

**DISTRIBUSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd)
DALAM SEDIMEN PERMUKAAN DI PELABUHAN
SOEKARNO-HATTA MAKASSAR**

AYU NOVITRI

H031 18 1016



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**DISTRIBUSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd)
DALAM SEDIMEN PERMUKAAN DI PELABUHAN
SOEKARNO-HATTA MAKASSAR**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana*

Oleh

AYU NOVITRI

H031 18 1016



MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**DISTRIBUSI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd)
DALAM SEDIMEN PERMUKAAN DI PELABUHAN
SOEKARNO-HATTA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh

AYU NOVITRI

H031 18 1016

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang Sarjana Program Studi
Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

Pada 16 Agustus 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

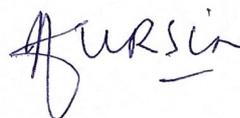
Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Syarifuddin Liong, M.Si
NIP. 19520505 197403 1 002

Pembimbing Pertama



Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc
NIP. 19580523 198710 2 001

Ketua Program Studi



Dr. St. Fauziah, M.Si
NIP. 19720202 199903 2 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ayu Novitri

NIM : H031181016

Program Studi : Kimia

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul “Distribusi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Sedimen Permukaan di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar” adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 16 Agustus 2022

Yang Menyatakan,



AYU NOVITRI

LEMBAR PERSEMBAHAN

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan

(QS. Al-Insyirah: 5)

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah *Subhanahu wa ta'ala* yang telah memberikan nikmat rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam* yang telah membawa kita merasakan nikmat iman dan islam.

Tugas akhir yang berjudul “**Distribusi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Sedimen Permukaan di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar**” ini disusun sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Departemen Kimia Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu disamping rasa syukur yang tak terhingga atas nikmat pemberian Allah *Subhanahu wa ta'ala*, penulis juga berterima kasih kepada bapak Dr. Syarifuddin Liong, M.Si selaku pembimbing utama dan ibu Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc selaku pembimbing pertama yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberi solusi dari awal penyusunan hingga selesainya penulisan ini. Serta penghargaan setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu Dr. St. Fauziah, M.Si dan ibu Dr. Hasnah Natsir, M.Si, selaku tim penguji yang telah memberi banyak saran dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Seluruh dosen di lingkungan Fakultas MIPA, terkhusus dosen Departemen Kimia Universitas Hasanuddin, yang telah banyak memberikan ilmu, pengalaman, serta masukan selama masa studi.
3. Seluruh staf pegawai Fakultas MIPA Unhas maupun Departemen Kimia FMIPA Unhas, yang memberikan bantuan dan kerjasamanya.

4. Bapak dan ibu analis laboratorium di lingkungan Fakultas MIPA, terkhusus kak fiby selaku analis laboratorium kimia analitik yang telah banyak membantu dan memberi kemudahan kepada penulis dalam melakukan penelitian di laboratorium.
5. Terkhusus kepada kedua orang tua yang saya cintai dan saya banggakan yang telah banyak berkorban dalam mengasuh, membimbing, mendidik, mendukung, dan selalu mendoakan kesuksesan kepada penulis hingga saat ini.
6. Seluruh keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan doa bagi penulis dalam menyelesaikan masa studi.
7. Ilmi, Laras, Suci, dan Widi yang selalu mendukung, memberikan semangat dan mendoakan kelancaran kepada penulis dalam menyelesaikan masa studi.
8. Rekan peneliti Nisa, Puteri, dan Alex atas kerja sama, dukungan dan semangat sehingga penelitian ini terselesaikan.
9. Teman-teman Kimia 2018 terkhusus yang selalu memberikan dukungan kepada penulis..
10. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Makassar, 11 Juli 2022

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini mengenai distribusi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dalam sedimen permukaan di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar telah dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Sampel sedimen diambil pada empat stasiun di sekitar pelabuhan yaitu di kanal, pangkalan Soekarno, depo Pertamina dan pulau khayangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar logam Pb dalam sedimen permukaan berkisar antara 26,17-89,54 mg/kg dan logam Cd berada pada kisaran 1,50-5,55 mg/kg. Distribusi logam berat Pb pada stasiun 2, 3, dan 4 telah melebihi ambang batas, sedangkan pada stasiun 1 belum melebihi ambang batas. Distribusi logam berat Cd telah melebihi ambang batas baku mutu logam dalam sedimen pada semua stasiun.

Kata kunci: Kadmium (Cd), Pelabuhan, Sedimen Permukaan, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), Timbal (Pb).

