

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd), NIKEL (Ni),  
DAN SENG (Zn) PADA AIR LAUT SERTA *BIOCONCENTRATION*  
FACTOR (BCF) PADA ORGAN HATI DAN DAGING IKAN TONGKOL  
(*Euthynnus* sp.) DI PERAIRAN LAUT TELUK LAMPUNG**

**(Tesis)**

**Oleh**

**GILANG PRATAMA INDRA PUTRA DUARSA  
2427021003**



**PROGRAM STUDI MAGISTER BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

### ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd), NIKEL (Ni), DAN SENGG (Zn) PADA AIR LAUT SERTA *BIOCONCENTRATION* *FACTOR* (BCF) PADA ORGAN HATI DAN DAGING IKAN TONGKOL (*Euthynnus sp.*) DI PERAIRAN LAUT TELUK LAMPUNG

Oleh

GILANG PRATAMA INDRA PUTRA DUARSA

Teluk Lampung merupakan perairan semi-tertutup yang rentan terhadap pencemaran akibat aktivitas antropogenik, seperti industri, pelabuhan, dan permukiman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan logam berat Kadmium (Cd), Nikel (Ni), dan Seng (Zn) pada air laut, daging, dan organ hati ikan tongkol (*Euthynnus sp.*), serta mengevaluasi nilai *Bioconcentration Factor* (BCF). Pengambilan sampel air laut dan sampel ikan tongkol yang dihitung nilai Faktor Biokonsentrasi didapat pada 3 stasiun yaitu, stasiun 1 dilakukan di perairan pesisir pantai hutan mangrove perairan laut Sebalang, stasiun 2 di lokasi perairan laut Pantai Pasir Putih sebagai daerah industri, dan stasiun 3 di lokasi perairan laut Sukaraja sebagai daerah perkotaan. Metode Analisis logam berat dilakukan menggunakan *Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES). Hasil penelitian didapatkan kadar Cd pada air laut di tiga stasiun pengamatan sebesar <0,015 mg/L, Ni terlarut <0,066 mg/L, dan Zn terlarut <0,009 mg/L sedangkan, pada daging dan organ hati ikan tongkol kadar Cd di tiga stasiun pengamatan sebesar <0,59 mg/kg, Ni tertinggi 5,74 mg/kg dan Zn tertinggi 17,3 mg/kg dengan konsentrasi logam berat lebih tinggi pada organ hati dibandingkan daging ikan tongkol. Hal tersebut menunjukkan organ hati memiliki kemampuan tinggi dalam mengakumulasi logam berat. Nilai BCF menunjukkan logam berat Zn memiliki tingkat akumulasi tertinggi sebesar 1.922.22; diikuti Ni sebesar 86,96; dan Cd sebesar 39,33. Dengan adanya temuan ini diperlukan pengelolaan dan pemantauan kualitas perairan Teluk Lampung secara berkelanjutan.

**Kata kunci:** Ikan Tongkol, Air Laut, Logam Berat, *Bioconcentration Factor* (BCF), Teluk Lampung.

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF HEAVY METAL CONTENT OF CADMIUM (Cd), NICKEL (Ni), AND ZINC (Zn) IN SEAWATER AND BIOCONCENTRATION FACTOR (BCF) IN LIVER AND MUSCLE TISSUE OF MACKEREL TUNA (*Euthynnus* sp.) IN LAMPUNG BAY WATERS

By

GILANG PRATAMA INDRA PUTRA DUARSA

Lampung Bay is a semi-enclosed body of water that is vulnerable to pollution from anthropogenic activities, such as industry, ports, and settlements. This study aims to analyze the content of heavy metals Cadmium (Cd), Nickel (Ni), and Zinc (Zn) in seawater, muscle tissue, and liver organs of mackerel tuna (*Euthynnus* sp.), as well as to evaluate the Bioconcentration Factor (BCF) value. Samples of seawater and mackerel tuna, which will be used to calculate the Bioconcentration Factor, were collected at three stations: Station 1 was located in the coastal waters of the Sebalang mangrove forest, Station 2 was located in the coastal waters of Pasir Putih Beach, an industrial area, and Station 3 at the Sukaraja coastal waters as an urban area. Heavy metal analysis was performed using Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The results showed that the Cd content in seawater at the three observation stations was <0.015 mg/L, dissolved Ni was <0.066 mg/L, and dissolved Zn was <0.009 mg/L, while in the muscle tissue and liver of mackerel tuna, the Cd levels at the three observation stations were <0.59 mg/kg, the highest Ni level was 5.74 mg/kg, and the highest Zn level was 17.3 mg/kg, with higher heavy metal concentrations in the liver than in the muscle tissue of mackerel tuna. This indicates that the liver has a high capacity to accumulate heavy metals. The BCF values indicate that the heavy metal Zn has the highest accumulation rate at 1,922.22, followed by Ni at 86.96, and Cd at 39.33. Based on these findings, continuous management and monitoring of water quality in Lampung Bay are necessary to minimize the potential impacts of heavy metal contamination.

**Keywords:** Mackerel Tuna, Seawater, Heavy metals, *Bioconcentration Factor* (BCF), Lampung Bay.

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd), NIKEL (Ni),  
DAN SENG (Zn) PADA AIR LAUT SERTA *BIOCONCENTRATION*  
FACTOR (BCF) PADA ORGAN HATI DAN DAGING IKAN TONGKOL  
(*Euthynnus sp.*) DI PERAIRAN LAUT TELUK LAMPUNG**

**Oleh**

**GILANG PRATAMA INDRA PUTRA DUARSA**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
MAGISTER SAINS**

**Pada**

**Program Studi Magister Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

**Judul Penelitian** : Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd), Nikel (Ni), dan Seng (Zn) pada Air Laut Serta *Bioconcentration Factor* (BCF) pada Organ Hati dan Daging Ikan Tongkol (*Euthynnus* sp.) di Perairan Laut Teluk Lampung

**Nama Mahasiswa** : Gilang Pratama Indra Putra Duarsa

**Nomor Pokok Mahasiswa** : 2427021003

**Jurusan/ Program Studi** : Biologi/Magister Biologi

**Fakultas** : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**1. Komisi Pembimbing**

**Prof. Drs. Tugivono, M.Si., Ph.D.**  
NIP. 196411191990031001

**Dr. Endah Setyaningrum, M.Biomed.**  
NIP. 196405171988032001

**2. Koordinator Program Studi Magister Biologi**

**Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.**  
NIP. 196603051991032001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua

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

Sekretaris

: **Dr. Endah Setyaningrum, M. Biomed.**

Penguji

Bukan Pembimbing I

: **Prof. Dr. Gregorius N. Susanto, M.Sc.**

Penguji

Bukan Pembimbing II

: **Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.**

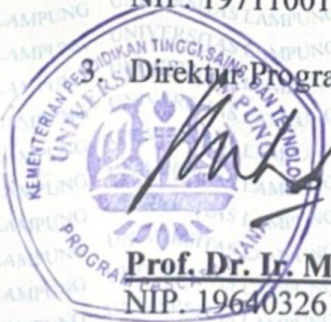
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**

NIP. 197110012005011002

3. Direktur Program Pascasarjana



**Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**

NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 31 Maret 2026

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Gilang Pratama Indra Putra Duarsa  
NPM : 2427021003  
Program Studi : Magister Biologi

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam tesis yang berjudul:

**“ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd), NIKEL (Ni), DAN SENG (Zn) PADA AIR LAUT SERTA *BIOCONCENTRATION FACTOR* (BCF) PADA ORGAN HATI DAN DAGING IKAN TONGKOL (*Euthynnus sp.*) DI PERAIRAN LAUT TELUK LAMPUNG”**

Baik gagasan, data, dan pembahasan adalah benar hasil karya sendiri berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Tesis ini saya susun dengan mengikuti pedoman dan norma yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung,  
Pembuat Pernyataan



Gilang Pratama Indra Putra Duarsa S.Si.

## RIWAYAT HIDUP



Gilang Pratama Indra Putra Duarsa, atau akrab disapa Gilang, lahir di Metro, 06 Desember 1999. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak A. Indra Budiman Duarsa, S.P., dan Ibu Indriyani Ramlie, S.P.

Penulis menempuh pendidikan pertamanya di TK Pertiwi Kota Metro pada tahun 2005 dan melanjutkan pendidikan dasar di SD Muhammadiyah Kota Metro tahun 2006-2012 dan melanjutkan jenjang pendidikannya di SMPN 1 Kota Metro dan selesai pada tahun 2015. Penulis melanjutkan jenjang pendidikannya di SMAN 3 Kota Metro tahun 2015-2018. Pada tahun 2018, penulis tercatat sebagai salah satu mahasiswa Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) angkatan 2018.

Pada tahun 2024, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang magister di Program Studi Magister Biologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

## **MOTTO HIDUP**

And be patient, for what has befalls you.  
(Surah Luqman, The Holy Qur'an 31:17)

Wake Up and Smell the Roses  
(Big Sean)

There is no way around the hard work. Embrace it.  
(Roger Federer)

The harder I push, the more I find within myself  
(Aryton Senna)

The little things mean the most  
(Ricky Rubio)

## PERSEMBAHAN

*Bismillahiromanirohim. Allahuma sholli ala sayyidina  
Muhammad, wa'ala ali sayyidina Muhammad.*

Dengan mengucapkan syukur kehadirat Allah SWT tuhan yang maha kuasa,  
saya persembahkan tesis ini dengan kesungguhan hati sebagai tanda cinta kepada:

Dua orang yang paling berharga bagi hidup saya,  
**Bapak A. Indra Budiman Duarsa, S.P. dan Ibu Indriyani Ramlie, S.P., M.M.**  
yang cinta dan kasih sayangnya tak terhitung dan tak terbatas, selalu berusaha  
memberikan yang terbaik, serta tak kenal lelah memberikan nasihat, dukungan,  
motivasi, serta doa sehingga tesis ini dapat selesai tepat waktu.

Nenek,

**Ibu Hj. Siti Aminah**

Karya sederhana ini saya persembahkan kepada nenek tercinta yang telah dengan  
tulus membiayai dan mendukung perjalanan pendidikan saya, semoga karya ini  
menjadi salah satu bentuk kecil dari rasa terima kasih dan kebanggaan saya untuk  
beliau.

Dosen-dosen pembimbing dan pembahas,

**Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D., Dr. Endah Setyaningrum, M. Biomed.,  
Prof. Dr. Gregorius N. Susanto, M.Sc., dan Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.**

yang dengan sepenuh hati dan meluangkan waktu untuk membimbing,  
memberikan dukungan, memberikan motivasi, memberikan saran dan masukan,  
serta memfasilitasi segala bentuk rangkaian proses dalam penelitian hingga  
terciptanya penulisan tesis ini.

## SANWACANA

Salam Sejahtera,

Puji syukur kepada Tuhan Allah SWT atas segala berkat, karunia, dan kasih-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul: **“ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd), NIKEL (Ni), DAN SENG (Zn) PADA AIR LAUT SERTA *BIOCONCENTRATION FACTOR* (BCF) PADA ORGAN HATI DAN DAGING IKAN TONGKOL (*Euthynnus* sp.) DI PERAIRAN LAUT TELUK LAMPUNG”** yang menjadi syarat kelulusan dalam menyelesaikan kuliah dan memperoleh gelar magister di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Selama proses penyusunan dan penulisan tesis ini, penulis mendapatkan bantuan, dukungan, motivasi, saran, bimbingan, dan kritik dari berbagai pihak kepada penulis. Untuk itu, pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng., selaku rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.

4. Bapak Dr. Jani Master, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc., selaku Koordinator Program Studi Magister Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pegetahuan Alam Universitas Lampung, sekaligus sebagai Pembahas II yang telah memberikan banyak saran, pembelajaran, dan nasihat agar penulis lebih berkembang menjadi pribadi yang lebih baik.
6. Ibu Prof. Dr. Emantis Rosa, M.Biomed., selaku pembimbing akademik yang senantiasa memberikan saran dan bimbingan selama penulis mengemban pendidikan di bangku perkuliahan.
7. Bapak Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D., selaku Pembimbing I tesis yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran serta selalu sabar memberikan arahan, bimbingan, dan nasihat untuk tidak pernah putus asa kepada penulis selama menyusun dan menyelesaikan tesis ini.
8. Ibu Dr. Endah Setyaningrum, M. Biomed., selaku Pembimbing II tesis yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran serta selalu sabar memberikan arahan, bimbingan, dan nasihat untuk tidak pernah putus asa kepada penulis selama menyusun dan menyelesaikan tesis ini.
9. Bapak Prof. Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc., selaku Pembahas I yang telah memberikan banyak saran, pembelajaran, dan nasihat agar penulis lebih berkembang menjadi pribadi yang lebih baik.
10. Seluruh Staf Dosen dan staf karyawan Program Studi Magister Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah berjasa selama ini.
11. Kedua orang tua tercinta, Bapak A. Indra Budiman Duarsa, S.P., dan Ibu Indriyani Ramlie, S.P., M.M., yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, kasih sayang, memberikan masukan dan motivasi terbaiknya, serta pengorbanan tanpa henti untuk penulis untuk mencapai keberhasilan.
12. Kedua adik saya yaitu Giffany Azzahra Indri Putri Duarsa, A.Md.Gz., dan Galih Prayogi Indra Putra Duarsa S.Si., tersayang yang selalu mendoakan, memberikan semangat, kasih sayang, kesabaran serta motivasi kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.

