

**PENENTUAN KANDUNGAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb), KADMIUM  
(Cd), MANGAN (Mn) PADA SEDIMEN DAN PLANKTON PESISIR  
PULAU SERTUNG SECARA SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM  
(SSA)**

**(Skripsi)**

Oleh

*Dita Silvi Yani*

1957011015



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### **PENENTUAN KANDUNGAN LOGAM BERAT (Pb), KADMIUM (Cd), MANGAN (Mn) PADA SEDIMEN DAN PLANKTON PESISIR PULAU SERTUNG SECARA SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM (SSA)**

OLEH

**DITA SILVI YANI**

Telah dilakukannya penentuan kandungan logam berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Mangan (Mn) pada Sedimen dan Plankton yang diperoleh dari Pesisir Pulau Sertung Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui cemaran logam berat di perairan Pesisir Pulau Sertung, Kepulauan Krakatau. Sampel diambil dari 3 titik yang berbeda. Preparasi sampel dilakukan dengan cara destruksi basah dan dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil analisis pada sampel sedimen menunjukkan bahwa kadar logam Pb antara  $33,826 \pm 0,042$  ppm –  $33,881 \pm 0,118$  ppm, logam Cd antara  $15,556 \pm 0,976$  ppm –  $15,983 \pm 0,114$  ppm, dan logam Mn antara  $21,734 \pm 0,877$  ppm –  $23,128 \pm 0,145$  ppm. Konsentrasi logam Pb dan Mn berada di bawah ambang batas dan logam Cd berada di atas ambang batas yang telah ditetapkan National Sediment Quality Survey USEPA (2004). Hasil analisis kandungan logam Pb dan Cd pada air berturut-turut 0,241 ppm dan 0,027 ppm berada di atas baku mutu sedangkan logam Mn sebesar 0,059 ppm berada di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh Keputusan Kementrian Negara Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 tentang Baku Mutu air laut. Hasil analisis kandungan logam Pb, Cd dan Mn pada sampel plankton berturut-turut yaitu 2,380 ppm, 0,449 ppm dan 0,230 ppm. Konsentrasi logam berat Pb, Cd dan Mn pada plankton lebih tinggi dibandingkan pada sampel air.

**Kata kunci:** Pesisir Pulau Sertung, logam berat, sedimen, air, plankton.

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION THE CONTENT OF HEAVY METALS LEAD (Pb), CADMIUM (Cd), MANGANESE (Mn) IN SEDIMENTS AND COASTAL PLANKTON OF SERTUNG ISLAND BY ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY (SSA)**

**By**

**DITA SILVI YANI**

The determination of the content of heavy metals Lead (Pb), Cadmium (Cd), Manganese (Mn) in Sediments and Plankton obtained from the coast of Sertung Island by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) has been carried out. This research was conducted to determine heavy metal contamination in the coastal waters of Sertung Island, Krakatau Islands. Samples were taken from 3 different points. Sample preparation was carried out by wet destruction and analyzed using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results of the analysis of the sediment samples showed that the metal content of Pb was between  $33.826 \pm 0.042$  ppm –  $33.881 \pm 0.118$  ppm, the metal Cd was between  $15.556 \pm 0.976$  ppm –  $15.983 \pm 0.114$  ppm, and the metal Mn was between  $21.734 \pm 0.877$  ppm –  $23.128 \pm 0.145$  ppm m . The concentrations of Pb and Mn were below the threshold and Cd was above the threshold set by the USEPA National Sediment Quality Survey (2004). The analysis results for the content of Pb and Cd metals in water were 0.241 ppm and 0.027 ppm respectively above the quality standard while 0.059 ppm Mn metal was below the quality standard stipulated by Decree of the State Ministry of Environment No. 51 of 2004 concerning Seawater Quality Standards. The results of analysis of the metal content of Pb, Cd and Mn in plankton samples were 2.380 ppm, 0.449 ppm and 0.230 ppm respectively. The concentrations of heavy metals Pb, Cd and Mn in plankton were higher than in water samples.

**Keywords:** Sertung Island coast, heavy metals, sediment, water, plankton.

**PENENTUAN KANDUNGAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb), KADMIUM  
(Cd), MANGAN (Mn) PADA SEDIMEN DAN PLANKTON PESISIR  
PULAU SERTUNG SECARA SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM  
(SSA)**

Oleh

*Dita Silvi Yani*

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar  
SARJANA SAINS

pada

Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi

: **PENENTUAN KANDUNGAN LOGAM  
BERAT TIMBAL (Pb), KADMIUM (Cd),  
MANGAN (Mn) PADA SEDIMEN DAN  
PLANKTON PESISIR PULAU SERTUNG  
SECARA SPEKTROFOTOMETRI  
SERAPAN ATOM (SSA)**

Nama Mahasiswa

: **Dita Silvi Yani**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1957011015**

Jurusan

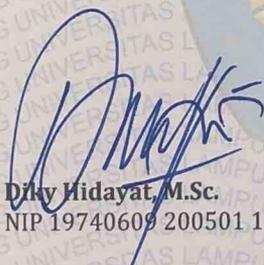
: **Kimia**

Fakultas

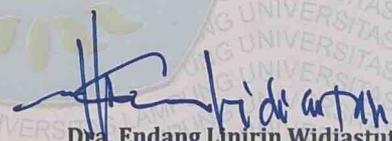
: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. Komisi Pembimbing

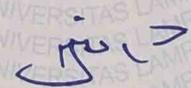
  
**Diky Hidayat, M.Sc.**

NIP 19740609 200501 1 002

  
**Dra. Endang Linirin Widiastuti, Ph.D.**

NIP 19610611 198603 2 001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

  
**Mulyono, Ph.D.**

NIP 19740611 200003 1 002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Diky Hidayat, M.Sc.**

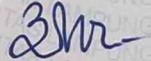
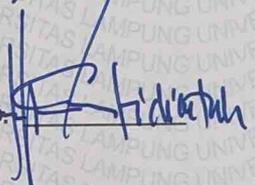
Sekretaris : **Dra. Endang Linirin Widiastuti, Ph.D.**

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dian Septiani Pratama, S.Si., M.Si.**

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **18 Agustus 2023**



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dita Silvi Yani  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1957011015  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **Penentuan Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Mangan (Mn) Pada Sedimen dan Plankton Pesisir Pulau Sertung Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum publikasi.

Bandar Lampung, 22 Agustus 2023

Yang menyatakan



Dita Silvi Yani  
NPM 1957011015

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap **Dita Silvi Yani**, lahir di Yukum Jaya pada 02 Mei 2000. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putri dari Bapak Sukardi dan Ibu Tusriyanti. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jl. Manggis RT/RW 016/006, Kelurahan Yukum Jaya, Kecamatan Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung.

Penulis telah menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Istiqlal Yukum Jaya tahun 2006. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Yukum Jaya yang diselesaikan pada tahun 2012. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan pada tahun 2015 di SMPN 1 Terbanggi Besar. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Terbanggi Besar dan diselesaikan pada tahun 2018. Pada tahun 2019, penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri-Barat (SMMPTN-Barat).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti Karya Wisata Ilmiah yang diselenggarakan oleh BEM FMIPA Unila tahun 2019. Penulis juga aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) pada periode 2019 dan anggota Bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi periode 2020 dan 2021. Penulis juga aktif berorganisasi di Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung sebagai Bendahara Dinas Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa (Adkesma) pada periode 2022.

Pada bulan Agustus 2022, penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul “**Pengaruh Kadar Piperin pada Lada Hitam (*Piper nigrum L.*) terhadap Uji Minyak Atsiri**” di Balai Pengawasan dan Sertifikasi Mutu Barang (BPSMB) Kota Bandar Lampung. Penulis juga melaksanakan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sumber Katon, Kecamatan Seputih Surabaya, Kabupateng Lampung Tengah pada Januari-Februari 2022.

## Motto

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhan-Mu lah engkau berharap”*

(QS. Al-Insyirah : 6-8)

*“Letakan aku dalam hatimu, maka aku akan meletakkanmu dalam hatiku”*

(QS. Al-Baqarah : 152)

*“Jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik untuk dirimu sendiri. Dan jika berbuat jahat, maka (kerugian kejahatan) itu untuk dirimu sendiri”*

(QS. Al-Isra : 7)

*“Maka, nikmat Tuhanmu manakah yang Engkau dustakan?”*

(QS. Ar-Rahman : 56)

*“Semua orang memiliki langkah masing-masing, langkahmu juga istimewa. Jadi jangan terlalu peduli pada orang lain, jalani saja seperti yang kau tuju, karena itu akan mengarah ketempat yang sangat istimewa”*

(Christopher Bang)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*"Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang"*

Puji Syukur kepada Allah SWT atas limpahan karunia-Nya, sehingga terciptalah sebuah karya ini yang kupersembahkan sebagai wujud dan tanggung jawabku kepada :

Kedua Orang tuaku Tercinta yang selalu dihatiku yang memberikan Cinta serta Kasih sayangnya, sehingga ku dapat menyelesaikan karya ini dengan baik.

Adikku yang selalu memberikan Semangat, Do'a, dan dukungan penuh padaku dalam menjalani kehidupan ini.

Bapak Diky Hidayat, M.Sc.

Ibu Dra. Endang Linirin Widiastuti, Ph.D.

Pembimbing penelitianku yang selalu sabar membimbingku dan memberikan nasihat.

Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan membimbing kepada penulis selama menempuh pendidikan.

**Almamater Tercinta Universitas Lampung**

## SANWACANA

*Bismillahirrahmanirrahim.*

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT , serta sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul, **“Penentuan Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Mangan (Mn) Pada Sedimen dan Plankton Pesisir Pulau Sertung Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengerjaan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kesulitan dan rintangan yang penulis hadapi. Namun, itu semua bisa terlewati berkat rahmat dan ridho Allah SWT serta adanya bimbingan, dukungan, nasihat serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Diky Hidayat, M.Sc., selaku Pembimbing Pertama yang telah sabar membimbing, memberikan motivasi, nasihat, dukungan, motivasi, kritik, dan saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Ibu Endang Linirin Widiastuti, Ph.D. selaku Pembimbing Kedua atas segala bimbingan, dukungan, nasihat, semangat, keikhlasan, kesabaran, dan ilmu sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.
3. Ibu Dian Septiani Pratama, M.Si. selaku Pembahas yang telah memberikan kritik, saran, dukungan dan nasihat sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.

4. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Sukardi dan Ibu Tusri yanti atas seluruh cinta, kasih sayang, dukungan, kesabaran, keikhlasan, dan doa serta dedikasinya selama ini dalam mendidikku. Semoga Allah *Subhanahu wata'ala* membalas cinta-Nya dengan Jannah-Nya, Aamiin Allahumma Aamiin.
5. Adikku, Dwi Almellia Ramadhani atas seluruh keceriaan, doa dan dukungan kepadaku.
6. Bapak Prof. Dr. Sutopo Hadi, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing akademik atas segala bimbingan, masukan serta motivasi selama perkuliahan.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
8. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah mendidik serta memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman yang sangat bermanfaat kepada penulis selama menjalankan perkuliahan dan semoga ilmu yang diberikan membawa keberkahan.
10. Seluruh staf administrasi dan pegawai di lingkungan Jurusan Kimia, FMIPA, dan Universitas Lampung yang senantiasa membantu dalam sistem akademik, penelitian serta penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
11. Teman seperbimbingan Krakatau *research* Dania Sausan Avivah, Fira Amelia, Renni Wulandari, S.Si. dan Zulfahmi Adli Putra. Terima kasih atas kerja sama, dukungan dan menjadi penyemangat satu sama lain hingga penelitian ini berjalan dengan lancar hingga akhir. *See You On Top guys!*
12. Teman-teman *peer group* analitik terima kasih untuk semua bantuan, dukungan, kesabaran, keikhlasan, dan pengalamannya selama perjalanan menuju kelulusan.
13. Sahabat-Sahabatku, Dhea, Annisa dan Diana yang selalu memberi motivasi dan semangat serta selalu sabar mendengarkan keluh kesah penulis. Semoga Allah memperlancar kita dalam menjalani kehidupan untuk menjadi yang lebih baik.

14. Teman seperjuangan dari awal perkuliahan, Renni Wulandari, S.Si. dan Unggul Sulistio Satrio Utomo, S.Si. yang selalu memberikan semangat dan dukungan. Terima kasih sudah selalu ada disaat senang maupun susah, semoga Allah memperlancar segala hal baik yang akan kita lakukan.
15. Widia Suryani, S.IP. sebagai sahabat sejak SD yang selalu memberikan dukungan dan semangat untuk penulis menyelesaikan skripsinya dengan baik.
16. Teman-teman Kimia Angkatan 2020.
17. Keluarga Besar "***Chemistry 2019***", terimakasih atas segala pertemanan dan kekeluargaannya selama menjalani masa perkuliahan ini. Semoga kita semua bisa menjadi orang yang sukses di masa depan, Aamiin paling serius.
18. Kelas C "***Caring for each other***" terima kasih telah memberikan kebahagiaan, kenyamanan dan dukungan. Terima kasih telah berbagi ilmu serta kebersamai selama masa perkuliahan. Semoga Allah senantiasa memperlancar segala hal baik untuk kedepannya.
19. Teman-teman KKN di Desa Sumber Katon, Bagas, Taqwa, Nabila, Desi, Atul dan Birgita yang telah memberikan semangat serta menemani selama 40 hari KKN dengan penuh drama yang menjadikan pengalaman yang luar biasa bagi penulis. Sukses selalu *guys!*
20. Terima kasih untuk seseorang yang namanya belum bisa saya sebutkan disini atas semua doa, dukungan dan perhatiannya selama ini. Terima kasih sudah menjadi salah satu sumber motivasi untuk penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga senantiasa Allah memudahkan segala niat baikmu untukku dan untuk kita. Aamiin.
21. Almamater tercinta Universitas Lampung.
22. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believeing in me, I wanna thank me for doing all these hard work, I wanna thank me for having no days off, and I wanna thank me for never quitting.*

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tak luput dari kekeliruan dan jauh dari kata sempurna, namun penulis berharap tulisan ini dapat bermanfaat dan berguna bagi pembaca dan masyarakat. Semoga seluruh bimbingan, dukungan, kebaikan dan keikhlasan yang telah diberikan dibalas oleh *Allah Subhanahu wata'ala* dengan pahala berlipat ganda. Terimakasih.

