

**ANALISIS *BIOCONCENTRATION FACTOR* (BCF) LOGAM BERAT
CADMIUM (Cd) PADA KERANG DARAH (*Anadara granosa*) DI PULAU
PASARAN, KOTA BANDAR LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**TESA YEMIMA SILALAH
2217021161**



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**ANALISIS *BIOCONCENTRATION FACTOR* (BCF) LOGAM BERAT
CADMIUM (Cd) PADA KERANG DARAH (*Anadara granosa*) DI PULAU
PASARAN, KOTA BANDAR LAMPUNG**

Oleh

**TESA YEMIMA SILALAH
2217021161**

(Skripsi)

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ANALISIS *BIOCONCENTRATION FACTOR* (BCF) LOGAM BERAT CADMIUM (Cd) PADA KERANG DARAH (*Anadara granosa*) DI PULAU PASARAN, KOTA BANDAR LAMPUNG

Oleh

TESA YEMIMA SILALAH

Pulau Pasaran, Bandar Lampung, merupakan kawasan pesisir dengan aktivitas perikanan yang berpotensi terpapar logam berat Cadmium (Cd) yang bersumber dari limbah domestik, residu bahan bakar, aktivitas kapal serta sumber antropogenik lain seperti rokok, pupuk fosfat, dan pestisida, yang bersifat sangat toksik apabila melebihi ambang batas baku mutu. Kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai salah satu organisme *filter feeder*, berpotensi mengakumulasi logam Cd dan menjadi indikator pencemaran perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi Cd di air laut dan kerang darah serta menentukan nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) di Pulau Pasaran. Sampel diambil secara *purposive sampling* dari tiga lokasi, yaitu muara sungai, mangrove, dan pemukiman, pada Bulan November-Desember 2025. Analisis logam Cd dilakukan menggunakan *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) yang mengacu pada SNI 6989-82:2018, dengan validasi akurasi, presisi, dan linieritas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Cd pada air laut di seluruh lokasi melebihi baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VII, dengan kisaran 0,004-0,005 mg/L. Konsentrasi Cd pada kerang darah masih berada di bawah ambang batas sesuai SNI 7387:2009, yaitu 0,082-0,160 mg/kg. Nilai BCF tergolong akumulatif rendah (16,8-40), dengan nilai tertinggi ditemukan di kawasan pemukiman. Hasil ini menunjukkan akumulasi Cd pada kerang darah masih terbatas, meskipun perairan telah mengalami pencemaran logam berat Cd.

Kata Kunci: Air Laut, BCF, Cadmium (Cd), ICP-OES, Kerang darah (*Anadara granosa*), Logam berat, Pulau Pasaran

ABSTRAK

ANALYSIS OF THE BIOCONCENTRATION FACTOR (BCF) OF HEAVY METAL CADMIUM (CD) IN BLOOD COCKLE (*Anadara granosa*) AT PASARAN ISLAND, BANDAR LAMPUNG CITY

By

TESA YEMIMA SILALAH

Pulau Pasaran, Bandar Lampung, is a coastal area with intensive fisheries activities that is potentially exposed to the heavy metal cadmium (Cd), originating from domestic waste, fuel residues, shipping activities, and other anthropogenic sources such as cigarette waste, phosphate fertilizers, and pesticides. Cadmium is highly toxic when its concentration exceeds established environmental quality standards. Blood clams (*Anadara granosa*), as filter-feeding organisms, have the potential to accumulate Cd and serve as bioindicators of aquatic pollution. This study aimed to analyze Cd concentrations in seawater and blood clams and to determine the Bioconcentration Factor (BCF) in Pulau Pasaran. Samples were collected using purposive sampling from three locations: river estuary, mangrove area, and residential area, during November–December 2025. Cadmium analysis was conducted using Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) following SNI 6989-82:2018, with validation of accuracy, precision, and linearity. The results showed that Cd concentrations in seawater at all locations exceeded the quality standards stipulated in Government Regulation No. 22 of 2021 (Appendix VII), ranging from 0.004-0.005 mg/L. Cd concentrations in blood clams were below the maximum permissible limit according to SNI 7387:2009, ranging from 0.082-0.160 mg/kg. The BCF values indicated low accumulation (16.8–40), with the highest value observed in the residential area. These findings suggest that Cd accumulation in blood clams remains limited, although the waters have already been contaminated by Cd.

Keywords: Seawater, BCF, Cadmium (Cd), ICP-OES, Blood Cockle (*Anadara granosa*), Heavy Metals, Pasaran Island

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis *Bioconcentration Factor* (BCF) Logam Berat Cadmium (Cd) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) Di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung

Nama Mahasiswa : Tesa Yemima Sifalahi

NPM : 2217021161

Jurusan : Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D.
NIP. 196411191990031001

Pembimbing II

Dr. Agus Subagyo, S.Si., M. Si.
NIP. 197308072000031001

2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA Unila

Dr. Jani Mastar, M.Si.
NIP. 198301312008121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D**

Sekretaris : **Dr. Agus Subagyo, S. Si., M. Si**

Penguji : **Prof. Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc.,**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **09 Maret 2026**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tesa Yemima Silalahi

NPM : 2217021161

Jurusan : Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul “**Analisis *Bioconcentration Factor (BCF)* Logam Berat Cadmium (Cd) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) Di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung**” adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Kemudian, saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan.

Demikian pernyataan ini saya buat. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandarlampung, 30 Maret 2026

Yang menyatakan,



Tesa Yemima Silalahi

NPM. 2217021161

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Tesa Yemima Silalahi, lahir di Sait Buttu pada tanggal 18 Februari 2004 dari pasangan Bapak Kennedy Silalahi dan Ibu Lasmaida Sagala. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dan berdomisili di Sait Buttu, Kecamatan Pematang Sidamanik, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara. Pendidikan formal penulis dimulai pada tahun 2010 di SD Negeri 091434 Sait Buttu dan diselesaikan pada tahun 2016. Selanjutnya, pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Sidamanik dan lulus pada tahun 2019. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA Negeri 1 Sidamanik sejak tahun 2019 hingga tahun 2022.

Pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Strata Satu (S1) dan diterima sebagai mahasiswi Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menempuh pendidikan di Jurusan Biologi, penulis aktif dalam kegiatan akademik, salah satunya dengan menjadi asisten praktikum pada beberapa mata kuliah, yaitu Praktikum Genetika, Ekologi, Botani Tumbuhan Rendah, serta Praktikum Keterampilan Dasar Laboratorium (PKDL) serta pada tahun 2023, penulis meraih prestasi sebagai Juara 1 Olimpiade Biologi Tingkat Nasional yang diselenggarakan oleh Jenius Competition dalam Kompetisi Sains dan Pelajar Jenius. Selain aktif dalam kegiatan akademik, penulis juga berperan aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan. Pada tahun 2022-2023, penulis tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung sebagai Koordinator Kesekretariatan pada kegiatan Pelatihan Karya Tulis Ilmiah (PKTI)

yang diselenggarakan oleh Bidang Sains dan Teknologi dan pada tahun 2022, penulis juga berpartisipasi sebagai anggota pada kegiatan webinar konservasi dalam rangka Pekan Konservasi Sumber Daya Alam (PKSDA) XXVII. Selain itu, pada tahun 2023 penulis aktif sebagai anggota Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Penelitian Universitas Lampung dan UKM Pusat Informasi dan Konseling Remaja (PIK-R) Raya Universitas Lampung.

Pada Bulan Desember 2024-Januari 2025, penulis meelaksanakan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) dan menghasilkan laporan dengan judul “**Analisis Logam Berat Tembaga (Cu) Terlarut Pada Air Sungai Dengan Metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)**”. Selanjutnya, pada Bulan Juni-Agustus 2025 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Batu Putuk, Kec. Teluk Betung Barat, Kota Bandarlampung. Sebagai penutup akhir perkuliahan, penulis membuat skripsi dengan judul “**Analisis *Bioconcentration Factor* (BCF) Logam Berat Cadmium (Cd) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) Di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung**”.

PERSEMBAHAN

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih karunia, penyertaan, dan berkat-Nya yang senantiasa menyertai penulis, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Dengan penuh kerendahan hati dan rasa hormat, karya ini penulis persembahkan kepada:

Bapak Kennedy Silalahi dan Ibu Lasmaida Sagala, sebagai orang tua tercinta yang telah membesarkan, mendidik, serta memberikan kasih sayang, doa, dukungan, dan pengorbanan yang tulus dan tiada henti. Segala capaian yang diraih penulis hingga saat ini tidak terlepas dari peran, bimbingan dari kedua orang tua.

Saudara-saudari penulis Abang Brando Silalahi, S.ST, Kakak Devi Hotmian Silalahi, A.Md.Keb. dan Adik Claudia Silalahi yang senantiasa memberikan dukungan moral, motivasi, dan semangat dalam setiap proses yang penulis jalani.

Bapak dan Ibu Dosen, khususnya para dosen pembimbing, yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, serta arahan selama masa perkuliahan hingga tersusunnya skripsi ini.

Sahabat dan rekan-rekan seperjuangan yang telah memberikan dukungan, kebersamaan, serta semangat dalam menjalani proses akademik, sehingga setiap tantangan dapat dilalui dengan baik.

Kiranya karya ilmiah ini dapat menjadi wujud ungkapan syukur atas segala penyertaan Tuhan serta memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan pihak-pihak yang memerlukannya.

MOTTO

In the Name Of Jesus Christ

“Segala perkara dapat kutanggung didalam Dia,
yang memberi kekuatan kepadaku”
(Filipi 4:13)

“Dan apa saja yang kamu minta dalam doa dengan penuh kepercayaan,
kamu akan menerimanya”
(Matius 21:22)

“Setetes keringat orang tua saya yang keluar, ada seribu langkah untuk maju dan
walaupun terlahir bukan dari kedua orang tua yang mempunyai gelar sarjana, tapi
Puji Tuhan saya bisa menjadi sarjana”

“Jangan takut gagal, karna yang pernah gagal hanyalah orang-orang
yang tidak pernah melangkah”
(Buya Hamka)

Bisikkanlah, Terima kasih pada diri sendiri
Hebat dia, Terus menjagamu dan sayangimu
Suarakan, Bilang padanya, jangan paksakan apa pun
Suarakan, Ingatkan terus aku makna cukup
Luka, luka, hilanglah luka, Biar senyum jadi senjata
Kau terlalu berharga untuk luka
Katakan pada dirimu, Semua baik-baik saja
(M.Tulus)

“do your best, and God will do the rest”

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala kasih, penyertaan, dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis *Bioconcentration Factor (BCF)* Logam Berat Cadmium (Cd) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) Di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung**”. Segala proses yang telah dilalui tidak terlepas dari pertolongan dan penyertaan Tuhan yang senantiasa memberikan kekuatan, hikmat, serta pengharapan kepada penulis.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan ini tidak terlepas dari dukungan, doa, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Kennedi Silalahi dan Ibu Lasmaida Sagala selaku orang tua tercinta yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, semangat, serta pengorbanan yang tiada henti kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan dan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D., selaku Pembimbing I yang telah memberikan arahan, ilmu, motivasi, serta masukan yang sangat berharga kepada penulis sejak awal hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Agus Subagyo, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran, serta koreksi yang membangun selama proses penelitian dan penulisan skripsi.
4. Bapak Prof. Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc., selaku Pembahas yang telah memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat berarti demi penyempurnaan skripsi ini.

5. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., selaku Rektor Universitas Lampung yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan di Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan serta kebijakan akademik selama penulis menempuh studi.
7. Bapak Dr. Jani Master, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan arahan serta dukungan dalam proses akademik penulis.
8. Ibu Dr. Kusuma Handayani, M.Si., selaku Ketua Program Studi S1 Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah membantu dan memfasilitasi penulis selama menjalani perkuliahan hingga penyusunan skripsi.
9. Ibu Prof. Endang Linirin Widiastuti, M.Sc., Ph.D. selaku Pembimbing Akademik atas bimbingannya kepada penulis dalam menempuh pendidikan di Jurusan Biologi.
10. Seluruh dosen Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta pengalaman berharga selama masa perkuliahan sehingga penulis memperoleh bekal pengetahuan yang bermanfaat.
11. Seluruh staf administrasi dan laboran Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam proses administrasi, praktikum, serta pelaksanaan penelitian hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
12. Ibu Farlina, S.P. selaku analis di UPA LTSIT Universitas Lampung dan Ibu Dhiny Suntya Putri, S.P., M.Si. selaku PLP di Laboratorium Botani yang telah membantu dan memberikan arahan selama proses penelitian serta Bapak Doyono yang telah banyak membantu dalam proses pengambilan sampel di Pulau Pasaran sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

13. Kakak Devi Silalahi, A.Md.Keb., Abang Brando Silalahi, S.ST., serta adik Claudia Silalahi dan seluruh keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan, kasih sayang, dan semangat tanpa henti sehingga penulis dapat melewati setiap proses hingga tahap ini.
14. Sahabat seperjuangan penulis Rochmah Agustina yang senantiasa menemani, mendengarkan, serta menjadi tempat berbagi cerita dan keluh kesah selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan perhatian tulus yang selalu diberikan kepada penulis hingga dapat menyelesaikan tahap ini dengan baik.
15. Sahabat penulis Stevi Emanuela Putri Marpaung dan Chyntia Mahika Hutabarat yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan doa, serta menjadi tempat berbagi cerita dan penguat bagi penulis.
16. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada Muhammad Tulus, yang melalui karya-karyanya telah menjadi teman dalam proses penulisan skripsi ini. Lagu-lagu yang penuh makna dan ketenangan turut memberikan semangat, inspirasi, serta suasana positif selama penyusunan penelitian ini berlangsung. Semoga karya dan dedikasinya di dunia musik terus menginspirasi banyak orang.
17. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Melitha Sidabutar (alm) atas karya-karya lagu rohani yang telah menjadi sumber penguatan, penghiburan, dan semangat bagi penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
18. Teman-temanku Salsabila Istikomah, Meliana Geovini Sinurat, Israhul, Lidya Suci, Nabila Aulia Rhamadaningtyas, Annisa Lidya Maharani, Niki Cahpindo Nurhidayah, Calesta Adinda, Early Rahmawati, Devi Aulia Putri dan Ratna Ayu Wulansari yang telah mewarnai perjalanan perkuliahan penulis dengan kebersamaan, tawa, dukungan, serta semangat yang tidak pernah pudar hingga akhir penyusunan skripsi ini.
19. Teman-temanku Elisa, Nabil, Patrick, Elly, Awa, Kaifa, Firly, Sasa, Vivin, Vania, Nathasya, Zona, Biologi Kelas D, seluruh Angkatan 2022, Praktikkan Biologi A 2023 serta Biologi A 2024 yang telah menjadi bagian

dari proses belajar, berbagi pengalaman, dan menciptakan kenangan berharga selama masa perkuliahan.

20. Serta almamater tercinta, Universitas Lampung, yang telah menjadi tempat penulis dapat menyelesaikan pendidikan ini dengan baik.