ABSTRACT

This research discusses about the distribution of heavy metals ion lead (Pb) and cadmium (Cd) in surface sediments around Soekarno-Hatta ship harbor which have been processed using Atomic Absorption Spechtrophotometer (AAS). Sediments were taking from four points stations around canal, Soekarno base and Pertamina depot. The result showed that Pb metal levels in sediment ranged 26,17-89,54 mg/kg and Cd metal ranged between 1,50-5,55 mg/kg. Distribution of heavy metal Pb at stations 2, 3 and 4 has exceeded the threshold, while at station 1 it has not exceeded the threshold. Distribution of heavy metal Cd has exceeded the metal quality standard in sediment at all stations.

Keywords: Atomic Absorption Spechtrophotometer (AAS), Cadmium (Cd), Harbor, Lead (Pb), Surface Sediment.

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pencemaran Laut.....	7
2.2 Logam Berat.....	8
2.2.1 Timbal (Pb).....	11
2.2.2 Kadmium (Cd).....	14
2.3 Sedimen.....	16
2.4 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Bahan Penelitian.....	21
3.2 Alat Penelitian.....	21
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.4 Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel.....	21
3.5 Prosedur Penelitian.....	22
3.5.1 Pengambilan Sampel Sedimen.....	22

3.5.2 Penentuan Kadar Air.....	22
3.5.4 Pembuatan Larutan Baku Pb.....	23
3.5.5 Pembuatan Larutan Baku Cd	23
3.5.6 Analisis Pb dan Cd dengan Spektrofotometri Serapan Atom....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Lokasi Pengambilan Sampel.....	25
4.2 Konsentrasi Logam Berat dalam Sedimen Permukaan.....	26
4.2.1 Konsentrasi Logam Timbal (Pb) dalam Sedimen Permukaan...	26
4.2.2 Konsentrasi Logam Kadmium (Cd) dalam Sedimen Permukaan	28
4.3 Distribusi Logam Berat dalam Sedimen	30
4.3.1 Distribusi Logam Berat Pb dan Cd dalam Sedimen	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai Ambang Batas Logam dalam Sedimen.....	10
2. Penelitian Terkait Kandungan Logam Berat dalam Sedimen.....	17
3. Karakteristik Titik Pengambilan sampel.....	25
4. Konsentrasi logam Pb dalam Sedimen Permukaan.....	27
5. Konsentrasi logam Cd dalam Sedimen Permukaan.....	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Logam Timbal (Pb).....	12
2. Logam Kadmium (Cd).....	14
3. Distribusi Logam Berat Pb dalam Sedimen.....	30
4. Distribusi Logam Berat Cd dalam Sedimen.....	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Kerja Penelitian.....	40
2. Bagan Kerja.....	41
3. Perhitungan.....	46
4. Peta Lokasi Pengambilan Sampel.....	54
5. Dokumentasi.....	55

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Singkatan	Arti
ANZECC	Australian and New Zealand Environment and Conservation Council
BT	Bujur Timur
CB TEC	Consensus Based Threshold Effect Concentration
EC-TEL	Environment Canada-Threshold Effect Level
ERL	Effect Range Low
ISQG	Interim Sediment Quality Guidelines
ISQV	Interim Sediment Quality Value
LS	Lintang Selatan
MET	Minimal Effect Threshold
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RV	Reference Value
SQAV	Sediment Quality Advisory Value
SQO	Sediment Quality Objective
SSA	Spektrofotometri Serapan Atom

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah Negara kepulauan yang terbentang dari Sabang sampai Merauke yang terdiri lebih dari tujuh belas ribu pulau besar dan kecil. Luas total wilayah Indonesia kurang lebih 9 juta km² yang terbagi atas sekitar 3 juta km² daratan, 3 juta km² perairan laut kedaulatan (*sovereignty*), serta 3 juta km² perairan laut yang mengelilingi laut kedaulatan. Indonesia sebagai Negara maritim mendorong masyarakatnya untuk memanfaatkan perairan untuk meningkatkan perekonomian baik dari segi perdagangan, transportasi maupun pariwisata (Wahyono, 2009).

Kota Makassar merupakan salah satu wilayah Indonesia yang memanfaatkan perairan untuk meningkatkan nilai perekonomian. Makassar adalah kota terbesar keempat di Indonesia dan terbesar di kawasan Timur Indonesia. Luas kota Makassar sekitar 175,79 km² dengan penduduk sekitar 1,5 juta jiwa. Kota ini berperan sebagai pusat perdagangan dan jasa, kegiatan industri, pemerintahan, simpul jasa angkutan barang dan penumpang baik darat, laut maupun udara, serta pelayanan kesehatan dan pendidikan. Dampak dari aktivitas tersebut adalah meningkatnya jumlah limbah terutama di perairan (Husain, 2019).

