu, salinitas juga berperan dalam proses pembentukan arus laut, yang pada gilirannya memengaruhi iklim dan cuaca global (Suhada et al., 2024).

Menurut Asyik et al. (2025), ada beberapa faktor yang mempengaruhi sejauh mana organisme dapat mengakumulasi logam berat, seperti jenis logam, ukuran organisme, lama paparan, dan kondisi lingkungan perairan, termasuk Salinitas. Penurunan salinitas perairan dapat meningkatkan kemampuan organisme dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat. Hal ini karena perubahan salinitas dapat mempengaruhi kelarutan logam berat dalam air, yang kemudian memudahkan logam tersebut masuk ke dalam tubuh organisme. Selain itu, penurunan Salinitas juga dapat mengganggu sistem metabolisme organisme, sehingga mengurangi kemampuannya untuk mengeluarkan logam berat dan meningkatkan kadar akumulasi logam dalam tubuh (Suryo et al., 2021).

2.4.5 Nitrat

Nitrat (NO_3^-) merupakan bentuk nitrogen yang umum ditemukan secara alami di lingkungan perairan dan berfungsi sebagai nutrisi esensial bagi pertumbuhan alga dan tanaman air (Nurjumanis et al., 2024). Senyawa ini terbentuk melalui proses biologis, yaitu oksidasi amonia menjadi nitrit, lalu berlanjut menjadi nitrat oleh peran mikroorganisme (Silvi et al., 2022). Keberadaan nitrat di perairan dapat berasal dari berbagai sumber, seperti dekomposisi bahan organik, pelapukan vegetasi, sisa makhluk hidup yang telah mati, serta aliran permukaan dari daratan yang mengandung limbah domestik maupun industri (Hendrayana et al., 2022).

Nitrat dan logam berat merupakan indikator penting kualitas perairan meskipun tidak berinteraksi secara langsung. Kadar nitrat yang tinggi sering mencerminkan pencemaran antropogenik, seperti limbah domestik dan industri, yang juga berpotensi membawa logam berat ke perairan. Kelebihan nitrat dapat memicu

eutrofikasi, menurunkan kadar oksigen terlarut, dan meningkatkan toksisitas logam berat seperti timbal dan kadmium. Meskipun nitrat tidak secara langsung memengaruhi bentuk kimia logam berat, perubahan lingkungan akibat tingginya nitrat, seperti penurunan pH dan oksigen yang dapat meningkatkan kelarutan serta kemungkinan logam tersebut diserap oleh organisme. Dengan demikian, peran nitrat tetap relevan dalam memahami dinamika logam berat di ekosistem perairan (Silvi et al., 2022).

2.4.6 Ortofosfat

Ortofosfat (PO_4^{3-}) merupakan bentuk fosfat anorganik paling sederhana yang dapat langsung digunakan oleh organisme air, seperti fitoplankton, untuk mendukung proses pertumbuhan. Senyawa ini berasal dari pelapukan batuan secara alami maupun dari aktivitas manusia, termasuk limbah pertanian, industri pengolahan hasil perikanan, serta penggunaan detergen rumah tangga. Keberadaan ortofosfat di perairan mencerminkan tingkat kesuburan ekosistem, di mana konsentrasi melebihi 0,1 mg/L biasanya mengindikasikan terjadinya eutrofikasi (Oktaviana et al., 2023).

Ortofosfat memengaruhi kelarutan dan pergerakan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) di perairan melalui interaksi kimia dan perubahan kondisi lingkungan. Senyawa ini bereaksi dengan ion Pb^{2+} dan Cd^{2+} membentuk kompleks fosfat-logam seperti $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ dan $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$ yang tidak larut dan mengendap di sedimen, sehingga mengurangi ketersediaan dan toksisitas logam di kolom air (Tungka et al., 2016). Namun, ketika terjadi eutrofikasi akibat ortofosfat tinggi, fitoplankton berkembang pesat dan saat mati menurunkan oksigen terlarut, menciptakan kondisi hipoksia yang memicu pelepasan logam berat dari sedimen ke air. Selain itu, ortofosfat juga dapat membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam, menghambat korosi dan menurunkan pelepasan logam berat ke lingkungan. Oleh karena itu, ortofosfat berperan ganda sebagai agen pengendap dan pengontrol korosi, tetapi dalam kondisi lingkungan yang berubah, juga dapat meningkatkan mobilitas serta bahaya logam berat bagi ekosistem perairan.

2.4.7 Curah Hujan

Curah hujan mempengaruhi kondisi fisik-kimia perairan melalui proses pengenceran, limpasan permukaan, dan transport sedimen. Intensitas hujan menurunkan salinitas dan mengubah pH perairan sehingga kelarutan serta mobilitas logam berat, termasuk Pb dan Cd, meningkat pada kondisi tertentu. Limpasan dari wilayah daratan membawa partikel sedimen dan residu aktivitas antropogenik ke perairan sehingga beban logam berat bertambah selama periode hujan tinggi. Sebaliknya, volume air hujan yang besar pada kawasan pesisir terbuka menghasilkan efek pengenceran yang dapat menurunkan konsentrasi logam terlarut. Menurut Salelatu et al. (2025) intensitas hujan tinggi meningkatkan Pb dan Cd melalui limpasan industri, sedangkan Supriatna et al. (2020) menemukan bahwa curah hujan tinggi menurunkan logam terlarut karena dominasi efek pengenceran. Menurut Kurniawan & Mustikasari (2019) hujan lebat memobilisasi sedimen tercemar sehingga konsentrasi logam di kolom air meningkat. Menurut Yuliardi et al. (2024) penurunan salinitas saat hujan mendorong desorpsi logam dari sedimen sehingga konsentrasi Pb dan Cd terlarut bertambah. Penelitian tersebut menegaskan bahwa curah hujan bertindak sebagai pengendali penting dalam fluktuasi logam berat di perairan.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang periode 2023–2024 serta data primer tahun 2025 yang diperoleh melalui pengambilan sampel langsung di lapangan dan di analisis di laboratorium BPKIL. Pengambilan sampel dilakukan dua kali dalam setahun, yaitu pada bulan Mei dan September, dengan lokasi penelitian di kawasan pesisir Anyer hingga Panimbang, Provinsi Banten (Gambar 2).