Kiranya Tuhan Yang Maha Esa senantiasa melimpahkan kasih karunia dan berkat-Nya kepada semua pihak yang telah memberikan doa, dukungan, bimbingan, serta bantuan kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga terselesaikannya skripsi ini. Setiap kebaikan, perhatian, dan pengorbanan yang telah diberikan kiranya memperoleh balasan yang setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat berbagai keterbatasan, baik dari segi sistematika penulisan, kedalaman analisis, maupun penyajian data. Oleh karena itu, penulis dengan rendah hati mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan dan penyempurnaan karya ilmiah ini di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik sebagai tambahan wawasan ilmiah, referensi bagi penelitian selanjutnya, maupun sebagai kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan. Semoga karya ini dapat menjadi berkat dan memberikan nilai positif bagi setiap pembaca.

Bandarlampung, 30 Maret 2026

Penulis,

Tesa Yemima Silalahi

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
HALAMAN PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	x
MOTTO	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR GAMBAR	xxi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Kerangka Pikir.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Lingkungan Perairan	7
2.2 Pulau Pasaran	8
2.3 Pencemaran Air Laut.....	9
2.4 Logam Berat	10

2.5 Logam Cadmium (Cd)	13
2.6 Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>).....	16
2.7 <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF)	18
2.8 ICP-OES (<i>Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectroscopy</i> ...)	20
2.9 Validasi Metode	21
III. METODE PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Gambaran Lokasi Pengambilan Sampel.....	23
3.3 Lokasi Pengambilan Sampel	25
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.4.1 Alat	27
3.4.2 Bahan	27
3.5 Metode Penelitian.....	27
3.6 Teknik Pengambilan Sampel.....	28
3.7 Prosedur Kerja.....	28
3.7.1 Pengambilan Sampel Air Laut dan Kerang darah (<i>Anadara granosa</i>)..	28
3.7.2 Preparasi Sampel	30
3.8 Pengujian Logam Berat	31
3.9 Analisis Data	31
3.10 Validasi Metode	32
3.11 Diagram alir penelitian.....	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Hasil	36
4.1.1 Konsentrasi Logam Berat Cd dalam Air Laut	36
4.1.2 Konsentrasi Logam Berat Cd dalam Kerang Darah	37
(<i>Anadara granosa</i>)	37
4.1.3 <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) Cadmium (Cd)	37
4.1.4 Validasi Metode ICP-OES.....	38
4.2 Pembahasan.....	39
4.2.1 Konsentrasi Logam Berat Cd dalam Air Laut	39

4.2.2 Konsentrasi Logam Berat Cd dalam Kerang Darah	41
4.2.3 <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF)	43
4.2.4 Validasi Metode.....	47
V. KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Simpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Standar Baku Mutu Cd berdasarkan PP No.22 Tahun 2021.....	15
Tabel 2.2 Standar Baku Mutu Cd berdasarkan SNI 7387 Tahun 2009	15
Tabel 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel.....	26
Tabel 4.1 Konsentrasi logam berat Cd dalam sampel air laut	36
Tabel 4.2 Konsentrasi logam berat Cd dalam sampel kerang darah	38
Tabel 4.3 Analisis BCF pada kerang darah	38
Tabel 4.4 Pengukuran validasi metode ICP-OES logam berat Cd	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram alir kerangka pikir	6
Gambar 2.1 Kerang darah (<i>Anadara granosa</i>)	16
Gambar 2.2 Prinsip Kerja ICP-OES	20
Gambar 3.1 Kondisi Muara Sungai Way Belau.....	24
Gambar 3.2 Kondisi Kawasan Mangrove	24
Gambar 3.3 Kondisi Pemukiman Warga	25
Gambar 3.4 Peta Lokasi Penelitian	26
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian.....	35
Gambar 4.1 Konsentrasi logam berat Cd dalam Air Laut	39
Gambar 4.2 Konsentrasi Cd Kerang Darah	41
Gambar 4.3 BCF Kerang Darah.....	44
Gambar 4.4 Kurva Kalibrasi ICP-OES.....	49

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan yang memiliki lebih dari 17.000 pulau dengan garis pantai sepanjang sekitar 81.000 Km, yang membentang di seluruh wilayah pesisir terdapat perairan yang memiliki potensi besar, baik hayati maupun non-hayati dan berfungsi sebagai sumber daya alam penting bagi ekonomi masyarakat, menopang ekosistem, menjadi habitat berbagai biota laut, serta menjadi sumber mata pencaharian dan pangan bagi penduduk (Baransano & Mangimbulude, 2018). Kawasan perairan berperan penting dalam mendukung berbagai aktivitas, namun kekayaan sumber dayanya juga sering dieksploitasi secara berlebihan yang mengakibatkan muncul pencemaran yang bersifat toksik bagi biota perairan dan membahayakan kesehatan manusia (Fauzan *et al.*, 2024). Pencemaran bersumber dari limbah manusia yang meningkat dalam jumlah besar dapat merusak keseimbangan ekosistem laut dan memicu dampak lingkungan terutama dari aktivitas pembuangan sampah berupa bahan plastik, logam, dan anorganik lain yang mencemari perairan baik secara sengaja maupun tidak disengaja (Lazim *et al.*, 2024).

Pulau Pasaran yang berada di Teluk Betung, Kota Bandar Lampung merupakan salah satu pusat produksi ikan asin dan kegiatan ekonomi kelautan lain seperti penangkapan cumi, kepiting, serta budidaya ikan kerapu dan kerang hijau di Provinsi Lampung (Hamid *et al.*, 2023). Namun, kawasan ini mengalami dampak dari alih fungsi lahan pantai menjadi kawasan industri, termasuk pembangkit listrik, pelabuhan, dan pemukiman dan perairan ini juga

menerima limpasan dari sembilan sungai, salah satunya Sungai Way Belau dari aktivitas perkapalan, sehingga berpotensi membawa kontaminan cemaran logam berat ke ekosistem laut (Rahmah, 2019).

Logam berat merupakan pencemar berbahaya yang sulit terurai, mudah terakumulasi dalam organisme, dan berasal dari aktivitas industri, pertanian, maupun limbah domestik yang terbawa ke perairan serta diserap biota akuatik (Polapa *et al.*, 2022). Kerang menjadi salah satu sumber daya perairan yang banyak dikonsumsi masyarakat dan sering menjadi komoditas tangkapan nelayan pesisir karena mengandung banyak protein hewani salah satunya contohnya adalah kerang darah (*Anadara granosa*). Jenis ini hidup di dasar perairan dengan substrat pasir atau lumpur dan termasuk hewan Bivalvia dalam kelas Moluska yang memperoleh makanan dari plankton maupun partikel organik terlarut di sekitarnya (Linda *et al.*, 2022). Sebagai *filter feeder* karena memanfaatkan fitoplankton dan bahan organik tersuspensi yang melimpah di perairan tambak akibat sisa pakan dan limbah budidaya udang. Selain itu, kerang darah juga berfungsi sebagai *detritus feeder*, karena mampu memanfaatkan detritus dan bahan organik pada sedimen, terutama saat ketersediaan mikroalga rendah, sehingga sisa pakan dan hasil metabolisme yang diubah menjadi biomassa bagi kerang untuk pertumbuhan (Prasetyono *et al.*, 2023).

Namun juga berpotensi menyerap logam berat dari lingkungannya melalui permukaan tubuh, jaringan lunak, cangkangnya maupun rantai makanan (Kharisma *et al.*, 2023). Selain itu menurut (Akhir *et al.*, 2023) logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh kerang melalui membran dan organ pengangkut, kemudian diserap oleh sel. Cadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang dapat terakumulasi dalam jaringan kerang darah, mengingat spesies ini memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi perairan tercemar (Linda *et al.*, 2022).

Cd termasuk salah satu logam berat berbahaya yang umumnya berasal dari limbah domestik, bahan bakar, aktivitas kapal di sekitar Tempat Pelelangan Ikan (TPI) yang berkontribusi terhadap pencemaran (Widyaningsih *et al.*, 2023). Selain itu, rokok juga berkontribusi dengan kandungan 1-2 miligram kadmium per batang,

pupuk fosfat, dan pestisida (Widyaningsih *et al.*, 2023). Logam Cd bersifat sangat toksik apabila melebihi ambang batas baku mutu (Najihah & Rachmadiarti, 2023). Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Maharani *et al.*, (2019) pada salah satu jenis kerang yaitu kerang hijau (*Perna viridis*) di Pulau Pasaran mengandung Cd sebesar 0,022–0,024 mg/L pada air laut dan 0,030–0,033 mg/kg pada jaringan kerang, dengan nilai yang masih berada di bawah baku mutu. Nilai Biokonsentrasi Faktor (BCF) juga dihitung sebesar 1,33 untuk kerang berukuran 3 cm dan 1,47 untuk kerang 6 cm, yang menunjukkan bahwa akumulasi Cd oleh kerang hijau di lokasi tersebut tergolong rendah. Namun, penelitian tersebut berfokus pada kerang hijau sehingga nilai BCF yang diperoleh tidak dapat langsung diekstrapolasi ke kerang darah yang memiliki fisiologi dan perilaku *feeding* berbeda.

Hasil berbeda ditunjukkan oleh penelitian Amelia *et al.* (2019) di perairan Batam menunjukkan bahwa logam Cd, Pb, dan Cu terdeteksi pada kerang darah dengan konsentrasi bervariasi. Nilai BCF yang diperoleh mengindikasikan adanya perbedaan kemampuan akumulasi antarspesies serta potensi bioakumulasi pada kategori sedang hingga tinggi. Penelitian lain oleh Rahmah (2019) menunjukkan bahwa kandungan logam Pb dan Cu pada sedimen serta kerang darah di Pulau Pasaran telah melebihi ambang batas dengan konsentrasi Pb pada kerang darah 206,51 mg / kg dan Cu 95,11 mg / kg sedangkan konsentrasi Pb pada sedimen adalah 634,49 mg / kg dan Cu 366,85 mg/kg, sehingga mengindikasikan adanya pencemaran. Namun, penelitian tersebut tidak mencakup logam Cd. Hal serupa juga terlihat pada penelitian Safitri *et al.* (2018) dan Fauzan *et al.* (2024) yang menganalisis logam Hg, Cu, Pb, Zn, dan Ag pada kerang hijau, tetapi tidak menyertakan pengukuran logam Cd pada media air laut sebagai jalur utama pencemaran.

Meskipun penelitian mengenai pencemaran logam berat Cd telah banyak dilakukan, data mengenai nilai BCF logam Cd pada kerang darah yang secara luas banyak dikonsumsi masyarakat masih terbatas. Padahal, informasi ini penting untuk menilai potensi akumulasi Cd serta risiko pencemaran logam berat di wilayah perairan yang diteliti. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memberikan gambaran tingkat pencemaran perairan sebagai indikator kualitas

lingkungan dan kondisi organisme perairan (Liana *et al.*, 2024) tetapi juga untuk menyediakan data ilmiah yang dapat menjadi dasar dalam penyusunan kebijakan pengelolaan pangan laut aman, perlindungan kesehatan masyarakat di Pulau Pasaran melalui pendekatan BCF dengan metode ICP-OES untuk analisis logam Cd sehingga hasilnya lebih akurat dan dapat dijadikan rujukan dalam pengelolaan kualitas perairan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana konsentrasi logam berat Cd pada air laut dan kerang darah di perairan Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung?
2. Apakah konsentrasi logam berat Cd pada air laut dan kerang darah di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung masih berada di bawah standar baku mutu yang berlaku?
3. Berapakah nilai BCF logam Cd pada kerang darah di perairan Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis konsentrasi logam berat Cd pada air laut dan kerang darah di perairan Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung menggunakan metode ICP-OES.
2. Membandingkan hasil analisis konsentrasi Cd pada air laut dan kerang darah dengan standar baku mutu.
3. Menghitung nilai BCF logam Cd pada kerang darah dan air laut di perairan Pulau Pasaran Kota Bandar Lampung.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan ilmiah berupa data mengenai konsentrasi logam Cd pada air laut dan kerang darah serta nilai BCF di Pulau Pasaran, yang dapat

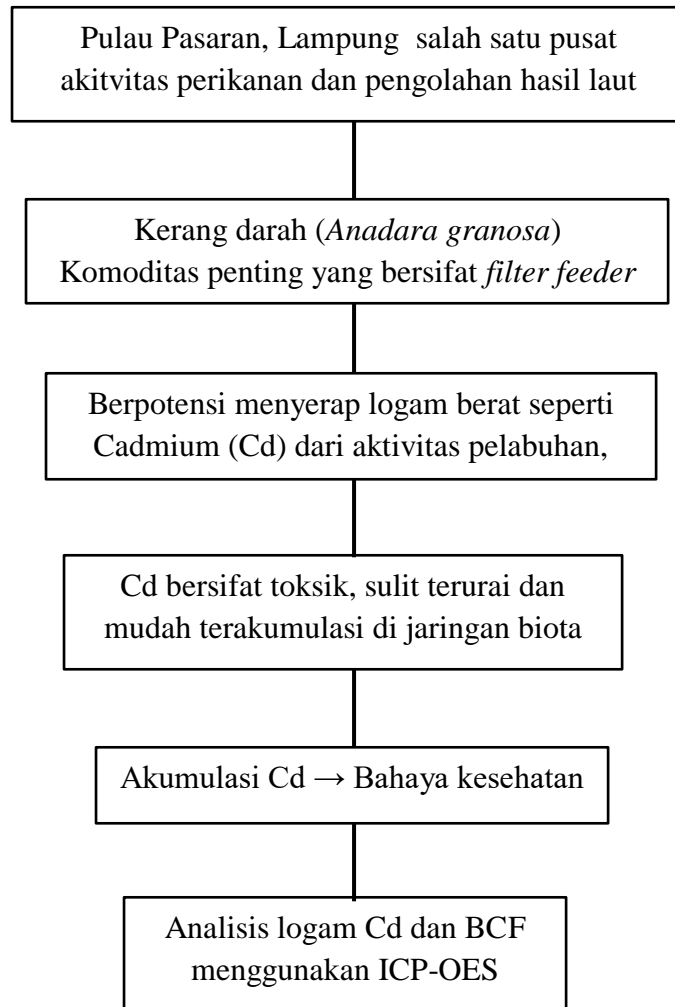
menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya di bidang lingkungan perairan dan keamanan pangan laut.

2. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk memahami kemampuan bioakumulasi kerang darah melalui nilai BCF, sehingga dapat dimanfaatkan dalam pemantauan kualitas lingkungan serta sebagai pertimbangan dalam pengelolaan sumber daya perairan secara berkelanjutan.