Salah satu tempat di Makassar yang mempunyai banyak aktivitas di berbagai bidang yaitu pelabuhan Soekarno-Hatta. Pelabuhan merupakan tempat yang di sekitarnya terdapat daratan dan perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang digunakan sebagai tempat untuk kapal berlabuh, bersandar, naik turun penumpang,

atau bongkar muat barang yang dilengkapi fasilitas keselamatan yang memadai (Bochary dan Idrus, 2016). Pencemaran yang terjadi di sekitar pelabuhan disebabkan oleh aktivitas antropogenik yang menyebabkan tingkat kualitas air semakin menurun (Ikbal, 2013).

Pencemaran laut didefinisikan sebagai pengaruh negatif yang dapat membahayakan ekosistem laut maupun manusia. Penyebab tercemarnya laut karena banyaknya limbah yang dibuang ke sungai kemudian mengalir dan bermuara ke laut. Limbah merupakan buangan yang keberadaannya pada suatu waktu dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomi (Saru dan Amri, 2000). Menurut Lud (2010) dalam Sitorus dkk. (2021) bahwa bahan yang sering terkandung dalam limbah yaitu senyawa organik, senyawa anorganik, padatan tersuspensi, nutrien, mikroba patogen dan parasit. Limbah yang berasal dari senyawa anorganik biasanya mengandung logam-logam berat yang bersifat toksik (beracun) dan tidak dapat terdegradasi.

Logam berat dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan sifatnya yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial merupakan jenis logam yang dalam jumlah tertentu dibutuhkan oleh organisme untuk proses fisiologis dan metabolisme, beberapa contoh logam esensial yaitu Zn, Cu, Fe, Co, dan Mn (Irhamni dkk., 2017). Logam berat non esensial merupakan logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya dan bersifat toksik, beberapa contoh logam berat non esensial yaitu Hg, Cd, Pb, dan Cr (Khan dkk., 2018).

Logam berat merupakan salah satu jenis polutan lingkungan yang bersifat toksik (beracun) dan sering ditemukan di perairan. Logam berat yang ditemukan di dalam suatu organisme menandakan bahwa sumber logam berat berasal dari

alam atau aktivitas manusia (Mohiuddin dkk., 2011). Pencemaran logam berat akibat aktivitas industri dan rumah tangga dapat menimbulkan permasalahan serius bagi biota laut hingga manusia. USEPA dalam Haeruddin dkk. (2015) menyatakan bahwa logam berat yang sering ditemukan pada air laut dan sedimen yaitu besi, mangan, timbal, kadmium, seng, dan merkuri.

Timbal (Pb) adalah salah satu jenis logam berat yang dapat menyebabkan pencemaran di perairan yang akan berdampak negatif bagi makhluk hidup terutama manusia. Logam Pb memiliki efek toksik yang luas pada manusia karena dapat menyebabkan kerusakan sistem syaraf, saluran pencernaan, menurunkan fertilitas dan dapat merusak fungsi ginjal (Darmono,2001). Kadmium (Cd) juga memiliki dampak negatif pada manusia seperti menyebabkan efek hepatotoksik, perubahan tekanan darah, komplikasi diabetes, gagal ginjal kronis dan perubahan struktur tulang (Nair dkk., 2013).

Logam berat yang ditemukan di perairan pelabuhan Soekarno-Hatta berasal dari aktivitas di sekitar pelabuhan baik dari bidang transportasi, industri, pertanian dan rumah tangga. Adanya logam Pb dan Cd di perairan disebabkan oleh berbagai sumber seperti tumpahan minyak atau bahan bakar yang sering kali dilakukan saat pengisian bahan bakar kapal, pencucian dan pengecatan kapal sehingga meninggalkan sisa-sisa cat dilaut, penggunaan pipa-pipa saluran air yang mengarah kelaut, serta limbah pertanian dan rumah tangga yang bermuara di perairan sekitar pelabuhan. Logam Pb dan Cd kemudian akan terlarut dan terakumulasi dalam sedimen yang dapat bertambah seiring berjalannya waktu (Wulan dkk., 2013).

Menurut Simpson dkk. (2013) dalam Rumhayati (2019) bahwa sedimen perairan merupakan mineral dan partikulat organik yang tidak bergabung, yang

mengendap dan berada di bawah lingkungan akuatik. Sedimen mempunyai peran penting di dalam ekosistem perairan, karena merupakan tempat terjadinya siklus biogeokimia dan menjadi basis rantai makanan dalam sistem perairan. Berbagai jenis biota yang mencari makan di dasar laut seperti kerang, kepiting, dan udang akan sangat mudah terkontaminasi logam berat. Apabila biota laut yang telah terkontaminasi logam berat dikonsumsi oleh manusia dalam jangka waktu tertentu, maka akan menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan tubuh (Palar, 2012).