Gambar 2. Peta lokasi penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini sepenuhnya menggunakan data sekunder yang diperoleh dari

Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang, yang telah melakukan pemantauan kualitas perairan selama periode tahun 2023 hingga 2025. Data tersebut mencakup hasil pengambilan sampel yang dilakukan secara berkala sebanyak dua kali dalam setahun, yaitu pada bulan Mei dan September, sehingga mewakili kondisi perairan pada musim yang berbeda setiap tahunnya.

3.1.2 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian terletak di wilayah pesisir Provinsi Banten yang membentang dari Perairan Anyer hingga Panimbang dengan enam stasiun pengamatan yang merepresentasikan variasi tekanan antropogenik di kawasan pesisir. Stasiun 1 berada di Pantai Kosambi, yang berdekatan dengan *hatchery* benur dan area budidaya udang, sehingga perairannya berpotensi menerima masukan Pb dan Cd dari aktivitas permukiman, lalu lintas kapal, dan permukiman. Stasiun 2 berlokasi di Pantai Bulakan yang memiliki ekosistem terumbu karang dan berada di sekitar kawasan tambak, dengan potensi cemaran logam berat yang berasal dari aliran buangan tambak dan aktivitas perikanan skala kecil. Stasiun 3 terletak di Pantai Laguna, yang dicirikan oleh ekosistem terumbu karang dan substrat berbatu, serta intensitas aktivitas budidaya dan pembenihan yang relatif tinggi.

Stasiun 4 berada di Pantai Karoeng yang berdekatan dengan PLTU dan kawasan industri, sehingga perairannya berpotensi terpengaruh oleh emisi industri, aktivitas transportasi, dan pembuangan limbah domestik yang mengandung logam berat. Stasiun 5 terletak di Pantai Cibungur, dengan karakteristik perairan yang dipengaruhi oleh aliran sungai serta kegiatan pertanian, tambak, dan budidaya perikanan darat di sekitarnya. Stasiun 6 berada di Teluk Lada, yang berdekatan dengan muara sungai, *hatchery*, dan kawasan budidaya, serta menerima tekanan antropogenik dari aktivitas PLTU, perikanan, perkebunan, transportasi, dan permukiman.

Secara administratif, wilayah penelitian mencakup pesisir Kabupaten Serang dan Kabupaten Pandeglang dengan panjang garis pantai sekitar 71 km. Pemilihan lokasi pengambilan sampel dilakukan secara purposif pada enam stasiun yang dianggap representatif terhadap variasi sumber pencemar logam berat

dari aktivitas daratan dan pesisir. Setiap lokasi telah ditentukan koordinat geografisnya untuk mendukung ketelitian analisis spasial sebaran Pb dan Cd, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Titik koordinat lokasi pengambilan sampel

No	Lokasi	Titik Koordinat
1	Pantai Kosambi	6°09'11.7" S, 105°51'17.8" E
2	Pantai Bulakan	6°11'32.9" S, 105°50'26.5" E
3	Pantai Laguna	6°48'18.7" S, 105°29'08.2" E
4	Pantai Karoeng	6°23'31.7" S, 105°49'42.1" E
5	Pantai Cibungur	6°27'18.6" S, 105°48'52.9" E
6	Teluk Lada	6°31'54.5" S, 105°43'20.0" E

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No	Nama Bahan	Spesifikasi	Merek	Kegunaan
1	Data sekunder logam berat	Konsentrasi Pb dan Cd hasil uji laboratorium	BPKIL Serang	Digunakan untuk analisis kandungan logam berat pada air laut.
2	Data sekunder parameter kualitas air	Data suhu, pH, salinitas (parameter in-situ)	BPKIL Serang	Digunakan sebagai data pendukung dalam interpretasi sebaran logam berat.
3	Data spasial wilayah pesisir	Peta batas wilayah administratif dan koordinat sampling	-	Digunakan untuk keperluan pemetaan dan analisis spasial di ArcGIS.
4	Sampel air laut	50 mL, air permukaan laut	-	Media pengukuran parameter in-situ dan analisis logam berat.
5	Asam nitrat (HNO ₃)	pekat, konsentrasi ≥65%	Merck	Agen destruksi untuk melarutkan logam Pb dan Cd.

Tabel 2. Bahan yang digunakan untuk analisis (Lanjutan)

No	Nama Bahan	Spesifikasi	Merek	Kegunaan
6	Aquades	Bebas ion	Local lab grade	Digunakan untuk pengenceran sampel dan kalibrasi alat.
7	Larutan standar Pb dan Cd	Konsentrasi 1000 ppm (standar induk)	Merck	Sebagai standar kalibrasi dalam pengukuran AAS Flame.

3.2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Alat yang digunakan dalam penelitian

No	Nama Alat	Spesifikasi	Merek	Kegunaan
1	Komputer/ Laptop	AMD Athlon Silver 3050U with Radeon Graphics (2CPUs), ~2.3 GHz	Acer	Menjalankan aplikasi pengolah data dan peta.
2	Microsoft Excel	Perangkat lunak pengolah angka	Microsoft Corporation	Mengolah dan mengelola data numerik hasil pengujian.
3	ArcGIS Desktop	GIS Software versi 10.3	Esri	Menganalisis spasial dan memetakan sebaran logam berat.
4	Refraktometer	Rentang salinitas 0–100 ppt	OEM	Mengukur tingkat salinitas air laut secara langsung di lapangan.
5	Pipet tetes	Plastik / kaca	OneMed	Mengambil sampel air untuk diteteskan pada refraktometer.
6	pH meter	Rentang pH 0–14, resolusi 0,01	Eutech	Mengukur derajat keasaman (pH) air.
7	DO meter	Rentang 0–20 mg/L, resolusi 0,01 mg/L	YSI	Mengukur kadar oksigen terlarut (DO) di perairan.
8	Kertas saring	Grade 42	Whatman	Menyaring air sebelum pengujian.
9	Mikropipet	5 mL	Eppendorf	Mengambil volume larutan.