1.5 Kerangka Pikir

Pulau Pasaran, Lampung, merupakan pusat aktivitas perikanan dan pengolahan hasil laut yang memanfaatkan sumber daya perairan secara intensif. Salah satu komoditas penting di kawasan ini adalah kerang darah, yang banyak dikonsumsi masyarakat dan bernilai ekonomi bagi nelayan. Sebagai organisme *filter feeder*, kerang darah berpotensi menyerap logam berat dari lingkungannya, termasuk logam Cd yang bersifat toksik, sulit terurai, dan mudah terakumulasi. Aktivitas pelabuhan, perikanan, serta aliran limbah sungai di sekitar Pulau Pasaran meningkatkan risiko masuknya Cd ke perairan. Akumulasi Cd dalam kerang darah berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat melalui konsumsi harian. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan penelitian untuk menganalisis kandungan Cd pada air laut dan kerang darah di Pulau Pasaran serta menghitung nilai BCF menggunakan metode ICP-OES. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar ilmiah dalam penilaian risiko kesehatan sekaligus mendukung pengelolaan sumber daya pesisir yang aman dan berkelanjutan. Kerangka berpikir penelitian secara ringkas disajikan pada diagram kerangka pikir penelitian (Gambar 1.1).

Diagram alir kerangka pikir penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 1.1 Diagram alir kerangka pikir

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lingkungan Perairan

Perairan merupakan lingkungan ekosistem yang mencakup habitat seperti sungai, danau, rawa, laut, estuari maupun lingkungan pesisir dengan karakteristik fisik, kimia, dan biologi yang khas dan juga berfokus pada interaksi antara organisme hidup dengan lingkungan tempat mereka berada (Sirajuddin *et al.*, 2024). Sumber daya perairan memiliki keanekaragaman yang tinggi dan menjadi habitat bagi berbagai organisme akuatik yang juga meliputi aspek antara komponen biotik dan abiotik (Ahmad *et al.*, 2025).

Perairan laut merupakan salah satu jenis perairan yang terbentuk dari interaksi berbagai faktor lingkungan di lingkungan air asin, seperti laut dan samudra dan ekosistem yang juga memiliki struktur kompleks dengan beragam organisme yang saling berinteraksi (Wiratno *et al.*, 2023).

Menurut Wiratno *et al.* (2023) ekosistem perairan laut mencakup wilayah pesisir, laut dalam, dan lautan terbuka yang ciri khasnya adalah kadar mineral yang tinggi serta tidak dipengaruhi langsung oleh iklim dan cuaca. Menurut Sirajuddin *et al.* (2024) perairan memiliki peran vital dalam mendukung kehidupan, baik dari aspek ekologis maupun ekonomi. Selain menjadi habitat bagi berbagai organisme, ekosistem ini menyediakan jasa penting seperti pengendalian iklim, tempat berkembang biak ikan, dan penyerapan karbon. Selain itu, juga mendukung keanekaragaman hayati, membantu menyaring limbah, dan mengurangi erosi di wilayah pesisir. Dari sisi ekonomi, sumber daya perairan mendukung sektor perikanan, pariwisata bahari, dan transportasi air. Ekosistem perairan juga menjadi salah satu sumber utama keanekaragaman hayati di mana biodiversitas berperan penting dalam

menjaga keberlanjutan ekosistem dan kesehatan lingkungan. Namun, seperti ekosistem lainnya, ekosistem perairan juga rentan terhadap gangguan aktivitas manusia yang dapat menurunkan daya tahan ekosistem perairan tersebut (Nugroho *et al.*, 2024).

2.2 Pulau Pasaran

Pulau Pasaran adalah salah satu perairan yang terletak di Kecamatan Teluk Betung Barat, sekitar 1 Km dari pusat Kota Bandar Lampung yang sebelumnya tidak berpenghuni, kini pulau seluas 13 hektar ini dihuni oleh sekitar 354 kepala keluarga atau sekitar 1.500 jiwa, dengan kepadatan mencapai 195 jiwa/Km². Kepadatan ini menyebabkan keterbatasan lahan untuk pengelolaan sampah, sehingga volume sampah rumah tangga cukup tinggi. Sekitar 80% warga bekerja sebagai nelayan dan pengolah ikan teri, menjadikan Pulau Pasaran sebagai salah satu sentra industri teri terbesar di Sumatera dan berkontribusi signifikan terhadap perekonomian lokal. Namun di sisi lain, aktivitas pengolahan ikan juga memicu penumpukan sampah plastik, terutama di area penjemuran ikan asin yang mana tingginya jumlah penduduk turut meningkatkan jumlah volume sampah, yang mencapai 504,8 kg per hari atau sekitar 0,4 kg per orang (Dahlan, 2022).

Sumber sampah di Pulau Pasaran berasal dari warga setempat, berupa sampah rumah tangga dan limbah industri kecil seperti pengolahan ikan asin. Sementara itu, sampah di perairan sekitar pulau juga berasal dari masyarakat di Kecamatan Panjang dan Teluk yang membuang sampah ke sungai, lalu terbawa arus hingga ke Pulau Pasaran (Afivah *et al.*, 2019). Selain berasal dari pencemaran sampah, pencemaran di perairan sekitar Pulau Pasaran diduga disebabkan oleh limbah industri (Safitri *et al.*, 2018) termasuk juga aktivitas pembangkit listrik dan pelabuhan, serta menerima limpasan sungai, seperti Sungai Way Belau, yang berpotensi membawa kontaminan logam berat ke ekosistem laut (Rahmah, 2019). Perkembangan industri yang pesat tidak hanya membawa dampak positif, tetapi juga menimbulkan efek negatif bagi

lingkungan dan sebagian besar limbah cair industri yang mengandung logam berat kebanyakan dibuang ke sungai dan akan mengalir ke perairan laut (Febrita & Roosmini, 2022).

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Fauzan *et al.*, (2024) berjudul Identifikasi Cemar Logam Berat Hg, Cu, Pb, Zn, As, dan Ag pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Pulau Pasaran Provinsi Lampung menguatkan hal tersebut. Dalam penelitiannya, menunjukkan kandungan 6 jenis logam berat pada jaringan kerang hijau yang diambil dari perairan sekitar Pulau Pasaran yang sumber pencemaran logam berat berasal dari berbagai aktivitas, termasuk pembuangan limbah domestik, aktivitas pelabuhan, transportasi laut, serta industri kecil seperti pengolahan ikan asin dan pengasapan ikan, ditambah dengan limbah industri dari kawasan sekitar Teluk Lampung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 6 jenis logam berat yang terdeteksi dalam jaringan kerang hijau dengan konsentrasi bervariasi di tiap titik pengambilan sampel dan beberapa logam seperti Pb dan Hg ditemukan melebihi ambang batas sehingga berpotensi membahayakan kesehatan manusia bila dikonsumsi secara terus-menerus.

2.3 Pencemaran Air Laut

Menurut Undang-Undang No 11 Tahun 2020 Pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Pencemaran air terjadi akibat masuknya polutan seperti gas, zat terlarut, dan partikel ke dalam badan air dan sumber pencemarnya bisa berasal dari atmosfer, tanah, limpasan pertanian, serta limbah domestik, industri, dan perkotaan dan dapat menyebabkan perubahan fisik, kimia, atau biologis yang merugikan (Liku *et al.*, 2022).

Menurut Arsyad *et al.* (2022) pencemaran dapat menurunkan kualitas air yang penyebab utamanya berasal dari limbah industri, rumah tangga, dan pertanian. Selain itu, aktivitas seperti penangkapan ikan menggunakan racun juga dapat merusak ekosistem perairan. Berdasarkan jenis bahan pencemarnya, pencemaran air dapat dibedakan sebagai berikut.

1. Pencemaran Kimiawi: logam berat (Cd, Hg, Pb, Cr, dll.), CO₂, bahan radioaktif, detergen, minyak, pupuk.
2. Pencemaran Fisik: sampah anorganik seperti plastik, logam, kaca, dan karet.
3. Pencemaran Biologis: mikroorganisme seperti *E. coli*, *Entamoeba coli*, *Salmonella typhosa*.

Pencemaran air laut menjadi salah satu masalah lingkungan akibat aktivitas manusia yang menyebabkan penurunan kualitas sehingga tidak memenuhi baku mutu atau fungsinya (Negara, 2020). Umumnya, pencemaran laut tidak hanya merusak ekosistem, tetapi juga berdampak pada kesejahteraan manusia seperti menurunkan hasil tangkapan, merusak sumber daya pesisir, dan meningkatkan risiko penyakit dari konsumsi organisme laut yang terkontaminasi (Manik & Gumay, 2024). Pencemaran air laut yang diakibatkan oleh logam berat merupakan salah satu ancaman serius bagi kesehatan manusia yang berasal dari limbah industri, aktivitas pelabuhan, pertambangan, buangan domestik, serta limpasan pertanian yang mengandung bahan kimia berbahaya yang bersifat toksik dan dapat terakumulasi dalam organ tubuh hingga menyebabkan kerusakan fatal, bahkan kematian (Rumoey *et al.*, 2022).

2.4 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur logam yang bersifat racun dan berpotensi mencemari lingkungan karena tidak mudah terurai secara alami serta cenderung menumpuk di perairan dan dalam tubuh makhluk hidup (Siringoringo *et al.*, 2022). Logam berat juga merupakan salah satu bahan berbahaya yang mudah terakumulasi karena kepadatannya yang lebih tinggi dibandingkan air, sehingga logam berat cenderung mudah tenggelam ke dasar.

perairan dan dapat mengendap pada sedimen dan detritus lalu terakumulasi di dasar dan dapat kembali ke kolom air serta menyebar ke berbagai arah akibat arus pasang surut sehingga kehadiran logam berat di perairan dapat memengaruhi biota laut yang mengakumulasikan logam melalui penyerapan yang dilakukan lewat pencernaan, pernapasan, dan penetrasi melalui kulit (Wardana & Kuntjoro, 2023).

Logam berat memiliki densitas lebih dari 5 g/cm yang mana unsur ini sulit terdegradasi, mudah larut dalam air dan sedimen, serta dapat membentuk ikatan kompleks dan terakumulasi dalam tubuh organisme (Robi *et al.*, 2021). Logam berat juga memiliki sifat terlarut membentuk kompleks dengan senyawa organik atau anorganik dan berupa partikel koloid atau logam yang teradsorpsi pada partikel (Berniyanti, 2020). Keberadaan logam berat menjadi isu yang serius karena sifatnya yang beracun, tahan lama, dan keberadaannya di perairan menjadi ancaman bagi ekosistem sekitar serta kesehatan manusia (Handayani *et al.*, 2023).

Menurut Berniyanti (2020) berdasarkan sifat toksikologinya logam berat dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu logam berat esensial seperti Zn, Cu, Fe, Co, dan Mn dibutuhkan dalam jumlah kecil untuk proses biologis dan logam berat non-esensial atau beracun seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan Ni tidak memiliki fungsi biologis yang jelas dan cenderung bersifat toksik. Beberapa logam esensial penting bagi organisme air, misalnya untuk pembentukan enzim atau pigmen darah, tetapi kelebihan masuk ke tubuh dapat menyebabkan efek toksik baik pada hewan air atau manusia dan jika kadarnya meningkat, logam yang semula penggunaannya sebagai bahan baku, aditif, atau katalis yang bermanfaat dapat berubah menjadi racun (Silalahi *et al.*, 2023).

Menurut Runtuboi & Sujarta (2023) pencemaran logam berat juga dapat berasal pertambangan, peleburan dan juga dapat masuk ke lingkungan melalui air limbah kotoran ternak, limpasan air hujan, serta emisi kendaraan. Kegiatan seperti pertanian dan pembuangan sampah juga turut ke perairan yang dapat menyebabkan akumulasi logam berat yang berbahaya bagi organisme akuatik. Selain itu, permukiman, pelabuhan, dan transportasi laut yang ada di kawasan perairan seperti

industri pipa migas, beton, semen, serta galangan kapal untuk perawatan dan perbaikan kapal termasuk sumber antropogenik cemaran logam berat (Suryani *et al.*, 2015). Menurut Marhaini (2022) cemaran logam berat yang bersifat toksik dapat merusak keseimbangan ekosistem, mengganggu keanekaragaman hayati, dan menyebabkan perubahan dalam struktur komunitas, hingga fungsi fisiologis organisme bahkan menyebabkan punahnya organisme.

Logam berat yang mencemari perairan dapat terakumulasi dalam air, sedimen, ikan (Jais *et al.*, 2020). Logam berat secara umum terdapat dalam air jika konsentrasi meningkat maka dapat menyebabkan kematian atau gangguan seperti pertumbuhan dan perubahan perilaku pada biota (Pratiwi, 2020). Sedangkan pada tanaman yang menyerap logam berat akan menyimpannya di jaringan seperti akar, batang, daun, atau buah dan jika tanaman itu dikonsumsi manusia, logam berat dapat masuk ke tubuh dan menumpuk di darah atau jaringan (Pamekas *et al.*, 2023).

Beberapa penelitian telah menunjukkan dampak cemaran logam berat terhadap ekosistem perairan misalnya penelitian yang dilakukan oleh Polapa *et al.* (2022) menyatakan bahwa sekitar 90% logam berat di perairan mengendap pada sedimen, karena memiliki afinitas tinggi terhadap bahan organik sehingga konsentrasinya lebih besar dan bervariasi dibandingkan di kolom air, serta berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem perairan. Di sisi lain, penelitian oleh Natasha (2024) menunjukkan bahwa pencemaran air oleh logam berat memberikan dampak besar, terutama terhadap ikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perairan, khususnya sungai, masih tercemar logam berat. Terdapat 13 jenis logam berat yang terdeteksi pada tubuh ikan, di mana setiap spesies dapat mengandung lebih dari dua jenis logam. Konsumsi ikan terkontaminasi berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan, mulai dari keluhan gastrointestinal dan anemia hingga kerusakan organ vital, gangguan reproduksi, serta peningkatan risiko kematian (Widyawati & Kuntjoro, 2021).

2.5 Logam Cadmium (Cd)

Cadmium (Cd) adalah unsur kimia yang tergolong lunak, berwarna biru keperakan, dan menyerupai seng serta merkuri dan logam ini termasuk hasil samping dari penambangan dan peleburan seng serta timah. Cadmium baru dimanfaatkan secara luas sekitar 50 tahun terakhir, terutama untuk pelapisan elektro karena sifatnya yang tahan korosi dan penggunaannya meliputi pelapis besi dan baja, pembuatan baterai, cat, pigmen, pensil warna dan sebagainya (Dantje, 2015). Logam ini juga digunakan dalam elektrolisis serta sebagai enamel, pembuatan plastik dan cukup banyak tersebar karena sifat fisiknya yang juga mudah dibentuk, namun mudah kehilangan kilap bila terpapar udara lembap, serta cepat rusak apabila terkena uap amonia atau sulfur dioksida (Wamaulana *et al.*, 2022).

Menurut (Dewata & Danhas, 2023) kadmium umumnya mudah larut dalam asam klorida, asam sulfat, dan asam nitrat, membentuk senyawa seperti kadmium klorida (CdCl_2), kadmium sulfat (CdSO_4), dan kadmium nitrat ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$). Cadmium (Cd) juga memiliki massa atom 112,41, titik leleh 321°C , dan densitas 8,65 g/mL. Logam ini banyak digunakan dalam pelapisan listrik dan memiliki titik leleh yang rendah yang umumnya memiliki kandungan kurang dari 1 ppm (Sari, 2024).