13. Ristia Agustiana, S.Si., sebagai *support system* yang memberikan dukungan moral dan perhatian dalam menghadapi proses penyusunan tesis ini.
14. Rekan-rekan seangkatan Magister Biologi 2024, terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan tawa yang menemani setiap langkah dalam perjalanan penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna, namun tesis ini penulis harapkan dapat bermanfaat di kemudian hari.

Bandar Lampung,  
Penulis,

Gilang Pratama Indra Putra Duarsa, S.Si.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN JUDUL BAGIAN DALAM</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS</b> .....	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>viii</b>
<b>MOTTO HIDUP</b> .....	<b>ix</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xix</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	4
1.3 Manfaat Penelitian .....	4
1.4 Kerangka Pemikiran.....	4
1.5 Hipotesis .....	7
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>8</b>
2.1 Gambaran Umum Teluk Lampung .....	8
2.2 Pencemaran Ekosistem Laut.....	9
2.2.1 Proses Masuknya Bahan Pencemar Ekosistem Laut.....	9
2.2.2 Sumber Pencemaran Ekosistem Laut .....	10
2.3 Logam Berat di Perairan.....	11

2.4	Logam Kadmium (Cd) .....	12
2.4.1	Sumber Polusi Kadmium (Cd).....	12
2.4.2	Dampak Kadmium (Cd) pada Biota Laut.....	13
2.4.3	Standar Baku Mutu Kadmium (Cd) pada Air Laut dan Biota Laut.....	13
2.5	Logam Nikel (Ni) .....	14
2.5.1	Sumber Polusi Nikel (Ni) .....	14
2.5.2	Dampak Nikel (Ni) pada Biota Laut .....	15
2.5.3	Standar Baku Mutu Nikel (Ni) pada Biota Laut .....	15
2.6	Logam Seng (Zn) .....	15
2.6.1	Sumber Polusi Seng (Zn).....	16
2.6.2	Dampak Seng (Zn) pada Biota Laut.....	16
2.6.3	Standar Baku Mutu Seng (Zn) pada Air Laut.....	17
2.7	Logam Berat pada Ikan .....	17
2.8	Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.).....	18
2.9	<i>Bioconcentration Factor</i> (BCF).....	20
<b>III.</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2.	Alat dan Bahan.....	22
3.2.1	Alat-Alat Penelitian.....	22
3.2.2	Bahan-Bahan Penelitian .....	24
3.3	Jenis dan Sumber Data .....	25
3.4	Populasi dan Sampel Penelitian .....	25
3.5	Metode Pengambilan Sampel .....	25
3.6	Preparasi Sampel.....	27
3.6.1	Sampel Air Laut .....	27
3.6.2	Sampel Organ Hati dan Daging Ikan Tongkol .....	28
3.7	Analisis Kadar Logam Berat Menggunakan ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry) .....	29
3.8	Analisis Data.....	30
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
4.1	Hasil Pengamatan.....	32
4.1.1.	Kandungan Logam Berat dan pH Air Laut Teluk Lampung .....	32

4.1.2 Kandungan Logam Berat pada Daging dan Organ Hati Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.) .....	34
4.1.3 Nilai <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) pada Daging dan Organ Hati Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.).....	36
4.2 Pembahasan .....	39
4.2.1 Kandungan Logam Berat dan pH Air Laut Teluk Lampung .....	39
4.2.2 Kandungan Logam Berat pada Daging dan Organ Hati Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.) .....	45
4.2.3 Nilai <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) pada Daging dan Organ Hati Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.).....	51
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>54</b>
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.</b> Alat yang Digunakan pada Saat Pengambilan Sampel di Lapangan.....	23
<b>Tabel 2.</b> Alat yang Digunakan pada Saat Pengujian Sampel di Laboratorium ....	23
<b>Tabel 3.</b> Bahan yang Digunakan pada Saat Pengujian Sampel di Laboratorium	24
<b>Tabel 4.</b> Karakteristik Organoleptik Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.).....	26
<b>Tabel 5.</b> Standar Baku Mutu Logam Berat menurut PP No. 22 Tahun 2021 .....	30
<b>Tabel 6.</b> Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan menurut SNI 7387 Tahun 2009 .....	30
<b>Tabel 7.</b> Kandungan Logam Berat dan pH Air Laut Teluk Lampung .....	33
<b>Tabel 8.</b> Kandungan Logam Berat pada Daging Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.)..	34
<b>Tabel 9.</b> Kandungan Logam Berat pada Organ Hati Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.) .....	35
<b>Tabel 10.</b> Nilai <i>Biocentration Factor</i> (BCF) pada Daging Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.) .....	37
<b>Tabel 11.</b> Nilai <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) pada Organ Hati Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.) .....	38

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.</b> Kerangka Pemikiran Penelitian .....	6
<b>Gambar 2.</b> Peta Teluk Lampung .....	8
<b>Gambar 3.</b> Anatomi organ ikan .....	18
<b>Gambar 4.</b> Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.).....	19
<b>Gambar 5.</b> Peta Lokasi Titik Sampling Air Laut dan Ikan di Teluk Lampung ...	22
<b>Gambar 6.</b> Perbandingan Nilai Kadar Logam Berat pada Daging dan Organ Hati Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.) .....	36
<b>Gambar 7.</b> Perbandingan Nilai BCF pada Daging dan Organ Hati Ikan Tongkol ( <i>Euthynnus</i> sp.).....	38

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Dokumentasi Pengambilan Data
2. Hasil Laboratorium Pengujian Logam Berat Pada Air Laut, Daging, dan Organ Hati Ikan Tongkol (*Euthynnus* sp.)
3. Baku Mutu Air Laut Sesuai Dengan PP No. 22 Tahun 2021
4. Baku Mutu SNI 7387 Tahun 2009 Tentang Batas Maksimum Cemar Logam Berat Dalam Pangan

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teluk Lampung merupakan perairan semi-tertutup yang terletak di Provinsi Lampung, bagian Selatan Sumatra (Purwanti *et al.*, 2023; Widiastuti *et al.*, 2021). Teluk ini merupakan suatu wilayah perairan dangkal yang mempunyai kedalaman kurang dari 30 meter (Dewi *et al.*, 2016) dan luas perairan sekitar 1.800 km<sup>2</sup> yang meliputi ekosistem mangrove, padang lamun, dan terumbu karang. Beberapa pulau-pulau kecil yang terdapat di teluk ini diantaranya, Pulau Pasaran, Pulau Sebesi, Pulau Sebuku, Pulau Legundi, Pulau Kelagian, Pulau Condong Laut, Pulau Tangkil, Pulau Tegal dan pulau kecil lainnya adalah gugusan kepulauan yang berada di Teluk Lampung (Nugraha, 2020).

Teluk Lampung merupakan salah satu kawasan perairan pesisir yang memiliki nilai ekologis dan ekonomis tinggi di Provinsi Lampung. Kawasan ini menjadi pusat aktivitas perikanan, pelabuhan, industri, pertambangan, hingga pariwisata. Aktivitas antropogenik seperti pembuangan limbah industri dan domestik, kegiatan pelabuhan, abrasi cat kapal, serta limpasan dari daerah aliran sungai yang membawa polutan dari kawasan pertanian maupun perkotaan yang intensif dapat menyebabkan terjadinya tekanan lingkungan, salah satunya berupa pencemaran logam berat (Aznardi *et al.*, 2023). Keberadaan logam berat di perairan laut berdampak pada pencemaran perairan Teluk Lampung yang sangat berbahaya karena bersifat toksik, persisten, dan dapat terakumulasi dalam organisme akuatik serta rantai makanan (Kurniawan *et al.*, 2021).

Logam berat adalah unsur logam dengan massa jenis tinggi ( $>5 \text{ g/cm}^3$ ) yang umumnya bersifat toksik bagi organisme pada konsentrasi tertentu. Beberapa logam berat yang sering mencemari perairan laut antara lain Pb, Cd, Hg, Cu, Zn, Ni, Cr, dan As yang bersifat *non-biodegradable*, sehingga dapat terakumulasi di sedimen dan biota perairan (Ali *et al.*, 2021).

Biota perairan yang sering dikonsumsi manusia adalah ikan, protein ikan tergolong protein dengan nilai biologis tinggi karena mengandung asam amino esensial yang lengkap, antara lain lisin, leusin, metionin, dan treonin. Dibandingkan protein dari sumber daging merah, protein ikan lebih mudah dicerna dan diserap tubuh. Hal ini menjadikan ikan sangat penting dalam mencegah malnutrisi, khususnya pada anak-anak di negara berkembang (Astuti *et al.*, 2022). Selain itu, dalam ekosistem laut ikan sering digunakan sebagai bioindikator karena menempati posisi penting dalam rantai makanan, bersifat *relatif sessile* (terbatas pergerakan pada habitat tertentu), serta mampu mengakumulasi logam berat melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi (Kibria *et al.*, 2021).

Ikan dapat menyerap logam berat melalui insang (respirasi), kulit (kontak langsung), dan saluran pencernaan (makanan). Organ-organ tertentu, seperti hati, ginjal, dan insang, biasanya sering digunakan untuk mendeteksi akumulasi logam karena berperan langsung dalam metabolisme dan detoksifikasi (Yulianto *et al.*, 2022). Apabila ikan yang terakumulasi logam berat dikonsumsi oleh manusia, maka logam berat tersebut dapat terakumulasi dalam tubuh manusia dan logam berat yang telah melebihi ambang batas yang ditetapkan dapat membahayakan bagi kesehatan manusia (Cahyani *et al.*, 2016).

Akumulasi logam berat pada biota laut dapat menimbulkan risiko kesehatan serius pada manusia, termasuk kerusakan ginjal, gangguan hati, osteomalasia, peningkatan risiko kanker, reaksi alergi, gangguan sistem pernapasan, mengganggu metabolisme manusia, menyebabkan gangguan gastrointestinal,

anemia, melemahkan sistem imun, serta dapat menyebabkan kematian (Jarup dan Akesson, 2009; Costa *et. al.*, 2015; Plum *et. al.*, 2010).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Verawati (2016) dapat diketahui perairan Teluk Lampung dikategorikan tercemar ringan. Selain itu, Purnomo (2008) masyarakat pulau Pasaran kota Karang-Bandar Lampung telah berisiko mengalami gangguan kesehatan akibat keracunan kadmium kronis yang setiap hari terpajan dengan ikan Kurisi (*Nomipterus hexodon*), ikan Kembung (*Rastrelliger neglectus*), dan ikan Tongkol (*Auxis thazard*) dengan kadar rata-rata kandungan kadmium 0,146; 0,144; dan 0,137 mg/kg sehingga menyebabkan kerusakan sistem urinaria, respirasi, sirkulasi darah, jantung, kelenjar reproduksi, sistem penciuman dan kerapuhan tulang.

Berdasarkan informasi tersebut perlu dilakukan penelitian terkait cemaran logam berat pada biota air. Logam Cd, Ni, dan Zn bersifat akumulatif sehingga perlu diketahui kandungan logam ini di dalam organ hati dan daging ikan serta kemampuan ikan dalam mengakumulasi logam tersebut sebagai upaya pemantauan kadar logam Cd, Ni, dan Zn di kawasan pesisir Teluk Lampung dan antisipasi keamanan ikan yang berasal dari kawasan tersebut. Untuk mengetahui tingkat pencemaran di lingkungan perairan dapat diketahui dengan cara analisis kandungan logam berat yang terakumulasi di dalam biota air di perairan tersebut. Adapun biota air yang digunakan dalam penelitian ini adalah ikan tongkol (*Euthynnus* sp.). Ikan tongkol merupakan ikan yang banyak dikonsumsi masyarakat mulai dari kalangan menengah ke bawah hingga menengah ke atas, sehingga perlu dilakukan analisis kandungan logam berat Cd, Ni, dan Zn pada ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) di perairan Teluk Lampung.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Untuk menganalisis tingkat pencemaran logam berat Kadmium (Cd), Nikel (Ni), dan Seng (Zn) di perairan laut Teluk Lampung.
2. Untuk menganalisis logam berat Kadmium (Cd), Nikel (Ni), dan Seng (Zn) pada daging dan organ hati ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) sebagai ikan konsumsi.
3. Untuk mengevaluasi nilai *bioconcentration factor* (BCF) pada daging dan organ hati ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) di perairan Teluk Lampung.