Tabel 3. Alat yang digunakan dalam penelitian (Lanjutan)

No	Nama Alat	Spesifikasi	Merek	Kegunaan
10	Labu ukur	50 mL	Iwaki	Menampung dan mengencerkan filtrat hasil destruksi.
11	<i>Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry</i>	Sistem atomisasi menggunakan tungku grafit yang dipanaskan secara elektrik, volume sampel 10–50 μ L, sensitivitas μ g/L (ppb)	Agilent	Digunakan untuk analisis logam jejak (<i>trace metals</i>) dengan konsentrasi sangat rendah dengan akurasi tinggi.
12	<i>Flame Atomic Absorption Spectrophotometry</i>	Sistem atomisasi menggunakan nyala api, volume sampel 1–5 mL, sensitivitas mg/L (ppm)	Agilent	Digunakan untuk analisis logam dengan konsentrasi sedang–tinggi secara cepat dan efisien.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dan spasial untuk menganalisis sebaran logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) di perairan pesisir Anyer hingga pesisir Panimbang. Teknik analisis deskriptif untuk menyederhanakan dan menyajikan data dalam bentuk tabel, grafik, dan peta (Lareke, 2024), sedangkan analisis spasial untuk mengolah informasi berbasis lokasi menggunakan SIG, guna memberikan gambaran menyeluruh terhadap kondisi wilayah (Mujiati & Aisiyah, 2022). Proses ini bertujuan menghasilkan informasi objektif dan akurat yang dapat digunakan sebagai dasar dalam pengelolaan lingkungan dan mitigasi pencemaran. Sumber data penelitian ini berasal dari Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang. Data yang digunakan mencakup data sekunder pada tahun 2023–2024 serta data primer yang diperoleh melalui pengambilan sampel dan analisis laboratorium pada tahun 2025, dengan pengambilan sampel dua kali setahun di bulan Mei dan

September pada enam lokasi pantai yang dipilih secara purposif, yaitu Pantai Kosambi, Bulakan, PSPL, Karoeng (PLTU Labuan), Cibungur, dan Teluk Lada. Variabel utama meliputi konsentrasi Pb dan Cd, serta data pendukung seperti suhu, salinitas, pH, DO, Nitrat dan Ortofosfat.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan diantaranya meliputi pengujian sampel data primer, pengumpulan data sekunder, pemeriksaan data, analisis deskriptif kuantitatif, analisis spasial, dan uraian hasil.

3.4.1 Pengujian sampel data primer

3.4.1.1 Pengujian logam berat Pb dan Cd di air

Prosedur destruksi sampel air untuk analisis logam timbal (Pb) mengacu pada SNI 6989.8:2009 tentang cara uji logam dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Persiapan Contoh Uji Timbal

1. Siapkan contoh uji yang telah disaring menggunakan saringan membran dengan pori 0,45 μm , lalu tambahkan HNO_3 pekat (1 L contoh uji menggunakan 5 mL HNO_3 pekat).
2. Contoh uji siap diukur absorbansinya.

Pembuatan Kurva Kalibrasi

1. Operasikan alat dan lakukan optimasi sesuai petunjuk penggunaan alat untuk pengukuran timbal.
Catatan 1: Salah satu cara optimasi adalah dengan uji sensitivitas alat.
Catatan 2: Tambahkan *matrix modifier* bila diperlukan untuk mengatasi gangguan sesuai dengan SSA yang digunakan.
2. Aspirasi larutan blanko ke dalam SSA, nyalakan nyala api, dan atur agar serapan nol.
3. Aspirasi larutan kerja satu per satu ke dalam SSA, kemudian ukur serapan pada panjang gelombang 283,3 nm atau 217,0 nm. Catat hasilnya.

4. Lakukan pembilasan pada selang aspirator dengan larutan pengencer.
5. Buat kurva kalibrasi dari data hasil pengukuran (butir 5.10.3) dan tentukan persamaan garis lurusnya.
6. Jika koefisien korelasi regresi linier (r) $< 0,995$, periksa kembali kondisi alat dan ulangi langkah 5.10.2–5.10.3 hingga diperoleh nilai $r \geq 0,995$.

Pengukuran Contoh Uji

1. Aspirasi contoh uji ke dalam SSA – nyalakan nyala api dan ukur serapan pada panjang gelombang 283,3 nm. Bila diperlukan, lakukan pengenceran.
Catatan: Bila hasil pengukuran berada di luar kisaran pengukuran, lakukan pengenceran dan ulangi langkah 5.8–5.11.
2. Catat nilai absorbansi hasil pengukuran.

Prosedur destruksi sampel air untuk analisis logam kadmium (Cd) mengacu pada SNI 6989.16-2009 tentang cara uji logam dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Persiapan Contoh Uji Kadmium

1. Siapkan contoh uji yang telah disaring menggunakan saringan membran dengan pori 0,45 μm , lalu tambahkan HNO_3 pekat (1 L contoh uji menggunakan 5 mL HNO_3 pekat).
2. Contoh uji siap diukur absorbansinya.

Pembuatan Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi dibuat melalui tahapan berikut:

1. Operasikan alat dan lakukan optimasi sesuai petunjuk penggunaan untuk pengukuran kadmium.
Catatan: Salah satu cara optimasi alat adalah melalui uji sensitivitas.
2. Aspirasi larutan blanko ke dalam SSA, kemudian atur serapan hingga nol.
3. Aspirasi larutan kerja satu per satu ke dalam SSA, lalu ukur serapan pada panjang gelombang 228,8 nm, kemudian catat hasilnya.
4. Lakukan pembilasan pada selang aspirator dengan larutan pengencer.
5. Buat kurva kalibrasi berdasarkan data hasil pengukuran pada langkah 5.10.3 dan tentukan persamaan garis lurusnya.

6. Jika koefisien korelasi regresi linier (r) $< 0,995$, periksa kondisi alat dan ulangi langkah 5.10.2–5.10.3 hingga diperoleh nilai $r \geq 0,995$.

Pengukuran Contoh Uji

1. Aspirasi contoh uji ke dalam SSA – nyalakan nyala api dan ukur serapan pada panjang gelombang 228,8 nm. Bila diperlukan, lakukan pengenceran.
2. Catat nilai absorbansi hasil pengukuran.