Penelitian yang dilakukan oleh Ikbal pada tahun (2013) di perairan pelabuhan Paotere yang berada di dekat pelabuhan Soekarno-Hatta menunjukkan konsentrasi logam Pb dan Cd pada kedalaman 0-10 cm masing-masing 82,43 dan 4,33 mg/kg, kedalaman 10-20 cm yaitu 79,09 dan 3,05 mg/kg, kedalaman 20-30 cm yaitu 74,59 dan 2,82 mg/kg. Logam Pb dan Cd telah melampaui ambang batas baku mutu logam berat dalam sedimen menurut ANZECC (2013) yaitu 50 mg/kg dan 1,5 mg/kg berat kering sedimen. Umumnya analisis logam Pb dan Cd dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA).

Spektrofotometer serapan atom (SSA) merupakan alat yang umum digunakan untuk menganalisis logam berat. Menurut Salbiah dkk. (2009), metode spektrofotometri serapan atom mempunyai beberapa kelebihan yaitu kecepatan analisisnya, ketelitian, umumnya tidak memerlukan pemisahan pendahuluan logam-logam yang akan diperiksa dan dapat menentukan konsentrasi unsur dalam jumlah kecil. Kelebihan lainnya yaitu kestabilan alat yang cukup tinggi, dapat menganalisis unsur satu persatu maupun dalam bentuk campuran sekaligus, dan dapat mengamati unsur dengan selektivitas yang tinggi (Sanusi dkk., 2010).

Semakin bertambahnya waktu maka aktivitas di sekitar pelabuhan Soekarno-Hatta semakin banyak, sehingga menyebabkan pencemaran semakin meningkat, oleh sebab itu penelitian mengenai kuantisasi logam berat Pb dan Cd dalam sedimen permukaan di pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar perlu dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dikaji pada penelitian ini dirumuskan sebagai berikut :

1. berapa kadar logam berat Pb dan Cd yang terkandung dalam sampel sedimen permukaan di pelabuhan Soekarno-Hatta?
2. bagaimana tingkat pencemaran logam berat Pb dan Cd dalam sampel sedimen permukaan di pelabuhan Soekarno-Hatta?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah menentukan kadar logam berat Pb dan Cd dalam sedimen permukaan di pelabuhan Soekarno-Hatta dengan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. menentukan kadar logam berat Pb dan Cd yang terkandung dalam sedimen permukaan di pelabuhan Soekarno-Hatta menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA),
2. menentukan tingkat pencemaran logam berat Pb dan Cd dalam sedimen permukaan di pelabuhan Soekarno-Hatta.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan informasi kepada masyarakat kota Makassar tentang konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada sedimen di pelabuhan Soekarno-Hatta serta pentingnya mengetahui bahaya logam berat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Laut

Laut adalah badan air asin yang menutupi sebagian besar permukaan bumi. Indonesia sendiri memiliki wilayah laut yang sangat luas, bahkan wilayah lautnya lebih luas dibandingkan wilayah darat sehingga Indonesia dijuluki sebagai Negara maritim (Nugraha dan Mulyono, 2017). Sarana transportasi atau angkutan laut seperti kapal sangat penting untuk Negara maritim seperti Indonesia. Kapal dapat digunakan untuk pengangkutan dan penghubung antar pulau melalui lautan. Dampak dari pengoperasian kapal dapat menimbulkan efek negatif terhadap kondisi lingkungan perairan akibat limbah dari ceceran minyak, drainase dari toilet, zat-zat cair beracun, sampah dan gas buang dari kapal. Limbah tersebut ditambah dengan limbah yang berasal dari aktivitas industri dan rumah tangga akan berpotensi untuk merusak baku mutu air dan menjadi penyebab terjadinya pencemaran lingkungan laut (Mangara, 2015).

Normalnya laut memiliki daya asimilasi untuk mendaur ulang bahan-bahan pencemar yang masuk ke dalamnya, akan tetapi jika tingkat akumulasi bahan pencemar semakin tinggi akan mengakibatkan daya asimilasi laut semakin menurun sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan laut. Minyak atau tumpahan minyak bercampur air dari hasil pencucian tangki muatan untuk kapal merupakan salah satu pencemar yang sangat berpengaruh terhadap lingkungan perairan (Mangara, 2015). Aktivitas yang dilakukan disekitar wilayah pesisir juga berpotensi menghasilkan produk samping berupa limbah dalam bentuk padat (sampah) dan limbah cair (Sukaryono dan Dewa, 2018).