Bandar Lampung, 22 Agustus 2023

Penulis,

Dita Silvi Yani

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	4
1.3. Manfaat Penelitian.....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1. Letak Geografis Kepulauan Krakatau .....	6
2.2. Pencemaran Logam Berat pada Perairan.....	7
2.3. Sedimen .....	9
2.4. Plankton.....	11
2.5. Logam Berat .....	12
2.6. Timbal (Pb).....	14
2.7. Kadmium (Cd).....	17
2.8. Mangan (Mn).....	19
2.9. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	21
2.9.1. Teori Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) .....	21
2.9.2. Prinsip Kerja Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) .....	22

2.9.3. Instrumentasi Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	23
2.10. Validasi Metode.....	25
2.10.1. Linearitas .....	26
2.10.2. Presisi (ketelitian).....	26
2.10.3. Akurasi (ketepatan) .....	27
2.10.4. Batas Deteksi (LoD) dan Batas Kuantitasi (LoQ).....	28
<b>III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>30</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	30
3.2. Alat dan Bahan .....	30
3.3. Prosedur Penelitian.....	31
3.3.1. Pembuatan Larutan.....	31
3.3.2. Metode Pengambilan Sampel.....	31
3.3.3. Preparasi Sampel Penentuan Kadar Logam Pb, Cd, dan Mn .....	33
3.3.4. Pembuatan Kurva Kalibrasi .....	35
3.3.5. Validasi Hasil .....	36
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1. Pengambilan Sampel .....	41
4.2. Preparasi Sampel .....	41
4.3. Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Mn pada Sedimen, Air dan Plankton di Pesisir Pulau Sertung Kepulauan Krakatau .....	42
4.3.1. Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Mn pada Sedimen .....	43
4.3.2. Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Mn pada Air .....	48
4.3.3. Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Mn pada Plankton .....	49

4.4.	Validasi Hasil Penelitian .....	50
4.4.1.	Linearitas.....	50
4.4.2.	Presisi (Ketelitian).....	53
4.4.3.	Akurasi (Ketepatan) .....	55
4.4.4.	LoD ( <i>Limit of Detection</i> ) dan LoQ ( <i>Limit of Quantification</i> ) .....	57
<b>V.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>59</b>
5.1.	Kesimpulan.....	59
5.2.	Saran .....	60
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>70</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi diameter partikel sedimen dasar sungai .....	10
2. Sifat Fisik Logam Timbal (Pb) .....	15
3. Sifat Fisik Logam Kadmium (Cd) .....	17
4. Sifat Fisik Logam Mangan (Mn).....	20
5. Nilai rerata SD dan RSD hasil analisis logam Pb .....	53
6. Nilai rerata SD dan RSD hasil analisis logam Cd.....	54
7. Nilai rerata SD dan RSD hasil analisis logam Mn.....	55
8. Nilai persen perolehan kembali (% <i>recovery</i> ) logam Pb .....	56
9. Nilai persen perolehan kembali (% <i>recovery</i> ) logam Cd.....	56
10. Nilai persen perolehan kembali (% <i>recovery</i> ) logam Mn.....	56
11. Nilai LoD dan LoQ logam Pb, Cd dan Mn .....	57
12. Absorbansi logam Pb pada sampel sedimen .....	74
13. Absorbansi Logam Cd pada sampel sedimen .....	75
14. Absorbansi Logam Mn pada sampel sedimen .....	76
15. Absorbansi logam Pb, Cd dan Mn pada sampel air di Pesisir Pulau Sertung Kepulauan Krakatau.....	77
16. Absorbansi logam Pb, Cd dan Mn pada sampel plankton di Pesisir Pulau Sertung Kepulauan Krakatau.....	77
17. Absorbansi larutan standar logam Pb.....	78
18. $C_{reg}$ logam Pb pada sampel sedimen di Pesisir Pulau Sertung Kepulauan Krakatau.....	79
19. Konsentrasi logam Pb pada sedimen di Pesisir Pulau Sertung Kepulauan Krakatau.....	80
20. Absorbansi larutan standar logam Cd .....	81

21. Konsentrasi logam Cd pada sedimen di Pesisir Pulau Sertung Kepulauan Krakatau.....	82
22. Konsentrasi logam Cd pada sedimen di Pesisir Pulau Sertung Kepulauan Krakatau.....	83
23. Absorbansi larutan standar logam Mn .....	84
24. Konsentrasi logam Mn pada sedimen di Pesisir Pulau Sertung Kepulauan Krakatau.....	84
25. Konsentrasi logam Mn pada sedimen di Pesisir Pulau Sertung Kepulauan Krakatau.....	85
26. Nilai standar deviasi blangko untuk logam Pb.....	87
27. Nilai standar deviasi blangko untuk logam Cd .....	88
28. Nilai standar deviasi blangko untuk logam Mn .....	89
29. Nilai persen perolehan kembali (% <i>recovery</i> ) logam Pb .....	90
30. Nilai persen perolehan kembali (% <i>recovery</i> ) logam Cd.....	91
31. Nilai persen perolehan kembali (% <i>recovery</i> ) logam Mn .....	92
32. SD dan RSD logam Pb pada sedimen di Pesisir Pulau Sertung.....	93
33. SD dan RSD logam Cd pada sedimen di Pesisir Pulau Sertung .....	94
34. SD dan RSD logam Mn pada sedimen di Pesisir Pulau Sertung .....	95

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kepulauan Krakatau.....	6
2. Logam Timbal.....	14
3. Akumulasi Timbal dalam Tubuh Manusia.....	16
4. Logam Kadmium .....	17
5. Logam Mangan .....	20
6. Skema Umum Komponen pada Alat SSA .....	23
7. Lampu Katoda Berongga .....	24
8. Lokasi Titik Pengambilan Sampel .....	32
9. Diagram Alir .....	39
10. Titik Lokasi Pengambilan Sampel .....	41
11. Rerata kandungan logam Pb di Pesisir Pulau Sertung .....	43
12. Rerata kandungan logam Cd di Pesisir Pulau Sertung.....	45
13. Rerata kandungan logam Mn di Pesisir Pulau Sertung.....	47
14. Kandungan logam berat Pb, Cd dan Mn dalam sampel air laut di Pesisir Pulau Sertung .....	48
15. Kandungan logam berat Pb, Cd dan Mn dalam sampel plankton di Pesisir Pulau Sertung .....	49
16. Kurva regresi larutan standar Pb .....	51
17. Kurva regresi larutan satandar Cd.....	51
18. Kurva regresi larutan standar Mn.....	52
19. Pengambilan sampel.....	96
20. Pengeringan sampel .....	96
21. Destruksi sampel untuk logam Pb dan Cd .....	96

22. Destruksi sampel untuk logam Mn .....	96
---	----

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Provinsi Lampung secara geografis terletak di ujung selatan Pulau Sumatera. Selat Sunda merupakan selat yang berada di antara Pulau Sumatera dan Pulau Jawa. Massa air yang berada pada selat ini merupakan percampuran dari Laut Jawa dan Samudera Hindia, dengan luasnya kurang lebih 8.138 km<sup>2</sup>. Karakteristik dari selat ini adalah bentuknya yang seperti corong dengan bagian utara selat lebih sempit dengan luas kurang lebih 24 km dan juga lebih dangkal dengan kedalaman  $\leq 80$  m, Selat Sunda dapat dikatakan sebagai selat yang dinamis karena memiliki beberapa faktor diantaranya karena pada bagian utara terhubung langsung dengan Laut Jawa yang mendapat pengaruh dominan massa air dari Laut Jawa dan Laut Cina Selatan, dan pada bagian selatan dipengaruhi oleh kondisi perairan dari Samudera Hindia. Selat Sunda yang merupakan salah satu dari empat titik strategis tersebut dapat mendukung tercapainya visi Poros Maritim Dunia (Mawaddah dkk, 2021). Selat Sunda merupakan perairan yang menghubungkan Laut Jawa dan Samudera Hindia, yang memisahkan Pulau Sumatera dan Pulau Jawa.

Kepulauan Krakatau merupakan salah satu cagar alam laut di Indonesia. Cagar alam ini berada di Selat Sunda, di antara ujung barat Pulau Jawa dan ujung selatan Pulau Sumatera. Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan Nomor 85/Kpts-II/1990 luas Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau 13.735,1 ha yang terdiri dari cagar alam laut (11.200 ha) dan cagar alam darat (2.535,1 ha). Daratan di Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau terdiri atas Pulau Sertung, Pulau Rakata Besar, Pulau Panjang dan Anak Krakatau. Kondisi perairan di Cagar Alam Laut

Krakatau sangat dinamis dan selalu berubah-ubah. Perairan Krakatau memiliki pola arus yang dipengaruhi oleh arus dari Samudera Hindia (angin selatan) dan Laut Jawa (angin utara) (Novriadi, *et al.*, 2013). Cagar Alam Laut Krakatau memiliki aktivitas vulkanik aktif dari Gunung Anak Krakatau. Kedua aktivitas ini dapat berpotensi membuat kawasan perairan tersebut mengandung berbagai logam berat sebagai salah satu bahan yang berpotensi mencemarkan perairan, sebagai salah satu pencemar toksik yang sulit didegradasi (Afriyanti dkk, 2018).

Keberadaan logam berat di Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau sangat erat dengan adanya Gunung Anak Krakatau yang masih aktif hingga saat ini. Aktivitas vulkanik dari Gunung Anak Krakatau menjadi sumber utama logam berat. Gunung Anak Karakatau seringkali mengeluarkan abu vulkanik yang mengandung logam berat, dengan intensitas yang hampir setiap tahun atau dalam satu tahun dapat menyemburkan abu vulkanik lebih dari 2 -5 kali (Afriyanti dkk, 2018). Menurut Wahyuni (2012), abu vulkanik gunung berapi mengandung beberapa logam berat, berupa unsur mayor maupun unsur minor. Unsur minor yang berupa logam antara lain logam Co, Pb, dan Zn, sedangkan salah satu logam mayor yaitu Fe yang bernilai tinggi dan dapat membahayakan lingkungan. Berdasarkan penelitian Hannun (2017) menyatakan bahwa logam Fe di Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau memiliki kadar yang tinggi pada sedimen.

Aktivitas Gunung Anak Krakatau meningkat secara intensif pada awal juni 2018 hingga pertengahan Desember 2018. Puncak tertinggi aktivitas Gunung Anak Krakatau pada 22 Desember 2018, terjadi erupsi besar berdampak runtuhnya badan gunung Anak Krakatau disisi Barat Daya. Runtuhnya badan Gunung Anak Krakatau ke laut memicu tsunami di Selat Sunda dan melanda bagian Barat Jawa dan pantai Barat Daya Sumatera (Walter, *et al.*, 2019). Pasca erupsi Gunung Anak Krakatau terjadi perubahan morfologi yang signifikan pada bentuk Gunung Anak Krakatau yang meliputi pengendapan material, perubahan garis pantai, musnahnya vegetasi dan turunnya hujan setelah erupsi menyebabkan terbentuknya jaringan drainase baru. Pasca erupsi Gunung Anak Krakatau tahun 2018 juga

menyebabkan perubahan dibagian Utara terjadi pendangkalan dimana semula kontur kedalaman 10 m menjadi 5 m, sedangkan di seluruh area pesisir atau garis pantai Anak Gunung Krakatau kontur kedalaman rata-rata antara kontur 20 m hingga 30 m, dimana sebelumnya kontur kedalamannya antara 5 m hingga 20 m (Wirasetiyawan dkk, 2021).

Logam berat yang ada pada perairan, suatu saat akan turun dan mengendap pada dasar perairan, membentuk sedimentasi dan hal ini akan menyebabkan biota laut yang mencari makan di dasar perairan seperti udang, kerang dan kepiting akan memiliki peluang yang sangat besar untuk terkontaminasi logam berat tersebut. Jika biota laut yang telah terkontaminasi logam berat tersebut dikonsumsi dalam jangka waktu tertentu, dapat menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup (Palar, 2008). Menurut Agustina (2010), manusia dapat terkontaminasi logam berat dengan tiga perantara, yaitu makanan (65%), air (20%), dan udara (15%). Hasil penelitian menyatakan bahwa berbagai macam penyakit kanker pada manusia adalah akibat makanan yang mengandung logam berat dan bahan kimia. Logam berat yang masuk ke dalam tubuh manusia akan melakukan interaksi dengan enzim, protein, DNA serta zat metabolit lainnya. Adanya logam berat dalam tubuh dengan jumlah yang berlebih jelas akan sangat berbahaya bagi tubuh.

Keracunan akibat logam Pb dapat terjadi karena masuknya senyawa logam tersebut ke dalam tubuh. Proses masuknya timbal, dapat melalui beberapa cara yaitu melalui pernafasan, oral (dari makanan atau minuman), dan penetrasi pada lapisan kulit. Logam timbal mengakibatkan toksisitas pada sel hidup dengan mengikuti mekanisme ionik sehingga terjadi tekanan oksidatif. Banyak peneliti telah menunjukkan bahwa tekanan oksidatif pada sel hidup disebabkan oleh ketidakseimbangan antara produksi radikal bebas dengan produksi antioksidan untuk detoksifikasi intermediet reaktif atau untuk perbaikan hasil kerusakan (Jaishankar, *et al.*, 2014). Kadmium merupakan logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Tubuh sama sekali tidak memerlukannya dalam proses metabolisme. Mekanisme toksisitas kadmium

tidak diketahui dengan jelas namun efeknya pada sel diketahui dengan baik (Patrick, 2003).