3.4.1.2 Pengukuran parameter kualitas air

Parameter kualitas air yaitu salinitas, suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (DO), nitrat dan ortofosfat. Prosedur pengukuran masing-masing parameter dijelaskan sebagai berikut:

1. Salinitas
 Nilai salinitas air laut ditentukan menggunakan refraktometer. Sebanyak satu tetes air laut ditetaskan pada prisma alat menggunakan pipet tetes, kemudian ditutup dan diarahkan ke sumber cahaya matahari. Nilai salinitas dibaca melalui lensa pengintai refraktometer hingga skala terlihat jelas.
2. Suhu
 Pengukuran suhu dilakukan menggunakan termometer yang telah dikalibrasi sebelum digunakan. Ujung sensor termometer dimasukkan ke dalam air dan dibiarkan selama 2–5 menit sampai angka yang terbaca stabil. Setelah nilai konstan, suhu dibaca dan dicatat tanpa mengangkat alat dari perairan (SNI 06-6989.23-2005).
3. Derajat Keasaman (pH)
 Nilai pH diukur dengan pH meter yang telah dikalibrasi menggunakan larutan buffer standar. Sensor alat dicelupkan ke dalam air selama kurang lebih dua menit, hingga tampilan angka pada layar stabil. Nilai pH kemudian dibaca langsung dari tampilan digital alat (SNI 06-6989.11-2004).
4. Oksigen Terlarut (DO)
 Pengukuran oksigen terlarut dilakukan menggunakan DO meter yang telah dikalibrasi sebelumnya. Sensor alat dicelupkan ke dalam air selama kurang

lebih 5 menit sampai nilai pembacaan konstan. Setelah stabil, nilai oksigen terlarut dicatat sebagai hasil pengukuran (Prima et al., 2016).

5. Nitrat

Pengujian nitrat (NO_3^- -N) dilakukan dengan mengacu pada SNI 6988.79:2011. Spike matrix aquadest dan larutan standar nitrat disiapkan dalam labu ukur 50 mL menggunakan air laut alami bebas nitrat, sedangkan blanko menggunakan air laut buatan bebas nitrat. Sampel air sebanyak 50 mL diperlakukan sama dengan blanko dan spike matrix. Ke dalam masing-masing larutan ditambahkan 1 mL HCl 1 N, kemudian dihomogenkan dan didiamkan selama sekitar 10 menit hingga warna stabil. Selanjutnya, larutan dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 543 nm, kemudian konsentrasi nitrat ditentukan berdasarkan kurva kalibrasi.

6. Ortofosfat

Pengujian konsentrasi ortofosfat (PO_4^{3-}) dilakukan dengan mengacu pada SNI 06-6989.31:2021. Spike matrix aquadest dan larutan standar ortofosfat disiapkan dalam labu ukur 50 mL menggunakan air laut alami bebas fosfat, sedangkan blanko menggunakan air laut buatan bebas fosfat. Sampel air sebanyak 50 mL diperlakukan sama dengan blanko dan spike matrix. Ke dalam masing-masing larutan ditambahkan 1 mL H_2SO_4 4,5 M, diikuti dengan penambahan 1 mL larutan amonium molibdat–tartrat, kemudian larutan dihomogenkan. Larutan selanjutnya didiamkan selama sekitar 10 menit hingga warna stabil. Setelah itu, larutan dimasukkan ke dalam kuvet dan absorbansi diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm. Konsentrasi ortofosfat ditentukan berdasarkan kurva kalibrasi.

3.4.2 Pengumpulan Data Sekunder

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang. Data mencakup hasil pemantauan kualitas air laut meliputi konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd), serta parameter insitu seperti suhu, salinitas, pH, DO, arus, nitrat, dan ortofosfat.

Seluruh data kemudian dipindahkan ke dalam format *Microsoft Excel* untuk diperiksa kelengkapannya. Proses pemeriksaan mencakup validasi data per lokasi dan waktu, pengecekan kesesuaian satuan, serta identifikasi dan eliminasi data outlier atau tidak relevan guna memastikan kelayakan data untuk dianalisis lebih lanjut.

3.4.2 Analisis Deskriptif Kuantitatif

Data yang telah divalidasi selanjutnya dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengetahui sebaran nilai dari masing-masing parameter kualitas air, khususnya konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) di setiap titik pengamatan. Hasil analisis digunakan untuk menggambarkan kondisi kualitas air laut secara temporal (antara bulan Mei dan September) dan spasial (antar lokasi), serta untuk mengidentifikasi tren dan kecenderungan atau anomali pada kadar logam berat di wilayah pesisir Anyer hingga Panimbang.

3.4.3 Analisis Spasial

Analisis distribusi spasial logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) terlarut menggunakan perangkat lunak ArcGis. Data konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) terlarut yang telah didapatkan dari perhitungan dan koordinat pada setiap stasiun pengamatan akan dikonversi ke dalam bentuk ekstensi data spasial sehingga dapat dilakukan interpolasi untuk memetakan data hasil pengujian logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) tersebut. Tahapan interpolasi ini merupakan tahapan pendugaan persebaran parameter Pb dan Cd di Perairan Anyer-Panimbang berdasarkan data sampel air laut yang telah diukur pada 6 titik sampling pada Perairan Anyer-Panimbang. Teknik interpolasi yang digunakan adalah IDW (*Inverse Distance Weighted*) untuk melihat sebaran timbal (Pb) dan kadmium (Cd) secara horizontal yang akan dipetakan.

3.4.4 Uraian Hasil

Dalam uraian hasil ini menginterpretasikan analisis deskriptif dan spasial untuk menilai tingkat pencemaran logam berat di setiap lokasi pengambilan sam-

pel. Pola distribusi spasial dibandingkan antar periode untuk mengidentifikasi kecenderungan perubahan konsentrasi. Hasil akhir dari analisis ini akan memberikan gambaran menyeluruh mengenai distribusi dan intensitas pencemaran logam berat Pb dan Cd di wilayah pesisir Anyer hingga Panimbang.