## 1.3 Manfaat Penelitian

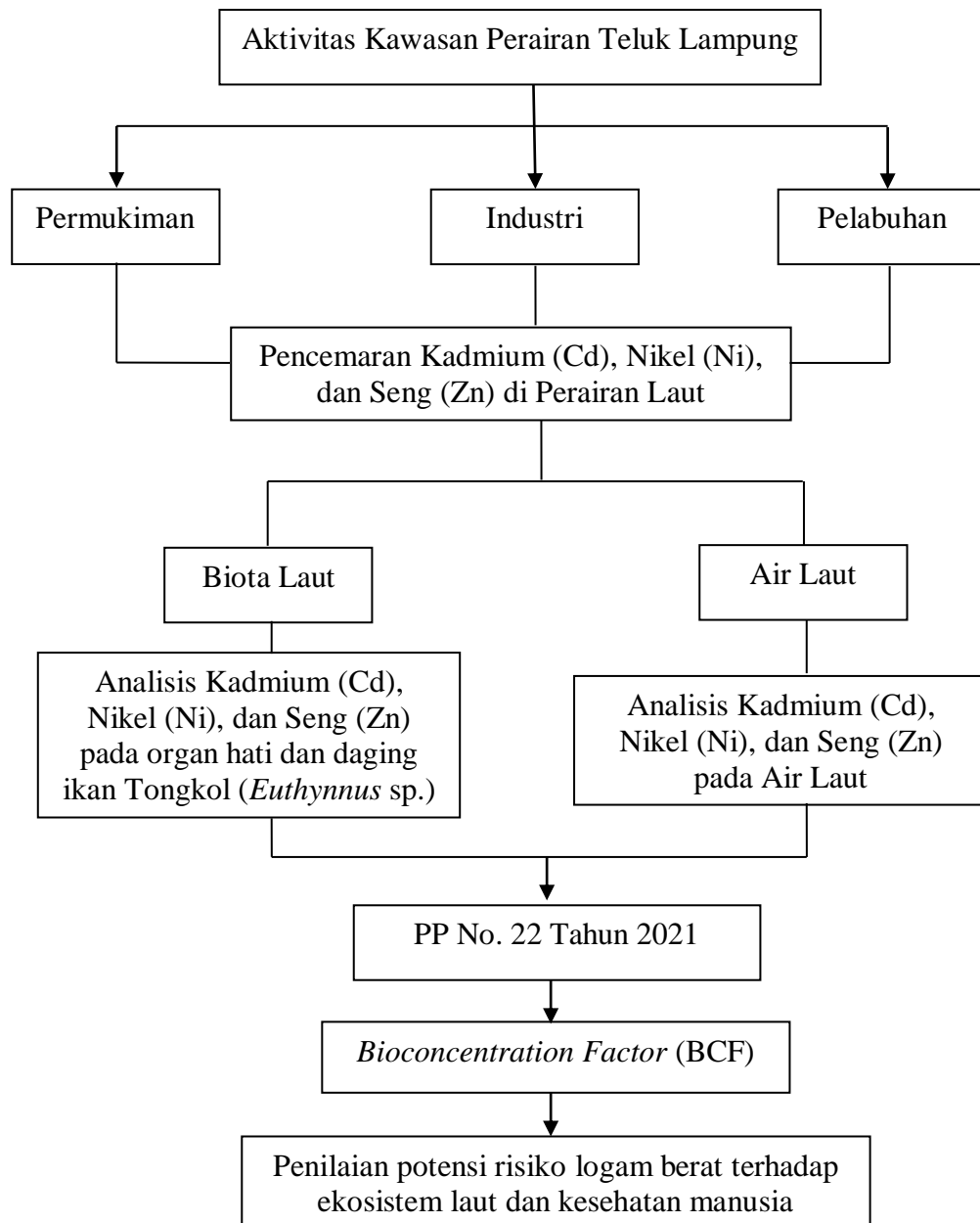
Adapun manfaat dalam penelitian ini yaitu:

1. Untuk memberikan informasi mengenai pencemaran logam berat khususnya Kadmium (Cd), Nikel (Ni), dan Seng (Zn) di perairan laut Teluk Lampung.
2. Untuk menjadi pertimbangan bagi pemerintah dan masyarakat, terkait kelayakan ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) sebagai ikan konsumsi.
3. Untuk sumber referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai pencemaran logam berat Kadmium (Cd), Nikel (Ni), dan Seng (Zn) di perairan laut Teluk Lampung.

## 1.4 Kerangka Pemikiran

Banyaknya aktivitas yang terjadi di perairan Teluk Lampung berdampak pada pencemaran perairan Teluk Lampung. Pencemaran tersebut ditandai dengan menurunnya kualitas dan produktivitas perairan karena pembuangan limbah dari limbah domestik rumah tangga, limbah industri, maupun limbah dari aktivitas perkapalan. Dengan semakin meningkatnya aktivitas-aktivitas tersebut, membuat limbah yang dihasilkan juga semakin meningkat. Permasalahan limbah di Teluk Lampung menjadi faktor utama yang dapat

merusak lingkungan serta biota yang ada di perairan Teluk Lampung, karena hasil pembuangan tersebut menghasilkan banyak sekali logam berat. Beberapa logam berat yang dapat mencemari lingkungan perairan adalah Cd, Ni, dan Zn. Jika, perairan Teluk Lampung mengalami pencemaran logam tersebut yang melebihi ambang batas, maka secara langsung ikan yang ada di perairan tersebut akan ikut tercemar. Kandungan Cd, Ni, dan Zn yang melebihi baku mutu lingkungan laut tidak hanya mengancam keberlanjutan ekosistem perairan, tetapi juga menjadi ancaman nyata bagi kesehatan masyarakat dikarenakan dapat menyebabkan kesehatan serius pada manusia, seperti kerusakan ginjal, gangguan hati, osteomalasia, peningkatan risiko kanker, reaksi alergi, gangguan sistem pernapasan, mengganggu metabolisme manusia, menyebabkan gangguan gastrointestinal, anemia, melemahkan sistem imun, serta dapat menyebabkan kematian. Dalam penelitian ini kegiatan pengambilan sampel dilakukan di wilayah Teluk Lampung, sampel berupa air laut dan biota laut diambil pada tiga titik yang berbeda yang selanjutnya akan dilakukan preparasi dan pengujian kandungan logam berat. Adapun hasil yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu, data kuantitatif mengenai konsentrasi logam berat Cd, Ni, Zn pada perairan laut dan ikan di Teluk Lampung yang diperoleh, dapat dibandingkan dengan baku mutu kualitas air laut yang telah ditetapkan oleh pemerintah, sehingga dapat digunakan untuk menilai potensi risiko terhadap ekosistem laut dan kesehatan manusia. Secara ringkas kerangka pemikiran dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Kerangka Pemikiran Penelitian

## 1.5 Hipotesis

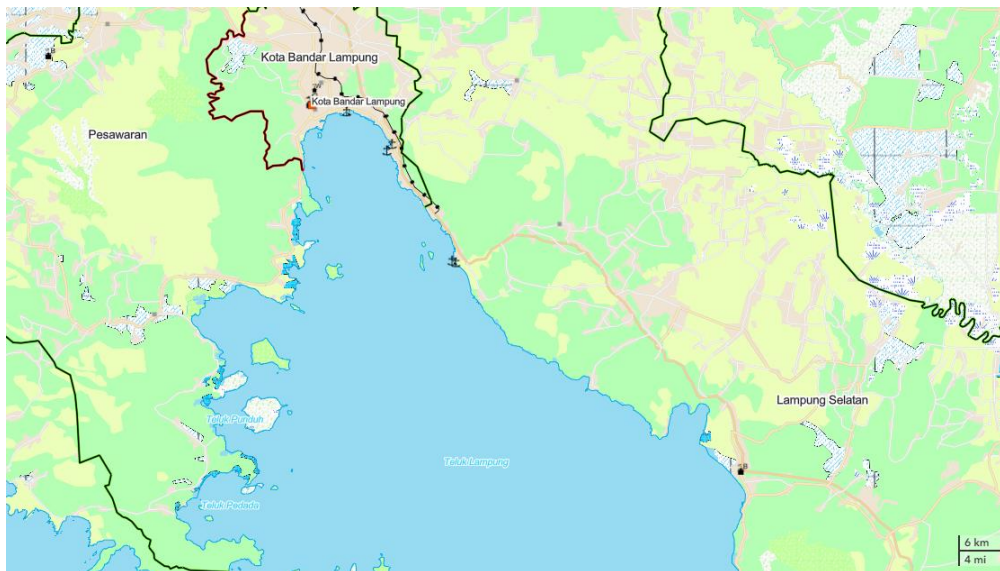
Adapun hipotesis yang peneliti rumuskan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Terdapat kandungan logam berat Kadmium (Cd), Nikel (Ni), Seng (Zn) dari aktivitas antropogenik pada air laut di Teluk Lampung yang melampaui nilai ambang batas PP No. 22 Tahun 2021.
2. Terdapat kandungan logam berat Kadmium (Cd), Nikel (Ni), Seng (Zn) yang lebih tinggi pada organ hati dibandingkan daging ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) yang melampaui nilai ambang batas SNI 7387 Tahun 2009.
3. Terdapat nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) yang lebih tinggi pada organ hati dibandingkan daging ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) di Teluk Lampung.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gambaran Umum Teluk Lampung

Teluk Lampung adalah sebuah teluk di perairan Selat Sunda yang berada di Selatan Lampung (Nugraha, 2020). Teluk ini berhadapan langsung dengan Selat Sunda dan tidak jauh dari kawasan Gunung Krakatau. Terdapat sekitar 150 pulau-pulau kecil yang menghiasi teluk ini dan beberapa diantaranya sebagai pulau tujuan wisata bahari, Pulau Pasaran, Pulau Sebesi, Pulau Sebuku, Pulau Legundi, Pulau Kelagian, Pulau Condong Laut, Pulau Tangkil, Pulau Tegal dan beberapa pulau kecil lainnya (Dewi *et al.*, 2016). Peta gambar mengenai Teluk Lampung dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Peta Teluk Lampung  
Sumber: <https://tanahair.indonesia.go.id/map/>

Posisi Teluk Lampung yang strategis menyebabkan wilayah ini menerima tekanan lingkungan cukup tinggi, terutama dari aktivitas industri, pelabuhan, rumah tangga, hingga pariwisata (KKP, 2019). Penelitian Hutaeruk (2025) menunjukkan bahwa sungai-sungai di wilayah Bandar Lampung menerima beban pencemar dari aktivitas permukiman dan kegiatan ekonomi masyarakat, sehingga berpotensi menurunkan kualitas perairan muara dan pesisir.

Keberadaan logam berat di Teluk Lampung perlu diwaspadai karena logam berat bersifat toksik, persisten, dan dapat mengalami bioakumulasi serta biomagnifikasi dalam rantai makanan. Hal ini tidak hanya mengancam ekosistem perairan laut, tetapi juga kesehatan masyarakat pesisir yang menggantungkan hidup dari hasil laut (Jaishankar *et al.*, 2014). Oleh karena itu, diperlukan upaya pemantauan kualitas lingkungan, pengendalian sumber pencemar, serta peningkatan kesadaran masyarakat terhadap bahaya cemaran logam berat di Teluk Lampung.

## **2.2 Pencemaran Ekosistem Laut**

Pencemaran ekosistem laut dapat diartikan sebagai peristiwa masuknya partikel kimia, limbah industri, pertanian dan perumahan ke dalam laut yang dapat berpotensi memberi efek berbahaya terhadap laut. Pencemaran laut dapat terjadi ketika laut menerima zat-zat pencemaran baik zat padat maupun cair yang terbawa oleh aliran sungai sebagai tempat yang sangat mudah membuang limbah yang akhirnya bermuara di laut.

### **2.2.1 Proses Masuknya Bahan Pencemar Ekosistem Laut**

Ekosistem laut merupakan wilayah dengan dinamika fisik, kimia, dan biologis yang kompleks, sehingga rentan terhadap berbagai bentuk pencemaran yang berasal dari daratan maupun aktivitas di wilayah pesisir dan laut. Menurut studi global, sekitar 80–85% polusi laut

berasal dari aktivitas daratan (*land-based sources*) dan transportasinya terjadi melalui sungai, atmosfer, atau langsung melalui pembuangan ke laut (Wang *et. al.*, 2024).

Adanya kontaminan yang memasuki perairan laut akan terdispersi melalui mekanisme adveksi dan difusi yang dikendalikan oleh arus, gelombang, serta turbulensi. Proses hidrodinamika ini menyebabkan bahan pencemar dapat berpindah secara horizontal maupun vertikal di kolom air, sehingga penyebarannya tidak terbatas pada area sumber pencemar (Marini *et. al.*, 2022).