Cd jarang ditemukan secara alami dan umumnya terdapat bersama mineral sfalerit (ZnS). Cadmium tidak ditambang secara khusus, melainkan diperoleh sebagai hasil samping dari pengolahan logam lain, terutama seng (Zn) (Maulana *et al.*, 2018). Logam Cd mencemari lingkungan melalui berbagai aktivitas industri seperti *elektroplating*, galvanisasi, pembuatan plastik, produksi cat kuning, manufaktur baterai nikel-kadmium, serta pembakaran batu bara dan bahan bakar fosil. Rokok juga berkontribusi dengan kandungan 1-2 miligram kadmium per batang, pupuk fosfat, dan pestisida dan sampah yang membawa kadmium ke perairan (Syamsuddin & Rasjid, 2023).

Menurut Rahmawati *et al.* (2020) Cd termasuk polutan logam berat yang mencemari perairan, terutama melalui sumber antropogenik seperti transportasi laut yang menggunakan bahan bakar fosil dan limbah domestik. Penelitian yang dilakukan Rahmawati *et al.* (2020) sejalan dengan teori tersebut, yang menunjukkan bahwa Kadmium banyak terdapat dalam air buangan industri terutama yang berasal dari PLTU yang terdapat di daerah bangkala yang mana hasil penelitian menunjukkan bahwa dari sampel yang telah diteliti memiliki kadar kadmium yang melebihi ambang batas normal.

Cd termasuk logam berat toksik yang beracun di ekosistem perairan karena jika terjadi paparan kadmium dalam jangka panjang maka dapat merusak berbagai organ tubuh, termasuk paru-paru, tulang, hati, ginjal, dan kelenjar reproduksi (Kawung *et al.*, 2018). Kadmium yang sulit terurai melalui proses kimia, fisika, maupun biologi dan di perairan, meskipun kadarnya rendah, logam ini dapat dengan mudah diserap dan terakumulasi oleh organisme dengan masuk ke tubuh organisme sehingga terjadi bioakumulasi, yaitu penumpukan logam dalam jaringan tubuh. Melalui proses biotransformasi, logam ini berpindah dan kadarnya akan meningkat yang dapat mengakibatkan semakin tinggi pula kandungan kadmium yang terakumulasi (Sanjivanie *et al.*, 2017).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sasongko *et al.* (2023) Perairan Teluk Lada di barat daya Kabupaten Pandeglang, Banten, mengalami tekanan akibat padatnya aktivitas pembuangan limbah industri dan rumah tangga sehingga kondisi ini menyebabkan pencemaran lingkungan yang berdampak pada habitat biota. Berdasarkan hasil analisis di tiga titik pengambilan sampel, kadar logam berat Cd tercatat melebihi ambang batas baku mutu sebesar 0,003 mg/L yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021, yaitu 0,001 mg/L. Kadar Cd yang berlebih ini berpotensi menimbulkan toksisitas pada biota perairan dan berisiko membahayakan kesehatan manusia. Hal tersebut sejalan dengan pendapat (Pulungan & Wahyuni, 2021) bahwa efek toksik kadmium bergantung pada durasi dan konsentrasi paparan yang mana paparan tinggi dalam waktu lama dapat meningkatkan risiko keracunan seperti mengganggu saluran pencernaan,

sedangkan paparan berulang meskipun dalam jumlah kecil dapat merusak fungsi ginjal yang berujung pada kematian. Pada ikan, kadmium dapat merusak sel dan menyebabkan akumulasi semiubiquinon yang tidak stabil dan menghasilkan radikal superoksida (Soegianto, 2023).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu lingkungan untuk air laut ditetapkan sesuai peruntukannya untuk pelabuhan, wisata bahari serta biota laut pada parameter logam berat seperti Cd disajikan pada (Tabel 2.1). Dalam lampiran peraturan tersebut, standar baku mutu salah satu logam berat Cd ditetapkan untuk mengendalikan dampak pencemaran terhadap ekosistem perairan.

Tabel 1.1 Standar Baku Mutu Kadmium (Cd) berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021

No.	Parameter	Satuan	Pelabuhan	Wisata Bahari	Biota Laut
1.	Kadmium (Cd)	mg/L	0,01	0,002	0,001

Logam Cd yang terlarut dalam air laut dapat terakumulasi pada organisme laut. Kharisma *et al.* (2023) menyatakan bahwa akumulasi logam berat pada biota perairan, seperti kerang darah, dapat menimbulkan dampak morfologis, fisiologis, hingga kematian dan apabila kandungannya melebihi baku mutu berpotensi membahayakan kesehatan kerang darah serta menimbulkan risiko terhadap keamanan pangan. Oleh karena itu, kadar Cd pada kerang darah harus memenuhi standar yang ditetapkan dalam SNI 2387:2009, yaitu tidak lebih dari 1,0 mg/kg, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar Baku Mutu Kadmim (Cd) berdasarkan SNI 7387 Tahun 2009

No.	Parameter	Satuan	Keterangan (Moluska)
1.	Kadmium (Cd)	mg/kg	1,0

2.6 Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Kerang darah (*Anadara granosa*) merupakan salah satu spesies dari tiram perahu yang dikenal dengan nama kerang darah (Gambar 2). Kerang darah termasuk kedalam kelas *bivalvia* yang hidup di daerah intertidal dengan substrat pasir berlumpur hingga lumpur lunak. Jenis kerang ini bernilai ekonomis karena menjadi sumber pangan dan memiliki permintaan tinggi, sehingga harga jualnya relatif lebih mahal dibandingkan moluska lain (Abdullah *et al.*, 2021).



Gambar 2.1 Kerang darah (*Anadara granosa*)
(Abdullah *et al.*, 2021).

Adapun klasifikasi Kerang darah adalah sebagai berikut.

Kerajaan : Animalia
Filum : Mollusca
Kelas : Bivalvia
Subkelas : Pteriomorpha
Ordo : Arcoida
Famili : Arcidae
Genus : *Anadara*
Spesies : *Anadara granosa*
(Abdullah *et al.*, 2021).

Kerang darah memiliki ciri morfologi yaitu cangkang simetris bilateral yang terdiri atas dua katup yang dihubungkan oleh ligamen pada bagian dorsal. Cangkang berbentuk agak bulat dengan umbo terletak di bagian dorsal anterior, serta memperlihatkan garis pertumbuhan konsentris yang mengarah ke umbo. Ligamen berfungsi menahan kedua katup sekaligus memungkinkan keduanya membuka ke arah ventral. Pada bagian dalam cangkang terdapat bekas perlekatan otot yang berperan dalam mekanisme membuka cangkang dan pergerakan kaki dan kerang darah ini memiliki cangkang tebal berbentuk elips dengan dua sisi yang relatif simetris, dilengkapi sekitar 20 rusuk (rib). Warna cangkang umumnya putih dengan lapisan periostrakum berwarna kuning kecokelatan hingga coklat kehitaman (Abdullah *et al.*, 2021).

Kerang darah umumnya ditemukan dalam jumlah melimpah baik di kawasan muara sungai yang dipengaruhi air tawar. Habitatnya berada di zona pasang surut dan teluk dengan hutan mangrove serta salinitas yang relatif stabil.

Pertumbuhannya dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti musim, suhu, salinitas, substrat, ketersediaan pakan, dan parameter kimia perairan yang bervariasi antar lokasi. Sebagai organisme akuatik, kerang darah mampu beradaptasi dan memilih habitat yang paling sesuai untuk mendukung pertumbuhan, reproduksi, serta kelangsungan hidupnya (Anar *et al.*, 2025)

Kerang darah ini umumnya memiliki cangkang berbentuk segitiga, persegi, atau oval dengan simetri bilateral, serta dilengkapi jari-jari kuat dan ornamen konsentris. Kerang ini memiliki insang berbentuk lipatan menyerupai huruf W, di mana antarfilamen dihubungkan oleh silia atau jaringan. Kerang darah hidup di daerah pasang surut, terutama pada substrat lumpur halus atau pasir berlumpur yang terlindung, sering berasosiasi dengan vegetasi mangrove dan hidup di perairan alami dapat mencapai panjang 4–5 mm pada tahap awal, sedangkan ukuran dewasa berkisar 6–9 cm (Abdullah *et al.*, 2021).

Habitat ideal kerang darah berada pada substrat berlumpur halus (> 90%), umumnya di dasar perairan pantai berkedalaman 10–30 m, terutama pada cekungan berpasir-lumpur. Kehadiran pigmen hemoglobin dalam jaringan tubuhnya memungkinkan kerang ini beradaptasi pada lingkungan dengan kadar oksigen rendah, bahkan mampu bertahan sementara waktu di luar air (Ilhamudin, 2019). Hewan ini juga bersifat hermafrodit, dengan organ kelamin jantan dan betina dalam satu individu. Saat reproduksi, kerang bermigrasi ke pantai berlumpur yang ditumbuhi alga atau rumput laut, lalu melepaskan sperma dan telur ke perairan. Telur dibiarkan melayang agar terhindar dari predator hingga menetas. Selain itu, kerang ini juga bersifat herbivora dengan pakan utama berupa plankton, alga, dan rumput laut (Abdullah *et al.*, 2021).

Kerang darah memiliki peran penting secara ekologi sebagai makrobentos dalam ekosistem perairan, sekaligus memiliki nilai ekonomis tinggi. Selain dikonsumsi sebagai bahan pangan, kerang ini juga dimanfaatkan dalam pengobatan serta di bidang farmasi, seperti untuk pemulihan tulang dan gigi, sementara cangkangnya dapat dimanfaatkan sebagai sumber kalsium dalam pakan ikan. Selain itu, kerang darah menjadi komoditas bernilai, sementara limbah cangkangnya dapat diolah menjadi bahan kerajinan (Ilhamudin, 2019). Kerang darah juga berperan sebagai bioindikator dan biofilter pencemaran karena memiliki toleransi tinggi terhadap perubahan lingkungan serta kedudukannya yang penting dalam rantai makanan (Astriana *et al.*, 2022).

2.7 Bioconcentration Factor (BCF)

BCF merupakan indikator yang digunakan untuk menilai kemampuan organisme atau tumbuhan dalam menyerap logam berat dari lingkungannya. Nilai BCF diperoleh melalui perbandingan antara konsentrasi zat beracun yang terakumulasi dalam organisme dengan konsentrasi zat tersebut di lingkungan. Semakin besar nilainya, semakin tinggi pula kemampuan organisme dalam mengakumulasi logam (Mangkoedihardjo *et al.*, 2024). Biokonsentrasi faktor digunakan untuk menggambarkan perbandingan kadar kontaminan dalam jaringan organisme dengan lingkungannya, tanpa memperhitungkan asupan

dari makanan. BCF dihitung berdasarkan rasio konsentrasi dalam organisme terhadap media seperti air atau tanah, di mana nilai $BCF > 1$ menunjukkan akumulasi lebih tinggi di tubuh organisme dibanding lingkungannya (Rachman *et al.*, 2024). Biokonsentrasi terjadi ketika pencemar terserap langsung dari air melalui jaringan, sedangkan bioakumulasi mencakup penyerapan dari lingkungan melalui berbagai mekanisme. Bioakumulasi menjadi indikator penting dalam menilai pencemaran perairan, sehingga tingkat pencemaran dapat diketahui dengan mengukur nilai biokonsentrasi pada biota yang hidup di dalamnya. Untuk memahami mekanisme akumulasi logam berat pada organisme perairan, digunakan perhitungan *Bioconcentration Factor* (BCF) (Amelia *et al.*, 2019). Perhitungan BCF menggunakan rumus sebagai berikut.

$$BCF = \frac{\text{Kandungan logam berat pada Kerang darah}}{\text{Kandungan logam berat pada air}}$$

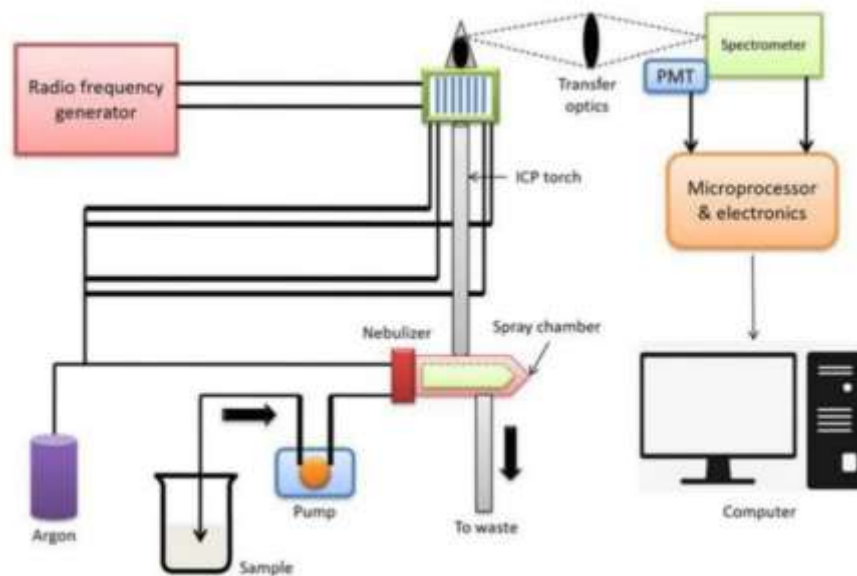
Keterangan:

1. Nilai $BCF > 1000$, dikategorikan sebagai akumulatif tinggi.
2. Nilai BCF antara 100-1000, dikategorikan sebagai akumulatif sedang.
3. Nilai $BCF < 100$, dikategorikan sebagai akumulatif rendah.
(Syukriah *et al.*, 2024).

Nilai $BCF > 1$ menunjukkan bahwa konsentrasi kontaminan dalam jaringan organisme lebih tinggi dibandingkan lingkungannya sehingga terjadi akumulasi, $BCF = 1$ menunjukkan konsentrasi kontaminan dalam organisme setara dengan lingkungan, sedangkan $BCF < 1$ menunjukkan bahwa konsentrasi kontaminan dalam organisme lebih rendah daripada lingkungan sehingga akumulasi rendah (Agustina *et al.*, 2019).

2.8 ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectroscopy*)

Menurut Mawarnis & Umar (2024) ICP-OES merupakan metode analisis unsur yang paling sensitif dan luas untuk analisis anorganik dan mampu mendeteksi hampir semua elemen (Gambar 3). Namun, sampel harus dalam bentuk larutan, sehingga padatan seperti batu, kaca, atau jaringan biologis perlu dilarutkan terlebih dahulu. Teknik ini dapat mendeteksi unsur hingga konsentrasi 1 ppb atau lebih rendah, meskipun akurasinya dapat dipengaruhi oleh interferensi spektral.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja ICP-OES
Sumber (Thamsi & Jafar, 2024).