V. PENUTUP

5.1 Simpulan

Secara spasial, konsentrasi Pb tertinggi terdapat di perairan Laguna dan Teluk Lada, sedangkan Cd tertinggi ditemukan di Kosambi dan sekitar PLTU Labuan. Secara temporal, konsentrasi Pb cenderung menurun selama 2023–2025, sementara Cd relatif rendah pada 2023, meningkat pada 2024, dan kembali menurun pada 2025. Konsentrasi Pb secara umum masih memenuhi baku mutu laut ($\leq 0,008$ mg/L), sedangkan Cd pada beberapa lokasi sedikit melampaui ambang batas ($0,001$ mg/L) menurut PP No. 22 Tahun 2021. Kondisi kualitas air yang stabil menunjukkan bahwa perairan Anyer–Panimbang masih layak mendukung biota dan aktivitas budidaya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar studi selanjutnya mencakup analisis logam berat pada sedimen dan biota perairan. Penelitian terhadap sedimen diperlukan untuk mengetahui tingkat akumulasi logam berat yang berpotensi menjadi sumber pencemar sekunder ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan. Sementara itu, pengujian pada biota seperti ikan, moluska, maupun plankton penting dilakukan untuk menilai potensi bioakumulasi serta dampaknya terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Selain itu, perlu dilakukan kegiatan pemantauan secara berkelanjutan untuk memantau perubahan konsentrasi logam berat Pb dan Cd dari waktu ke waktu dan memastikan kualitas lingkungan perairan tetap terjaga dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifudin, A. F. M., Wulandari, A., & Irawanto, R. (2024). Pencemaran logam berat di air, sedimen, dan organisme pada beberapa sungai di Pulau Jawa, Indonesia: Tinjauan Literatur. *Environmental Pollution Journal*, 4(1), 959–971. <https://doi.org/10.58954/epj.v4i1.183>
- Ahamad, M. I., Yao, Z., Ren, L., Zhang, C., Li, T., Lu, H., ... & Feng, W. (2024). Impact of heavy metals on aquatic life and human health: a case study of River Ravi Pakistan. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1374835. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1374835>
- Alharbi, T., Nour, H. E., Al-Kahtany, K., Zumlot, T., & El-Sorogy, A. S. (2024). Health risk assessment and contamination of lead and cadmium levels in sediments of the northwestern Arabian Gulf coast. *Heliyon*, 10(16). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36447>
- Ali, W., Bian, Y., Zhang, H., Qazi, I. H., Zou, H., Zhu, J., & Liu, Z. (2023). Effect of cadmium exposure during and after pregnancy of female. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 35, 2181124. <https://doi.org/10.1080/26395940.2023.2181124>
- Alisa, C. A. G., & Faizal, I. (2020). Kandungan timbal dan kadmium pada air dan sedimen di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. *Akuatika Indonesia*, 5(1), 21-26. <https://doi.org/10.24198/jaki.v5i1.26523>
- Arianti, M. P., & Fadilah, K. (2023). Analisis kualitas air laut terhadap aktivitas kapal di Pelabuhan Surabaya berdasarkan parameter anti-fouling. *Envirous*, 4(1), 86-90. <https://doi.org/10.33005/envirous.v4i1.161>
- Armiani, S., & Harisanti, B. M. (2021). Hubungan kemelimpahan fitoplankton dengan faktor lingkungan di perairan Pantai Desa Madayin Lombok Timur. *Pijar*, 16(1), 75-80. DOI: 10.29303/jpm.v16i1.1862

- Asaf, R., Athirah, A., & Hasnawi, H. (2019). Identifikasi konsentrasi logam pada air di perairan sekitar tambak Kecamatan Tayu Kabupaten Pati Provinsi Jawa Tengah. *Gorontalo Fisheries Journal*, 2(1), 1-18.
<https://doi.org/10.32662/gfj.v2i1.343>
- Asyik, A. N. A. A., Jamdin, Z., & Natsir, N. A. (2025). Pola sebaran logam berat kromium (Cr) di Perairan Tulehu Maluku Tengah. *Biotropic: The Journal of Tropical Biology*, 9(1): 21-33.
<https://doi.org/10.29080/biotropic.v9i1.2249>
- Azaharah, Y., & Ameliyah, F. (2025). Analisis dampak lingkungan akibat kegiatan pertambangan dalam perspektif maqhashid syariah. *Jurnal Media Akademik*, 3(5), 1-8. <https://doi.org/10.62281/v3i5.1970>
- Azizah, M., & Maslahat, M. (2021). Kandungan logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) di dalam tubuh ikan wader (*Barbodes binotatus*) dan air Sungai Cikaniki, Kabupaten Bogor. *Limnotek: perairan darat tropis di Indonesia*, 28(2), 83-93.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2023). *Data curah hujan harian*. BMKG. <https://dataonline.bmkg.go.id/data-harian>
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2024). *Data curah hujan harian*. BMKG. <https://dataonline.bmkg.go.id/data-harian>
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2025). *Data curah hujan harian*. BMKG. <https://dataonline.bmkg.go.id/data-harian>
- Bayu, A. S., & Andriyono, S. (2022). Analisis kandungan logam berat (Pb, Cd dan As) pada rumput laut (*Eucheuma cottonii*) (Studi kasus: perairan laut Wongsorejo, Banyuwangi). *Jurnal Ilmiah Perikanan*, 13(2), 2086- 8480.
<http://repository.unair.ac.id/id/eprint/125230>
- Bubala, H., Cahyadi, T. A., & Ernawati, R. (2019). Tingkat pencemaran logam berat di pesisir pantai akibat penambangan bijih nikel. *Jurnal Teknologi Industri dan Informasi*, 2(9), 113–122.
<https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/1170> (Accessed: 4July2025)
- Budiastuti, P., Rahadjo, M., & Dewanti, N. A. Y. 2016. Analisis pencemaran logam berat timbal di badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang.

Jurnal Kesehatan Masyarakat. 4(5), 119 – 124.
<https://doi.org/10.14710/jkm.v4i5.14489>

Choiri, M. I., Purwanti, I. F., Tangahu, B. V., Titah, H. S., Mashudi, M., & Mangkoedihardjo, S. (2025). Efektivitas *permeable reactive barrier* (PRB) berbasis biochar tempurung kelapa dengan perekat semen untuk remediasi air tercemar logam timbal (Pb^{2+}). *Jurnal Purifikasi*, 24(1), 43-51.
<https://doi.org/10.12962/purifikasi.v24i1.501>

Fahirah, Y. N., Yusuf, M., & Wulandari, S. Y. (2024). Hubungan konsentrasi nitrat dan tingkat kekeruhan di perairan Morodemak, Kabupaten Demak. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(2), 139-147.
<https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i2.17506>

Fendjalang, S., Rupilu, K., Simange, S., & Paparang, A. (2022). Analisis kandungan timbal (Pb) pada perairan pantai desa Kupa Kupa, kecamatan Tobelo Selatan, kabupaten Halmahera Utara. *Jurnal Pengelolaan Perikanan Tropis*, 6(2), 126-133. <https://doi.org/10.29244/jppt.v6i2.43894>

Fendjalang, S. N., 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>

Fernandes, A., Santoso, A., & Widowati, I. (2023). Kandungan logam (Pb) pada air, sedimen, dan jaringan lunak kerang darah (*Anadara granosa*) di perairan Bandengan, Kabupaten Kendal serta batas aman konsumsi untuk manusia. *Journal of Marine Research*, 12(1), 27-36.
<https://doi.org/10.14710/jmr.v12i1.35251>