Selain mekanisme fisik, interaksi kimia antara pencemar dan partikel di perairan juga berperan penting. Logam berat dan kontaminan lainnya cenderung mengalami adsorpsi pada partikel tersuspensi, kemudian mengendap ke sedimen melalui proses sedimentasi. Sedimen laut berfungsi sebagai *sink* (tempat akumulasi) bagi berbagai polutan, namun dalam kondisi tertentu seperti perubahan arus atau gangguan fisik, sedimen dapat mengalami resuspensi sehingga kembali melepaskan kontaminan ke kolom air (Covelli *et. al.*, 2022).

### **2.2.2 Sumber Pencemaran Ekosistem Laut**

Pencemaran laut akibat logam berat merupakan masalah serius karena sifatnya yang persisten, toksik, serta dapat terakumulasi dalam organisme melalui rantai makanan (bioakumulasi dan biomagnifikasi). Sumber pencemaran laut dapat berasal dari berbagai sektor yaitu: 1) Industri pertambangan, peleburan logam, industri kimia, dan tekstil merupakan penyumbang utama logam berat ke laut. Limbah cair industri yang tidak diolah dengan baik akan terbawa aliran sungai menuju laut, sehingga meningkatkan konsentrasi logam berat dalam sedimen dan organisme laut (Suwandana, 2019). Aktivitas pertambangan nikel, emas, dan timah menghasilkan tailing yang kaya logam berat. Pembuangan tailing ke perairan laut menyebabkan

peningkatan konsentrasi logam berat seperti Hg, Cd, dan Pb yang berpotensi mencemari ekosistem laut (Arifin *et al.*, 2017). 2) Limbah rumah tangga dan aktivitas perkotaan juga menjadi sumber logam berat, terutama dari cat, baterai, kosmetik, serta produk elektronik. Aliran limbah ini dapat meningkatkan kadar Pb, Hg, dan Cd di laut (Yusuf dan Wulandari, 2020). 3) Kapal laut menyumbangkan logam berat melalui cat anti-fouling yang mengandung Cu dan Zn, kebocoran bahan bakar, serta korosi logam kapal. Aktivitas pelayaran berkontribusi terhadap pencemaran logam berat di perairan pesisir dan pelabuhan (Kusumastanto, 2018). 4) Aktivitas pertanian seperti penggunaan pestisida dan pupuk kimia dapat menyumbangkan logam berat seperti As, Cd, dan Cu ke perairan laut melalui aliran sungai. Kandungan logam berat ini akan menumpuk di muara dan wilayah pesisir (Rahmawati, 2021).

### 2.3 Logam Berat di Perairan

Logam berat merupakan salah satu kontaminan utama yang banyak ditemukan di perairan laut akibat meningkatnya aktivitas antropogenik, seperti industri, pertambangan, pertanian, transportasi laut, serta pembuangan limbah domestik. Karakteristik logam berat yang bersifat toksik, persisten, dan sulit terdegradasi menjadikannya berpotensi besar menimbulkan dampak ekologis maupun kesehatan manusia (Kibria *et al.*, 2021).

Menurut Pratiwi *et al.* (2021), logam berat dapat masuk ke lingkungan laut melalui berbagai jalur, misalnya limpasan permukaan, sedimentasi, maupun pembuangan limbah secara langsung. Setelah berada di lingkungan perairan, logam berat cenderung mengalami pengendapan di sedimen atau terakumulasi pada organisme akuatik. Biota laut seperti plankton, moluska, dan ikan sering digunakan sebagai bioindikator untuk menilai tingkat pencemaran logam berat karena mampu mengakumulasi polutan melalui mekanisme bioakumulasi dan biomagnifikasi.

Studi terbaru menunjukkan bahwa perairan pesisir Indonesia banyak menghadapi permasalahan pencemaran logam berat. Misalnya, penelitian di Teluk Jakarta oleh Yulianto *et al.* (2022) menemukan tingginya konsentrasi Pb dan Cd pada ikan demersal yang hidup dekat dengan sedimen tercemar. Sementara itu, di Teluk Lampung, ikan pelagis seperti kembung dan tongkol terdeteksi mengandung logam Zn, Cu, dan Pb dalam konsentrasi yang sejalan dengan aktivitas pelabuhan, industri, dan limbah domestik di sekitarnya (Rahmawati *et al.*, 2021). Hasil serupa juga dilaporkan di perairan Sulawesi, di mana ikan karang terakumulasi Hg akibat aktivitas pertambangan emas di wilayah pesisir (Saputra *et al.*, 2023).

## **2.4 Logam Kadmium (Cd)**

Cd sesuai dengan fungsinya merupakan logam non-esensial yang beracun (*toxic metal*) yang keberadaannya dalam organisme belum diketahui (Sosrosumihardjo, 2010). Logam Cd mempunyai penyebaran yang luas dan dapat ditemukan dengan mudah di alam. Kandungan Cd yang berlebih di perairan akan mengakibatkan konsentrasi logam berat Cd di perairan meningkat (Lestari *et al.*, 2008). Di perairan laut, Cd dapat berbentuk terlarut dalam kolom air, menempel pada partikel tersuspensi, atau mengendap di sedimen. Keberadaan Cd di sedimen sangat berbahaya karena dapat menjadi *reservoir* pencemar jangka panjang. Dalam kondisi tertentu, logam yang terikat pada sedimen bisa kembali terlepas ke kolom air (remobilisasi) sehingga meningkatkan risiko bagi organisme akuatik (Yulianto *et al.*, 2022).

### **2.4.1 Sumber Polusi Kadmium (Cd)**

Sumber utama Cd di lingkungan akuatik berasal dari aktivitas manusia yang meliputi industri baterai, elektroplating, pupuk fosfat, pestisida, tekstil, cat, limbah plastik, dan melalui aliran sungai yang membawa limbah pertanian, limbah domestik, maupun hasil pembakaran bahan bakar fosil (Pratiwi *et al.*, 2021; Rahmawati *et al.*, 2022).

Selain itu, adanya aktivitas pelabuhan, industri pesisir, dan aktivitas maritim juga merupakan sumber penting masuknya logam berat termasuk Cd di perairan laut. Dalam Maeyouf *et. al.* (2025) menemukan bahwa konsentrasi Cd pada air, sedimen, dan organisme laut menunjukkan kontaminasi berat yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia di sekitar pelabuhan, termasuk industri dan operasional kapal. Hal ini menunjukkan bahwa Cd dapat terakumulasi di sedimen dan organisme alga serta ikan, mencerminkan dampak antropogenik di lingkungan pesisir laut.

#### **2.4.2 Dampak Kadmium (Cd) pada Biota Laut**

Cd yang terdapat pada perairan laut dalam kadar yang cukup rendah sudah bersifat racun. Dampak toksisitas Cd terhadap biota laut cukup kompleks. Paparan kadmium terbukti dapat menyebabkan stres oksidatif, kerusakan DNA, perubahan struktur insang, gangguan sistem reproduksi, dan immunosupresi. Pada ikan, Cd dapat menghambat pertumbuhan, mengurangi tingkat bertahan hidup larva, serta menurunkan kualitas gamet yang berdampak pada populasi jangka panjang (Saputra *et al.*, 2023). Dewi (2004) juga menyatakan bahwa keracunan kadmium pada manusia bisa menimbulkan rasa sakit, panas pada bagian dada, penyakit paru-paru akut dan menimbulkan kematian. Salah satu contoh kasus keracunan akibat pencemaran Cd adalah timbulnya penyakit itai-itai di Jepang.

#### **2.4.3 Standar Baku Mutu Kadmium (Cd) pada Air Laut dan Biota Laut**

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, standar baku mutu kandungan logam berat kadmium (Cd) pada air laut (0,01 mg/L) dan biota laut (0,001 mg/L).

Keberadaan logam kadmium (Cd) di perairan laut sangat berpotensi mencemari lingkungan. Oleh karena itu penting untuk diketahui kondisi kualitas lingkungan suatu wilayah perairan laut agar diperoleh informasi dan gambaran yang memadai tentang lingkungan tersebut, sehingga dapat mencegah dampak yang mungkin akan timbul di masa mendatang.

## **2.5 Logam Nikel (Ni)**

Ni memiliki sifat feromagnetik pada suhu kamar dan memiliki bilangan oksidasi yang bervariasi, dengan bentuk paling stabil adalah  $Ni^{2+}$  (Prasetyaningrum *et al.*, 2021). Memiliki warna putih keperakan, tahanan terhadap korosi, dan digunakan secara luas dalam industri baja tahan karat; elektroplating; baterai; serta katalis industri kimia. Aktivitas-aktivitas tersebut, bersama dengan pembuangan limbah domestik dan pembakaran bahan bakar fosil, menjadi sumber utama pencemaran Ni di perairan laut (Pratiwi *et al.*, 2021).

### **2.5.1 Sumber Polusi Nikel (Ni)**

Menurut Achyani dan Weliyadi (2013) pencemaran logam berat nikel terhadap lingkungan disebabkan oleh manusia, seperti penambangan, peleburan dan pemurnian logam nikel. Kegiatan penambangan nikel di wilayah peisisir akan menimbulkan dampak pencemaran bagi perairan sehingga pencemaran ini dapat mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas perairan. Jika penambangan nikel terus menerus dilakukan tanpa adanya pemantauan khusus maka dikhawatirkan dapat menyebabkan peningkatan bahan pencemar di perairan kemudian akan terakumulasi pada sedimen dan air (Wali *et. al.*, 2020).

### **2.5.2 Dampak Nikel (Ni) pada Biota Laut**

Logam berat nikel dapat dikategorikan sebagai logam berat dengan sifat toksik menengah (Bubala *et. al.* 2019). Konsentrasi nikel yang tinggi dalam air berhubungan dengan gangguan fisiologis pada ikan, seperti kerusakan insang, bioakumulasi pada hati dan ginjal, serta menurunkan tingkat kelangsungan hidup (Wang *et. al.*, 2017). Selain itu, menurut Yulianto *et al.* (2022) Ni yang umum ditemukan akibat aktivitas pertambangan dan industri baja tahan karat, dapat menyebabkan iritasi kulit, gangguan pernapasan, serta bersifat karsinogenik bila dikonsumsi dalam jangka panjang.

### **2.5.3 Standar Baku Mutu Nikel (Ni) pada Biota Laut**

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, standar baku mutu kandungan logam berat nikel (Ni) pada biota laut (0,05 mg/L).

Keberadaan logam nikel (Ni) di perairan laut sangat berpotensi mencemari lingkungan jika dalam konsentrasi yang tinggi, oleh karena itu penting untuk dilakukan analisis kandungan logam berat di perairan laut dalam penelitian ini

## **2.6 Logam Seng (Zn)**

Zn adalah komponen alam yang terdapat di dalam kerak bumi. Zn merupakan logam yang memiliki karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, dan akan pudar apabila terkena uap udara dan terbakar bila terkena uap udara dengan api hijau terang. Zn dapat bereaksi dengan asam, basa, dan senyawa non logam. Zn memiliki nomor atom 30 dan memiliki titik lebur

419,73°C. Kadar Zn pada air minum sebaiknya tidak lebih dari 2 mg/L (Tarigan, 2017).

### 2.6.1 Sumber Polusi Seng (Zn)

Logam berat Zn di perairan pesisir umumnya berasal dari kombinasi aktivitas industri, pelabuhan, limpasan domestik, serta kegiatan maritim. Zhang *et. al.* (2024) menjelaskan bahwa kawasan pesisir yang berdekatan dengan aktivitas industri dan pelabuhan menunjukkan peningkatan konsentrasi Zn pada kolom air dan sedimen akibat limpasan daratan dan aktivitas maritim. Selain itu, Turner (2010) menyatakan bahwa penggunaan cat *antifouling* berbasis seng pada lambung kapal dapat menjadi sumber pelepasan Zn ke perairan melalui proses pelindian. Aktivitas perkapalan dan perawatan kapal di kawasan pelabuhan berpotensi meningkatkan kadar Zn terutama di sekitar dermaga dan jalur pelayaran. Dalam sistem perairan seperti Teluk Lampung yang memiliki intensitas aktivitas pelayaran dan perikanan, sumber ini dapat berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi Zn di perairan pesisir.

### 2.6.2 Dampak Seng (Zn) pada Biota Laut

Zn sebenarnya merupakan unsur esensial yang dibutuhkan dalam metabolisme tubuh, namun paparan berlebih dapat mengganggu fungsi sistem pencernaan, saraf, dan menyebabkan ketidakseimbangan mineral pada manusia (Saputra *et al.*, 2023). Dalam Fitri (2024) di kawasan Pantai Kamal, Selat Madura menunjukkan bahwa tingginya konsentrasi Zn dalam air dan sedimen berkorelasi dengan perubahan histopatologi pada organ insang dan hati ikan belanak (*Crenimugil seheli*). Kerusakan yang teramati meliputi edema, hiperplasia, fusi lamela pada insang, serta degenerasi dan nekrosis

pada hati, yang merupakan indikator jelas efek toksik dari logam berat pada jaringan organisme laut.