Prinsip kerja utama ICP-OES adalah sampel cair diubah menjadi aerosol oleh nebulizer, lalu melewati ruang semprot yang memisahkan tetesan besar dan kecil. Tetesan kecil dibawa oleh gas argon ke plasma, sementara tetesan besar dibuang. Plasma terbentuk dengan mengalirkan gas argon ke kumparan dan memberi arus frekuensi tinggi, menghasilkan medan elektromagnetik yang mengionisasi gas. Plasma bersuhu tinggi ini mampu menguapkan, mengatomisasi, dan mengeksitasi sampel. Atom dan ion tereksitasi dalam plasma akan memancarkan radiasi saat kembali ke keadaan dasar. Radiasi ini

memiliki panjang gelombang khas tiap unsur, yang disortir oleh spektrometer dan dideteksi untuk menentukan konsentrasi unsur. Karena garis emisinya sangat sempit, detektor beresolusi tinggi digunakan untuk hasil yang akurat. ICP-OES mampu menganalisis berbagai logam seperti Hg, Cd, Pb, As, Cr, Zn, Cu, Ni, dan lainnya (Thamsi & Jafar, 2024).

Keunggulan ICP tidak menggunakan elektroda sehingga risiko kontaminasi dari material elektroda dapat dihindari. Selain itu, sistem ICP relatif lebih sederhana dalam perakitan dan lebih ekonomis dibandingkan dengan beberapa sumber plasma lainnya (Pertiwi, 2017), metode ICP-OES juga memiliki kemampuan untuk menganalisis banyak elemen sekaligus (Supardan, 2023) dan dapat mendeteksi semua jenis logam, memiliki tingkat selektivitas yang tinggi, akurasi yang baik, serta batas deteksi yang rendah (Afifah *et al.*, 2019). Dengan kerapatan elektron tinggi dan tingkat ionisasi yang tinggi, teknik ini dapat mendeteksi lebih dari 70 elemen sekaligus, menghasilkan data akurat. Namun, Kelemahan dari ICP-OES adalah belum mampu mengukur analit dengan konsentrasi kurang dari 0,1 ppb (Prihatin *et al.*, 2017).

2.9 Validasi Metode

Validasi metode analisis adalah proses evaluasi terhadap sejumlah parameter tertentu melalui percobaan laboratorium untuk memastikan bahwa parameter tersebut sesuai dan layak digunakan (Ratnawati *et al.*, 2019). Validasi metode juga merupakan langkah penting dalam proses analisis untuk membuktikan keandalan suatu prosedur yang digunakan. Pada analisis logam, validasi metode dapat dilakukan dengan mengevaluasi beberapa parameter, antara lain akurasi (ketepatan), presisi (ketelitian), dan linieritas sehingga perlu dilakukan pengujian validitas terhadap analisis logam untuk mengetahui tingkat akumulasi logam memberikan hasil lebih (Naschan *et al.*, 2017).

1. Akurasi

Akurasi adalah ukuran yang menunjukkan seberapa dekat hasil analisis dengan nilai sebenarnya dari zat yang dianalisis. Istilah *trueness* umumnya digunakan untuk menggambarkan tingkat kedekatan hasil tersebut terhadap nilai yang benar. Jika laboratorium tidak memiliki CRM (*Certified Reference Material*), maka larutan standar yang nilainya diketahui dapat digunakan sebagai pengganti (Afifah *et al.*, 2019). Pengukuran CRM bertujuan untuk memastikan akurasi hasil pengukuran, kepercayaan terhadap data yang diperoleh, dan jaminan mutu yang membantu mengurangi kesalahan analisis (Rosita & Sadiyah, 2024). Selain melalui CRM dalam perbandingan antar laboratorium dapat juga dengan uji % *recovery* yang mana semakin mendekati nilai aslinya, maka semakin tinggi akurasi metode tersebut (Risma dan Sutopo, 2024). Apabila nilai pengujian CRM tidak memenuhi syarat keberterimaan, maka dapat digunakan *spike* (Asmorowati *et al.*, 2020).

2. Presisi

Presisi adalah seberapa konsisten hasil pengukuran yang diperoleh dari beberapa kali pengujian yang dilakukan dalam kondisi tertentu dan dapat dinilai dengan cara menguji sampel secara berulang (Sunandar, 2024) dan menunjukkan seberapa dekat hasil pengukuran terhadap nilai rata-rata saat prosedur dilakukan berulang pada sampel yang homogen yang mencerminkan kestabilan hasil dalam kondisi yang sepenuhnya terkendali (Risma & Sutopo, 2024).

3. Linearitas

Linieritas adalah kemampuan suatu metode analisis untuk menghasilkan respons yang sebanding secara langsung dengan konsentrasi analit dalam rentang tertentu dan dievaluasi dengan mengukur respons instrumen seperti absorbansi dari larutan standar dengan berbagai konsentrasi yang mencakup rentang kerja. Metode yang baik dalam suatu analisis yang baik memiliki linieritas deret standar dengan nilai koefisien determinasi $r = \text{minimal } 0,99$ dan koefisien korelasi kurang dari $0,995$ (Trisnawati *et al.*, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Bulan November sampai dengan Desember tahun 2025. Pengambilan sampel air laut dilaksanakan di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung. Persiapan dan preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Botani, Jurusan Biologi, Universitas Lampung. Sedangkan untuk pengujian kandungan logam berat Cd terlarut yang dilaksanakan di UPA Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

3.2 Gambaran Lokasi Pengambilan Sampel

Penentuan lokasi pengambilan sampel yang disajikan pada Tabel 3.1, didasarkan pada pertimbangan potensi sumber pencemaran yang berbeda, sehingga dapat mewakili variasi kondisi lingkungan perairan dengan survey lokasi di Pulau Pasaran Kota Bandar Lampung. Muara Sungai Belau merupakan jalur utama masuknya limbah daratan, termasuk domestik, serta menerima buangan dari aktivitas perbaikan, pengecatan, dan lokasi berlabuh kapal nelayan, sehingga berpotensi menjadi sumber pencemar logam berat (Gambar 3.1). Lokasi tersebut merupakan kawasan permukiman padat dan tidak tertata, dengan aktivitas utama masyarakat sebagai nelayan dan pedagang, sehingga banyak saluran pembuangan domestik bermuara langsung ke badan sungai dan terakumulasi sebagai beban pencemar sehingga kondisi ini menyebabkan masuknya residu buangan rumah tangga yang mengandung bahan berbahaya dan berpotensi menurunkan kualitas perairan (Riena *et al.*, 2012).



Gambar 3.1 Kondisi Muara Sungai Way Belau di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung (Dokumentasi Pribadi, 2025).

Kawasan mangrove dipilih sebagai titik sampling karena sistem perakarannya berperan dalam mengendapkan sedimen dan menyerap logam berat, sehingga berpotensi menjadi lokasi akumulasi polutan dan umumnya habitat kerang darah berada di zona pasang surut yang berasosiasi dengan hutan mangrove dan memiliki salinitas relatif stabil (Wicaksono, 2025). Selain itu berdasarkan survey yang dilakukan, kawasan mangrove dipilih karena limbah sampah yang berasal dari muara sungai yang menumpuk di kawasan tersebut (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Kondisi Kawasan Mangrove di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung (Dokumentasi Pribadi, 2025).

Sedangkan kawasan lokasi permukiman warga akibat tingginya aktivitas rumah tangga, aktivitas perkapalan di sepanjang pesisir permukiman, serta keberadaan industri perikanan skala kecil yang berpotensi menghasilkan limbah (Gambar 3.3).



Gambar 3.3 Kondisi Permukiman Warga di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung (Dokumentasi Pribadi, 2025).

3.3 Lokasi Pengambilan Sampel

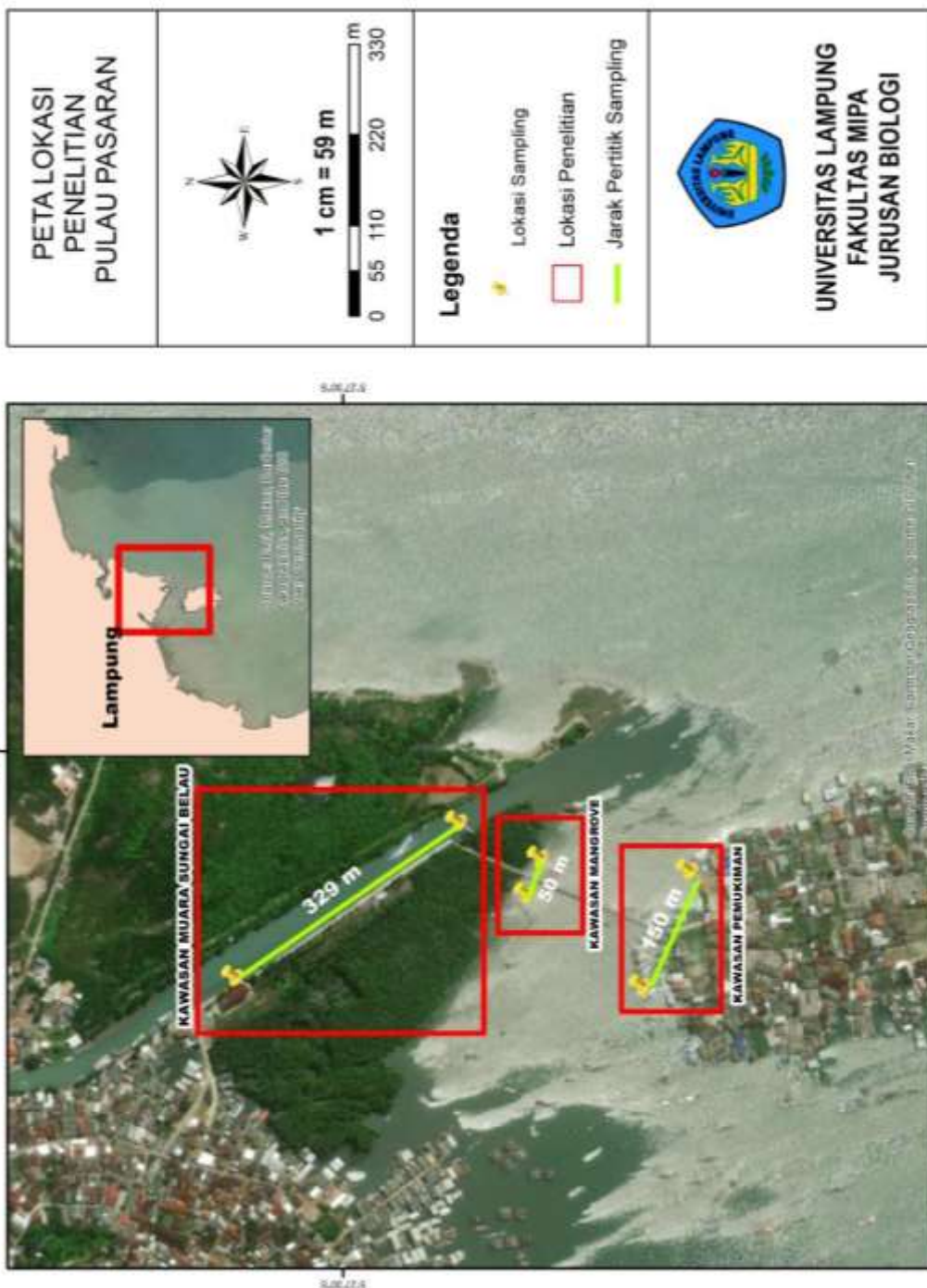
Pengambilan sampel dilakukan di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung (Gambar 3.4), yang memiliki luas sekitar $\pm 12 - 13$ hektar, pada tiga titik lokasi (Tabel 3.1) yang mewakili kawasan muara sungai, kawasan mangrove, dan kawasan pemukiman warga. Jarak antar titik pengambilan sampel masing-masing lokasi adalah 329 meter, 50 meter, dan 150 meter, dengan total bentang pengambilan sampel sepanjang 529 meter dari keseluruhan wilayah Pulau Pasaran.

Tabel 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel Kerang darah dan Air laut dari tiga titik lokasi di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung

Kode sampel (Kerang darah)	Jumlah Individu	Kode sampel (Air Laut)	Jumlah volume sampel air (mL)	Lokasi Pengambilan Sampel	Titik Koordinat
KD 01	5-10 individu	AL 01	500 (2 ulangan analisis)	Kawasan Muara Sungai Belau	5°27'33"S 105°15'56"E
KD 02	5-10 individu	AL 02	500 (2 ulangan analisis)	Kawasan Mangrove	5°27'36"S 105°15'54"E
KD 03	5-10 individu	AL 03	500 (2 ulangan analisis)	Kawasan Pemukiman Warga	5°27'42"S 105°15'52"E

Gambar 3.4 Peta Lokasi Pengambilan Samel dari tiga titik lokasi di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung.

(Sumber : Badan Informasi Geospital (BIG) (2022). Peta Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung diolah dengan ArcGis 4.12.2025)



3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *water sampling*, sekop *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES), lampu katoda berongga (*Hollow Cathode Lamp*) Kadmium (Cd), gelas beker, labu ukur, pipet volumetri, *bulb*, gelas ukur, corong gelas, pengaduk, buret, klem dan statif, kertas pH, seperangkat alat saring vakum, saringan membran berpori 0,45 μm , *cool box*, oven, *hot plate*, neraca analitik, pinset, kantong sampel, botol sampel, mortal dan alu, serta kertas label.

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam analisis logam berat tembaga pada sampel air laut, Kerang darah (*Anadara granosa*) air bebas mineral, asam nitrat (HNO_3 65 %) pekat, Formalin 40 %, HCL, logam induk Kadmium (Cd) 1000 mg/L dan larutan CRM (*Certified Reference Material*).

3.5 Metode Penelitian

Metode penelitian ini dilakukan melalui survei lapangan dengan pengambilan sampel kerang darah pada tiga stasiun pengamatan di perairan Pulau Pasaran yang ditentukan secara *purposive sampling* berdasarkan tingkat aktivitas manusia. Pada setiap stasiun diambil 5-10 individu kerang darah dengan ukuran cangkang relatif seragam, serta dilakukan pengambilan sampel air pada lokasi yang sama. Variabel yang diamati meliputi konsentrasi logam berat Cd dalam jaringan kerang darah dan air. Data konsentrasi Cd yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai BCF kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan disajikan dalam bentuk tabel dan diagram.

3.6 Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *purposive sampling*, yaitu teknik pengambilan sampel yang dilakukan secara sengaja berdasarkan kriteria tertentu yang disesuaikan dengan tujuan penelitian (Subhaktiyasa, 2024). Dalam teknik ini, penentuan sampel didasarkan pada pertimbangan peneliti terhadap karakteristik populasi yang relevan dengan fokus penelitian, sehingga sampel yang dipilih dianggap mampu merepresentasikan kondisi populasi di lokasi penelitian (Imbayani *et al.*, 2024). Pengambilan sampel dilakukan satu kali pada setiap titik lokasi dengan dua kali analisis laboratorium logam berat Cd untuk menjaga kualitas data (Ramliya *et al.*, 2018). Selain itu, jumlah individu yang diambil pada setiap lokasi disesuaikan dengan kebutuhan analisis, sehingga sampel yang diperoleh dianggap cukup mewakili kondisi populasi di lokasi penelitian (Toding *et al.*, 2018).