Fitria, P., Gafur, A., Baharuddin, A., & Syam, N. (2023). Analisis risiko logam berat pada Udang Putih yang dikonsumsi petani tambak di Biringkassi Kabupaten Pangkep. *Window of Public Health Journal*, 4(4), 690-700.
<https://doi.org/10.33096/woph.v4i4.448>

Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M., & Reddi, L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16(8), 1298. <https://doi.org/10.3390/s16081298>

Haryati, A., Prartono, T., & Hindarti, D. (2022). Konsentrasi merkuri (Hg) di sedimen perairan Cirebon, Jawa Barat pada musim peralihan timur. *Jurnal*

Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 14(3), 321-335.
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v14i3.33788>

- Hendrayana, H., Raharjo, P., & Samudra, S. R. (2022). Komposisi nitrat, nitrit, amonium dan fosfat di Perairan Kabupaten Tegal. *Journal of Marine Research*, 11(2), 277-283. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i2.32389>
- Huang, Y., He, C., Shen, C., Guo, J., Mubeen, S., Yuan, J., & Yang, Z. (2017). Toxicity of cadmium and its health risks from leafy vegetable consumption. *Food Function*, 8, 1373–1401.
<https://doi.org/10.1039/C6FO01580H>
- Indirawati, S. M. 2017. Pencemaran logam berat Pb dan Cd dan keluhan kesehatan pada masyarakat di Kawasan Pesisir Belawan. *Jurnal Ilmiah Penelitian Kesehatan*, 2(2), 54 – 60.
- Indirawati, E., Musada, Z., Tantu, A. G., & Renal. (2022). Status pencemaran logam berat timbal dan kadmium di Sungai Tallo menggunakan bioindikator ikan nila *Oreochromis niloticus*. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*. 22(2), 348–361. DOI: 10.35965/eco.v22i2.1562
- Jais, N., Ikhtiar, M., Gafur, A., Abbas, H. H., & Hidayat. (2020). Bioakumulasi logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) yang terdapat dalam air dan ikan di Sungai Tallo Makassar. *Window of Public Health Journal*, 1(3), 261–273. <https://doi.org/10.33096/woph.v1i3.65>.
- Javed, T., Ahmad, N., & Mashiatullah, A. (2018). Heavy metals contamination and ecological risk assessment in surface sediments of Namal Lake, Pakistan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(2), 675–688.
 DOI: 10.15244/pjoes/75815
- 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. DOI:10.14710/buloma.v11i2.41617
- Kharisma, R. N., Yulianto, B., & Nuraini, R. A. T. (2023). Logam berat timbal (Pb) pada air, sedimen, dan kerang darah (*Anadara Granosa*) di Muara Sungai Loji dan perairan pantai sekitarnya, Kota Pekalongan. *Journal of Marine Research*, 12(2), 330-335.
<https://doi.org/10.14710/jmr.v12i2.36375>

- Kurniawan, A., & Mulyanto, D. (2023). Sortasi logam berat kromium heksavalen pada perairan dan tanah di lingkungan industri penyamakan kulit Banyak Kapanewon Piyungan Bantul. *Jurnal Tanah Dan Air (Soil and Water Journal)*, 20(1), 1-14. <https://doi.org/10.31315/jta.v20i1.13209>
- Kurniawan, A., & Mustikasari, D. (2019). Review: mekanisme akumulasi logam berat di ekosistem pascatambang timah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 408. <https://doi.org/10.14710/jil.17.3.408-415>.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jmr>
- Kusumadiani, T. A., Redjeki, S., & Yulianto, B. (2024). Kajian tingkat timbal (Pb) di perairan Pantai Semarang: Studi kasus pada Kerang Darah. *Journal of Marine Research*, 13(3), 502-510.
<https://doi.org/10.14710/jmr.v13i3.39367>
- Lareke, A. A. (2024). Community access mechanisms in utilizing forest resources in Lore Lindu National Park (Case study in Bobo Village, Palolo District, Sigi Regency). *Savana Cendana*, 9(1), 22-27.
- Li, L., Haziq, M. A., Ullah, S., Stanikzai, A. G., Bibi, S. D., Haq, T. U., ... & Yang, Z. (2024). Remediation of lead-contaminated water using green synthesized iron-oxide nanoparticles: Performance and mechanism. *Air, Soil and Water Research*, 17. <https://doi.org/10.1177/11786221241278517>
- Liesdiawan, N. H., Pharmawati, K., & Maria, R. (2025). Identifikasi kandungan logam berat menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF) pada sedimen Sungai Citarum bagian hulu. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 10(2), 61-68. <https://doi.org/10.29080/alard.v10i2.2160>
- Maharani, M. D. K., Prasetya, I. N. D., Wulandari, D., Amelia, J. M., & Sitepu, G. S. B. (2024). Pemantauan kualitas air: analisis logam berat timbal (Pb) dan kadmiun (Cd) guna mendukung kegiatan perikanan berkelanjutan di Perairan Jembrana, Bali. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 15(2), 221-230. <https://doi.org/10.35316/jsapi.v15i2.4621>
- Mujiati., & Aisiyah, N. (2022). Peningkatan kualitas peta kerja dalam pendaftaran tanah sistematis lengkap *Improving the quality of work maps in complete systematic land registration. Tunas Agraria*, 5, 182–196.
<https://doi.org/10.31292/jta.v5i3.185>
- Naillah, A., Budiarti, L. Y., & Heriyani, F. (2017). Literature review: analisis kualitas air sungai dengan tinjauan parameter Ph, suhu, BOD, COD, DO

terhadap coliform. *Homeostasis*, 4(2), 487 – 494.
<https://doi.org/10.20527/ht.v4i2.4041>