### **2.6.3 Standar Baku Mutu Seng (Zn) pada Air Laut**

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, standar baku mutu kandungan logam berat seng (Zn) pada air laut (0,1 mg/L) dan biota laut (0,05 mg/L). Seng mempunyai dampak negatif bagi kesehatan terutama jika kadarnya sudah melebihi batas kadar yang dibutuhkan oleh tubuh, oleh karena itu perlu dilakukannya penelitian terkait logam ini.

## **2.7 Logam Berat pada Ikan**

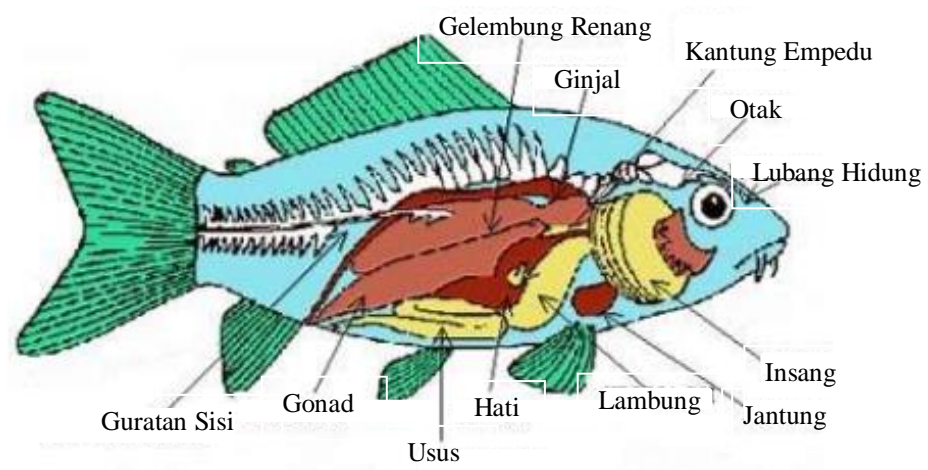
Ikan merupakan salah satu sumber protein hewani utama bagi manusia, sehingga kualitas dan keamanan ikan sangat penting diperhatikan. Namun, ekosistem perairan saat ini menghadapi ancaman serius berupa pencemaran logam berat, seperti Cd, Pb, Hg, Ni, dan Zn (Pratiwi *et al.*, 2021).

Ikan memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat dari lingkungan perairan melalui insang, kulit, maupun rantai makanan. Proses ini menyebabkan terjadinya bioakumulasi (penumpukan logam dalam jaringan tubuh ikan) dan dalam jangka panjang dapat terjadi biomagnifikasi, yaitu peningkatan konsentrasi logam berat sepanjang rantai makanan. Beberapa organ yang sering menjadi lokasi akumulasi logam adalah hati, ginjal, insang, dan otot. Dalam Ahmad *et al.* (2020) hati ikan merupakan organ utama dalam proses detoksifikasi karena berperan penting dalam metabolisme xenobiotik, termasuk logam berat, serta sintesis protein pengikat logam seperti metallothionein. Oleh karena itu, hati sering menjadi lokasi utama akumulasi polutan dibandingkan jaringan lain.

Kandungan logam berat dalam ikan sangat dipengaruhi oleh jenis spesies, habitat, ukuran tubuh, serta tingkat trofiknya. Ikan demersal seperti kakap dan kerapu umumnya memiliki kadar logam lebih tinggi dibandingkan ikan pelagis seperti tongkol atau kembung, karena lebih dekat dengan sedimen yang menjadi tempat akumulasi logam (Yulianto *et al.*, 2022). Selain itu, ikan predator di puncak rantai makanan juga berisiko memiliki kandungan logam lebih besar akibat proses biomagnifikasi.

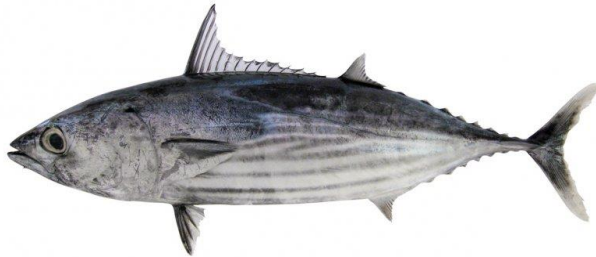
## 2.8 Ikan Tongkol (*Euthynnus* sp.)

Ikan merupakan kelompok hewan vertebrata akuatik yang hidup di lingkungan perairan dan memiliki adaptasi morfologi serta fisiologi yang khas. Sebagai vertebrata, ikan memiliki tulang belakang dan sistem endoskeleton yang berfungsi menopang tubuh serta mendukung pergerakan di dalam air. Aktivitas lokomosi ikan dilakukan dengan bantuan sirip-sirip yang terspesialisasi, sementara proses respirasi berlangsung melalui insang sebagai organ utama pertukaran gas (Ernita *et al.*, 2020). Anatomi organ ikan merupakan bagian dalam tubuh ikan yang pada umumnya meliputi topografi ikan, yaitu bagian dalam dari tubuh ikan secara keseluruhan. Anatomi organ ikan dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Anatomi organ ikan  
Sumber: Abdulkarim *et. al.* (2021)

Anatomi organ ikan perlu untuk dipahami mengenai struktur dan fungsi organ internal secara spesifik, termasuk pada ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) yang memiliki karakteristik morfologi khas sebagai anggota famili *Scombridae*. Ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Ikan Tongkol (*Euthynnus* sp.)  
Sumber: <https://www.fao.org/fishery/species/3294/en>

Menurut FAO (2014) klasifikasi ikan tongkol adalah sebagai berikut:

Phylum	: Chordata
Subphylum	: Vertebrata
Superclass	: Gnathostomata
Class	: Osteichthyes
Subclass	: Actinopterygii
Order	: Perciformes
Suborder	: Scomberoidei
Family	: Scombridae
Subfamily	: Scombrinae
Tribe	: Thunnini
Genus	: <i>Euthynnus</i>
Species	: <i>Euthynnus</i> sp.

Kualitas daging ikan tongkol sebagai bahan pangan hewani banyak dilaporkan memiliki nilai gizi tinggi, terutama sebagai sumber protein lengkap dan asam lemak esensial. Menurut FAO dan WHO (2011), protein ikan tongkol tergolong *high biological value protein* karena mengandung seluruh asam amino esensial dalam proporsi yang relatif seimbang dan memiliki tingkat pencernaan yang tinggi, umumnya di atas 85–90%. Protein

ikan mudah dicerna karena struktur jaringan ikatnya lebih sederhana dibandingkan daging mamalia, sehingga lebih mudah dihidrolisis oleh enzim pencernaan.

Hal tersebut menjadikan ikan tongkol banyak digemari masyarakat untuk dikonsumsi. Bersumber dari Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Lampung, konsumsi ikan dalam rumah tangga (KIDRT) Provinsi Lampung berdasarkan raw data Susenas tahun 2021 tercatat sebesar 25,64 kg/kapita/tahun setara ikan utuh segar atau naik 0,36 % dibandingkan tahun KIDRT tahun 2020 sebesar 25,55 kg/kapita setara ikan utuh segar. Untuk jenis ikan laut, tuna/tongkol/cakalang berada diposisi ketiga dengan tingkat konsumsi sebesar 2,20 kg/kapita/ tahun setara ikan utuh segar atau 8,60 % dari total konsumsi ikan dalam rumah tangga.

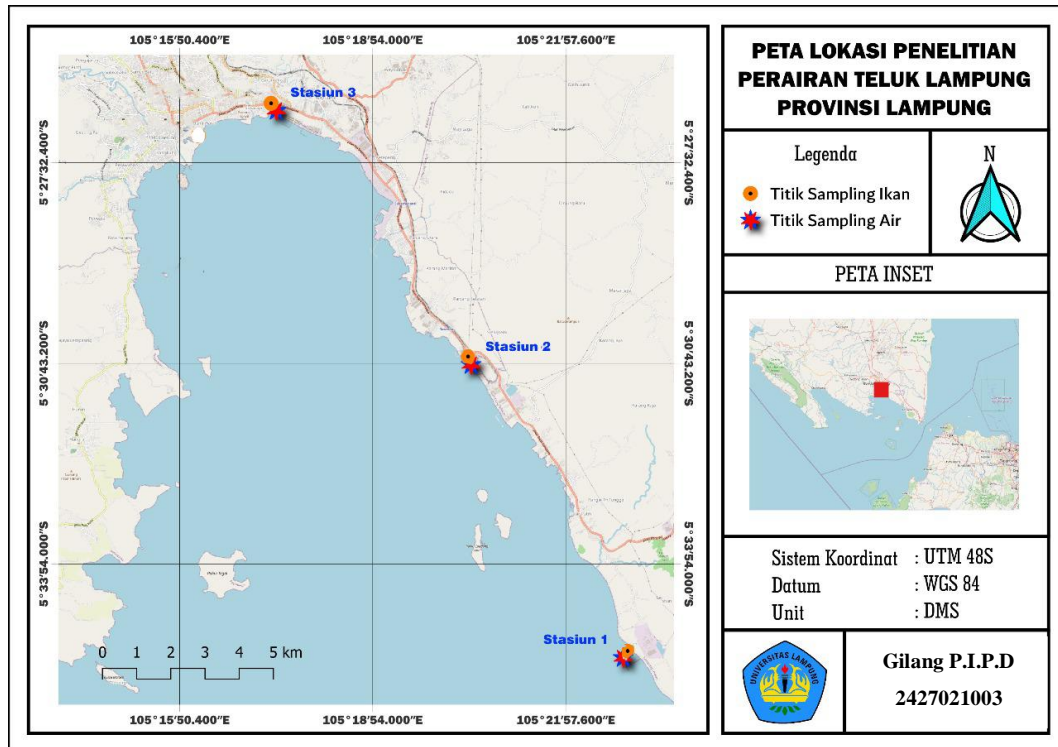
## **2.9 Bioconcentration Factor (BCF)**

BCF merupakan kecenderungan suatu bahan kimia yang diserap oleh organisme akuatik. BCF merupakan rasio antara konsentrasi bahan kimia dalam organisme akuatik dengan konsentrasi bahan kimia di dalam air (LaGrega *et. al.*, 2001). Semakin tinggi rasionya, semakin kuat biokonsentrasi racun, dalam hal ini, logam berat dalam biota laut (Gintare *et. al.*, 2017). Untuk mengetahui nilai BCF dapat dihitung menggunakan rumus Hidayah *et al.*, (2014), hasil perhitungan BCF dilanjutkan dengan mengklasifikasikan ke dalam kategori tingkat akumulasi berdasarkan (LaGrega *et al.* 2001). Biota laut yang memiliki nilai  $BCF < 100$  dikategorikan akumulasi rendah. Biota laut yang memiliki nilai  $100 < BCF \leq 1000$  dikategorikan akumulasi sedang, sedangkan biota laut yang memiliki nilai  $BCF > 1000$  dikategorikan akumulasi tinggi.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Teluk Lampung, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Kegiatan penelitian berlangsung pada bulan September sampai dengan bulan Oktober 2025. Pengambilan sampel air laut dan sampel ikan didapat pada 3 stasiun yaitu, stasiun 1 dilakukan di perairan pesisir pantai hutan mangrove perairan laut Sebalang, stasiun 2 di lokasi perairan laut Pantai Pasir Putih sebagai daerah industri, dan stasiun 3 di lokasi perairan laut Sukaraja sebagai daerah perkotaan. Proses persiapan, preparasi sampel, pengujian parameter kimia pH dan kandungan logam berat pada sampel dilakukan di UPT (Unit Pelaksana Teknis) Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Lokasi pengambilan tiga titik sampel air laut dan ikan di Teluk Lampung dapat dilihat pada peta yang ditampilkan pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Peta Lokasi Titik Sampling Air Laut dan Ikan di Teluk Lampung

**Keterangan:**

- Stasiun 1 : Perairan laut Sebalang (daerah pesisir pantai hutan mangrove).
- Stasiun 2 : Perairan laut Pantai Pasir Putih (daerah industri).
- Stasiun 3 : Perairan laut Sukaraja (daerah perkotaan).

**3.2. Alat dan Bahan**

**3.2.1 Alat-Alat Penelitian**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terbagi dalam dua kategori yaitu, alat yang diperlukan selama pengambilan sampel di lapangan dan alat yang digunakan selama proses pengujian di laboratorium. Adapun alat yang digunakan pada saat pengambilan sampel di lapangan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Alat yang Digunakan pada Saat Pengambilan Sampel di Lapangan.