Pengambilan sampel air laut dan kerang darah dilakukan pada pagi hari (08.00-12.00 WIB) saat air laut surut dengan pertimbangan kondisi perairan yang relatif stabil, suhu yang merata, ketersediaan nutrisi yang optimal, serta suhu udara yang lebih rendah sehingga dapat meminimalkan risiko perubahan kualitas air maupun jaringan kerang akibat oksidasi (Hidayah *et al.*, 2024). Pengambilan sampel kerang dilakukan saat air surut untuk memudahkan akses tanpa penyelaman, meminimalkan gangguan habitat, serta meningkatkan efisiensi (Toding *et al.*, 2018).

3.7 Prosedur Kerja

3.7.1 Pengambilan Sampel Air Laut dan Kerang darah (*Anadara granosa*)

a. Persiapan Pengambilan Sampel

Seluruh botol sampel disiapkan dan dibersihkan sebelum proses pengambilan sampel dilakukan. Botol dicuci menggunakan sabun, kemudian dibilas dengan air hingga tidak terdapat sisa busa. Kantong

sampel juga dipersiapkan dan diberi label sesuai dengan identitas masing-masing wadah (Assyifa, 2021).

b. Pengambilan sampel Air Laut

Sampel air laut diambil menggunakan alat bantu *water sampler* sebanyak 500 mL dari kedalaman 0-1 m dari permukaan air pada tiga titik lokasi pengambilan untuk dijadikan dua kali pengulangan analisis laboratorium per titik lokasi sesuai dengan standar SNI 6964.8:2015. Selanjutnya, sampel dimasukkan ke dalam botol yang telah diberi label identitas, kemudian ditambahkan HNO₃ 65% sebanyak 1-2 tetes menggunakan pipet tetes dan diukur pH menggunakan kertas pH hingga ≤ 2 untuk menjaga kestabilan sampel (Iyabu dkk., 2020). Setelah itu, sampel disimpan dalam *cool box* guna meminimalisir kontaminasi sebelum dianalisis di laboratorium (Assyifa, 2021).

c. Pengambilan sampel Kerang darah (*Anadara granosa*)

Sampel Kerang darah diambil secara langsung menggunakan sekop sebanyak 5-10 individu dari masing-masing 3 titik lokasi pengambilan sampel untuk dijadikan dua kali analisis laboratorium. Pengambilan sampel kerang darah dilakukan secara acak (*random sampling*) yaitu di muara sungai, kawasan mangrove, dan sekitar pemukiman warga di Pulau Pasaran. Pada masing-masing lokasi jarak pengambilan sampel mengikuti prinsip SNI 13-4718:1998, mencakup area tepi kiri dan kanan perairan serta mempertimbangkan jarak 20–50 meter dari sumber gangguan (seperti jembatan atau aktivitas padat penduduk). Pemilihan lokasi pengambilan kerang disesuaikan dengan perairan dangkal yang masih terkena cahaya matahari untuk mendapatkan representasi kondisi lingkungan yang optimal. Kemudian, sampel kerang darah disimpan dalam kantong sampel yang sudah diisi 40 mL air laut dan ditambahkan 10 mL formalin 40 % dengan menggunakan pipet tetes 5 mL untuk mengawetkan sampel dan sampel yang sudah didapat disimpan didalam *cool box* untuk dibawa ke laboratorium (Assyifa, 2021).

3.7.2 Preparasi Sampel

a. Preparasi Sampel Air Laut

Sampel air laut yang akan dianalisis disiapkan terlebih dahulu. Selanjutnya, sampel disaring menggunakan membran berpori 0,45 μm dengan bantuan alat vakum penyaring. Hasil penyaringan kemudian dipindahkan ke dalam *beaker glass* yang telah diberi kode identifikasi. Untuk proses pengasaman, ditambahkan larutan HNO_3 pekat sebanyak 1-2 tetes hingga mencapai $\text{pH} \leq 2$. Sampel uji yang telah diasamkan siap untuk dianalisis menggunakan instrumen ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*) sesuai dengan standar SNI 6989-82:2018.

b. Preparasi Sampel Kerang darah (*Anadara granosa*)

Sampel kerang darah diseksi untuk diambil dagingnya, kemudian dibersihkan dengan cara dicuci menggunakan air bersih sebanyak tiga kali untuk menghilangkan kontaminan. Selanjutnya, sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 12 jam, kemudian didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Sampel yang telah dingin dihaluskan menggunakan mortar dan alu hingga berbentuk serbuk halus. Sebanyak 1–5 gram sampel kering ditimbang dan dimasukkan ke dalam gelas beaker berukuran 100 mL yang telah dibersihkan dengan air bebas mineral. Untuk proses destruksi ditambahkan secara berturut-turut HNO_3 65% sebanyak 2 mL, H_2O_2 30% sebanyak 2 mL, dan HCl pekat sebanyak 2 mL. Wadah ditutup dengan kaca arloji dan didiamkan selama 30 menit pada suhu ruang untuk pre-reaksi, kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu $95^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ selama 2-3 jam hingga larutan menjadi jernih dan volume berkurang hingga sekitar 2-3 mL. Penggunaan *hot plate* dipilih karena memberikan kontrol suhu yang stabil dan mengurangi risiko kontaminasi silang, dengan pencegahan kehilangan volatil melalui penutupan beaker dengan kaca arloji dan menjaga suhu tidak melebihi 100°C (Assyifa, 2021).

Setelah proses destruksi selesai dan larutan dingin, sampel dipindahkan ke labu ukur 25 mL dan ditambah air bebas mineral hingga tanda tera untuk mencapai volume akhir 25 mL untuk kontrol kualitas, disiapkan *spike* dan CRM, blank lapangan menggunakan air bebas mineral dari lokasi sampling, dan sampel dua kali ulangan analisis laboratorium untuk setiap 5-10 sampel per analisis. Sampel akhir siap dianalisis menggunakan *instrumen Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)* dalam waktu maksimal 7 hari setelah destruksi dengan penyimpanan pada suhu 4°C jika tidak langsung dianalisis sesuai metode (Assyifa, 2021).

3.8 Pengujian Logam Berat

Pengujian logam berat Cd pada air laut dan daging kerang darah dilakukan menggunakan instrumen ICP-OES pada panjang gelombang 226,50 nm. ICP-OES bekerja dengan mengatomisasi sampel dalam plasma argon bersuhu tinggi sehingga atom logam tereksitasi dan memancarkan cahaya pada panjang gelombang spesifik yang kemudian diukur (Mawarnis & Umar, 2024). Data hasil analisis selanjutnya dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

3.9 Analisis Data

Analisis kandungan logam berat Cd dibandingkan dengan PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk sampel air dan SNI 7387:2009 tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan untuk sampel kerang darah. Perhitungan BCF digunakan untuk menggambarkan perbandingan kadar kontaminan dalam jaringan organisme dengan lingkungannya, tanpa memperhitungkan asupan dari makanan. BCF dihitung berdasarkan rasio konsentrasi dalam organisme terhadap media seperti air atau tanah, di mana nilai $BCF > 1$ menunjukkan akumulasi lebih tinggi di tubuh organisme dibanding lingkungannya (Rachman dkk., 2024) menggunakan rumus sebagai berikut.

$$BCF = \frac{\text{Kandungan logam berat pada Kerang darah}}{\text{Kandungan logam berat pada air}}$$

Keterangan:

1. Nilai BCF > 1000, dikategorikan sebagai akumulatif tinggi.
2. Nilai BCF antara 100-1000, dikategorikan sebagai akumulatif sedang.
3. Nilai BCF < 100, dikategorikan sebagai akumulatif rendah.
(Syukriah dkk., 2024).

Nilai BCF > 1 menunjukkan bahwa konsentrasi kontaminan dalam jaringan organisme lebih tinggi dibandingkan lingkungannya sehingga terjadi akumulasi, BCF = 1 menunjukkan konsentrasi kontaminan dalam organisme setara dengan lingkungan, sedangkan BCF < 1 menunjukkan bahwa konsentrasi kontaminan dalam organisme lebih rendah daripada lingkungan sehingga akumulasi rendah (Agustina *et al.*, 2019).

3.10 Validasi Metode

Validasi metode dilakukan dengan mengevaluasi beberapa parameter, antara lain akurasi (ketepatan), presisi (ketelitian), dan linieritas sehingga perlu dilakukan pengujian validitas terhadap analisis logam untuk mengetahui tingkat akumulasi logam memberikan hasil lebih optimal dilihat dari parameter validitasnya. Validasi metode dilakukan dengan menggunakan bahan kimia pro analisis yaitu sampel duplo air laut, larutan CRM, larutan *spike* logam Cd 1 ppm yang sudah dibuat, digunakan gelas bebas kontaminasi dan alat ukur yang terkalibrasi, dicuci peralatan gelas dengan air bebas mineral, dilakukan analisis kontrol akurasi dengan *spike matrix* dengan kisaran persen temu balik % *Recovery* untuk *spike matrix* 85 - 115 %. Dilakukan kontrol akurasi dengan CRM dengan kisaran standar kerja 90 - 110%. Dihitung nilai presisi (ketepatan) % RPD dengan nilai ambang batas < 10% (SNI 6989-82:2018).

1. Uji Akurasi

Berikut persamaan untuk penentuan % *trueness* pada CRM dapat dilihat pada rumus sebagai berikut.

$$\% \text{ Trueness} = \left(\frac{\bar{x}}{\mu} \right) \times 100\%$$

Keterangan :

\bar{x} = Rerata hasil pengulangan pengujian

μ = Nilai benar atau nilai acuan dalam CRM

(Zain dan Malik, 2024)

Berdasarkan SNI 6989-82:2018. % *Recovery* dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

Persen temu balik (% *recovery*, % R)

$$\%R = \left(\frac{A-B}{C} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

A = kadar contoh uji yang diperkaya (*spike*) (mg/L);

B = kadar contoh uji (mg/L);

C = kadar standar yang ditambahkan (*target value*) (mg/L).

2. Uji Presisi

Berdasarkan SNI 6989.82.2018 nilai presisi (ketepatan) dinyatakan diterima jika persentase *Relative Percent Difference* (%RPD) < 10% sebagai nilai keberterimaan dapat dilihat pada rumus sebagai berikut.

$$\%RPD = \left(\frac{\text{Hasil pengukuran} - \text{duplikat pengukuran}/2}{(\text{Hasil pengukuran} + \text{duplikat pengukuran})} \right) \times 100\%$$

3. Uji Linearitas

Persamaan regresi linier dihitung menggunakan rumus berikut.

$$y = ax + b$$

Keterangan:

y = respons instrumen (absorbansi atau sinyal)

x = konsentrasi analit

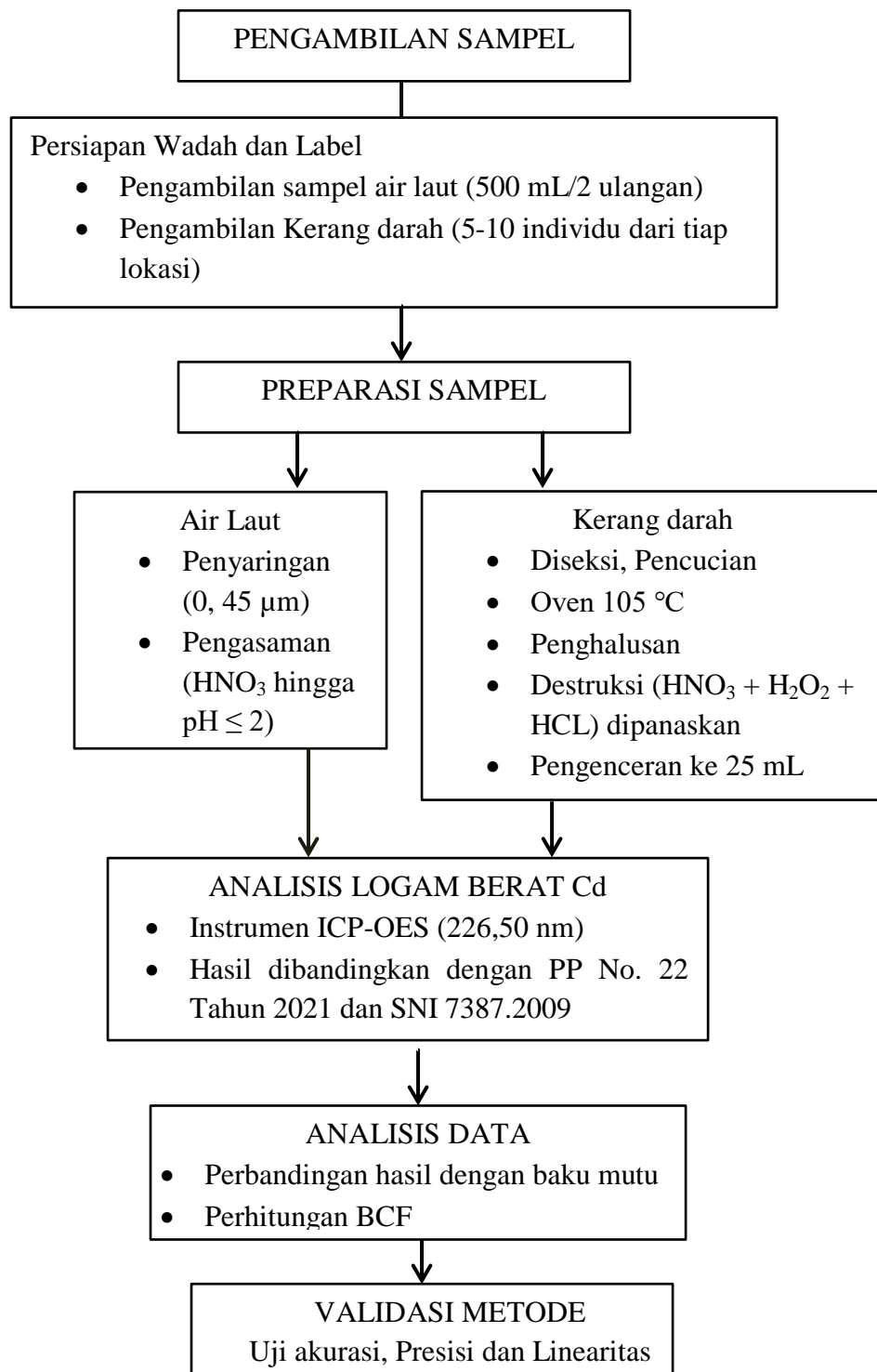
a = kemiringan (*slope*) kurva kalibrasi

b = intersep kurva kalibrasi

(Trisnawati *et al.*, 2021)

3.11 Diagram alir penelitian

Diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis, konsentrasi logam berat Cd pada air laut di seluruh lokasi penelitian berkisar antara 0,004-0,005 mg/L dan telah melampaui baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VIII, sehingga menunjukkan adanya pencemaran Cd yang relatif seragam di wilayah penelitian.
2. Konsentrasi logam berat Cd pada kerang darah berada pada kisaran 0,082-0,160 mg/kg dan masih berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan menurut SNI 7387 Tahun 2009 yaitu ≤ 1 mg/kg.
3. Nilai *bioconcentration factor* (BCF) logam berat Cd pada kerang darah terhadap air laut berkisar antara 16,8-40 yang menunjukkan kemampuan biokonsentrasi yang rendah di seluruh lokasi penelitian dengan kriteria BCF ≤ 100 .