Pemantauan logam di lingkungan telah menjadi perhatian utama selama beberapa dekade ini. Hal ini akan berlanjut akibat semakin tingginya kandungan logam di lingkungan. Dari 92 unsur alami di lingkungan, kurang lebih 30 logam dan metaloid berpotensi menimbulkan toksisitas terhadap manusia seperti Be, B, Li, Al, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Se, Sr, Mo, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, W, Pt, Au, Hg, Pb dan Bi (Sarkar, 2002). Metode analisis yang dapat digunakan untuk sampel udara, air, tanah dan sedimen seperti Spektroskopi Serapan Atom dan Spektroskopi Emisi Atom (AAS dan AES), *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry* (ICP-AES), *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICPMS) dan Metode *X-Ray Fluorescence*. Namun, pada penelitian ini akan melakukan analisis kandungan logam berat menggunakan metode Spektroskopi Serapan Atom (AAS) pada sampel sedimen dan air.

Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan analisis mengenai kandungan logam berat timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Mangan (Mn) pada Sedimen, air dan plankton yang berada di Pesisir Pulau Sertung dengan menggunakan metode Spektroskopi Serapan Atom (AAS).

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kadar logam berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Mangan (Mn) pada sedimen, air dan plankton di Pesisir Pulau Sertung Lampung Selatan dengan menggunakan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).
2. Mengetahui tingkat pencemaran kadar logam berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Mangan (Mn) pada sedimen, air dan plankton di Pesisir Pulau Sertung Lampung Selatan.

### **1.3. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat pencemaran oleh logam berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Mangan (Mn) pada sedimen, air dan plankton di Pesisir Pulau Sertung Lampung Selatan. Serta sebagai salah satu sumber informasi tentang adanya pencemaran senyawa-senyawa logam berat hasil dari letusan Gunung Anak Krakatau, di Daerah Pesisir Pulau Sertung. Informasi ini dapat menjadi masukan bagi pemerintah daerah, pihak industri dan masyarakat setempat agar dapat mengelola dan memanfaatkan kawasan pesisir pulau dengan tepat serta memperhatikan kualitas lingkungan sekitar.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Letak Geografis Kepulauan Krakatau

Kepulauan Krakatau terletak di Selat Sunda, yaitu antara Pulau Jawa dan Pulau Sumatera. Luas daratannya sekitar 3.090 ha terdiri dari Pulau Sertung (1.060 ha), Pulau Panjang (310 ha), Pulau Rakata (1.400 ha) dan Pulau Anak Krakatau (320 ha). Secara geografis Kepulauan Krakatau terletak pada koordinat  $6^{\circ}03'15''$ - $6^{\circ}10'30''$  LS dan  $105^{\circ}21'15''$  -  $105^{\circ}27'45''$  BT. Sedangkan secara administratif pemerintahan, Kepulauan Krakatau termasuk ke dalam wilayah Desa Pulau Sebesi Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan (BKSDA, 2012).



**Gambar 1.** Kepulauan Krakatau

Secara hidrografi kawasan Kepulauan Krakatau merupakan bagian dari paparan Selat Sunda. Dengan demikian kawasan ini termasuk perairan dangkal (kurang dari 200 m). Garis kedalaman (isobaths) 200 m terletak  $\pm$  10 km sebelah barat

Pulau Sertung. Perairan yang agak berbentuk palung dijumpai di pulau ini, terletak diantara Pulau Krakatau Besar dan Pulau Anak Krakatau, dimana kedalaman palung tersebut berkisar antara 118-123 m. Arus yang terjadi adalah kombinasi arus pasang surut dan arus musim dengan arah Barat Daya hampir sepanjang tahun kecuali bulan November berganti arah menjadi Timur Laut. Kecepatan arus berkisar antara 0,75-1,3 knot (April-November). Pada bulan Desember-Maret terjadi arus harian tunggal (Timur Laut Barat Daya) dengan kecepatan 1 knot. Sedangkan kecepatan arus kombinasi mencapai 2-3 knot. Sifat pasang surut di perairan Selat Sunda adalah sifat campuran yang condong kehariian tunggal dengan selisih pasang dan surut berkisar antar 0,8-1,4 knot (BKSDA, 2006).

Menurut Fiantis (2006) adanya abu dan pasir vulkanik segar yang melapisi permukaan tanah mengakibatkan tanah mengalami proses peremajaan yang kemudian akan melapuk menandai dimulainya lagi proses pembentukan (genesis) tanah yang baru. Abu vulkanik yang terdeposisi di atas permukaan tanah akan mengalami pelapukan kimiawi dengan bantuan air dan asam-asam organik yang terdapat di dalam tanah. Keadaan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan kimiawi dari abu vulkanik tersebut dan terhadap tanah yang terdapat di lapisan bawahnya. Dalam jangka panjang, abu vulkanik memiliki manfaat untuk kehidupan manusia khususnya di bidang pertanian. Dari kandungan abu terdapat berbagai unsur hara tanaman esensial yang akan menyebabkan tanah menjadi subur kembali karena mendapatkan pasokan hara esensial yang baru.

## **2.2. Pencemaran Logam Berat pada Perairan**

Menurut Peraturan Pemerintah No 19 tahun 1999 Pencemaran laut diartikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan laut tidak sesuai lagi dengan baku mutu dan/atau fungsinya. Terjadinya pencemaran

di perairan laut dapat disebabkan oleh tertimbunnya zat polutan yang berasal dari kegiatan pertambangan, aktivitas pelabuhan, tumpahan minyak dari kapal, limbah rumah tangga dan kegiatan industrialisasi. Limbah-limbah yang tidak dapat terdegradasi selanjutnya akan terakumulasi di perairan laut sehingga berdampak pada pencemaran lingkungan. Menurut Wahyuni *et al* (2012), Abu vulkanik hasil erupsi gunung mengandung beberapa unsur mayoritas berupa Si, Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Ti dan unsur minor berupa Ba, Co, Cr, Cu, Pb, Sr, Zn, dan Zr. Selain itu, terdapat unsur logam berbahaya lainnya seperti As, Cd, dan Ni.

Pencemaran logam berat pada perairan dapat berasal dari kegiatan alam maupun industri. Secara alamiah pencemaran logam berat dapat diakibatkan adanya pelapukan batuan pada cekungan perairan atau adanya kegiatan gunung berapi (Febrilianti, *et al.*, 2016). Perairan pesisir merupakan salah satu tipe perairan yang rentan terhadap bahaya pencemaran, karena perairan ini merupakan tempat bermuaranya sungai dan tempat berkumpulnya zat-zat pencemar yang terbawa oleh aliran sungai. Dari sekian banyak limbah yang ada di laut, limbah logam berat merupakan limbah yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Logam berat yang ada pada perairan, suatu saat akan turun dan mengendap pada dasar perairan, membentuk sedimentasi dan hal ini akan menyebabkan biota laut yang mencari makan di dasar perairan (udang, kerang, kepiting) akan memiliki peluang yang sangat besar untuk terkontaminasi logam berat tersebut (Khan, *et al.*, 2009).

Pencemaran logam berat telah menjadi masalah di seluruh dunia selama beberapa tahun terakhir, karena logam berat sulit dihancurkan dan kebanyakan memiliki efek toksik pada organisme. Di antara pencemaran lingkungan oleh limbah, limbah logam berat menjadi perhatian khusus karena memiliki efek toksik dan kemampuan bioakumulasi dalam ekosistem perairan. Konsentrasi logam berat pada ekosistem perairan biasanya diperhatikan dengan mengukur konsentrasi dalam air, sedimen dan biota (Giofany, *et al.*, 2016). Pencemaran yang terjadi ini bisa menimbulkan dampak yang berbahaya dan penyebab utama

yang membuat logam berat sebagai bahan pencemar berbahaya yaitu karena logam berat tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup di lingkungan dan terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi. Biota yang hidup di perairan tercemar logam berat akan dapat mengakumulasi logam berat tersebut dalam jaringan tubuhnya. Maka, semakin tinggi kandungan logam dalam perairan akan semakin tinggi pula kandungan logam berat yang terakumulasi dalam tubuh hewan tersebut (Rochyatun dan Rozak, 2007).

### **2.3. Sedimen**

Sedimen adalah pecahan pecahan material yang umumnya terdiri atas uraian batu-batuan secara fisik dan secara kimia. Partikel seperti ini mempunyai ukuran dari yang besar (*boulder*) sampai yang sangat halus (koloid), dan beragam bentuk dari bulat, lonjong sampai persegi. Hasil sedimen biasanya diperoleh dari pengukuran sedimen terlarut dalam sungai (*suspended sediment*), dengan kata lain bahwa sedimen merupakan pecahan, mineral, atau material organik yang ditranspor dari berbagai sumber dan diendapkan oleh media udara, angin, es, atau oleh air dan juga termasuk didalamnya material yang diendapkan dari material yang melayang dalam air atau dalam bentuk larutan kimia (Asdak, 2007). Sedimen yang masuk ke badan air berupa padatan tersuspensi yang lama-kelamaan akan mengendap di dasar perairan. Peristiwa mengendapnya sedimen di dasar perairan dapat disebut dengan sedimentasi. Sedimentasi sendiri merupakan suatu proses pengendapan material yang ditranspor oleh media air, angin, es, atau gletser di suatu cekungan (Usman, 2014).

Sedimen akan terangkut sampai di suatu tempat yang disebut cekungan. Sangat besar kemungkinan sedimen akan terendapkan karena daerah tersebut relatif lebih rendah dari daerah disekitarnya dan karena bentuknya yang cekung ditambah

dengan adanya akibat gaya gravitasi dari sedimen, maka sedimen akan susah sekali bergerak melewati cekungan. Sehingga semakin banyak sedimen yang diendapkan, maka cekungan akan mengalami penurunan dan membuat cekungan tersebut semakin dalam sehingga semakin banyak sedimen yang terendapkan (Siaka, 2008). Karakteristik sedimen ditentukan menggunakan ukuran partikel. Ukuran partikel tersebut dapat dianalisis menggunakan saringan sedimen bertingkat dengan klasifikasi diameter partikel seperti yang tertera pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Klasifikasi diameter partikel sedimen dasar sungai

Diameter partikel (mm)	Phi Scale Category (-Log <sup>2</sup> diameter)	Klasifikasi sedimen
-	-	Batu kali ( <i>bedrock</i> )
>256	-10, -9, -8	Bulder ( <i>boulder</i> )
128–256	7	Kobel besar ( <i>large cobble</i> )
64–128	-6	Kobel kecil ( <i>small cobble</i> )
32–64	-5	Pebel besar ( <i>large pebble</i> )
16–32	-4	Pebel kecil ( <i>small pebble</i> )
8–16	-3	Batu kerikil kasar ( <i>coarse gravel</i> )
4–8	-2	Batu kerikil sedang ( <i>medium gravel</i> )
2–4	-1	Batu kerikil kecil ( <i>fine gravel</i> )
0,5–1	0	Pasir sangat kasar ( <i>very coarse sand</i> )
0,25–0,5	1	Pasir kasar ( <i>coarse sand</i> )
0,125–0,25	2	Pasir sedang ( <i>medium sand</i> )
0,063–0,125	3	Pasir halus ( <i>fine sand</i> )
0,032–0,063	4	Pasir sangat halus ( <i>very fine sand</i> )
<0,032	5, 6, 7, 8	Lumpur ( <i>silt</i> )
	9, 10	Tanah liat ( <i>clay</i> )

## 2.4. Plankton

Logam berat sebagai zat polutan yang masuk ke perairan akan menimbulkan pencemaran terhadap perairan dan dapat terakumulasi pada makhluk hidup yang ada di dalamnya. Timbal merupakan logam berat non esensial dimana logam berat ini tidak dapat terdegradasi di alam dan tidak berubah bentuk. Tidak terdegradasinya logam berat dapat menyebabkan terjadinya bioakumulasi pada makhluk hidup salah satunya yaitu plankton (BPOM, 2010). Berdasarkan penelitian Franchini *et al.* (2015), kemampuan plankton dalam mengakumulasi logam berat sangat tinggi. Plankton terutama fitoplankton merupakan produsen primer yang berada pada tingkat trofik terendah. Jika plankton sebagai produsen primer terpapar dan mengakumulasi logam berat Pb maka Pb dapat masuk ke dalam rantai makanan dan tingkat trofik yang lebih tinggi.

Plankton terbagi menjadi dua kelompok besar, yaitu fitoplankton dan zooplankton. Fitoplankton dan zooplankton hidup melayang-layang mengikuti arus di perairan. Kondisi inilah yang memudahkan biota laut ini terakumulasi logam berat, karena logam berat yang masuk ke dalam perairan tidak dapat terdegradasi (Afriyanti dkk, 2018). Identifikasi plankton dilakukan dengan cara mengambil sampel plankton menggunakan pipet tetes, lalu diteteskan pada gelas objek, kemudian di amati menggunakan mikroskop binokuler. Baku mutu yang ditetapkan oleh KEPMEN LH Nomor 51 Tahun 2004, tentang baku mutu air laut pada air laut untuk biota laut hidup di dalamnya yaitu sebesar 0.008 mg/L.

Perubahan kualitas suatu perairan erat kaitannya dengan potensi perairan yang dapat dicirikan dengan perubahan komunitas plankton. Siklus hidup fitoplankton berlangsung dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan zooplankton, dimana pembelahan sel-sel fitoplankton lebih cepat sehingga dalam waktu beberapa hari sudah mencapai kepadatan tinggi. Sementara zooplankton dalam perkembangannya lebih membutuhkan waktu, karena pada umumnya zooplankton sebelum mencapai kondisi dewasa harus melalui beberapa fase kehidupan seperti telur, larva dan juvenil (Prasetio dkk, 2016).

## 2.5. Logam Berat

Logam berat merupakan unsur logam dengan berat molekul yang tinggi, dimana dalam kadar yang rendah pada umumnya sudah beracun yang dapat menyebabkan kematian (*lethal*), dan non-kematian (*sublethal*) seperti gangguan pertumbuhan, perilaku dan karakteristik morfologi berbagai organisme akuatik (Effendi, *et al.*, 2012). Logam berat dapat masuk ketubuh organisme perairan melalui insang, permukaan tubuh, saluran pencernaan, otot dan hati. Logam berat tersebut dapat terakumulasi dalam tubuh organisme perairan (Azaman, *et al.*, 2015). Logam berat yang masuk ke dalam tubuh kemudian mengalami absorpsi. Tempat utama untuk penyerapan logam disaluran udara adalah alveoli paru-paru untuk hewan darat dan insang untuk hewan air. Penyerapan logam dapat terjadi diseluruh saluran pencernaan, tetapi lambung adalah tempat penyerapan yang penting. Logam yang diserap akan didistribusikan dengan cepat keseluruh tubuh. Tingkat distribusi kemasing-masing organ terkait dengan aliran darah, membran sel, dan afinitas komponen organ terhadap logam. Setelah didistribusikan, logam dapat terakumulasi ditubuh organisme air. Jika manusia mengkonsumsi organisme air yang mengandung logam berat maka akan memberikan dampak merugikan bagi kesehatan manusia seperti radang tenggorokan, nyeri kepala, dermatitis, alergi, anemia, gagal ginjal, pneumonia, dan lain sebagainya (Effendi, *et al.*, 2012).