No.	Alat	Kegunaan
1.	Botol <i>polyethylene</i> dan wadah <i>polyethylene</i>	Botol <i>polyethylene</i> digunakan sebagai tempat penyimpanan sampel yang diambil.
2.	Kertas anti air dan alat tulis	Kertas anti air digunakan untuk menulis hal-hal yang dibutuhkan pada saat pengambilan sampel di laut.
3.	<i>Coolbox</i>	<i>Coolbox</i> berfungsi sebagai alat penyimpanan sampel setelah diambil dari lapang yang bertujuan untuk menjaga kestabilan suhu sampel uji.
4.	Kertas tisu	Kertas tisu digunakan untuk membersihkan alat yang telah selesai digunakan.
5.	Label	Label digunakan untuk melabeli botol sampel agar tidak tertukar.
6.	HNO <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub> sebagai pengawet sampel uji air laut untuk pengujian kadar logam berat.
7.	Sarung tangan	Melindungi sampel dari kontaminasi.

Adapun alat yang digunakan pada saat pengujian sampel di laboratorium dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Alat yang Digunakan pada Saat Pengujian Sampel di Laboratorium.

No.	Alat	Kegunaan
1.	Ruang asam	Ruang asam berfungsi untuk memastikan keamanan bagi analis dari paparan asam yang berbahaya dari suatu bahan atau reagent kimia.
2.	Seperangkat alat pompa kompresor + kertas saring <i>Whatmann</i>	Penyaring sampel.
3.	<i>ICP-OES</i>	Untuk mengukur dan menguji kadar konsentrasi logam berat.
4.	<i>Waterbath</i>	Fungsi dari <i>waterbath</i> adalah untuk memanaskan sampel uji logam berat.
5.	<i>Hotplate magnetic stirrer</i>	<i>Hotplate magnetic stirrer</i> adalah sebuah alat laboratorium yang digunakan untuk memanaskan atau menghangatkan sekaligus mencampurkan atau menghomogenkan larutan kimia.
6.	Penjepit	Penjepit berbahan besi dengan pegangan berbahan kayu atau plastik, alat laboratorium ini digunakan untuk menjepit tabung reaksi ketika

No.	Alat	Kegunaan
		suatu bahan dipanaskan.
7.	Labu ukur	Wadah untuk menguji sampel.
8.	<i>Erlenmeyer</i>	Wadah untuk menguji sampel.
9.	Gelas ukur	Wadah untuk mengukur larutan dalam volume tertentu sesuai yang dibutuhkan.
10.	Gelas piala	Wadah larutan.
11.	Gelas piala plastic	Sebagai tempat buangan sisa larutan kimia dan sampel uji.
12.	Mikropipet dan tip	Mengambil larutan dengan volume tertentu dengan tingkat ketelitian lebih tinggi.
13.	Pipet tetes	Memindahkan larutan dari satu wadah ke wadah yang lainnya dalam jumlah yang sangat kecil.
14.	Nampan	Untuk membawa sampel-sampel uji ke dalam ruang asam.
15.	Alat tulis	Menulis seluruh hasil selama pengujian.
16.	Kertas label	Penandaan sampel uji agar tidak tertukar.
17.	Kertas <i>parafilm</i>	Plastik penutup larutan pada erlenmeyer.
18.	Masker	Mencegah masuknya uap dari larutan-larutan kimia ke dalam mulut dan hidung.
19.	Sarung tangan	Melindungi tangan dari tumpahan bahan-bahan dari larutan.
20.	pH meter digital	Mengukur pH sampel air laut.

### 3.2.2 Bahan-Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Bahan yang Digunakan pada Saat Pengujian Sampel di Laboratorium

No.	Bahan	Kegunaan
1.	Sampel uji	Contoh sampel yang akan di uji.
2.	HNO <sub>3</sub>	Bahan pengawet sampel
3.	NH <sub>4</sub> OH 25%	Pengondisian pH
4.	HClO <sub>4</sub> pekat	Pelarut
5.	Akuades	Reagen untuk membuat spike matriks akuades dan blanko.
6.	Buffer standar pH 7,00 dan pH 10,00	kalibrasi pH meter.
7.	Air deionisasi	Untuk membilas elektroda sebelum dan sesudah pengukuran.

### **3.3 Jenis dan Sumber Data**

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data primer yaitu data pengukuran sampel air laut dan ikan. Pengumpulan data primer dilakukan secara dua kali yaitu pertama, menentukan titik pengambilan sampel, dan kedua mengambil sampel air di titik-titik yang telah ditentukan.

Sampel air yang diambil memiliki ciri-ciri yang khusus dari populasi sehingga dianggap cukup representatif dan sampel ikan adalah jenis ikan yang sering dikonsumsi manusia. Adapun pengambilan sampel air laut dan sampel ikan dilakukan di 3 stasiun yaitu, stasiun 1 dilakukan di perairan pesisir pantai hutan mangrove perairan laut Sebalang, stasiun 2 di lokasi perairan laut Pantai Pasir Putih sebagai daerah industri, dan stasiun 3 di lokasi perairan laut Sukaraja sebagai daerah perkotaan. Data primer berupa parameter kimia pH dan kandungan logam berat pada air laut dan ikan didapatkan dari hasil pemeriksaan laboratorium.

### **3.4 Populasi dan Sampel Penelitian**

Populasi dan sampel pada penelitian ini adalah kualitas air laut dan sampel air laut yang ditentukan dalam 3 titik stasiun sampel.

### **3.5 Metode Pengambilan Sampel**

Pengambilan sampel air laut dilakukan sesuai dengan standar SNI yang merujuk pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 37 Tahun 2003 tentang metode pengujian kualitas air permukaan. Sebelum pengambilan sampel, wadah sampel dibersihkan dengan sabun dan air, kemudian direndam dalam larutan  $\text{HNO}_3$  5% selama 24 jam untuk menghilangkan kontaminasi logam. Setelah itu, wadah dikeringkan dan disimpan dalam keadaan tertutup hingga digunakan (Sulistiani, 2009).

Sebanyak 100 mL sampel air laut diambil dari lapisan permukaan menggunakan botol *polyethylene* steril di setiap titik pengambilan sampel. Air laut disaring menggunakan kertas saring selulosa nitrat yang telah dicuci dengan HNO<sub>3</sub>, diawetkan dengan HNO<sub>3</sub>, dan disimpan dalam *coolerbox*. Sampel segera dibawa ke laboratorium untuk analisis kandungan Cd, Ni, dan Zn menggunakan ICP-OES.

Sampel ikan Tongkol (*Euthynnus* sp.) diperoleh dengan memilih 3 ekor ikan pada setiap stasiun secara organoleptik masih segar dengan ukuran dan berat seragam untuk meminimalkan variasi hasil analisis. HNO<sub>3</sub> ditambahkan untuk menjaga kualitas ikan, lalu ikan dimasukkan ke dalam wadah *polystyrene* steril, ditutup rapat, dan disimpan dalam *coolerbox* (Paundanan, 2015). Sampel segera dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Adapun karakteristik organoleptik ikan tongkol dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Karakteristik Organoleptik Ikan Tongkol (*Euthynnus* sp.)  
(Zainuri, 2011)

<b>Karakteristik organleptik</b>	<b>Deskripsi organoleptik</b>
Kenampakan	Cemerlang dan mengkilap.
Mata	Cerah, bening, dan menonjol.
Insang	Berwarna merah segar.
Warna	Bagian atas biru kehitaman dan bagian bawah berwarna putih perak.
Bau	Bau khas ikan laut segar.
Tekstur	Elastis dan padat.

### 3.6 Preparasi Sampel

#### 3.6.1 Sampel Air Laut

Pengukuran derajat keasaman (pH) air laut dilakukan menggunakan metode elektrometri mengacu pada SNI 6989.11:2019 tentang Air dan air limbah – Bagian 11: *Cara uji derajat keasaman (pH)*. Metode ini menggunakan pH meter digital yang dilengkapi elektroda gelas dan elektroda referensi untuk mengukur aktivitas ion hidrogen ( $H^+$ ) dalam sampel air laut. Sebelum pengukuran, pH meter dikalibrasi menggunakan larutan buffer standar pH 7,00 dan pH 10,00 sesuai dengan kisaran pH air laut. Sampel diukur secara langsung setelah pengambilan di pagi hari untuk meminimalkan perubahan nilai pH akibat pengaruh lingkungan. Nilai pH dicatat setelah pembacaan alat stabil dan dinyatakan dalam satuan pH.

Preparasi sampel air laut untuk uji kandungan logam berat menggunakan metode yang mengacu pada *Environmental Protection Agency (EPA) 200.7 Rev.5 (2001)* dengan cara, sampel air laut dimasukkan ke dalam tabung sentrifugasi sebanyak 10 mL. Larutan  $HNO_3$  *suprapur* ditambahkan ke dalam tabung sentrifugasi sebanyak 0,3 mL kemudian dihomogenkan dan didiamkan selama 30 menit. Resin SPR-IDA yang sudah dihomogenkan diambil menggunakan *micropipette* 0,05 mL dan dimasukkan langsung ke dalam tabung sentrifugasi berisi sampel lalu dihomogenkan dan didiamkan kembali selama 10 menit. Larutan  $NH_4OH$  25% ditambahkan ke dalam tabung sentrifugasi sebanyak 0,7 mL untuk pengondisian basa. Larutan dilakukan pengecekan pH dengan menggunakan kertas pH universal hingga pH sampel bernilai 8,0-8,5. Larutan  $HNO_3$  20% ditambahkan per tetes apabila nilai pH sampel masih melebihi kisaran angka 8,0-8,5.

Sampel *dicentrifuge* selama 60 menit dengan kecepatan putaran 5000 rpm. Supernatan yang telah didapatkan dibuang secara perlahan dan endapan yang dihasilkan dilarutkan kembali dengan HNO<sub>3</sub> 20% sebanyak 1 ml dan dihomogenkan untuk memisahkan logam dengan resin SPR-IDA sehingga logam akan terdapat pada larutannya (supernatan). Aquades ditambahkan hingga volumenya menjadi 10 mL dan dihomogenkan kembali menggunakan alat *centrifuge* selama 60 menit dengan kecepatan 5000 rpm (EPA, 2001).

Supernatan hasil sentrifugasi kemudian diukur serapannya menggunakan spektrofotometer ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*) dengan panjang gelombang Cd 214.439 nm, Ni 231.604 nm, Zn 214.857 nm (Smith and Doeschot, 2014).

### 3.6.2 Sampel Organ Hati dan Daging Ikan Tongkol

Sampel organ hati dan daging pada bagian sekitar kepala ikan tongkol diambil, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam dan didinginkan di dalam desikator, sampel yang telah kering kemudian ditumbuk hingga halus. Sampel kemudian ditimbang sebanyak 1-2 gram yang dimasukkan dalam wadah tertutup, selanjutnya ditambahkan 1,5 mL HClO<sub>4</sub> pekat dan 3,5 mL HNO<sub>3</sub> pekat ditutup dan dibiarkan selama 24 jam. Selanjutnya larutan yang diperoleh dipanaskan di atas penangas air pada suhu 60-70°C selama 2-3 jam (sampai larutan jernih). Bila sampel tidak semua larut ditambahkan lagi HClO<sub>4</sub> pekat dan HNO<sub>3</sub> pekat, lalu ditambahkan 3 mL aquades, dipanaskan kembali hingga larutan hampir kering. Sampel selanjutnya didinginkan pada suhu ruang dan ditambahkan 1 mL HNO<sub>3</sub> pekat dan diaduk secara perlahan, kemudian ditambahkan 9 mL aquades (EPA, 2001).

### 3.7 Analisis Kadar Logam Berat Menggunakan ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry)

Sampel air laut, organ hati, dan daging ikan tongkol yang sebelumnya sudah dilakukan preparasi pada sub bab 3.5.1 dan 3.5.2, selanjutnya dianalisis menggunakan ICP-OES untuk mendapatkan hasil logam berat pada sampel tersebut. Setelah sampel disiapkan, perangkat keras diatur dengan benar, dan komputer diprogram, selanjutnya analisis dimulai. Biasanya analisis dimulai dengan memperkenalkan larutan standar pertama ke plasma dan menekan tombol di komputer. Begitu analisis sampel selesai, hasil data analisis dapat terlihat di perangkat komputer yang terhubung dengan ICP-OES (Ghosh *et. al.*, 2013).