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan peneliti adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisis nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) sedimen-kerang guna mengetahui distribusi logam berat Cd serta peran sedimen sebagai sumber utama pencemar.
2. Penelitian lanjutan perlu memasukkan pengukuran parameter lingkungan perairan, seperti TSS (*Total Suspended Solids*), TDS (*Total Dissolved Solids*), DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*),

dan COD (*Chemical Oxygen Demand*), suhu, salinitas dan parameter pendukung lainnya untuk meningkatkan akurasi dan interpretasi hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abel, A., Machado, D. S., Spencer, K., Kloas, W., Toffolon, M., & Zar, C. (2016). Science of the Total Environment Metal fate and effects in estuaries : A review and conceptual model for better understanding of toxicity. *541*, 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.045>
- Abdullah, A., Hidayat, T., & Seulalae, A. V. (2021). *Moluska: Karakteristik, Potensi dan Pemanfaatan Sebagai Bahan Baku Industri Pangan dan Non Pangan*. Syiah Kuala University Press.
<https://books.google.co.id/books?id=uE0iEAAAQBAJ>
- Achmad, Ghitarina, & Suryana, I. (2023). Analysis Of Cadmium (Cd), Copper (Cu), And Lead (Pb) Content In Darah Mussel (*Anadara Granosa*) On Tihi-Tihi Island, South Bontang District, East Kalimantan. *Jurnal Aquarine*, *10*(1), 10–19.
- Afifah, Z., Kurniyawan, K., & Huda, T. (2019). Verifikasi Metode Penentuan Kadar Timbal (Pb) pada Sampel Udara Ambien Menggunakan Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES). *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, *2*(2), 74–79.
<https://doi.org/10.20885/ijca.vol2.iss2.art5>
- Afivah, N. I., Fitra, H. A., & Munirwan, H. (2019). Tingkat Pengaruh dan Kepentingan Para Pemangku Kepentingan Terhadap Pengelolaan Sampah di Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung. *Repo.Itera.Ac.Id*, 1–16.
https://repo.itera.ac.id/assets/file_upload/SB2101250009/22116114_20_225405.pdf
- Agustina, D. Y., Suprpto, D., & Febrianto, S. (2019). Heavy Metal Concentration of Pb in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the Tenggang River, Semarang, Central Java. *JOURNAL OF MAQUARES*, *8*(2017), 242–249.
- Ahmad, M. J., Manarfa, L. O. M. R. A. U., Akbarurrasyid, M., Renitasari, D. P., Puspita, E. V, Aziz, B., Sudinno, D., Limbong, I., Pramudita, A. D. P., & Diartika, E. I. A. (2025). *Pengelolaan Sumber Daya Perikanan Berbasis Ekosistem*. CV. Gita Lentera.
<https://books.google.co.id/books?id=OYVbEQAAQBAJ>

- Ainun, N. H., Gafur, A., & Abbas, H. H. (2021). Bioakumulasi Logam Berat Chromium (Cr) Dan Cadmium (Cd) Pada Sedimen Dan Kerang (*Anadara Sp .*) Di Muara Sungai Tallo. *Artikel Riset*, 2(3), 522–535.
- Akhir, F. Y., Suyatna, I., Pagoray, H., Sukarti, K., Ramang, S., & Fitriyana, F. (2023). Analisis Logam Berat Pada Kerang , Sedimen , dan Air di Ekosistem Padang Lamun di Dusun Selangan Kota Bontang. *Torani: Journal of Fisheries and Marine Sciences*, 7(1), 57–65.
- Amelia, F., Ismarti, I., Ramses, R., & Rozirwan, R. (2019). Biokonsentrasi Faktor Logam Berat pada Kerang dari Perairan Batam, Kepulauan Riau, Indonesia. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 4(2), 152.
<https://doi.org/10.30870/educhemia.v4i2.5529>
- Anar, M. F. H., Santoso, P., & Jasmanindar, Y. (2025). Perbandingan Pertumbuhan Kerang Darah (*Anadara granosa*) Di Perairan Motadikin Dan Kletek Kabupaten Malaka. *Jurnal Aquatik*, 8(1), 21–31.
- Anggraini, D. (2016). Kajian Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Bulu (*Anadara Antiquata*), Kerang Darah (*Anadara Granosa*), Dan Kerang Hijau (*Perna Viridis*) Di Pesisir Teluk Lampung Secara Spektrofotometri Serapan Atom. Cd.
- Arsyad, G., Fuadi, M. F., Herdhianta, D., Faradinah, E. D., Dewi, N. U., Wardani, R. W. K., Djerubu, D., Syam, D. M., & Ardyanti, D. (2022). *Dasar Kesehatan Lingkungan*. Pradina Pustaka.
<https://books.google.co.id/books?id=YiugEAAAQBAJ>
- Asmorowati, D. S., Sumarti, S. S., & Kristanti, I. I. (2020). Perbandingan Metode Destruksi Basah Dan Destruksi Kering Untuk Analisis Timbal Dalam Tanah Di Sekitar Laboratorium Kimia FMIPA UNNES. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 09(03), 169–173.
- Assyifa, R. A. (2021). Analisis Logam Berat Pada Kepiting Yuyu (*Parathelapsa Convexa*), Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*), Dan Ikan Cenang (*Gambusia affinis*) Di Perairan Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Lampung Dengan Metode Icp-Oes. 1–63.
- Astriana, B. H., Eka Larasati, C., & Perdana Putra, A. (2022). Persepsi Masyarakat Terhadap Pemanfaatan Kerang Darah Di Kawasan Mangrove Desa Cemara, Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Perikanan Unram*, 12(2), 138–148.
<https://doi.org/10.29303/jp.v12i2.287>

- Badan Standarisasi Nasional. (1998). *Tata Pengambilan Percontoh Bentos Pada Badan Perairan Umum*. <https://share.google/dUyJbk19fGweaodqA>
- Badan Standarisasi Nasional. (2009). SNI 7387:2009: Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan. *Batas Maksimum Cemaran Logam Berat Dalam Pangan*, 1–29. https://sertifikasibbia.com/upload/logam_berat.pdf
- Badan Standarisasi Nasional. (2018). *sni 6989 82 2018.pdf*.
- Baransano, H. K., & Mangimbulude, J. C. (2018). Eksploitasi dan Konservasi Sumberdaya Hayati Laut dan Pesisir di Indonesia. *Jurnal Biologi Papua*, 3(1), 39–45. <https://doi.org/10.31957/jbp.547>
- Berniyanti, T. (2020). *Biomarker Toksisitas: Paparan Logam Tingkat Molekuler*. Airlangga University Press. https://books.google.co.id/books?id=_mrIDwAAQBAJ
- Dahlan, R. (2022). *Ekonomi Sirkular dan Pembangunan Berkelanjutan*. Jejak Pustaka. <https://books.google.co.id/books?id=drmeEAAAQBAJ>
- Dantje T. S. B. A. S. (2015). *Toksikologi Lingkungan*. Andi Publisher. <https://books.google.co.id/books?id=YLWACwAAQBAJ>
- Dewata, I., & Danhas, Y. H. (2023). *Toksikologi Lingkungan*. PT. RajaGrafindo Persada - Rajawali Pers. <https://books.google.co.id/books?id=VvLfEAAAQBAJ>
- Fauzan, Muhammad, R., Rangga, A., Astuti, S., & Suroso, E. (2024). Identifikasi Cemaran Logam Berat (Hg , Cu , Pb , Zn , As , dan Ag) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Pulau Pasaran Provinsi Lampung. *Jurnal Agroindustri Berkelanjutan*, 3(1), 66–77.
- Febrita, J., & Roosmini, D. (2022). Analisis Beban Pencemar Logam Berat Industri terhadap Kualitas Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(1), 77–88. <https://doi.org/10.29244/jsil.7.1.77-88>
- Hamid, A., Riani, E., & Warlina, L. (2023). Analisis Pencemaran Logam Berat Pada Sedimen Permukaan Di Dasar Perairan Laut Pulau Pasaran. *Reksabumi*, 2(1), 65–74. <https://doi.org/10.33830/reksabumi.v2i1.4840.2023>
- Handayani, C. O., Sukaharjo, Zu'amah, H., & Dewi, T. (2023). Karakteristik Distribusi, Analisis Sumber dan Penilaian Risiko Kesehatan dari Logam Berat di Lahan Pertanian Kota Batu, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*,

24(2), 166–175. <https://doi.org/10.55981/jtl.2023.291>

Hidayah, N., Kautsari, N., & Ahdiansyah, Y. (2024). Jenis, Metode Penangkapan Dan Pemanfaatan Avertebrata Laut Dalam Tradisi Bakalili. *Albacore Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 8(2), 109–120.

Hidayati, N. V., Hotijah, S., Hudawi, M. N., & Andriyono, S. (2023). Kontaminasi Mikroplastik pada Ikan Kiper (*Scatophagus argus*) dari Laguna. *16(3)*, 283–294.

Hossain, M. B., Masum, Z., Rahman, M. S., Yu, J., Noman, A., Jolly, Y. N., Begum, B. A., Paray, B. A., & Arai, T. (2022). Heavy Metal Accumulation and Phytoremediation Potentiality of Some Selected Mangrove Species from the World ' s Largest Mangrove Forest.

Ilhamudin, M. (2019). Pengaruh Tingkat Kerapatan Mangrove Terhadap Pertumbuhan Dan Kelangsungan Hidup Kerang Darah (*Anadara granosa*). *Jurnal Perikanan Unram*, 9(1), 75–85. <https://doi.org/10.29303/jp.v9i1.142>

Imbayani, I. G. A., Prayoga, I. M. S., & Mahendra, I. W. A. (2024). Pengaruh Self Congruity, Brand Engagement Dan Store Atmosphere Terhadap Loyalitas Pelanggan Di Kedai Kopi M.Aboe Talib Denpasar Timur. *Jurnal Emas*, 1–13.

Iyabu, H., Muhammad, A., Kilo, J. La, & Kilo, A. La. (2020). Besi dalam Air Sumur: Studi Kasus di Kelurahan Dulalowo dan Heledulaa. *Jamb.J.Chem*, 02(2), 46–52. <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjc/article/view/6990>

Jais, Kn., 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*, 01(03), 261–274. <https://doi.org/10.33096/woph.v1i3.112>

Kawung, N., Rompas, R., Paulus, J., Lasut, M., Mantiri, D., & Rumampuk, N. (2018). Analisis akumulasi kandungan logam kadmium pada akar dan daun mangrove di Perairan Basaan-Belang Kabupaten Minahasa Tenggara dan Likupang Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 6(1), 98. <https://doi.org/10.35800/jplt.6.1.2018.20569>

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.

- Lazim, A., Ningtias, D. A., Wardani, D. L. K., & Yunita, I. (2024). Analisis Kebijakan Pencemaran Lingkungan Laut Sekitar Pesisir Pantai Kabupaten Rembang Menggunakan Software Expert Choice. *Nova Idea*, 1(1), 19–30.
- Liana, L., Jabbar, M. A., & Nurhudah, M. (2024). Analisis Kualitas Air Sebagai Indikator Pelabuhan Perikanan Berwawasan Lingkungan Di Ppn Muara Angke. *Albacore Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 8(3), 245–254.
- Liku, J. E. A., Mulya, W., Sipahutar, M. K., Sari, I. P., & Noeryanto. (2022). Mengidentifikasi Sumber Pencemaran Air Limbah Di Tempat Kerja. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(1), 1.
- Linda, R., Hartanti, L., Mulya Ashari, A., & Kurniadi, B. (2022). Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) Dan Sedimen Asal Perairan Sedanau Kabupaten Natuna Levels of Heavy Metal Lead (Pb) in Blood Shells (*Anadara granosa*) and Sediments Origin in Sedanau Waters, Natuna Regency. *Marinade*, 05(02), 110–116.
- Linda, R., Warsidah, & Kurniadi Bambang. (2023). Kandungan Kadmium (Cd) dalam Kerang Darah (*Anadara granosa*) dan Sedimen Asal Perairan Pulau Sedanau Kabupaten Natuna. 6(2), 195–199.
- Maharani, H. W., Nurulita, N., Yullianto, H., Efendi, E., & Delis, P. C. (2019). Bioconcentration Of Cadmium Heavy Metal (Cd) On Green Mussle *Perna Viridis* Linn, 1758 Cultivated In Pasaran Island Waters, Lampung, Indonesia. *Aquasains*, 7(2), 685. <https://doi.org/10.23960/aqs.v7i2.p685-696>
- Manik, C. V. B., & Gumay, A. (2024). Analisis proses penggantian bendera kapal asing menjadi kapal bendera indonesia di Subdirektorat Pengukuran Pendaftaran dan Kebangsaan Kapal. *Journal Marine Inside*, 6(1), 1–7. <https://doi.org/10.62391/ejmi.v6i1.73>
- Mangkoedihardjo, M., Tangahu, S. T. M. T., Titah, S. T. M. T., Purwanti, S. T. M. T. P. D., Mashudi S. Si., M., & Arliyani, S. T. (2024). *Aplikasi Teknologi Remediasi Lingkungan*. Media Nusa Creative (MNC Publishing). <https://books.google.co.id/books?id=T9wVEQAAQBAJ>
- Marhaini. (2022). *Pengolahan Limbah dan Dampak Lingkungan*. Penerbit NEM. <https://books.google.co.id/books?id=J6GSEAAAQBAJ>
- Maulana, F. W., Rakhman, A. N., & Press, U. G. M. (2018). *Geotoksikologi: Usaha Menjaga Keracunan Akibat Bencana Geologi*. Gadjah Mada University Press. https://books.google.co.id/books?id=Q_9UDwAAQBAJ