Banyak badan pengatur dari berbagai negara telah menetapkan tentang konsentrasi maksimum logam berat yang diizinkan dalam bahan makanan seperti Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO) dan Uni Eropa (EU). Menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) tahun 2018 tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan sebagai berikut:

1. Dalam kategori Daging dan produk daging, termasuk daging unggas dan daging hewan buruan
  - a. Arsen (As) : 0,25 mg/kg
  - b. Timbal (Pb) : 0,50 mg/kg
  - c. Merkuri (Hg) : 0,03 mg/kg

- d. Cadmium (Cd) : 0,05 mg/kg
2. Dalam kategori Ikan dan produk perikanan termasuk Moluska, Krustase, dan Ekinodermata serta Amfibi dan Reptil
- a. Arsen (As) : 0,25 mg/kg
  - b. Timbal (Pb) : 0,20 mg/kg (kecuali untuk ikan predator olahan seperti cucut, tuna, marlin 0,40)
  - c. Merkuri (Hg) : 0,50 mg/kg (kecuali untuk ikan predator olahan seperti cucut, tuna, marlin 1,0)
  - d. Kadmium (Cd) : 0,10 mg/kg (kecuali untuk ikan predator olahan seperti cucut, tuna, marlin 0,30)

Pada dasarnya, logam berat dibagi menjadi dua kategori, yaitu logam esensial dan logam non-esensial. Logam berat seperti timbal (Pb), merkuri (Hg) dan kadmium (Cd) dikategorikan sebagai logam non-esensial. Dalam jangka waktu yang lama logam ini bersifat beracun serta berbahaya bagi organisme, meskipun dalam jumlah kecil. Sedangkan nikel (Ni), tembaga (Cu) dan mangan (Mn) merupakan logam esensial karena perannya yang penting dalam sistem biologis (Fernandes, *et al.*, 2008). Logam berat seperti Co, Cr, Cs, As, Sc dan Fe jika dibuang ke lingkungan akan terakumulasi dan merusak baik secara langsung maupun tidak langsung makhluk hidup terutama manusia. Akumulasi logam berat pada tubuh manusia dapat terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung. Terakumulasinya logam berat dalam tubuh akan merusak kesehatan manusia. Faktor yang menyebabkan logam tersebut dikelompokkan ke dalam zat pencemar adalah logam berat tidak dapat terurai melalui biodegradasi seperti pencemar organik, logam berat dapat terakumulasi dalam lingkungan terutama sedimen sungai dan laut, karena dapat terikat dengan senyawa organik dan anorganik, melalui proses adsorpsi dan pembentukan senyawa kompleks. Karena logam berat dapat terakumulasi dalam sedimen, maka kadar logam berat dalam sedimen lebih besar dari kadar logam berat dalam air (Susiati, *et al.*, 2009).

Bahan kimia pencemar air tanah sangat beragam yang biasanya terdiri dari komponen anorganik seperti logam berat yang berbahaya. Logam berat yang

paling sering dijumpai dan mencemari lingkungan adalah merkuri (Hg), timbal (Pb), tembaga (Cu), kadmium (Cd), arsenik (Ar), kromium (Cr), nikel (Ni) dan besi (Fe). Logam berat dapat memberikan dampak negatif terhadap manusia yang menggunakan air tersebut dan organisme yang ada diperairan. Terdapatnya kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari aktivitas alam atau manusia. Kandungan logam berat dalam suatu perairan secara alamiah relatif sedikit tetapi dengan adanya aktivitas masyarakat di sekitarnya seperti kegiatan industri, domestik, pertanian dan lainnya akan menjadi faktor penyebab meningkatnya kandungan logam berat dan akan mencemari perairan (Yandra dan Mairizki, 2020).

## 2.6. Timbal (Pb)

Timbal atau Pb adalah logam toksik yang bersifat kumulatif, sehingga mekanisme toksisitasnya dibedakan menurut beberapa organ yang dipengaruhinya, seperti pada sistem *haemopoietik*, Pb dapat menghambat sistem pembentukan hemoglobin sehingga menyebabkan anemia, pada sistem saraf pusat dan tepi, dapat menyebabkan gangguan *ensefalopati* dan gejala gangguan sistem saraf perifer sedangkan pada ginjal dapat menyebabkan *aminoasiduria*, *fosfaturia*, *glukosuria*, *nefropati*, *fibrosis* dan *atrofi glomerular* (Milasari, et al., 2020).



**Gambar 2.** Logam Timbal

Logam timbal dalam perairan dapat membentuk ion-ion yang dapat larut. Ion tersebut mampu melakukan penetrasi pada membran sel dan terakumulasi di dalamnya. Agar tidak terjadi kematian akibat logam, maka tumbuhan memiliki

kemampuan detoksifikasi, salah satunya dengan menimbun logam di organ tertentu seperti akar (Masum dan Purnomo, 2022).

Penyebab utama peningkatan kadar timbal diperairan yaitu penggunaan cat yang mengandung timbal, pengelasan kapal, dan bahan bakar yang bocor dari kapal perikanan. Aktivitas pelabuhan dapat menjadi salah satu sumber pencemaran logam berat di perairan sekitarnya (Rizkiana, *et al.*, 2017). Timbal dapat terakumulasi dalam tubuh organisme air. Jika organisme air yang terakumulasi timbal dikonsumsi oleh manusia, maka timbal akan memasuki tubuh manusia dan menyebabkan gangguan (Yuni, 2020). Timbal (Pb) merupakan unsur alami dan diproduksi industri yang sangat beracun bagi manusia, terutama anak-anak. Anak-anak paling rentan terhadap Pb karena memiliki ekskresi ginjal yang kurang efektif dan penyerapan gastrointestinal yang lebih besar. Otak janin menyajikan sensitivitas yang lebih besar terhadap efek toksik Pb dibandingkan dengan otak dewasa (Azaman, *et al.*, 2015). Umar *et al* (2001) menyatakan bahwa gejala kram usus, kondisi anemia dan kelelahan yang disebabkan oleh keracunan Pb. Timbal (Pb) juga dapat menyebabkan *nefrotoksisitas* dan *neurotoksisitas*. Sifat Fisik Timbal (Pb) dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Sifat Fisik Logam Timbal (Pb)

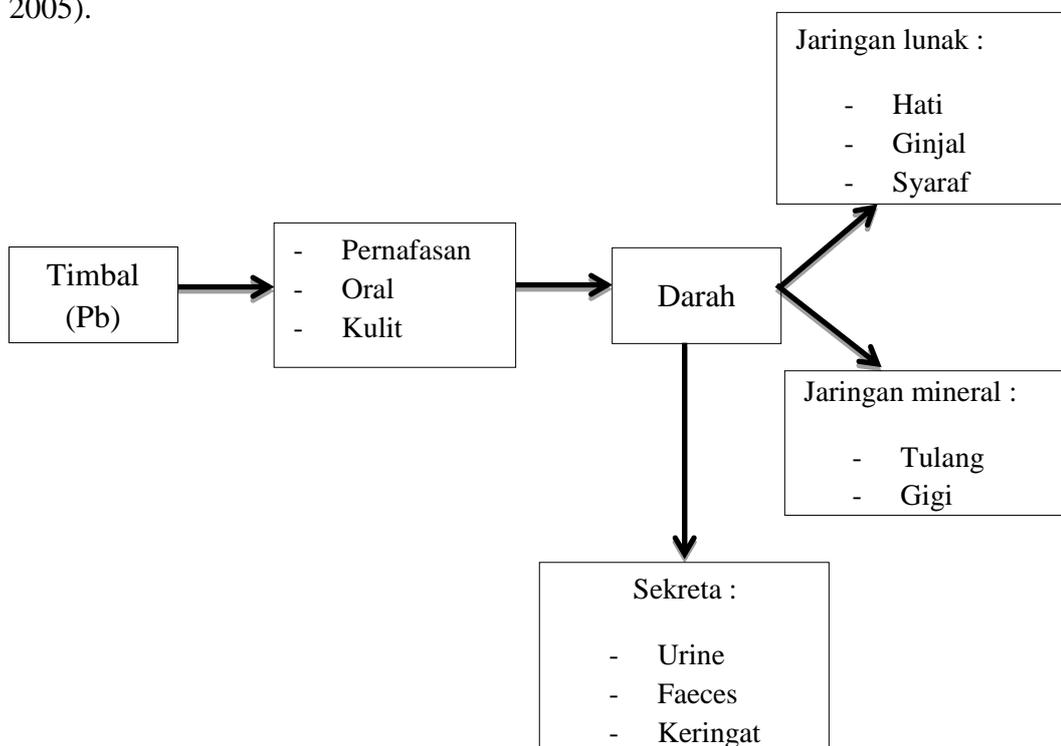
Sifat Fisik	Keterangan
Nomor atom	82
Berat atom (g/mol)	207,2
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	11,340
Densitas cairan (g/cm <sup>3</sup> )	10,660
Titik didih (°C)	1749
Titik lebur (°C)	327,46
Fase	Padat
Warna	Abu-abu kebiruan

Menurut Irianti *et al* (2017) timbal (Pb) memiliki beberapa sifat khusus sebagai berikut :

1. Timbal merupakan konduktor listrik lemah. Logam ini sangat tahan terhadap korosi.

2. Timbal sangat lunak, sehingga dapat dipotong dengan menggunakan pisau atau dengan tangan.
3. Timbal tahan terhadap peristiwa korosi atau karat sehingga sering digunakan sebagai bahan *coating*.
4. Timbal memiliki kerapatan lebih besar dibanding dengan logam biasa kecuali emas dan merkuri.
5. Timbal sangat lembut dan dapat dibentuk dengan mudah.

Kadar timbal yang ditetapkan oleh WHO (2009) pada darah anak yaitu 10  $\mu\text{g/l}$ , dan dewasa yaitu 50  $\mu\text{g/l}$ . Timbal yang ada di dalam air dapat masuk ke dalam organisme di perairan, dan jika air tersebut merupakan sumber air konsumsi masyarakat maka timbal tersebut tentunya akan masuk ke dalam tubuh manusia. Baku mutu timbal di perairan berdasarkan PP No. 20 tahun 1990 adalah 0,1 mg/l. Timbal yang masuk ke dalam tubuh melalui makanan dan minuman, masuk ke saluran pencernaan dan akan diikuti dalam proses metabolisme tubuh (Naria, 2005).



Sumber : Depkes RI, 2001

**Gambar 3.** Akumulasi Timbal dalam Tubuh Manusia

## 2.7. Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang memiliki berat molekular 112,4 gram/mol. Kadmium berbentuk solid dan berwarna silver. Titik didih kadmium sebesar 765°C (1409°F) dan titik leleh sebesar 320.9°C (609.6°F) (Permana, *et al.*, 2022). Kadmium tergolong logam yang relatif langka namun sering digunakan untuk berbagai kepentingan. Pada kondisi murni, kadmium berwarna silver dengan sedikit warna biru. Kadmium yang murni tidak dapat ditemukan di alam. Cara mendapatkan kadmium murni hanya dengan menggabungkan dengan komponen elemen lain. Komponen tersebut merupakan substansi yang terbentuk ketika dua atau lebih elemen digabungkan dalam reaksi kimia.



**Gambar 4.** Logam Kadmium

Kadmium hanya dapat dipurifikasi oleh manusia. Logam ini tidak memiliki bau dan rasa namun sangat beracun (Cobb, 2008). Sifat Fisik Logam Kadmium (Cd) dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Sifat Fisik Logam Kadmium (Cd)

Sifat Fisik	Keterangan
Nomor atom	48
Berat molekul (g/mol)	112,4
Massa jenis (g/cm <sup>3</sup> )	8,65
Titik didih (°C)	765
Titik leleh (°C)	320,9
Fase	Padat
Warna	Putih perak

Sumber utama pencemaran kadmium dari aktivitas antropogenik manusia adalah aktivitas pertambangan, industri metalurgi dan lumpur limbah. Pada kegiatan pertambangan biasanya kadmium ditemukan dalam bijih mineral seperti sulfida *green ockite* atau *xanthochroite*, karbonat *otative*, dan *cadmium oxide*. Mineral-mineral ini terbentuk berasosiasi dengan bijih sfalerit dan oksidanya, atau dapat juga diperoleh dari debu sisa pengolahan lumpur elektrolit (Permana, *et al.*, 2022). Selain itu, lapisan bumi dan aktivitas manusia (antropogenik) juga menjadi sumber pencemaran logam kadmium. Logam berat kadmium dalam aktivitas manusia sering digunakan sebagai pewarna cat dan PVC atau plastik, sebagai katoda nikel. Sumber utama kontaminasi logam kadmium adalah daerah industri. Kadmium selalu bercampur dengan logam lain, terutama dalam pertambangan Zn dan Pb dengan kadar 0,2-0,4 % sebagai hasil dari proses pemurnian Zn dan Pb. Logam berat kadmium ini jumlahnya relatif kecil pada perairan namun konsentrasinya dapat meningkat karena proses dari pembuangan limbah industri (Rachmaningrum, *et al.*, 2015).