- Nindyapuspa, A., & Ni'am, A. C. (2017). Distribusi logam berat timbal di perairan laut kawasan pesisir Gresik. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.29080/alard.v3i1.254>.
- Nurhamiddin, F., & Ibrahim, M. H. (2018). Studi pencemaran logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada sedimen laut di Pelabuhan Bastiong Kota Ternate Propinsi Maluku Utara. *Dintek*, 11(1), 41-55.
<https://jurnal.umm.ac.id/index.php/dintek/article/view/139>
- Nurjumanis, A., Pranowo, W. S., Setiyadi, J., Sumardana, I. W. E., & Sunaryo, S. (2024). Distribusi nitrat di perairan Selat Sunda: nitrate distribution in Sunda Strait Waters. *Jurnal Hidropilar*, 10(1), 1-8.
<https://doi.org/10.37875/hidropilar.v10i1.286>
- Nursagita, Y. S., & Titah, H. S. (2021). Kajian fitoremediasi untuk menurunkan konsentrasi logam berat di wilayah pesisir menggunakan tumbuhan mangrove (Studi kasus: pencemaran merkuri di Teluk Jakarta). *Jurnal Teknik ITS*, 10(1), 22 - 28. [10.12962/j23373539.v10i1.59848](https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.59848)
- Oktaviana, C. I., Muskananfola, M. R., & Purnomo, P. W. (2023). Analisis kesuburan perairan berdasarkan klorofil-a, nitrat dan ortofosfat di Pantai Pasir Putih Wates, Kaliori, Rembang. *Life Science*, 12(1), 40-51.
<https://doi.org/10.15294/lifesci.v12i1.63819>
- Ouyang, W., Liu, Z., Zhang, H., Gu, X., Lin, C., Liu, X., & He, M. (2023). Residual circulations and wind conditions affect the transport and distribution of Pb. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137551.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137551>
- Paramita, R. W. (2017). Kandungan logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) di air permukaan dan sedimen: studi kasus Waduk Saguling Jawa Barat. *Jurnal Reka Lingkungan*, 5(2), 1-12.
<https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v5i2.%25p>
- Parikesit, P. A., Dewi, N. N., Hidayati, N. V., Octoriani, W., & Andriyono, S. (2025). A studi komparasi bioakumulasi logam berat timbal (Pb) pada tambak tradisional ikan bandeng (*Chanos chanos*) di Pantura Jawa Timur: Gresik, Sidoarjo, dan Pasuruan. *Journal of Aquatropica Asia*, 10(1), 85-93.
<https://doi.org/10.33019/joaa.v10i1.6261>

- Paundanan, M., & Hikmah, S. A. (2025). Analisis kandungan nitrat, nitrit dan amonia di perairan Teluk Palu dan dampaknya bagi kesehatan . *Journal of Medical Laboratory Science Technology*, 8(1), 23–28.
<https://doi.org/10.21070/medicra.v8i1.1775>
- Pintubatu, K. L., Widada, S., Marwoto, J., & Satriadi, A. (2020). Studi pola sebaran suhu permukaan laut akibat air bahang pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Paiton Probolinggo Jawa Timur. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2), 173-181. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.8068>
- Pradona, S., & Partaya. (2022). Akumulasi logam berat timbal (Pb) pada daging ikan di Tanjung Mas Semarang. *Life Science*, 11(2), 143 – 150.
<https://journal.unnes.ac.id/sju/UnnesJLifeSci/article/view/64383>
- Prima, C. D., Hartoko, A., & Muskananfolo, M. R. 2016. Analisis sebaran spasial kualitas perairan Teluk Jakarta. *Maquares*, 5(2): 51–60.
- Putri, M. P., Purnadianti, M., Prodyanasari, A., Agustina, N., & Nelson, A. D. (2024). Hubungan kadar timbal (Pb) dengan kadar hemoglobin (Hb) dalam sampel darah petugas sampah TPS Bandar Lor Kota: Kediri. *Jurnal Wiyata: Penelitian Sains dan Kesehatan*, 11(2), 137-142.
<http://dx.doi.org/10.56710/wiyata.v11i2.826>
- Putrisia, A. V., Ain, C., & Rahman, A. (2022). Analisa produktivitas primer sebagai upaya pengelolaan kualitas air di Waduk Jatibarang, Semarang. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 18(1), 1-9.
<https://doi.org/10.30598/TRITONvol18issue1page1-9>
- Purnawija, B. R., Yuliantini, A., & Rachmawati, W. (2021). Analisis zat berbahaya pada kosmetik krim pemutih dengan metode AAS dan spektrofotometri UV-VIS. *Journal of Pharmacy and Science*, 5(1), 9-18.
<https://doi.org/10.36341/jops.v5i1.1923>
- Purwiyanto, A. I. S. (2015). Distribusi dan adsorpsi logam timbal (Pb) di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Indonesian Journal of Marine Sciences*, 20(3), 153-162. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.20.3.153-162>
- Rahayu, D. R., & Mangkoedihardjo, S. (2022). Kajian bioaugmentasi untuk menurunkan konsentrasi logam berat di wilayah perairan menggunakan bakteri (studi kasus: pencemaran merkuri di sungai Krueng Sabee, Aceh Jaya). *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), 15-22. [10.12962/j23373539.v11i1.82791](https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i1.82791)

- Rahmah, N., Zulfikar, A., & Apriadi, T. (2022). Kelimpahan fitoplankton dan kaitannya dengan beberapa parameter lingkungan perairan di Estuari Sei Carang Kota Tanjungpinang. *Journal of Marine Research*, 11(2), 189-200. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jmr>
- Razi, N. M., Fildzah, F., Dhani, D. N., Nasir, M., Rizki, A., & Firdus, F. (2023). Literatur review: pencemaran logam berat di Pelabuhan Indonesia. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, 5(1), 48-61. <https://doi.org/10.35308/jlik.v5i1.7175>
- Salelatu, K., Sihasale, D. A., & Riry, J. (2025). Kualitas air laut dan indeks pencemaran berdasarkan parameter fisik kimia pada perairan laut teluk dalam kota Ambon. *Hatunuku*, 1(1), 98-111. <https://teewanjournal.com/index.php/hjpi>
- Sasongko, A. S., Rahayu, B. D., & Satibi, A. (2023). Kandungan logam berat di perairan Teluk Lada Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten. *Samakia*, 14(2), 100–105. <https://doi.org/10.35316/jsapi.v14i2.2745>
- Sattar, S., Yahya, M., Aslam, S., Hussain, R., Shah, S. M. M., Rauf, Z., ... & Shahzad, A. (2025). Environmental occurrence, hazards, and remediation strategies for the removal of cadmium from the polluted environment. *Results in Engineering*, 25, 104322. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104322>
- Sayow, F., Polii, B. J. V., & Sinolungan, M. T. M. (2024). Analysis of the heavy metal content of Hg, Pb and Cu in water, sediment and eceng gondok (*Eichornia crassipes*) Plants In Lake Tondano. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan (Applied Agroecotechnology Journal)*, 5(1), 156–167. <https://doi.org/10.35791/jat.v5i1.55423>
- Sholihah, L., & Irawanto, R. (2025). Identifikasi permasalahan dan pengelolaan Sungai Welang. *Envirous*, 5(2), 8-13. <https://doi.org/10.33005/envirous.v5i2.337>
- Siaka, I. M., Suastuti, N. G. A. M. D. A., & Mahendra, I. P. B. (2016). Distribusi logam berat Pb dan Cu pada air laut, sedimen, dan rumput laut di Perairan Pantai Pandawa. *Jurnal Kimia*, 10(2), 190- 196.
- Silvi, M. V., Redjeki, S., & Riniatsih, I. (2022). Kandungan nutrien di sedimen pada ekosistem padang lamun di Teluk Awur dan Pulau Panjang, Jepara. *Journal of Marine Research*, 11(3), 420-428. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i3.32219>