- Mawarnis, E. R., & Umar, P. D. A. A. (2024). *Kimia Analisis Instrumen*. Deepublish. <https://books.google.co.id/books?id=RdkuEQAAQBAJ>
- Najihah, N., & Rachmadiarti, F. (2023). Analisis Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tumbuhan Air di Sungai Brantas Kota Mojokerto. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 12(2), 239–247. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v12n2.p239-247>
- Naschan, M., Tri, A., & Sumarni, W. (2017). Uji Validitas Analisis Logam Fe dalam Sedimen Sungai Kaligarang dengan FAAS dan ICP-OES. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(1), 11–18.
- Natasha, F. (2024). Temuan Akumulasi Logam Berat Pada Ikan Dengan Metode Atomic Absorption Spectrophotometry (Aas). *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(5), 396–408. <https://doi.org/https://doi.org/10.62017/merdeka>
- Negara, G. S. (2020). Dampak Lingkungan Terhadap Pencemaran Laut Di Pesisir Utara Pulau Bintan Selama Musim Angin Utara. *Jurnal Sains Dan Teknologi Maritim*, 20(2), 137. <https://doi.org/10.33556/jstm.v20i2.226>
- Nugroho, E. D., Sakaria, F. S., Juniatmoko, R., Sinurat, J., Polapa, F. S., Arida, V., Laksani, M. R. T., & Octorina, P. (2024). *Ekologi Perairan*. Penerbit Widina. <https://books.google.co.id/books?id=YYNJEQAAQBAJ>
- Pamekas, T., Nela Zahara, & Lisbet Sinaga. (2023). Akselerasi Hasil Penelitian dan Optimalisasi Tata Ruang Agraria untuk Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Nasional UNS*, 7(1), 1175–1184.
- Pertiwi SS. (2017). Analisis Kandungan Logam Berat Pada Kerang Di Pantai Sari Ringgung Dan Sekitarnya Dengan Metode Icp-Oe. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Polapa, F. S., Annisa, R. N., Annisa, R. N., Yanuarita, D., Yanuarita, D., Ali, S. M., & Ali, S. M. (2022). Quality Indeks dan Konsentrasi Logam Berat dalam Perairan dan Sedimen di Perairan Kota Makassar. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 271–278. <https://doi.org/10.14710/jil.20.2.271-278>
- Prasetyono, E., Nirmala, K., Supriyono, E., & Puji, Y. (2023). Potensi Pemanfaatan Limbah Tambak Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*) Untuk Budidaya Kerang Darah (*Anadara Granosa* , *Linneus 1758*). 21(2), 420–430. <https://doi.org/10.14710/Jil.21.2.420-430>

- Pratiwi, D. Y. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) terhadap Organisme Perairan dan Kesehatan Manusia. *Akuatek*, 1(1), 59–65.
- Pratiwi, D. F., Hidayat, D., & Pratama, D. S. (2016). Tingkat Pencemaran Logam Kadmium (Cd) Dan Kobalt (Co) Pada Sedimen Di Sekitar Pesisir Bandar Lampung Metal Contamination Of Cadmium (Cd) And Cobalt (Co) Sediment From Bandar Lampung Coastal. 1(01), 61–68.
- Prihatin, A. W., Prasetya, A. T., & Sumarni, W. (2017). Validasi Metode Analisis Mn Dalam Sedimen Sungai Kaligarang Dengan ICP-OES dan GFAAS. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(1), 19–26.
<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Pulungan, A. F., & Wahyuni, S. (2021). Analisis Kandungan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air Minum Isi Ulang (Amiu) Di Kota Lhokseumawe, Aceh. *Averrous: Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan Malikussaleh*, 7(1), 75.
<https://doi.org/10.29103/averrous.v7i1.3666>
- Rachman, R. M., Rahayu, D. E., Sriwati, M., Kusdiah, Y., & Sasmita, A. (2024). *Ekotoksikologi (Pencemaran, Restorasi dan Masa Depan)*. Tohar Media.
<https://books.google.co.id/books?id=JO8MEQAAQBAJ>
- Rahmah, S. (2019). Konsentrasi Logam Berat Pb Dan Cu Pada Sedimen Dan Kerang Darah (*Anadara granosa* Linn, 1758) Di Perairan Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 6(1), 22–27.
<https://doi.org/10.29103/aa.v6i1.887>
- Rahmawati, R., Hasnah, H., & Nur, W. A. (2020). Penetapan Kadar Kadmium (Cd) Dalam Rumput Laut Merah (*Eucheuma spinosum*) Perairan Pantai Di Kecamatan Bangkala Kabupaten Jeneponto. *Jurnal Medika*, 5(1), 5–9.
<https://doi.org/10.53861/jmed.v5i1.174>
- Ramlia, R., Rahmi, & Abidin Djalla. (2018). Uji Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Di Perairan Wilayah Pesisir Parepare. *Jurnal Ilmiah Manusia Dan Kesehatan*, 1(3), 255–264. <https://doi.org/10.31850/makes.v1i3.111>
- Ratnawati, N. A., Prasetya, A., & Rahayu, E. F. (2019). Indonesian Journal of Chemical Science Validasi Metode Pengujian Logam Berat Timbal (Pb) dengan Destruksi Basah Menggunakan FAAS dalam Sedimen Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *J. Chem. Sci*, 8(1), 60–69.
<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>

- Riani, E., Johari, H. S., & Cordova, M. R. (2017). Kontaminasi Pb Dan Cd Pada Ikan Bandeng *Chanos chanos* Yang Dibudidayakan Di Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), 235–246.
- Riena, N. N., Ayu, W., Putri, E., & Agustriani, F. (2012). Analisis Kualitas Perairan Muara Sungai Way Belau Bandar Lampung. 04, 116–121.
- Risma Sari, & Sutopo, F. P. (2024). Verifikasi Kualitas Analisis Mangan Menggunakan Teknik Icp-Oes Dalam Sampel Air Minum. *Jurnal Kimia Saintek Dan Pendidikan*, 8(1), 21–27.
<https://doi.org/10.51544/kimia.v8i1.5016>
- Riquelme, D., Navarrete, P., Pavez, L., & Lopez-joven, C. (2022). The High Risk of Bivalve Farming in Coastal Areas With Heavy Metal Pollution and Antibiotic-Resistant Bacteria : A Chilean Perspective. 12(April), 1–18.
<https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.867446>
- Robi, R., Aritonang, A., & Juane Sofiana, M. S. (2021). Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Samudera Indah Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 4(1), 20.
<https://doi.org/10.26418/lkuntan.v4i1.44922>
- Rosita, T., & Sadiyah, I. (2024). Uji Cemaran Logam Mangan (Mn), Tembaga (Cu), dan Mikroba pada Air Minum dalam Kemasan. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 10(1), 41–57. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i1.16642>
- Rudiyanti, S. (2016). Biokonsentrasi Kerang Darah (*Anadara Granosa* Linn) Terhadap Logam Berat Cadmium (Cd) Yang Terkandung Dalam Media. *Jurnal Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Cd*, 184–195
- Rumoey, D. S., Umar, N. A., & Hadijah. (2022). *Pencemaran Logam Berat Pada Ekosistem Perairan*. Pusaka Almada.
- Runtuboi, D. Y. P., & Sujarta, P. (2023). *Buku Ajar Pengantar Bioremediasi*. Deepublish. <https://books.google.co.id/books?id=l0pDEQAAQBAJ>
- Safitri, S. S., Efendi, E., Gumay Yudha, I., Perikanan, J., Fakultas, K., Universitas, P., Sumantri, L. J., No, B., & Lampung, B. (2018). Pencemaran Pb dan Cu pada Kerang Hijau di Pulau Pasaran, Lampung Pollution of Pb and Cu in Green Mussel at Pasaran Island, Lampung. *Ijccs*, x, No.x(x), 1–5.
- Samsul. (2016). *Universitas islam negeri alauddin makassar 2016*.

- Sanjivanie, H. A., Martuti, N. K. T., & Ngabekti, S. (2017). Bioakumulasi kadmium pada ikan bandeng di tambak wilayah Tapak Semarang. *Life Science*, 6(1), 18–23.
- Sari, S. P. M. S. (2024). *Kimia Lingkungan*. umsu press.
<https://books.google.co.id/books?id=iq8KEQAAQBAJ>
- Sasongko, A. S., Rahayu, B. D., & Satibi, A. (2023). Kandungan Logam Berat di Perairan Teluk Lada Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten. *Samakia : Jurnal Ilmu Perikanan*, 14(2), 100–105.
<https://doi.org/10.35316/jsapi.v14i2.2745>
- Satriawan, E. F., Widowati, I., & Suprijanto, J. (2021). Pencemaran Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Kerang Darah (*Anadara granosa*) yang Didaratkan di Tambak Lorok Semarang. 10(3), 437–445.
- Setiawan, H. (2015). *Akumulasi Dan Distribusi Logam Berat Pada Vegetasi Mangrove Di Perairan Pesisir Sulawesi Selatan Heru Setiawan*. Balai Penelitian Kehutanan Makassar.
- Sidabutar, F. E. N. (2016).
Artikel_Skripsi_Febrina_E.N_Sidabutar_125080101111075_Msp.Pdf.
- Silalahi, F. R. W., Zainuri, M., & Wulandari, S. Y. (2023). Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) di Perairan Muara Sungai Cisadane Kabupaten Tangerang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(1), 01–06.
<https://doi.org/10.14710/ijoce.v5i1.14564>
- Sirajuddin, N. T., Cengristitama, C., Alamsyah, R., Halijah, H., Ardiansyah, M., Marlina, L., Kurniawan, A., Haqqi, M. R. A., sahar, R., & Zulkifli, A. T. A. R. (2024). *Biologi Perairan*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
<https://books.google.co.id/books?id=7aAtEQAAQBAJ>
- Siringoringo, H. H., Narendra, B. H., & Salim, A. G. (2018). Water Quality of Mangrove at Ciasem , Pamanukan , Subang District , West Java. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 8(3), 301–307.
<https://doi.org/10.29244/jpsl.8.3.301-307>
- Siringoringo, V. T., Pringgenies, D., & Ambariyanto, A. (2022). Kajian Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg), Tembaga (Cu), dan Timbal (Pb) pada *Perna viridis* di Kota Semarang. *Journal of Marine Research*, 11(3), 539–546.
<https://doi.org/10.14710/jmr.v11i3.33864>
- Soegianto, A. (2023). *Dampak Logam Berat terhadap Biologi Ikan*. Penerbit NEM.
<https://books.google.co.id/books?id=tr2nEAAAQBAJ>

- Subhaktiyasa, P. G. (2024). Pendekatan Metodologi Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(4), 2721–2731.
- Sunandar, I. H. (2024). *Penggunaan Spektrofotometer dalam Penilaian Kualitas Pangan: Metode dan Praktik*. Azzia Karya Bersama.
- Supardan, A. D. (2023). Pengaruh Jumlah Standar Dan Nilai Konsentrasi Standar Logam Terhadap Interferensi Dan Linearitas Kurva Standar Pengukuran Kadar Logam Menggunakan Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy. *Jurnal Sains Terapan*, 13(1), 67–76.
<https://doi.org/10.29244/jstsv.13.1.67-76>
- Suryani, M., Nursal, & Febrita, E. (2015). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Anadara granosa di Pantai Nongsa Kota Batam untuk Penyusunan Lembar Tugas Siswa pada Konsep Pencemaran Air di SMA. *Jurnal Online Mahasiswa*, 2(2), 1–15.
- Syamsuddin S, S. K. M. M. K., & Dr. Ashari Rasjid, S. K. M. M. S. (2023). *Penggunaan Ampas Kopi dalam Menurunkan Parameter Kimia (Cd) pada Air Lindi*. Nas Media Pustaka.
<https://books.google.co.id/books?id=j0ymEAAAQBAJ>
- Syukriah, S., Fauziansyah, H., & Amira, S. (2024). Studi Kandungan Logam Berat Besi (Fe) pada Air dan Ikan di Tambak Medan Belawan Sumatera Utara. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 26(1), 16–26.
<https://doi.org/10.14710/bioma.2024.58929>
- Thamsi, A. B., & Jafar, N. (2024). *Mineraloid Opal: Karakteristik dan Kandungannya*. Deepublish.
<https://books.google.co.id/books?id=e0obEQAAQBAJ>
- Toding, M., Ghitarina, & Suryana, I. (2018). Bioakumulasi Kandungan Timbal (Pb), Kadmium (Cd) Dan Tembaga (Cu) Di Berbagai Ukuran Kerang Tahu (Meretrix Meretrix) Di Perairan Dusun Pangempang Kecamatan Muara Badak Kabupaten Kutai Kartanegara. 5(2), 1–10.
- Trisnawati, N. N., Dewi, I. G. A. K. S. P., Suari, P. P. V, & Krimayanti, N. P. A. (2021). Validasi Metode Uji Merkuri Menggunakan Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry (Icpe) 9000. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 8(1), 24–28.
- Wamaulana, F., Hasyimuddin, H., & Fakhruddin, A. (2022). Analisis logam berat kadmium (Cd) pada sampel pangan segar asal tumbuhan (PSAT) di BBKP Makassar. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, 2(2), 53–58.

<https://doi.org/10.24252/filogeni.v2i2.29379>

- Wardana, M. T., & Kuntjoro, S. (2023). Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb) di Perairan Pelabuhan Teluk Lamong dan Korelasinya terhadap Kadar Pb Kerang darah (*Tegillarca granosa*). *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 12(1), 41–49. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v12n1.p41-49>
- Wicaksono, R. Z. (2025). Analisis Nutrisi (P & K) Dan Logam Berat (Fe & Cu) Pada Sedimen Mangrove Di Kawasan Pesisir Baros, Morosari, Dan Kubro
- Widyaningsih, S. D., Abida, I. W., Pramithasari, F. A., & Afifa, F. H. (2023). Kajian Kandungan Logam Berat kadmium Pada Air, Sedimen, dan Ikan Bawal (*Pampus argenteus*) di Tempat Pelelangan Ikan Branta Kabupaten Pamekasan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 3(4), 100–109. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v3i4.17564>
- Widyawati, M. E., & Kuntjoro, S. (2021). Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Air di Sungai Buntung Kabupaten Sidoarjo Analysis of Lead (Pb) Heavy Metal Levels in Water Plants in Buntung River Sidoarjo Regency. *Lentera Bio*, 10(1), 77–85. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v10n1.p77-85>
- Wiratno, E. N., Aliviyanti, D., Djamaludin, H., & Dailami, M. (2023). *Mikrobiologi Perairan*. Universitas Brawijaya Press. <https://books.google.co.id/books?id=Xn7Reaaaqbaj>
- Wu, Z., Geng, J., & Huang, L. (2015). Heavy Metal Contamination In Sediments And Mangroves From Maowei Gulf , South China. 24(3), 1091–1097.
- Yayu, N., & Yani, G. (2015). Kandungan Logam Berat (Cd, Cu, Pb, Dan Zn) Dalam Air Laut Di Perairan Pantai Timur Pulau Rote Content. *Jurnal Lingkungan*, 13(236), 99–108.
- Yona, D., Sari, S. H. J., Iranawati, F., & Rayyan, M. F. (2020). Heavy metals accumulation and risk assessment of *Anadara granosa* from eastern water of Java Sea , Indonesia. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/416/1/012007>
- Zain, A. A., & Malik, Y. (2024). Verifikasi Metode Menggunakan Atomic Absorbtion Spectro-photometer (AAS) Analisis Kadar Natrium (Na) Dalam Bijih Nikel. *Jurnal Penelitian Sains*, 26(3), 284. <https://doi.org/10.56064/jps.v26i3.1052>