Peningkatan konsentrasi logam berat di perairan sebagian besar disebabkan oleh pembuangan limbah industri yang berasal dari wilayah darat. Pada saat musim hujan, kadmium yang terdapat di daratan terbawa ke laut melalui aliran sungai. Kadmium dapat berada di perairan dalam berbagai fase yaitu terlarut, mengendap maupun membentuk butiran halus. Kadmium yang terlarut, karena massa jenisnya yang tinggi, akan mengendap ke dasar perairan meskipun butuh waktu yang cukup lama (Morais, *et al.*, 2012). Logam berat kadmium dapat menghambat pertumbuhan sel dengan dua cara yaitu, penyerapan pasif dan penyerapan aktif. Penyerapan pasif terjadi karena interaksi logam berat dengan dinding sel ketika penyerapan aktif berlangsung melalui transpor logam berat melewati membran sel ke dalam sitoplasma. Sedangkan, penyerapan aktif memerlukan energi dari sel untuk menyerap ion logam berat dari luar sel (Permana, *et al.*, 2022).

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 nilai baku mutu kadmium pada perairan yaitu sebesar 0,01 mg/L. Logam kadmium dapat

menimbulkan gangguan, dan bahkan mampu menimbulkan kerusakan pada sistem yang bekerja di ginjal. Kerusakan yang terjadi pada sistem ginjal, dapat dideteksi dari tingkat atau jumlah kandungan protein yang terdapat pada urine. Dan keracunan yang disebabkan oleh peristiwa terhirupnya uap dan atau debu kadmium juga mengakibatkan kerusakan terhadap organ respirasi paru-paru (Palar, 2004). Menurut Mudgal (2010), logam kadmium merupakan senyawa yang sangat larut dalam air dibandingkan dengan logam lain. Bioavailabilitas logam kadmium sangat tinggi dan karena itu cenderung bioakumulasi. Paparan jangka panjang untuk kadmium dapat mengakibatkan perubahan *morphopathological* pada ginjal. Perokok lebih rentan untuk keracunan kadmium dibandingkan non- perokok. Tembakau adalah sumber utama penyerapan kadmium pada perokok. Sedangkan non-perokok dapat terkena kadmium melalui makanan dan beberapa jalur lainnya. Namun penyerapan logam kadmium melalui jalur lain jauh lebih rendah.

## **2.8. Mangan (Mn)**

Mangan merupakan unsur logam yang termasuk golongan VII, dengan berat atom 54,93 titik lebur 1247 °C, dan titik didihnya 2032 °C. Mangan (Mn) adalah metal berwarna putih perak, di alam mangan (Mn) umumnya ditemui dalam bentuk senyawa dengan berbagai macam valensi. Air yang mengandung mangan (Mn) berlebih menimbulkan warna coklat atau hitam (Fauziah, 2010). Mangan merupakan kelompok logam berat dan memiliki berat jenis 7,4 g/cm<sup>3</sup> serta tidak dapat terdegradasi atau hancur sehingga logam mangan tetap persisten ada di lingkungan. Kondisi ini memberikan informasi apabila unsur mangan terlarut dalam permukaan tanah kemudian tererosi masuk ke dalam air maka akan menyebabkan air terkontaminasi dengan logam berat sehingga akan mencemari lingkungan air. Mangan banyak dimanfaatkan dalam industri peleburan besi-baja dan pengolahan logam. Mangan juga digunakan untuk formula *stainless steel* dan *alloy* (campuran logam). Mangan digunakan dalam paduan baja untuk meningkatkan karakteristik yang menguntungkan seperti kekuatan, kekerasan, dan ketahanan (Safitri, 2019).



**Gambar 5.** Logam Mangan

Mangan merupakan logam berat yang bersifat essential karena dibutuhkan oleh organisme namun akan bersifat toksik dalam jumlah berlebihan. Umumnya terdapat dalam udara, perairan serta buangan antropogenik yang akan terakumulasi dalam air, sedimen, dan biota air. Akumulasi logam akan semakin tinggi dengan banyaknya jumlah buangan dengan kadar logam yang tinggi. kemudian terakumulasi dalam tubuh biota air yang ada dalam perairan (termasuk kerang yang bersifat sessil dan sebagai bioindikator) (Gultom, 2020). Sifat Fisik logam Mangan (Mn) dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Sifat Fisik Logam Mangan (Mn)

Sifat Fisik	Keterangan
Nomor atom	25
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	7,21
Titik didih (°C)	2032
Titik lebur (°C)	1247
Jari-jari atom (pm)	140
Energi ionisasi (kJ/mol)	221

Mangan merupakan salah satu logam yang jumlahnya relatif rendah dalam perairan, namun konsentrasi yang rendah sudah mampu memberikan dampak bagi manusia. Mangan dengan konsentrasi rendah dalam perairan dapat menyebabkan warna air menjadi kuning-cokelat, bau tidak enak sehingga dapat menimbulkan bercak kuning pada pakaian maupun bak mandi. Keberadaan mangan yang tinggi di perairan dapat menyebabkan dampak serius bagi kesehatan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MEN.KES/PER/IX/1990 ambang batas logam mangan (Mn) dalam air adalah 0,5 mg/L. Mangan yang melebihi ambang batas dapat menyerang saraf sehingga dapat menyebabkan sindrom parkinson bagi orang lanjut usia (Emilia, *et al.*, 2021). Senyawa mangan secara alami ada dalam lingkungan sebagai padatan di dalam tanah dan partikel kecil di dalam air. Partikel mangan di udara hadir dalam partikel debu. Partikel tersebut biasanya menetap di bumi dalam waktu beberapa hari. Manusia berperan langsung dalam meningkatkan konsentrasi mangan di udara melalui kegiatan industri serta pembakaran bahan bakar fosil. Mangan yang berasal dari manusia juga dapat masuk ke dalam permukaan air, air tanah dan air limbah. Mangan masuk ke dalam tanah melalui penggunaan pestisida yang banyak mengandung mangan (Putri, 2020).

Pemanfaatan logam mangan di dunia perindustrian sebagian besar digunakan untuk proses produksi besi-baja, produksi baterai kering, keramik dan gelas. Oksidanya berguna untuk pembuatan oksigen dan dalam pengeringan cat hitam. Begitu juga dengan tembaga, hasil produksi logam tembaga sebagian besar (95%) digunakan dalam bentuk murni adalah sebagai kabel, perlengkapan elektronik, pipa, peralatan rumah tangga, serta pelapis nikel, krom, dan seng (Nengsih dkk, 2013). Toksisitas mangan relatif sudah tampak pada konsentrasi rendah. Kandungan mangan yang diizinkan dalam air yang digunakan untuk keperluan domestik yaitu dibawah 0,05 mg/l. Air yang berasal dari sumber tambang asam dapat mengandung mangan terlarut dengan konsentrasi  $\pm 1$  mg/l. Pada pH yang agak tinggi dan kondisi aerob terbentuk mangan yang tidak larut seperti  $MnO_2$ ,  $Mn_3O_4$  atau  $MnCO_3$  meskipun oksidasi dari  $Mn^{2+}$  itu berjalan relatif lambat (Febrina dan Ayuna, 2014).

## **2.9. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)**

### **2.9.1. Teori Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)**

Spektrofotometri serapan atom merupakan suatu metode analisis yang digunakan untuk penentuan unsur-unsur pada logam dan metaloid dimana pengukurannya

berdasarkan pada penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Purnami, 2019). Spektroskopi Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) merupakan suatu metode analisis untuk menentukan konsentrasi suatu sampel unsur logam yang memiliki ketelitian, ketepatan dan selektivitas tinggi. Spektrofotometri serapan atom merupakan metode yang sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Prinsip metode Spektrofotometri serapan atom adalah pada absorpsi atau penyerapan energi radiasi oleh atom. Setiap unsur atom-atomnya akan menyerap energi pada panjang gelombang tertentu dan pada kondisi analisis yang berbeda-beda untuk masing-masing logam dan masing-masing tipe SSA yang digunakan (Khopkar, 1990). Penyerapan energi dalam SSA akan menyebabkan elektron atom akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi (*excited state*). Untuk merubah seluruh atom ke tingkat energi yang lebih tinggi diperlukan suhu yang makin tinggi. Jumlah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan elektron ke tingkat energi tertentu dikenal sebagai potensial eksitasi untuk tingkat energi itu. Pada waktu kembali ke keadaan dasar, elektron melepaskan energi panas atau energi sinar (Clark, 1979).

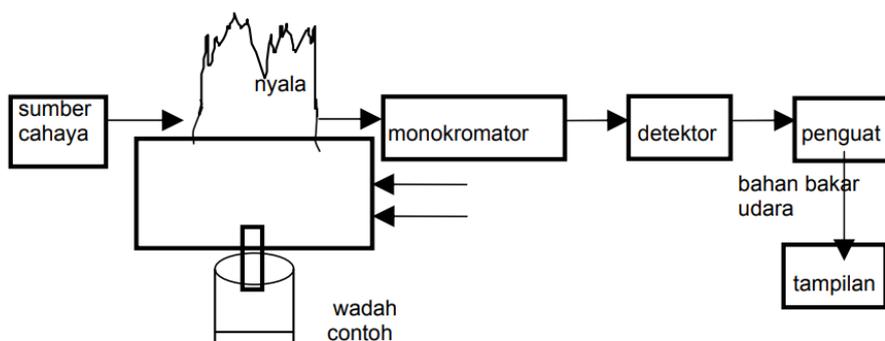
### **2.9.2. Prinsip Kerja Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)**

Prinsip kerja Spektrofotometri serapan atom (SSA) adalah absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom dari sampel akan menyerap sebagian sinar yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Penyerapan energi oleh atom terjadi pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan energi yang dibutuhkan oleh atom tersebut. Dengan menyerap energi, atom dalam keadaan dasar dapat mengalami eksitasi ke tingkat yang lebih tinggi. Keadaan ini bersifat labil, sehingga atom akan kembali ke tingkat energi dasar sambil mengeluarkan energi yang berbentuk radiasi. Cara kerja SSA dimulai ketika sumber cahaya dari lampu katoda yang berasal dari elemen yang sedang diukur, dilewatkan ke dalam nyala api yang berisi sampel yang telah teratomisasi, kemudian radiasi tersebut diteruskan ke detektor melalui monokromator. Detektor dipakai untuk mengukur intensitas cahaya, dimana akan menolak arah searah arus

dari emisi nyala dan hanya mengukur arus bolak-balik dari sumber radiasi atau sampel. Dari detektor menuju *chopper* atau sistem penguat yang dipakai untuk membedakan kembali radiasi yang berasal dari sumber radiasi dan nyala api setelah radiasi tersebut keluar dari detektor. Selanjutnya sinar masuk menuju readout yang merupakan alat pencatat hasil. Hasil pembacaan dapat berupa angka atau kurva yang menggambarkan absorbansi atau intensitas emisi (Kusuma dkk, 2019).

### 2.9.3. Instrumentasi Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Pada alat Spektrofotometri serapan atom (SSA) terdapat dua bagian utama yaitu suatu sel atom yang menghasilkan atom-atom gas bebas dalam keadaan dasarnya dan suatu sistem optik untuk pengukuran sinyal. Suatu skema umum dari alat Spektrofotometri serapan atom (SSA) adalah sebagai berikut:



**Gambar 6.** Skema Umum Komponen pada Alat SSA

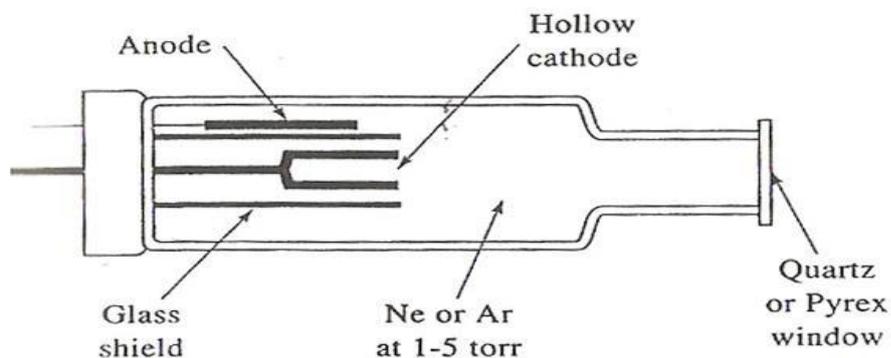
#### 2.9.3.1. Sel Atom

Terdapat dua tahap utama yang terjadi dalam sel atom pada alat SSA dengan sistem atomisasi nyala. Pertama, tahap nebulisasi untuk menghasilkan suatu bentuk aerosol yang halus dari larutan contoh. Kedua, disosiasi analit menjadi atom-atom bebas dalam keadaan gas. Pada atomisasi menggunakan nyala, digunakan gas pembakar untuk memperoleh energi kalor sehingga didapatkan

atom bebas dalam keadaan gas. Sedangkan pada atomisasi tanpa nyala digunakan energi listrik seperti pada atomisasi tungku grafit (*grafit furnace atomization*) (Anshori, 2005).

### 2.9.3.2. Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang digunakan dalam alat AAS ialah lampu katoda berongga (*hollow cathode lamp*). Lampu ini terdiri dari suatu katoda dan anoda yang terletak dalam suatu silinder gelas berongga yang terbuat dari kwarsa. Katoda terbuat dari logam yang akan dianalisis. Silinder gelas berisi suatu gas lembam pada tekanan rendah. Ketika diberikan potensial listrik maka muatan positif ion gas akan menumbuk katoda sehingga terjadi pemancaran spektrum garis logam yang bersangkutan (Anshori, 2005).



**Gambar 7.** Lampu Katoda Berongga

### 2.9.3.3. Monokromator dan Sistem Optik

Berkas cahaya dari lampu katoda berongga akan dilewatkan melalui celah sempit dan difokuskan menggunakan cermin menuju monokromator. Monokromator dalam alat SSA akan memisahkan, mengisolasi dan mengontrol intensitas energi yang diteruskan ke detektor. Monokromator yang biasa digunakan ialah monokromator difraksi *grating* (Anshori, 2005).