- Sims, R. P., Bedington, M., Schuster, U., Watson, A., Kitidis, V., Torres, R., ... & Bell, T. (2022). Tidal mixing of estuarine and coastal waters in the Western English Channel controls spatial and temporal variability in seawater CO₂. *Biogeosciences Discussions*, 2021, 1-25.
<https://doi.org/10.5194/bg-19-1657-2022>
- Sudewa, B., & Hadiatna, F. (2017). Evaluasi sensor FIT0348 sebagai alat ukur potential of hydrogen (pH) larutan. *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan (e-Journal)*, 4(2), 570 – 578.
<https://doi.org/10.25124/jett.v4i2.1129>
- Suhada, B. A. W., Adzillah, W. N., & Purwanto, A. (2024). Pemetaan sebaran salinitas di Desa Tanjung Pakis Kabupaten Karawang menggunakan QGIS. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 24(3), 2565 – 2569.
<http://dx.doi.org/10.33087/jiubj.v24i3.5622>
- Sukoasih, A., & Widiyanto, T. (2017). Hubungan antara suhu, pH dan berbagai variasi jarak dengan kadar timbal (Pb) pada badan air sungai rompang dan air sumur gali industri batik sokaraja tengah tahun 2016. *Buletin Keslingmas*, 36(4), 360-368.
- Supriatna, M., Mahmudi, M., Musa, M., & ., K. (2020). Model pH dan hubungannya dengan parameter kualitas air pada tambak intensif udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Banyuwangi Jawa Timur. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(3), 368–374.
<https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2020.004.03.8>
- Suryo, R. A., Yulianto, B., & Santoso, A. (2021). Konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada air sedimen dan kerang hijau (*Perna viridis*) di Pantai Mekar Muara Gembong Bekasi. *Journal of Marine Research*, 10(3), 428 – 436.
<https://doi.org/10.14710/jmr.v10i3.29162>
- Susanto, A., Mulyani, T., & Nugraha, S. (2021). Validasi metode analisis penentuan kadar logam berat Pb, Cd dan Cr terlarut dalam limbah cair industri tekstil dengan metode inductively coupled plasma optical emission spectrometry prodigy7. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(1), 191-200.
doi:10.14710/jil.19.1.191-200
- Syafriliansah, M. W., & Purnomo, T. (2022). Kadar logam berat timbal (Pb) tumbuhan akuatik dan air sebagai indikator kualitas air sungai Brangkal

- Mojokerto. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 341-350.
<https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n2.p341-350>
- Triyanto, H. C., Nuraini, R. T. A., & Haryanti, D. (2024). Akumulasi logam berat timbal (Pb) pada air, sedimen, dan lamun (*Thalassia hemprichii*) di Pulau Kelapa Dua, Kepulauan Seribu. *Journal of Marine Research*, 13(1), 37-44.
<https://doi.org/10.14710/jmr.v13i1.35263>
- Tungka, A. W., Haeruddin, H., & Ain, C. (2016). Konsentrasi nitrat dan ortofosfat di muara sungai banjir kanal barat dan kaitannya dengan kelimpahan fitoplankton harmful alga blooms (HABs). *SAINTEK PERIKANAN: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 12(1), 40-46.
<https://doi.org/10.14710/ijfst.12.1.40-46>
- Usman, Y. A., Mohamad, E., & Isa, I. (2025). Kandungan timbal, besi, dan kadmium pada air dan ikan nike di perairan Sungai Bone, kota Gorontalo menggunakan metode spektroskopi. *Journal Health & Science: Gorontalo Journal Health and Science Community*, 9(2), 150-164.
<https://doi.org/10.35971/gojhes.v9i2.29088>
- Utami, N. U., Ibrahim, E., & Saputra, A. (2025). Analisis perbandingan kualitas air laut tahun 2023-2024 di Dermaga Pantai Penganak, Kabupaten Bangka Barat, Kepulauan Bangka Belitung. *Mantis Journal of Fisheries*, 2(01), 19-25. <https://online-journal.unja.ac.id/manthis>
- Wahyu, I. E. N., Prasita, V. D., & Pranowo, W. S. (2024). Karakter oksigen (O₂) terlarut di perairan Selat Madura tahun 2022. *Jurnal Hidropilar*, 10(1), 9 – 16. <https://doi.org/10.37875/hidropilar.v10i1.331>
- Yang, Y., Hassan, M. F., Ali, W., Zou, H., Liu, Z., & Ma, Y. (2025). Effects of cadmium pollution on human health: a narrative review. *Atmosphere*, 16(2), 225. <https://doi.org/10.3390/atmos16020225>
- Yudo, S., & Said, N. I. (2019). Kondisi kualitas air sungai Surabaya studi kasus: peningkatan kualitas air baku PDAM Surabaya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(1), 19 – 28.
- Yue, N., Dong, C., Yang, J., Wang, J., Feng, J., & Sun, J. (2025). Distribution and pollution assessment of heavy metal (loid) s in seawater and organisms in Rongcheng coastal area, China. *Frontiers in Marine Science*, 12: 1583535. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1583535>

- Yuliardi, A. Y., Rachman, H. A., Sari, R. J., Rahmalia, D. A., Nugroho, A. T., & Prayogo, L. M. (2024). Analisis variasi musiman suhu, salinitas, dan arus permukaan di perairan Madura. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4), 292-305. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i4.24477>
- Zainuri, M., Indriyawati, N., Syarifah, W., & Fitriyah, A. (2023). Korelasi intensitas cahaya dan suhu terhadap kelimpahan fitoplankton di perairan estuari Ujung Piring Bangkalan. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1), 20-26. <https://doi.org/10.14710/buloma.v12i1.44763>