Analisis kadar logam berat pada sampel dilakukan dengan menggunakan metode serapan sampel, kemudian diinterpolasikan ke dalam kurva kalibrasi standar masing-masing unsur sehingga akan diperoleh konsentrasi regresi masing-masing unsur. Kadar unsur dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Supriatno dan Lelifajri, 2009):

$$kadar = \frac{C \times P \times V}{G} \text{ mg/kg}$$

**Keterangan:**

C : Konsentrasi regresi

P : Faktor pengenceran

V : Volume pelarutan

G : Berat sampel

### 3.8 Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengukuran parameter kimia pH dan logam berat kadmium (Cd), nikel (Ni), dan seng (Zn) pada air laut dan biota laut akan dibandingkan dengan standar baku menurut PP No. 22 Tahun 2021, sedangkan batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 7387 Tahun 2009. Adapun nilai standar baku mutu logam berat pada air laut dan biota laut menurut PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan nilai batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan menurut SNI 7387 Tahun 2009 dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

**Tabel 5.** Standar Baku Mutu Logam Berat menurut PP No. 22 Tahun 2021

Parameter Uji	Baku Mutu Air Laut		
	Pelabuhan	Wisata Bahari	Biota Laut
Kadmium (Cd)	0,01 mg/L	0,002 mg/L	0,001 mg/L
Nikel (Ni)	-	0,075 mg/L	0,05 mg/L
Seng (Zn)	0,1 mg/L	0,095 mg/L	0,05 mg/L
pH	6,5 – 8,5	7 – 8,5	7 -8,5

**Tabel 6.** Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan menurut SNI 7387 Tahun 2009.

Parameter Uji	Batas Maksimum (mg/kg)
	Ikan Predator
Kadmium (Cd)	0,50
Nikel (Ni)	-
Seng (Zn)	-

Selanjutnya, data kandungan logam berat Cd, Ni, dan Zn pada air laut dan ikan tongkol dihitung nilai BCF. Menurut Hidayah *et. al.* (2014), untuk menghitung nilai BCF dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$BCF(o-w) = \frac{C_{org}}{C_{water}}$$

**Keterangan :**

BCF(o-w): Bioconcentration factor (organisme dengan air).

C<sub>org</sub> : Konsentrasi logam berat dalam organisme (mg/kg).

C<sub>water</sub> : Konsentrasi logam berat dalam air (mg/L).

Hasil perhitungan BCF dilanjutkan dengan mengklasifikasi ke dalam kategori tingkat akumulasi berdasarkan (LaGrega *et al.* 2001) yaitu:

1. Akumulasi rendah : BCF < 100 menunjukkan bahwa organisme akuatik memiliki kemampuan yang relatif rendah dalam mengakumulasi zat pencemar dari media perairan.
2. Akumulasi sedang : 100 < BCF ≤ 1000 menunjukkan adanya proses biokonsentrasi yang cukup signifikan di dalam tubuh organisme.
3. Akumulasi tinggi : BCF >1000 menunjukkan kemampuan organisme yang sangat kuat dalam mengonsentrasikan zat pencemar dari lingkungan perairan ke dalam jaringan tubuhnya.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis tingkat pencemaran logam pada air laut di Teluk Lampung, menunjukkan Cd terlarut  $<0,015$  mg/L telah melampaui nilai ambang batas yang ditetapkan, sedangkan Ni terlarut  $<0,066$  mg/L dan Zn terlarut  $<0,009$  mg/L masih belum melampaui nilai ambang baku mutu yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021.
2. Hasil analisis menunjukkan kandungan logam berat banyak terakumulasi pada organ hati dibandingkan pada daging ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) dan konsentrasi logam berat Cd  $<0,59$  mg/kg sedikit melampaui nilai ambang batas yang ditetapkan SNI 7387 Tahun 2009, sedangkan Ni tertinggi  $5,74$  mg/kg dan Zn tertinggi  $17,3$  mg/kg masih belum terdapat nilai ambang batas yang ditetapkan.
3. Hasil nilai *bioconcentration factor* (BCF) menunjukkan organ hati ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) memiliki kemampuan tinggi dalam mengakumulasi logam berat dibandingkan pada daging dan termasuk dalam kategori tingkat akumulasi tinggi pada logam Zn tertinggi  $1.922,22$ , sedangkan logam Ni tertinggi  $86,96$  dan Cd  $39,33$  kategori tingkat akumulasi rendah.

## 5.2 Saran

Berdasarkan temuan konsentrasi logam berat Kadmium (Cd), Nikel (Ni), dan Seng (Zn) yang tinggi pada daging dan organ hati ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) di perairan Laut Teluk Lampung, disarankan untuk melanjutkan penelitian dengan fokus pada:

- Mengkaji hubungan konsentrasi logam berat pada sedimen, dan berbagai tingkat trofik biota laut, untuk memahami mekanisme bioakumulasi dan biomagnifikasi secara lebih komprehensif.
- Dampak toksik logam berat terhadap kondisi fisiologis ikan, seperti perubahan histopatologi organ hati, ginjal, dan insang, serta gangguan fungsi enzim dan stres oksidatif.
- Mengkaji jenis logam berat lain yang batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan telah ditetapkan pada regulasi nasional dan internasional (SNI, BPOM, WHO, dan FAO).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkarim, M., Magaji, I. M., Nayaya, A. J., Yusuf, Z. A., Jibril, S. A. (2021). *Fisheries and Wildlife*. Faculty of Agriculture and Agricultural Technology. Abubakar Tafawa Balewa University.
- Achyani, R., Weliyadi, E.P., Rismawati. 2013. Analisis dan evaluasi kontaminasi logam berat di sedimen, air dan rumput laut *euchema cottoni* di Kota Tarakan. *Jurnal Harpodon Borneo*. Vol. 6 (1): 1-11
- Ahmad, I., Maria, V. L., Oliveira, M., Serafim, A., Bebianno, M. J., Pacheco, M., & Santos, M. A. (2020). Fish liver damage related to the wastewater treatment plant effluents. *Scientific Reports*, 10(1), 13445.
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. 2021. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2021, 1–14.
- Alkassab, A., Chen, Z., & Qiu, R. 2023. Nickel bioavailability, uptake, and tissue distribution in aquatic organisms: A review of recent advances. *Chemosphere*, 299, 134408.
- Alongi, D. M. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6, 195–219.
- Arifin, Z., Koike, T., Sakakibara, M. 2017. Heavy metals contamination in marine sediments and organisms around mining areas. *Marine Pollution Bulletin*, 121(1-2), 227–233.
- Astuti, L. P., Supriyantini, E., Widowati, I. 2019. Kandungan logam berat kadmium (Cd) pada air laut dan sedimen di perairan sekitar Pelabuhan Teluk Bayur, Padang. *Jurnal Ilmu Fisika*, 11(2), 89–96.
- Astuti, R., Lestari, P., Pratiwi, S. 2022. The role of fish protein in preventing malnutrition in developing countries. *Indonesian Journal of Nutrition and Dietetics*, 10(1), 15–25.
- Aznardi, F., Wulandari, R., Prasetyo, D. 2023. Analisis kualitas perairan Teluk Lampung akibat aktivitas antropogenik. *Jurnal Ilmu Kelautan Tropis*, 11(2), 55–67.

- Bubala H, Tedy AC, Rika E. 2019. *Tingkat pencemaran logam berat di pesisir pantai akibat penambangan bijih nikel*. Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIV Tahun 2019, Yogyakarta
- Cahyani, N., D. T. F Lumban Batu., Sulistiono. 2016. Kandungan Logam Berat Pb, Hg, Cd, Dan Cu Pada Daging Ikan Rejung (*Sillago sihama*) Di Estuari Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *JPHPI*. Vol 19 (3).
- Chapman, P. M., Wang, F., Adams, W. J. 2023. Sediment quality and metal bioavailability in coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 189, 114735.
- Chen, H., Wang, Z., Li, Y., Liu, J. 2023. Integrative ecotoxicity evaluation of cadmium, copper, zinc, and nickel in aquatic animals using species sensitivity distributions. *Chemosphere*, 344, 140297.
- Chester, R., Jickells, T. D. 2012. *Marine geochemistry* (3rd ed.). Wiley Blackwell.
- Costa, M., Davidson, T. L., Chen, H., Ke, Q., Zhang, P., Yan, Y., Huang, C., Kluz, T., Paunovic, M. 2015. Nickel carcinogenesis: Epigenetics and hypoxia signaling. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 762, 45–61.
- Covelli, S., Acquavita, A., García-Ordiales, E. 2022. Special issue on contaminants in coastal environments: From the sediment–water interface to the trophic chain. *Applied Sciences*, 12(19), 9511.
- Dewi, N. K. 2004. *Penurunan Derajat Toksisitas Kadmium Terhadap Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forskal) Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) Dan Fenomena Transportnya*. [Tesis]. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Dewi, K.T., Adhriana, I., Priohandono, Y.A., Gustiantini, L., Novico, F. 2016. Ostracoda Sebagai Indikator Perubahan Lingkungan Perairan Sekitar PLTU Tarahan, Teluk Lampung, Sumatera. *Jurnal Geologi Kelautan*. Vol. 14. No. 1.
- Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Lampung. 2021. *Konsumsi ikan dalam rumah tangga (KIDRT) Provinsi Lampung berdasarkan data Susenas tahun 2021*. Bandar Lampung: Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Lampung.
- EFSA. 2015. Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of nickel in food and drinking water. *EFSA Journal*, 13(2), 4002.

- El-Sharkawy, M., Alotaibi, M. O., Li, J., Du, D., Mahmoud, E. 2025. *Heavy metal pollution in coastal environments: Ecological implications and management strategies—A review. Sustainability, 17(2), 701*
- Environmental Protection Agency (EPA). 2001. *Method 200.7 (Revision 5.0): Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma–atomic emission spectrometry (ICP–AES)*. Washington, DC: Office of Research and Development.
- Erlangga. 2007. *Efek Pencemaran Perairan Sungai Kampar Di Provinsi Riau Terhadap Ikan Baung (Hemibagrus nemurus)*. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Ernita, E., Nurcahyo, W., Sudarnika, E. 2020. Perbandingan secara anatomi insang ikan. *Jurnal Veteriner, 21(4), 563–570*.
- FAO/WHO. 2001. *Human vitamin and mineral requirements*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Fitri, A., Musa, M., Yanuhar, U. 2024. Histopathological changes in gill and liver of *Crenimugil seheli* exposed to heavy metal contamination in Kamal Beach, Madura Strait. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA), 10(2), 1234–1245*.
- Fitriani, N., Sunardi, Yona, D. 2020. Analisis logam berat kadmium (Cd) dan timbal (Pb) di perairan Pantai Balongan Indah, Kabupaten Indramayu. *Jurnal Kelautan, 13(3), 157–165*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014. *Species Fact Sheets: Euthynnus affinnis*. FAO Fisheries and Aquaculture Department.
- Food and Agriculture Organization, World Health Organization. 2011. *Protein quality evaluation in human nutrition*. FAO Food and Nutrition Paper No. 92.
- Gao, Y., Li, J., Zhang, J., Xu, X. 2025. Comparative tissue distribution and bioconcentration of heavy metals (Cd, Zn, Ni) in marine fish exposed to environmental contamination. *Science of The Total Environment, 894, 165614*.
- Garofalo, L., Sala, M., Focardi, C., Pasqualetti, P., Delfino, D., D’Onofrio, F., Galli, F. S. 2025. Monitoring of cadmium, lead, and mercury levels in seafood products: A ten-year analysis. *Foods, 14(3), 451*.
- Ghosh, S., Roy, S., Bhattacharya, P. 2013. Application of ICP-OES in environmental analysis of heavy metals. *Journal of Analytical Science, 33(2), 155–163*.

- Gintarė, R., Zita, B., Dainius, P. 2017. Bioaccumulation and distribution of heavy metals in fish tissues from the Baltic Sea coastal zone. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), 101–110.
- Hamzah, F., Prasetyo, A. P., Apriliani, I. M. 2021. Kandungan logam berat kadmium (Cd) pada air laut di Pulau Untung Jawa, Kepulauan Seribu. *Akuatika Indonesia*, 6(1), 33–41.
- Hasan, A. B., Kabir, S., Reza, A. H. M. S., Zaman, M. N., Ahsan, M. A., Akbor, M. A. 2016. Accumulation of heavy metals in surface sediments of the Bay of Bengal coast and their ecological risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1), 1–15.
- Hutauruk, E. M., Tugiyono, T., Farisi, S. 2025. Analisis indeks kualitas air di Sungai Bako, Bandar Lampung. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, 5(2), 126–134.
- Hidayah, A.M., Purwanto dan T.R. Soeprobowati. 2014. Biokonsentrasi Faktor Logam Berat Pb, Cd, Ce dan Cu pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawa Pening. *Bioma*. 16 (1) : 1 – 9.
- <https://www.fao.org/fishery/species/3294/en>. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Euthynnus affinis* (Cantor, 1849) — species fact sheet. In Fisheries and Aquaculture Species. Diakses 08 Agustus 2025.
- <https://tanahair.indonesia.go.id/map/>. Penayang peta. Badan Informasi Geospasial. Diakses pada 19 Desember 2025.
- Huang, C., Zhang, W., Yu, Z. 2025. Bioaccumulation and trophic transfer of trace metals in coral reef fish: Organ specificity and trophic level effects. *Environmental Pollution*, 337, 122143.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., Beeregowda, K. N. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72.
- Jarup, L., Akesson, A. 2009. Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238(3), 201–208.
- Kell, R. M., Chmiel, R. J., Rao, D., Moran, D. M., McIlvin, M. R., Horner, T. J., Saito, M. A. 2024. High metabolic zinc demand within native phytoplankton communities determined by stable isotope uptake rate measurements. *Biogeosciences*, 21, 5685–5706.
- Kell, R. M., Subhas, A. V., Schanke, N. L., Lees, L. E., Chmiel, R. J., Rao, D., Saito, M. A. 2025. Zinc stimulation of phytoplankton in a coastal marine environment: Implications for Zn cycling. *Biogeosciences*, 22, 5877–5896.

- Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). 2019. Laporan status pencemaran Teluk Lampung. Jakarta: KKP.
- Kibria, G., Malala, J., Nugegoda, D. 2021. *Effects of toxic heavy metals on fish*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5), 256.
- Koka, E. G. 2025. A systematic review on distribution, sources and impacts of heavy metals in mangrove ecosystems (2003–2024). *Marine Pollution Bulletin*, 199, 116995.
- Kumar, M., Singh, S., Jain, A., Yadav, S., Dubey, A., Trivedi, S. P. 2024. A review on heavy metal-induced toxicity in fishes: Bioaccumulation, antioxidant defense system, histopathological manifestations, and transcriptional profiling. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 78, 127227.
- Kurniawan, A., Syah, R., Putra, H. 2021. Heavy metal pollution in Indonesian coastal waters: Sources and ecological risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112525.
- Kusumastanto, T. 2018. Dampak pencemaran minyak terhadap ekosistem laut dan pesisir. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Indonesia*, 25(1), 45–53.
- LaGrega, M.D., Phillip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans and Environmental Resources Management. 2001. *Hazardous Waste Management* (2<sup>nd</sup> ed). McGraw Hill International Edition. New York.
- Lestari, S., Hernayanti dan Insan, A. I. 2008. Biosorpsi Krom Hexavalen (CrVI) menggunakan rumput laut *Sargassum* sp. dalam skala laboratorium. *Biosfera*, 25(3): 129–134.
- Li, Y., Wang, Y., Gou, X., Su, Y., Wang, G. 2020. Heavy metal contamination and source apportionment in sediments and aquatic organisms from coastal areas influenced by industrial and urban activities. *Science of the Total Environment*, 708, 134653
- Li, Y., Zhang, J., Liu, C., & Wang, Z. 2024. Distribution and controlling factors of dissolved heavy metals in coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 201, 116146.
- Luoma, S. N., Rainbow, P. S. 2008. *Metal contamination in aquatic environments: Science and lateral management*. Cambridge University Press.
- Madeddu, R. 2025. Editorial for the Special Issue “Cadmium and Trace Elements Toxicity.” *Toxics*, 13(12), 1056.

- Maeyouf, H., Khattab, R. A., Temraz, T., Sami, M., Ali, I., Imanova, G. 2025. Heavy metal contamination in seawater, sediments, algae, and fish from Susah and Tobruk, Mediterranean Sea. *Water Environment Research*, 97(5), e70091.
- Male, Y. T., Souisa, F. R., Lewerissa, Y. A. 2017. Distribusi logam berat kadmium (Cd) dan timbal (Pb) pada air laut dan sedimen di perairan Teluk Ambon. *Jurnal Triton*, 13(2), 67–76.
- Marini, M., Annibaldi, A. 2022. Transport, persistence, and toxicity of pollutants in the sea. *Applied Sciences*, 12(14), 7017.
- Najamuddin, N., Tahir, I., Paembonan, R. E., Inayah, I. 2020. Pengaruh karakteristik sedimen terhadap distribusi dan akumulasi logam berat Pb dan Zn di perairan sungai, estuaria, dan pantai. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(1), 1–14.
- Nguyen, T. T., Lee, B. S. 2023. Effect of seawater chemistry on heavy metal uptake in marine organisms under climate change factors. *Science of the Total Environment*, 878, 162366.
- Nugraha, Y. 2020. Profil ekosistem perairan Teluk Lampung. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis*, 15(2), 121–130.
- Oros, A. 2025. Bioaccumulation and trophic transfer of heavy metals in marine fish: Ecological and ecosystem-level impacts. *Journal of Xenobiotics*, 15(2), 59.
- Paundan, M. 2015. *Kontaminasi logam berat merkuri (Hg) dan logam lain di biota air*. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan*, 5(2), 161–168
- Pemerintah Provinsi Lampung Dinas Perikanan dan Kelautan. 2007. Pemetaan Terumbu Karang di Teluk Lampung. P.T. Taram. Bandar Lampung.
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta.
- Plum, L. M., Rink, L., Haase, H. 2010. The essential toxin: Impact of zinc on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(4), 1342–1365.
- Prasetyaningrum, A., Widyaningsih, S., Rachmawati, I. 2021. Dampak aktivitas pertambangan terhadap kualitas lingkungan perairan: Studi kasus logam berat nikel (Ni). *Jurnal Pengelolaan Lingkungan dan Sumberdaya Alam*, 11(2), 67–75.

- Pratiwi, R., Susanto, A., Dewi, L. 2021. Heavy metals in Indonesian coastal ecosystems: Sources, bioaccumulation, and impacts. *Indonesian Journal of Environmental Science*, 9(1), 33–47.
- Purnomo, A. 2008. Dampak Cadmium dalam Ikan Terhadap Kesehatan Masyarakat Pulau Pasaran, Kota Karang-Bandar Lampung. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 4(2), 45–53.
- Purwanti, D., Lestari, H., Utami, R. 2023. Kondisi oseanografi Teluk Lampung dan implikasi ekologisnya. *Jurnal Oseanografi Tropis*, 8(1), 33–45.
- Rahmawati, N. 2021. Pengaruh limbah pertanian terhadap kualitas perairan laut. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 11(2), 177–185.
- Rahmawati, N., Susanto, D., Fitri, A. 2021. Konsentrasi logam berat pada ikan pelagis di Teluk Lampung. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Perairan*, 6(3), 201–210.
- Rahmawati, N., Prasetyo, A., Lestari, D. 2022. Cadmium pollution in Indonesian marine ecosystems: Sources and mitigation. *Marine Research in Indonesia*, 47(1), 99–110.
- Rainbow, P. S. 200). Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: Why and so what?. *Environmental Pollution*, 120(3), 497–507.
- Sandstead, H. H. 1994. Understanding zinc: recent observations and interpretations. *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 124(3), 322–327.
- Santos, F. O., Soares, H. M. 2023. Molecular basis of heavy metal binding in fish tissues: Implications for ecotoxicological biomarkers. *Aquatic Toxicology*, 254, 106466.
- Saputra, A., Wulandari, N., Hidayat, T. 2023. Bioaccumulation of mercury in reef fish due to artisanal gold mining activity in coastal Sulawesi. *Marine Pollution Bulletin*, 189, 114846.
- Sarker, T. H., Islam, M. M., Alam, M. G. R., Akter, S. 2023. Bioaccumulation and health risk assessment of heavy metals (Cd, Pb, Zn, Ni) in selected commercial fish species from Bangladeshi coastal area. *Marine Pollution Bulletin*, 189, 114718.
- Sippo, J. Z., Maher, D. T., Tait, D. R., Holloway, C., Santos, I. R. 2016. Mangroves are sources of alkalinity and dissolved inorganic carbon to the coastal ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 30(6), 877–893.

- Smith, M., Doeschot, A. 2014. Application of ICP-OES for heavy metal detection in aquatic samples. *Applied Spectroscopy Reviews*, 49(5), 377–389.
- Sosrosumihardjo, D. 2010. *Mengenal Logam Beracun*. Gramedia: Jakarta.
- Souisa, F. R. 2017. Kandungan logam berat kadmium (Cd) dan timbal (Pb) pada perairan Teluk Ambon. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Terapan*, 1(2), 45–54.
- Sulistiani, R. 2009. Metode pengambilan sampel air laut untuk analisis logam berat. *Jurnal Sains Lingkungan*, 2(1), 33–39.
- Sunda, W. G., Lewis, J. A. 2023. Effects of nickel and copper on tropical marine and freshwater microalgae using single- and multispecies toxicity tests. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 42(4), 901–911.
- Supriatno, B., Lelifajri, L. 2009. Analisis logam berat pada ikan laut dengan metode destruksi basah. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 14(2), 67–74.
- Suwandana, E. 2019. Dampak limbah industri terhadap pencemaran logam berat di laut. *Jurnal Ekologi Lingkungan*, 9(1), 33–41.
- Tang, X., Chen, Q., Li, J. 2025. Proteomic insights into hepatic responses of fish chronically exposed to multiple heavy metals. *Environmental Science & Technology*, 59(8), 4203–4215.
- Tarigan, H. 2017. Seng (Zn) dan pengaruhnya terhadap lingkungan akuatik. *Jurnal Kimia dan Lingkungan*, 21(2), 73–81.
- Triyulianti, I., Widodo, J., Pratiwi, N. T. M. 2012. Pengaruh perubahan Ph terhadap kualitas perairan dan kelangsungan hidup biota perairan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(2), 75–83.
- Turner, A. 2010. Marine pollution from antifouling paint particles. *Marine Pollution Bulletin*, 60(2), 159–171.
- Verawati. 2016. *Analisis Kualitas Air Laut Di Teluk Lampung*. Tesis. Fakultas Teknik Sipil. Universitas Lampung.
- Wali, W., Emiyarti, Afu, A. 2020. Kandungan logam berat nikel (Ni) pada sedimen dan air di perairan desa Tapuemea Kabupaten Konawe Utara. *Sapa Laut*. Vol. 5 (1). 37-34.
- Wang, N., Ingersoll, C. G., Hardesty, D. K. 2017. Toxicity of nickel to freshwater and marine organisms. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(8), 2072–2082.

- Wang, W. X., Rainbow, P. S. 2008. Comparative approaches to understand metal bioaccumulation in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 148(4), 315–323.
- Wang, Y., Chen, L., Zhao, H. 2024. Transport fluxes of land-based plastics entering the ocean through rivers. *Chemosphere*, 352, 140278
- World Health Organization (WHO). 2022. *Trace elements in human nutrition and health*.
- Widiastuti, E., Hidayat, D., Lestari, P. 2021. Plankton diversity and heavy metal content in Lampung coastal waters. *Journal of Water and Health*, 19(4), 523–533.
- Xu, W., Meng, K., Du, W., Cai, Z., Li, Y., Chen, X., Zhang, Y. 2025. Cadmium dominance in heavy metal pollution: Ecological risks and human health implications in the Guan River Estuary, China. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1554838.
- Yang, X., Xue, L. 2018. Treated wastewater changes the export of dissolved inorganic carbon and its isotopic composition and leads to acidification in coastal oceans. *Environmental Science & Technology*, 52(10), 5590–5599.
- Yulianto, B., Nugroho, A., Prasetyo, R. 2022. Heavy metal contamination in demersal fish in Jakarta Bay and Lampung Bay. *Indonesian Journal of Marine Science*, 27(2), 88–97.
- Yusuf, M., Wulandari, R. 2020. Dampak limbah domestik terhadap kandungan logam berat di perairan pesisir. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan*, 8(2), 144–151.
- Zainuri, M., Sudrajat, Siboro, E. S. 2011. Kadar logam berat Pb pada ikan beronang (*Siganus* sp.), lamun, sedimen dan air di wilayah pesisir Kota Kalimantan Timur. *Jurnal Kelautan*. Vol. 4, No. 2. 1907-9931.
- Zhang, S., Fu, K., Gao, S., Liang, B., Lu, J., Fu, G. 2023. Bioaccumulation of heavy metals in the water, sediment, and organisms from the sea ranching areas of Haizhou Bay in China. *Water*, 15(12), 2218.
- Zhang, L., Li, H., Wang, Y., Liu, X. 2024. Mechanisms of zinc accumulation and regulation in fish: Evidence from metallothionein expression and oxidative stress pathways. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 104, 105201.
- Zhang, W., Liu, X., Cheng, H., Zeng, E. Y., Hu, Y. 2024. Pollution status and assessment of heavy metals in seawater and sediments of Hangzhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 209, 117261.

Zhao, F., Zhang, Y., Liu, S. 2023. Zinc biogeochemical behavior in coastal and open ocean systems. *Journal of Oceanography*, 79, 61–76.

Zhao, Y., Wang, X., Li, X. 2024. Patterns of heavy metal accumulation in different tissues of marine fish under environmental stress. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115180.