#### **2.9.3.4. Detektor dan Sistem Elektronik**

Energi yang diteruskan dari sel atom harus diubah ke dalam bentuk sinyal listrik untuk kemudian diperkuat dan diukur oleh suatu sistem pemrosesan data. Proses pengubahan ini dalam alat SSA dilakukan oleh detektor. Detektor yang biasa digunakan ialah tabung pengganda foton (*photomultiplier tube*), terdiri dari katoda yang dilapisi senyawa yang bersifat peka cahaya dan suatu anoda yang mampu mengumpulkan elektron. Ketika foton menumbuk katoda maka elektron akan dipancarkan, dan bergerak menuju anoda. Sehingga intensitas elektron yang sampai menuju anoda besar dan akhirnya dapat dibaca sebagai sinyal listrik. Untuk menambah kinerja alat maka digunakan suatu mikroprosesor, baik pada instrumen utama maupun pada alat bantu lain seperti *autosampler* (Anshori, 2005).

#### **2.9.3.5. Recorder**

Sinyal listrik yang keluar dari detektor diterima oleh piranti yang dapat menggambarkan secara otomatis kurva absorpsi. *Recorder* pada instrument AAS berfungsi mengubah sinyal yang diterima menjadi bentuk digital, yaitu dengan satuan absorbansi. Isyarat dari detektor dalam bentuk tenaga listrik akan diubah oleh *recorder* dalam bentuk nilai bacaan serapan atom (Nasir, 2019).

### **2.10. Validasi Metode**

Validasi metode analisis adalah suatu tindakan penilaian terhadap parameter tertentu, berdasarkan percobaan laboratorium untuk membuktikan bahwa parameter tersebut memenuhi persyaratan penggunaannya serta memberikan tingkat kepercayaan pada hasil analisis dari suatu metode. Adapun parameter validasi sebagai berikut :

### 2.10.1. Linearitas

Linearitas adalah kemampuan metode analisis yang memberikan respon baik secara langsung maupun dengan bantuan transformasi matematika, menghasilkan suatu hubungan yang proporsional terhadap konsentrasi analit dalam sampel (Pratama dkk, 2016). Uji linearitas bertujuan untuk mengetahui apakah dua variabel atau lebih yang diuji mempunyai hubungan yang linear atau tidak secara signifikan. Uji ini biasanya digunakan sebagai persyaratan dalam analisis kolerasi atau regresi linear. Menurut Setiawan dan Yosepha (2020) Dasar pengambilan keputusan dalam uji linearitas yaitu:

1. Jika nilai probabilitas  $> 0,05$  maka hubungan antara variabel (X) dengan (Y) adalah linear.
2. Jika nilai probabilitas  $< 0,05$  maka hubungan antara variabel (X) dengan (Y) adalah tidak linear.

Untuk pembentukan linearitas dibutuhkan minimal 5 variasi konsentrasi, sehingga dapat terbentuk kurva kalibrasi dan didapatkan persamaan 1.

$$y = a + bx \quad (1)$$

Keterangan :

y = Absorbansi sampel

a = Intersept

b = Slope

x = Konsentrasi sampel

### 2.10.2. Presisi (ketelitian)

Presisi adalah ukuran kedekatan hasil analisis diperoleh dari serangkaian pengukuran ulangan dari ukuran yang sama. Uji presisi dilakukan dengan metode reipabilitas, yaitu pengulangan dilakukan dalam kondisi yang sama dalam interval waktu yang singkat. Kondisi sama ini dapat diartikan dengan penggunaan laboratorium yang sama, metode analisis yang sama, dan pereaksi serta peralatan yang sama. Metode reipabilitas dianggap lebih efisien karena waktu yang digunakan lebih singkat serta dengan proses lebih mudah. Presisi yang

menggambarkan kesalahan acak dari suatu pengukuran dinyatakan dalam bentuk persentase *Relative Standard Deviation* (% RSD) (Mayaserli dkk, 2017). Hasil analisis dinyatakan sebagai simpangan baku (SD) dan simpangan baku relatif (RSD), metode dengan presisi yang baik ditunjukkan dengan perolehan RSD <7,3% . Standar deviasi dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 2 dan 3.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

SD = Standar deviasi

RSD = Simpangan baku relatif

x = Kadar sampel yang diperoleh

$\bar{x}$  = Kadar rata-rata

n = Jumlah pengulangan analisis

### 2.10.3. Akurasi (ketepatan)

Akurasi adalah parameter yang menunjukkan derajat kedekatan hasil analisa dengan kadar yang sebenarnya. Terkadang masalah dalam menentukan akurasi adalah ketidak tahuan terhadap nilai yang sebenarnya. Akurasi juga dapat diketahui dengan melakukan uji perolehan kembali (*recovery*) hasil uji ini akurasi dapat dinyatakan sebagai persen perolehan kembali (*recovery*) analit yang di tambahkan pada sampel. Akurasi dapat dilihat dari nilai *recovery spike* yaitu dengan cara menambahkan sejumlah analit (standar) yang diketahui konsentrnsinya kedalam contoh. Rata- rata dari nilai sebenarnya harus mendekati 100 %, karena nilai kisaran persentase *recovery* disyaratkan, yaitu 100 %  $\pm$  15 persentase *recovery* yang memenuhi persyaratan maka metode ini akurat (Mayaserli dkk, 2017). Perhitungan perolehan kembali (*recovery*) dapat ditetapkan dengan rumus pada Persamaan 4.

$$\% \text{ perolehan kembali} = \frac{(CF-CA)}{CA*} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

CF = Konsentrasi total sampel yang diperoleh dari pengukuran

CA = Konsentrasi sampel sebenarnya

CA\* = Konsentrasi analit yang ditambahkan

#### 2.10.4. Batas Deteksi (LoD) dan Batas Kuantitasi (LoQ)

Batas *Limit of Detection* (LoD) adalah jumlah terkecil analit dalam sampel dapat dideteksi yang masih memberikan respon signifikan dibandingkan dengan blanko. Batas deteksi merupakan parameter uji batas dan batas kuantitas merupakan parameter pada analisis yang diartikan sebagai kuantitas terkecil analit dalam sampel yang masih dapat memenuhi kriteria. *Limit of Quantitation* (LoQ) adalah konsentrasi analit terendah dalam sampel yang dapat ditentukan dengan presisi dan akurasi yang dapat diterima pada kondisi operasional metode yang digunakan. LoQ merupakan suatu gabungan antara konsentrasi dengan presisi dan akurasi yang dipersyaratkan. Jika konsentrasi LoQ menurun maka presisi juga menurun. LoQ adalah konsentrasi atau jumlah terendah dari analit yang masih dapat ditentukan dan memenuhi kriteria akurasi dan presisi. *Limit of Quantitation* disebut limit pelaporan (Dachriyanus, 2004). Limit deteksi dapat ditentukan dengan Persamaan 5 dan limit kuantifikasi dapat ditentukan dengan Persamaan 6.

$$\text{LoD} = \frac{3 \times Sb}{SI} \quad (5)$$

$$\text{LoQ} = \frac{10 \times Sb}{SI} \quad (6)$$

Keterangan:

LoD = Limit deteksi

LoQ = Limit kuantifikasi

Sb = Simpangan baku respon analitik dari blanko

SI = Arah garis linier (kepekaan arah) dari kurva antar respon terhadap konsentrasi = slope (b pada persamaan garis  $y = a + bx$ )

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Maret sampai Juni 2023. Sampel sedimen, air dan plankton diambil di Pesisir Pulau Sertung Kabupaten Lampung Selatan. Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada logam Pb, Cd dan Mn dilakukan di Institut Sains dan Teknologi Akprind, Yogyakarta.

#### 3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas laboratorium, oven, neraca analitik (ketelitian  $\pm 0,0001$  gram), desikator, ayakan 106 mesh, penangas listrik, mortar dan alu, termometer, *Eckman Grab sampler*, plankton net, botol *polypropylene*, kantung plastik transparan, *icebox* dan seperangkat alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sedimen, air dan plankton Pesisir Pulau Sertung,  $\text{HNO}_3$  65% (*Merck*),  $\text{HClO}_4$  pekat,  $\text{HCl}$  pekat,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  (*Merck*),  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  (*Fischerchem*),  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , kertas saring *Whatmann* No. 42, dan akuades.

### **3.3. Prosedur Penelitian**

#### **3.3.1. Pembuatan Larutan**

##### **3.3.1.1. Larutan HNO<sub>3</sub> 5%**

Larutan HNO<sub>3</sub> 65% diambil sebanyak 73,52 mL lalu diencerkan kedalam labu ukur 1000 mL yang sebelumnya telah di masukkan sedikit akuades kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan.

##### **3.3.1.2. Larutan Standar Timbal (Pb) 1000 ppm**

Ditimbang sebanyak 0,159 gram Pb (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, dilarutkan dan ditambahkan akuades hingga tanda batas kemudian dihomogenkan.

##### **3.3.1.3. Larutan Standar Kadmium (Cd) 1000 ppm**

Ditimbang sebanyak 0,210 gram Cd (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> yang didapat dari rumus diatas, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, dilarutkan dan ditambahkan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

##### **3.3.1.4. Larutan Standar Mangan (Mn) 1000 ppm**

Ditimbang sebanyak 0,307 gram MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, dilarutkan dan ditambahkan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

#### **3.3.2. Metode Pengambilan Sampel**

##### **3.3.2.1. Persiapan Pengambilan Sampel**

Persiapan pengambilan sampel terlebih dahulu dilakukan dengan cara mencuci bersih wadah sampel dengan sabun lalu dibilas dengan air, setelah itu wadah sampel direndam dengan larutan HNO<sub>3</sub> 5% selama 24 jam yang berfungsi untuk menghilangkan kontaminasi logam yang menempel dalam wadah sampel. Proses

selanjutnya yaitu pengeringan dan penyimpanan yang dilakukan dalam keadaan tertutup hingga wadah digunakan (SNI 6989.57:2008).

### 3.3.2.2. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan cara diambil langsung di Pesisir Pulau Sertung pada 3 lokasi yang berbeda. Seperti terlihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Lokasi Titik Pengambilan Sampel

Sampel sedimen diambil menggunakan *eckman grab* kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik transparan dan diberi label. Lalu sampel sedimen disimpan dalam *icebox* yang selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Kemudian untuk sampel air pesisir pulau diambil dengan menggunakan botol sampel yang kemudian dibilas dengan air pesisir pulau tersebut, sampel air pesisir pulau diambil sesuai dengan peruntukan analisis. Lalu untuk sampel plankton diambil menggunakan plankton net dan dimasukkan ke dalam botol, serta ditetesi dengan formalin 4% yang selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Setiap pengambilan sampel dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

### **3.3.3. Preparasi Sampel Penentuan Kadar Logam Pb, Cd, dan Mn**

Berdasarkan SNI 6989.84:2019, air pesisir pulau disaring dengan menggunakan kertas saring lalu dimasukkan ke dalam wadah botol plastik yang telah disiapkan, kemudian sebanyak 100 ml sampel yang akan diperiksa kadar logam Pb, Cd, dan Mn dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL dan ditambahkan 5 mL larutan  $\text{HNO}_3$  pekat lalu ditutup menggunakan kaca arloji, setelah itu dipanaskan perlahan-lahan sampai volumenya berkisar 10-20 mL. Dibilas corong menggunakan akuades dan dimasukkan air bilasan tersebut ke dalam Erlenmeyer. Kemudian pindahkan larutan uji ke dalam labu ukur 100 mL dan tambahkan air sampai tanda batas lalu homogenkan. Filtrat yang dihasilkan kemudian diukur dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penentuan kadar logam berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Mangan (Mn) pada plankton, sampel plankton yang sudah ditetesi dengan formalin 4% kemudian di pindahkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL sebanyak 25 mL. Kemudian sampel plankton ditambahkan  $\text{HNO}_3$  68% sebanyak 3-4 tetes dan dihomogenkan. Lalu sampel disaring menggunakan kertas saring. Kemudian filtrat yang dihasilkan diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Berdasarkan SNI 06-6992.3-2004 dan SNI 06-6992.4-2004 tentang penentuan kadar logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada sedimen, sampel sedimen dikeringkan kemudian dibuang benda-benda asing seperti plastik, daun, dan bahan lain yang bukan bahan uji, lalu dihaluskan dengan cara digerus dan dihomogenkan. Ditimbang sampel sedimen yang sudah dihomogenkan sebanyak  $\pm 3,0$  g, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml dan ditambahkan 25 ml air akuades kemudian diaduk menggunakan batang pengaduk. Setelah itu, ditambahkan 5 ml sampai 10 ml asam nitrat ( $\text{HNO}_3$  pekat) lalu diaduk hingga bercampur rata dan ditambahkan 3 butir sampai 5 butir batu didih lalu ditutup dengan kaca arloji kemudian dipanaskan di atas penangas listrik dengan suhu  $105^\circ\text{C}$  sampai  $120^\circ\text{C}$  hingga volume sampel  $\pm 10$  ml, lalu di angkat dan didinginkan. Ditambahkan 5 ml  $\text{HNO}_3$  pekat dan 1 ml sampai 3 ml  $\text{HClO}_4$  pekat tetes demi tetes melalui dinding kaca erlenmeyer kemudian dipanaskan kembali sampai timbul asap putih dan larutan contoh uji menjadi jernih. Setelah timbul asap putih pemanasan dilanjutkan selama  $\pm 30$  menit, lalu sampel didinginkan dan disaring. Kemudian filtrat sampel ditempatkan pada labu ukur 100 ml dan ditambahkan aquades sampai tanda batas. Filtrat sampel diukur serapannya dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung dan dilakukan pengulangan sampel sebanyak tiga kali pada titik sampel yang dipilih.

Berdasarkan SNI 06.6989.5-2004 tentang penentuan kadar logam Mangan (Mn) pada sedimen, Sedimen basah dijemur selama beberapa hari untuk selanjutnya dihaluskan dengan cara digerus dan diayak menggunakan saringan. Sedimen yang telah homogen dikeringkan dalam oven pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Ditimbang dengan teliti sebanyak  $\pm 10$  g sedimen kering kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan campuran  $\text{HCl}$  dan  $\text{HNO}_3$  dengan perbandingan 3:1 sebanyak 10 ml. Kemudian digoyangkan selama 30 menit dan didiamkan selama 3 jam pada suhu ruang. Setelah didiamkan selama 3 jam, ditambahkan 50 mL akuades lalu disaring dengan menggunakan kertas saring. Sisa sedimen pada kertas saring dicuci dengan 5 mL akuades sebanyak lima kali pengulangan. Kemudian filtrat yang dihasilkan diukur dengan menggunakan

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung dan dilakukan pengulangan sampel sebanyak tiga kali pada titik sampel yang dipilih.

### **3.3.4. Pembuatan Kurva Kalibrasi**

#### **3.3.4.1. Kurva Kalibrasi Timbal (Pb)**

Larutan standar timbal (Pb) 1000 ppm dipipet sebanyak 10 mL kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL. Larutan diencerkan dengan ditambahkan akuades hingga tanda batas dan larutan dihomogenkan sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 100 ppm. Selanjutnya larutan dengan konsentrasi 100 ppm tersebut dipipet sebanyak 0,5; 1; 2,5; 5; dan 10 mL, masing-masing larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Larutan diencerkan dengan ditambahkan akuades sampai tanda batas dan dihomogenkan sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 0,5; 1; 2,5; 5 dan 10 ppm. Larutan-larutan standar timbal tersebut diukur serapannya dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

#### **3.3.4.2. Kurva Kalibrasi Kadmium (Cd)**

Larutan standar kadmium (Cd) 1000 ppm dipipet sebanyak 10 mL kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL. Larutan diencerkan dengan ditambahkan akuades hingga tanda batas dan larutan dihomogenkan sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 100 ppm. Selanjutnya larutan dengan konsentrasi 100 ppm tersebut dipipet sebanyak 0,25; 0,5; 1; 2; dan 5 mL, masing-masing larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Larutan diencerkan dengan ditambahkan akuades sampai tanda batas dan dihomogenkan sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 0,25; 0,5; 1; 2 dan 5 ppm. Larutan-larutan standar kadmium tersebut diukur serapannya dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

#### **3.3.4.3. Kurva Kalibrasi Mangan (Mn)**

Larutan standar mangan (Mn) 1000 ppm dipipet sebanyak 10 mL kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL. Larutan diencerkan dengan ditambahkan akuades hingga tanda batas dan larutan dihomogenkan sehingga diperoleh larutan

dengan konsentrasi 100 ppm. Selanjutnya larutan dengan konsentrasi 100 ppm tersebut dipipet sebanyak 1, 2, 5, 10, dan 20 mL, masing-masing larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Larutan diencerkan dengan ditambahkan akuades sampai tanda batas dan dihomogenkan sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 1; 2; 5; 10 dan 20 ppm. Larutan-larutan standar mangan tersebut diukur serapannya dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Dari grafik kurva standar terdapat korelasi antara konsentrasi (x) dengan absorbansi (y). Dengan menggunakan persamaan regresi linier maka konsentrasi dari sampel dapat diketahui pada Persamaan 1 :

Setelah konsentrasi pengukuran diketahui, maka konsentrasi sebenarnya dari dalam sampel kering dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$M = \frac{CVF}{B} \quad (7)$$

Keterangan:

M = Konsentrasi logam dalam sampel (mg/kg)

C = Konsentrasi yang diperoleh dari kurva kalibrasi (mg/L)

V = Volume larutan sampel (L)

F = Faktor Pengenceran

B = Bobot sampel (kg)

### 3.3.5. Validasi Hasil

Penelitian ini menggunakan empat validasi hasil yaitu linieritas, presisi (ketelitian), akurasi (ketepatan), batas deteksi (LoD) dan batas kuantitasi (LoQ).

#### 3.3.5.1. Linieritas

Uji ini dilakukan dengan membuat kurva kalibrasi standar dari masing-masing logam dengan lima macam konsentrasi yaitu untuk standar Pb yaitu 0,5; 1; 2,5; 5 dan 10 ppm. Konsentrasi untuk standar Cd yaitu 0,25; 0,5; 1; 2 dan 5 ppm. Konsentrasi untuk standar Mn yaitu 1; 2; 5; 10 dan 20. Nilai absorbansi kemudian

diproses untuk selanjutnya dapat ditentukan nilai kemiringan (*slope*), intersep, dan koefisien korelasinya.

### **3.3.5.2. Presisi (Ketelitian)**

Penentuan presisi dilakukan dengan mengukur konsentrasi sampel dengan 4 kali pengulangan. Nilai absorbansi yang diperoleh tersebut kemudian ditentukan nilai konsentrasi (menggunakan kurva kalibrasi), lalu nilai simpangan baku (SD) serta nilai relatif standar deviasi (RSD). Metode dengan presisi yang baik ditunjukkan dengan perolehan relatif standar deviasi (RSD) <15%.

### **3.3.5.3. Akurasi (Ketepatan)**

Akurasi dinyatakan sebagai persen perolehan kembali (*recovery*) yang dilakukan dengan metode *spike*, yaitu penambahan larutan standar ke dalam sampel larutan yang mengandung analit. Akurasi ini bertujuan untuk mengetahui kedekatan antara nilai yang diterima sebagai nilai kebenaran dibandingkan dengan nilai yang diperoleh.

#### **3.3.5.3.1. Uji Perolehan Kembali Pb**

Sebanyak 0,1 mL larutan standar Pb 100 ppm ditambahkan ke dalam labu ukur 50 mL yang berisi larutan sampel, dihomogenkan dengan menggunakan stirrer, kemudian ditentukan serapannya.

#### **3.3.5.3.2. Uji Perolehan Kembali Cd**

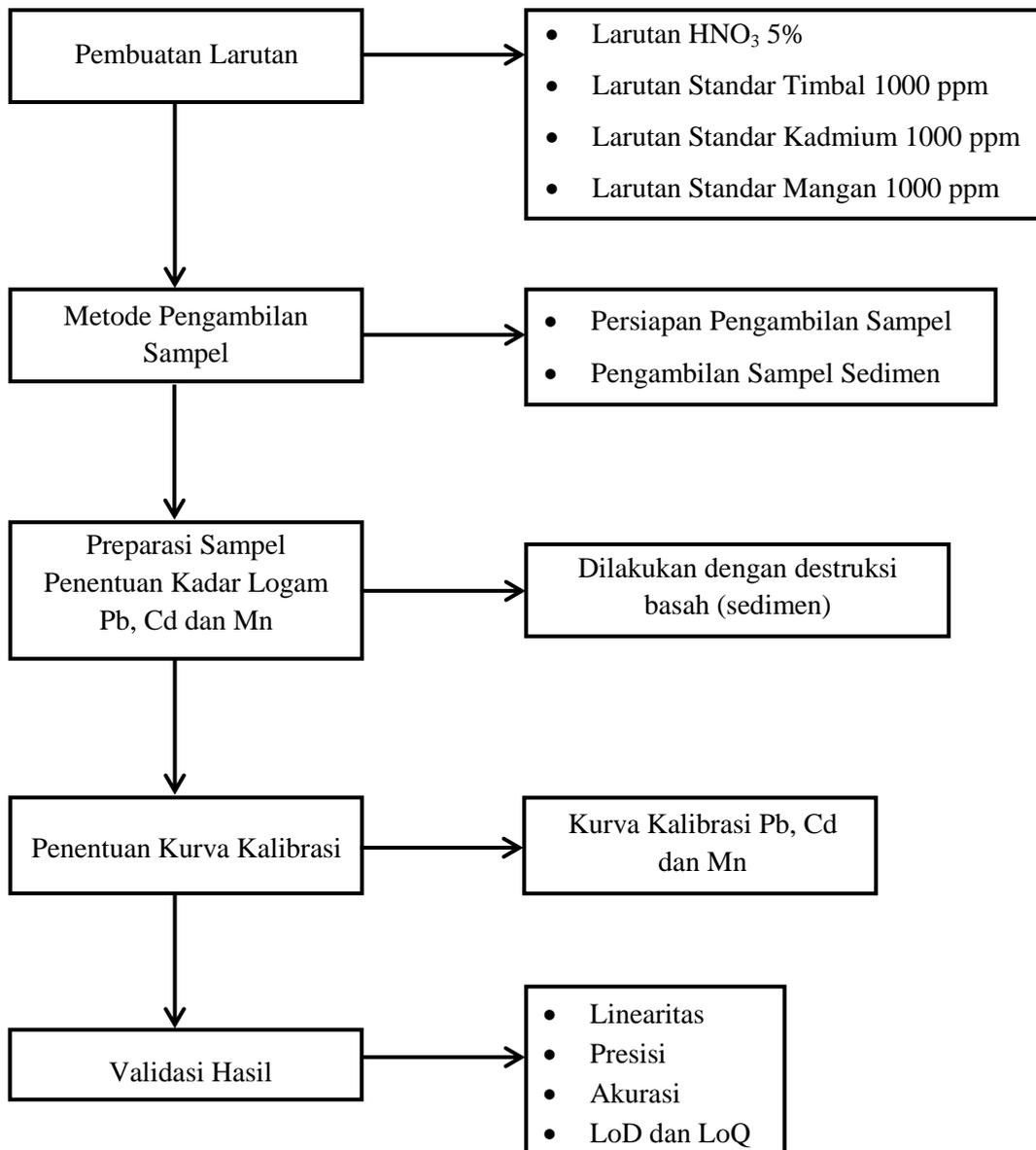
Sebanyak 0,1 mL larutan standar Cd 100 ppm ditambahkan ke dalam labu ukur 50 mL yang berisi larutan sampel, dihomogenkan dengan menggunakan stirrer, kemudian ditentukan serapannya.

#### **3.3.5.3.3. Uji Perolehan Kembali Mn**

Sebanyak 0,1 mL larutan standar Mn 100 ppm ditambahkan ke dalam labu ukur 50 mL yang berisi larutan sampel, dihomogenkan dengan menggunakan stirrer, kemudian ditentukan serapannya.

#### **3.3.5.4. Batas Deteksi (LoD) dan Batas Kuantitasi (LoQ)**

Pada penelitian ini batas deteksi diperoleh dengan mengukur respon blanko sebanyak 4 kali pengulangan. Hasil pengukuran tersebut kemudian diproses dengan metode perhitungan persamaan kurva kalibrasi secara statistik dengan menggunakan Persamaan 5 dan 6.



**Gambar 9.** Diagram Alir

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis rerata kandungan logam Pb pada sedimen di lokasi 1 yaitu sebesar  $33,826 \pm 0,042$  ppm, pada lokasi 2 yaitu sebesar  $33,881 \pm 0,118$  ppm dan pada sedimen di lokasi 3 yaitu sebesar  $33,854 \pm 0,020$  ppm. Konsentrasi logam berat Pb pada sedimen di ketiga lokasi berbeda berada di bawah baku mutu yang sudah ditetapkan oleh *National Sediment Quality Survey* US EPA (2004) yaitu 47,820 – 161,060 ppm.
2. Hasil analisis rerata kandungan logam Cd pada sedimen di lokasi 1 yaitu sebesar  $15,983 \pm 0,114$  ppm, pada lokasi 2 yaitu sebesar  $15,824 \pm 0,037$  ppm dan pada sedimen di lokasi 3 yaitu sebesar  $15,556 \pm 0,976$  ppm. Konsentrasi logam berat Cd pada sedimen di ketiga lokasi berbeda berada di atas baku mutu yang sudah ditetapkan oleh *National Sediment Quality Survey* US EPA (2004) yaitu 0,650 – 2,490 ppm.
3. Hasil analisis rerata kandungan logam Mn pada sedimen di lokasi 1 yaitu sebesar  $21,734 \pm 0,877$  ppm, pada lokasi 2 yaitu sebesar  $23,036 \pm 0,524$  ppm dan pada sedimen di lokasi 3 yaitu sebesar  $23,128 \pm 0,145$  ppm. Konsentrasi logam berat Mn pada sedimen di ketiga lokasi berbeda masih berada di bawah baku mutu yang sudah ditetapkan oleh *National Sediment Quality Survey* US EPA (2004) yaitu 120 – 284 ppm.

4. Hasil analisis kadar logam Pb pada air didapatkan sebesar 0,241 ppm; Cd sebesar 0,027 ppm; Mn sebesar 0,059 ppm. Konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada air di ketiga lokasi berada di atas ambang batas, sedangkan logam Mn berada di bawah ambang batas yang ditetapkan Keputusan Kementerian Negara Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 tentang baku mutu air laut pada logam Pb, Cd dan Mn berturut-turut 0.008 mg/L, 0.001 mg/L and 0.1 mg/L
5. Hasil analisis pada sampel plankton logam Pb didapatkan sebesar 2,380 ppm; Cd sebesar 0,449 ppm dan pada logam Mn didapatkan sebesar 0,230 ppm. Konsentrasi logam berat Pb, Cd dan Mn pada plankton lebih tinggi dibandingkan pada sampel air.

## **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran perlu adanya penelitian mengenai keberadaan logam berat yang lain pada air, sedimen dan biota laut di Pesisir Pulau Sertung Kepulauan Krakatau, agar dapat mengetahui seberapa besar tingkat pencemaran logam berat tersebut dalam air, sedimen dan biota di Pesisir Pulau Sertung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanti, V.R., Endang, L.W., dan S. Murwani. 2018. *Keragaman Plankton dan Kandungan Logam Beratnya di Perairan Cagar Alam Laut Kepulauan Krakatau*. Artikel. Universitas Lampung.
- Agustina, T. 2010. *Kontaminasi Logam Berat pada Makanan dan Dampaknya pada Kesehatan*. Teknobuga. Universitas Semarang.
- Ahyar, D. G. B., dan Yusli, W. 2017. Sebaran dan Bioakumulasi Logam Berat Pb dan Cd Pada Bivalvia *Ananda nodifera*, *Meretix lyrata*, dan *Solen lamarckii* di Perairan Selat Madura Bagian Barat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 9(2): 631-643.
- Anshori, J. 2005. *Spektrometri Serapan Atom*. Universitas Padjajaran. Bandung.
- AOAC. 2005. *Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemist*. Virginia USA : Association of Official Analytical Chemist, Inc.
- Asdak, C. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Universitas Gajah Mada Press. Yogyakarta.
- Azaman, A., Juahir, H., Yunus, K., Azida, A., Kamarudin, M.K., dan Toriman, M. E. 2015. Heavy metal in fish: analysis and human health- A review. *Jurnal Teknologi*. 77(1):61–69.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). 2010. *Mengenal Logam Beracun*. Jakarta.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). 2018. *Batas Maksimum Cemaran Logam Berat Dalam Pangan Olahan*. Jakarta.
- Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA). 2006. *Kepulauan Krakatau*. BKSDA Lampung. Lampung.

- Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA). 2012. *Kepulauan Krakatau. BKSDA Lampung*. Lampung.
- Bryan, G. W. 1976. *Heavy metal contamination in the sea. In R. Johnston (Ed). Effects of pollutants on aquatic organisms*. Cambridge University press. Cambridge.
- Clark, D.V. 1979. *Heavy Metal in Sediment*. Butterworth-Heinemann. USA.
- Cobb, A. 2008. *Cadmium*. Marshall Cavendish Corporation. New York.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi Edisi I*. Universitas Andalas Press. Padang.
- Departemen Kesehatan (DepKes). 2001. *Kerangka Acuan Uji Petik Kadar Timbal (Pb) pada Spesimen Darah Kelompok Masyarakat Berisiko Tinggi Pencemaran Timbal*. Ditjen PPM dan PLP Departemen Kesehatan. Jakarta.
- Departemen Kesehatan. 1990. *Peraturan Menteri Kesehatan No.416/MENKES/PER/IX/1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air*. Jakarta.
- Effendi, F., Tresnaningsih, E., Sulistomo, A.W., Wibowo, S., dan Hudoyo, K.S. 2012. *Penyakit Akibat Kerja Karena Paparan Logam Berat*. Direktorat Bina Kesehatan Kerja dan Olahraga Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Emilia., Destiarti, L., dan Adhitiyawarman. 2021. Penentuan Kadar Mangan (Mn) Pada Air Gambut Secara Spektrofotometri Uv-Vis Dengan Perbandingan Metode Kurva Kalibrasi dan Adisi Standar. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*. Vol. 4 No. 1, Hal 1-10.
- Faqihuddin., dan Ubaydillah, M. I. 2021. Perbandingan Metode Destruksi Kering dan Destruksi Basah Instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) untuk Analisis Logam. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Riset dan Pengabdian*. Hal 121-127.

- Fauziah, A. 2010. *Efektivitas Saringan Pasir Cepat Dalam Menurunkan Kadar Mangan (Mn) Pada Air Sumur Dengan Penambahan Kalium Permanganat (KMnO<sub>4</sub>) 1%*. Skripsi FKM USU. Medan.
- Febrianti, D., Hidayat, D., dan Septiani, D. 2016. Tingkat Pencemaran Logam Kadmium (Cd) dan Kobalt (Co) pada Sedimen di Sekitar Pesisir Bandar Lampung. *Jurnal Analit: Analytical and Enviromental Chemistry*. FMIPA Universitas Lampung. 1(1).
- Febrina, L., dan Ayuna, A. 2014. Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 7(1).
- Fernandes, C., Fontainhas-Fernandes, A., Cabral, D., dan Salgado, M.A. 2008. *Logam Berat dalam Air, Sedimen dan Jaringan Liza Saliens dari Laguna Esmoriz-Paramos, Portugal*. Artikel Pemantauan dan Penilaian Lingkungan. 136:1-3.
- Fiantis, D. 2006. Laju Pelapukan Kimia Debu Vulkanis G. *Talang dan Pengaruhnya Terhadap Pembentukan Mineral Liat Non Kristalin*. Artikel Penelitian. Universitas Andalas Padang.
- Franchini, I. R., Hernandez, M. L., Espinosa, M. G. R., dan Martinez, R. R. 2015. *Bioaccumulation of Metals Arsenic, Cadmium, and Lead in Zooplankton and Fishes from the Tula River Watershed, Mexico*. *Water, Air, and Soil Pollution*. 227(5):1-12.
- Giofany, F., Hidayat, D., dan Septiani, D. 2016. Kajian Kandungan Logam Berat Mangan (Mn) dan Nikel (Ni) di Pesisir Teluk Lampung. *Jurnal Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. FMIPA Universitas Lampung. 1(1).
- Gultom, S.P. 2020. *Penentuan Status Cemar Logam Mangan pada Daging Kerang Kepah (Polymesoda erosa) Di Sungai Batanghari Kotamadya Jambi*. Skripsi. Universitas Jambi.

- Hanuun, N.I. 2017. *Analisis Logam Berat (Pb, Ni, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn, Co, dan Ag) pada Sedimen laut dan foraminifera Bentik di Perairan Cagar Alam Laut Krakatau Provinsi Lampung dengan metode ICP-OES*. Skripsi. Universitas Lampung
- Harteman, E. 2011. *Dampak Kandungan Logam Berat Terhadap Kemunculan Polimorfisme Ikan Badukang (Arius maculatus Fish & Bian) dan Sembilang (Plotus Canius Web & Bia) di Muara Sungai Kahayan serta Katingan, Kalimantan Tengah (Disertasi)*. IPB. Bogor.
- Irianti, T. T., Kuswandi, Nuranto, S., dan Budiyatni, A. 2017. *Logam Berat dan Kesehatan*. Universitas Gajah Mada Press. Yogyakarta.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, Blessi, Krishnamurthy N. and Beeregowda. 2014. *Toxicity, Mechanism and Health Effects of Some Heavy Metals*. Article Interdiscip Toxicol. 7(2):60–72.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang *Baku Mutu Air Laut*. Jakarta.
- Khan, S. Farooq, R. Shahbaz, S. Khan, M.A. and Sadique, M. 2009. Health Risk Assessment of Heavy Metals for Population via Consumption of Vegetables. *World Applied Sciences Journal*. 6(12):1602-1606.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas. Indonesia Press. Jakarta.
- Kusuma, A.T., Effendi, N., Abidin, Z., dan Awaliah, S. 2019. Analisis kandungan logam berat timbal (Pb) dan raksa (Hg) pada cat rambut yang beredar di Kota Makassar dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Celebes Enviromental Science Journal*. 1(1):6-12.
- Magdalena, A. S. M., Panggabean, A. S., dan Arif, M. S. 2020. Validasi Metode Penentuan Kadmium (Cd) pada Pupuk Organik Padat Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) di PT Global Environment

- Laboratory. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Berwawasan Lingkungan*. Jurusan Kimia FMIPA UNMUL. Samarinda. 7-10.
- Masum, M.U., dan Purnomo, T. 2022. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Papyrus (*Cyperus papyrus* L.) di Sungai Wangi Pasuruan. *Jurnal Unesa Lentera Bio*. 11(2):273-283.
- Mayaserli, D.P., Renowati., dan Biomed,M. 2017. Analisis Kadar Logam Timbal (Pb) pada Rambut Karyawan SPBU. *Journal of Sainstek*. 9(1):19-25.
- Mawaddah, N.A., Lukman, Y.P., dan Aris, S. 2021. Aspek Geostrategi Pada Selat Sunda dalam Mencapai Visi Poros Maritim Dunia. *Jurnal Strategi Pertahanan Laut*. 7(3).
- Milasari, F., Hidayat, D., Rinawati, Supriyanto, R., dan Kiswandono, A. A. 2020. Kajian Sebaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) Pada Sedimen Di Sekitar Perairan Teluk Lampung. *Jurnal Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 5(1).
- Morais, S., Costa, F. G., and Pereira, M. L. 2012. *Heavy Metals and Human Health*. Environmental Health –Emerging Issues and Practice. 227-246.
- Mudgal, V. 2010. Effect of Toxic Metals on Human Health. *Journal Open Nutraceuticals*. 3:94-99.
- Nasir, M. 2019. *Spektrometri Serapan Atom*. Syiah Kuala University Press. Banda Aceh.
- Naria, E. 2005. Mewaspada Dampak Pencemar Timbal (Pb) Di Lingkungan Terhadap Kesehatan. *Jurnal Komunikasi Penelitian*. 17(4).
- Nengsih, A.Z., Afkar, Z., dan Bayharti. 2013. Analisis Kandungan Mangan (Mn) dan Tembaga (Cu) dalam Bijih Besi di Daerah Abai Sangir Kabupaten Solok Selatan secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Chemistry Journal of State University of Padang*. 2(1):1-5.

- Novriadi., Endang, L.W., dan Rikha, A.S. 2013. Evaluasi Komunitas Terumbu Karang di Perairan Cagar Alam Laut Krakatau. *Jurnal Ilmiah : Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*. 1(1):30-34.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Palar, H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka cipta. Jakarta.
- Pariwono. John I. 1999. *Kondisi Oseanografi Perairan Pesisir Lampung*. CRMP. Jakarta.
- Patrick, L. 2003. *Toxic Metals and Antioxidants: Part II The Role of Antioxidants in Arsenic and Cadmium Toxicity*. *Altern Med Rev*. 8(2): 106–128.
- Pemerintah Republik Indonesia. 1990. *Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air*. Presiden Republik Indonesia. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 1999 *tentang pengendalian pencemaran dan atau kerusakan laut*.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2021. *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Presiden Republik Indonesia. Jakarta.
- Permana, R., Andhikawati, A., Ferdian., dan Wahyu, D. 2022. Mekanisme Toksisitas Logam Kadmium Terhadap Fitoplankton : Riview. *Jurnal Marinade*. 5(1):54-61.
- Permata, M. A., Sunaryo, A. I., dan Diansyah, G. 2018. Kandungan Logam Berat Cu (Tembaga) dan Pb (Timbal) pada Air dan Sedimen Di Kawasan Industri Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Marine Science*. 1(1): 7-14.
- Pratama, D. S., Hidayat, D., Wijianto, E., dan Yuniar, H. 2016. Validasi Metode Analisis Pb dengan Menggunakan Flame Spektrofotometer Serapan Atom

- (SSA) Untuk Studi Biogeokimia dan Toksisitas Logam Timbal Pada Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum*). *Jurnal Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 1(1).
- Prasetio, H., Anna, I., S. Purwiyanto, dan Andi, A. 2016. Analisis Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) dalam Plankton di Muara Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Maspari*. 8(2):73-82.
- Purnami, E.H. 2019. *Kajian Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg), Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) pada Sedimen di Sungai Way Kuripan Bandar Lampung Secara Spektrofotometri Serapan Atom*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Putri, Y.O. 2020. *Kajian Kandungan Logam Berat Cd, Cu, Pb, Cr dan Mn pada Mangrove di Teluk Lampung Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Rachmaningrum, M., Wardhani, E., dan Pharmawati, K. 2015. Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Perairan Sungai Citarum Hulu Segmen Dayeuhkolot-Nanjung . *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*. 3(1):1-10.
- Rizkiana, L., Karina, S., dan Nurfadillah. 2017. Analisis timbal (pb) pada sedimen dan air laut di kawasan pelabuhan nelayan gampong Deah Glumpang kota Banda Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*. 2(1):89-96.
- Rochyatun, E., dan Rozak, A. 2007. *Pemantauan Kadar Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta*. Makara Sains.
- Rusli, A. 2015. *Pengujian Kuantitatif Kandungan Logam dalam Cat Dengan Teknik Radiografi Sinar X*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat.

- Safitri, B.R. 2019. Analisis Kandungan Mineral Logam Mangan (Mn) di Kawasan Pertambangan Desa Bangkang. *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram*. 6(1).
- Sarkar, B. 2002. *Heavy Metals in the Environment*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Setiawan, C. K., dan Yosepha, S. Y. 2020. Pengaruh Green Marketing dan Brand Image Terhadap Keputusan Pembelian Produk The Body Shop Indonesia. *Jurnal Ilmiah M-Progress*. 10(1).
- Siaka, M. 2008. Korelasi Antara Kedalaman Sedimen di Pelabuhan Benoa dan Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cu. *Jurnal Kimia*. 2(1).
- Susiati, H., Arman, A., dan Yarianto. 2009. Kandungan Logam Berat (Co,Cr, Cs, As, Sc, dan Fe) Dalam Sedimen di Kawasan Pesisir I Semenanjung Muria. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*. 11(1).
- USEPA (National Sediment Quality Survey). 2004. *The Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of United States, National Sediment Quality Survey :2<sup>nd</sup> Edition*. EPA-823-R-04-2007. U. S. Environmental Protection Agency. Washington D. C.
- Usman, K.O. 2014. Analisis sedimentasi pada muara Sungai Komering Kota Palembang. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2(2):209–215.
- Wahyuni, E.T., S. Triyono., dan Suherman. 2012. Penentuan Komposisi Kimia Abu Vulkanik Dari Erupsi Gunung Merapi. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*. 19(2):150-159.
- Walter, T.R., Haghshenas Haghghi, M., Schneider, F.M., Coppola, D., Motagh, M., Saul, J., Babeyko, A., Dahm, T., Troll, V.R., Tilmann, F., Heimann, S., Valade, S., Triyono, R., Khomarudin, R., Kartadinata, N., Laiolo, M., Massimetti, F., and Gaebler, P. 2019. *Complex hazard cascade culminating in the Anak Krakatau sector collapse*. Nature Communications.

- Wirasetiyawan, D., Nawanto, B.S., Nur, R., dan Didik, S.M. 2021. *Identifikasi Perubahan Kontur Kedalaman Laut di perairan Sekitar Anak Gunung Krakatau Pasca Erupsi Tahun 2018*. Artikel Studi Hidrografi. Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut.
- World Health Organization (WHO). 2009. *Improving Health System and Service for Mental Health: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*.
- Wulan, S. P., Thamrin., dan Amin, B. 2013. *Konsentrasi, Distribusi dan Korelasi Logam Berat Pb, Cr dan Zn Pada Air dan Sedimen di Perairan Sungai Siak Sekitar Dermaga PT Indah Kiat Pulp and Paper Perawang-Provinsi Riau*. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Riau. Riau.
- Wulandari, E. A., dan Sukesu. 2013. Preparasi Penentuan Kadar Logam Pb, Cd dan Cu dalam Nugget Ayam Rumput Laut (*Eucheuma cottoni*). Jurusan Kimia, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 2(2).
- Yandra, A.P., dan Mairizki, F. 2020. Analisis Logam Berat pada Air Tanah di Kecamatan Kubu Babussalam, Rokan Hilir, Riau. *Jurnal Katalisator*. 5(1):47-53.
- Yuni, D.P. 2020. Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*. 1(1):59-65.