Limbah cair industri merupakan sumber limbah yang sangat berpengaruh terhadap kualitas lingkungan terutama perairan. Umumnya limbah cair industri mengandung padatan tersuspensi, koloid dan terlarut (anorganik dan organik). Logam berat termasuk bahan anorganik yang beracun dan berbahaya bagi lingkungan (Saptati dan Himma, 2018). Beberapa contoh logam berat yaitu timbal (Pb) dan kadmium (Cd). Keberadaan logam berat di perairan berbahaya secara langsung terhadap organisme maupun secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia, hal ini dikarenakan sifat-sifat logam berat yang sulit di degradasi dan keberadaannya secara alami sulit terurai. Logam berat dapat terakumulasi dalam organisme laut seperti kerang dan ikan. Apabila manusia mengonsumsi organisme tersebut, maka akan membahayakan kesehatan konsumsinya (Anggraini, 2007).

2.2 Logam Berat

Logam memiliki sifat berkilau, dapat dibengkokkan, ditempa, dilebur, dan dapat menghantarkan panas dan arus listrik. Logam tidak bisa disintesis ataupun dihancurkan di dalam tubuh manusia. Logam akan menimbulkan efek negatif bila masuk ke tubuh melebihi standar kebutuhan manusia. Logam tersebut dapat masuk ke tubuh manusia melalui udara yang terhirup, air, makanan, dan proses penguraian senyawa-senyawa yang mengandung logam (Sembel, 2015).

Unsur kimia di dalam susunan berkala dapat dibagi menjadi dua golongan berdasarkan daya hantar listriknya yaitu logam dan non logam. Berdasarkan densitasnya unsur logam dibagi menjadi unsur logam ringan dan unsur logam berat. Logam ringan mempunyai densitas kurang dari 5 g/cm^3 sedangkan logam berat mempunyai densitas lebih besar dari 5 g/cm^3 . Logam berat merupakan unsur-unsur kimia yang letaknya di sudut kanan bawah sistem periodik, memiliki

nomor atom 22 sampai 92, dari periode 4 sampai 7, dan mempunyai afinitas tinggi terhadap unsur S (Berniyanti, 2018).

Menurut Beriyanti (2018) sifat-sifat logam secara umum adalah sebagai berikut :

1. sulit didegradasi sehingga mudah terakumulasi di dalam lingkungan perairan dan secara alami keberadaannya sulit terurai,
2. dapat terakumulasi di dalam organisme seperti ikan dan kerang,
3. mudah terakumulasi di sedimen sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air.

Logam berat mempunyai beberapa sifat yaitu tidak dapat terurai, mudah terakumulasi dalam rantai makanan, dan tersedimentasi (Khan dkk., 2018; Rosahada dkk., 2018; Setiawan, 2015; Irhamni dkk., 2017). Logam berat yang paling sering dijumpai mencemari lingkungan adalah timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), tembaga (Cu), arsenik (As), kromium (Cr), nikel (Ni) dan besi (Fe). Dampak negatif dari pencemaran akibat logam berat dapat membahayakan manusia dan organisme yang ada di perairan. Adanya kandungan logam berat dalam suatu organisme menandakan bahwa sumber logam berat berasal dari aktivitas alam atau manusia (Putra dan Mairizki, 2020). Sumber alamiah logam yang masuk ke dalam perairan berasal dari pengikisan batuan mineral dan partikel logam di udara yang terbawa oleh hujan. Adapun sumber logam yang berasal dari aktivitas manusia yaitu berupa buangan industri maupun buangan rumah tangga (Fardiaz, 1995). Umumnya kandungan logam berat dalam perairan relatif sedikit tetapi dengan banyaknya aktivitas masyarakat sekitar seperti kegiatan industri, domestik dan kegiatan lainnya dapat meningkatkan kandungan logam berat (Putra

dan Mairizki, 2020). Nilai ambang batas logam dalam sedimen dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Ambang Batas Logam Berat dalam Sedimen

No.	Pedoman Kualitas Sedimen	Logam Berat (mg/kg)							
		As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
1.	TEL	5,9	0,6	37,3	35,7	35	0,17	18	123
2.	ERL	33	5	80	70	35	0,15	30	120
3.	LEL	6	0,6	26	16	31	0,2	16	120
4.	MET	7	0,9	55	28	42	0,2	35	150
5.	CB TEC	9,79	0,9	43,4	31,6	35,8	0,18	22,7	121
6.	EC-TEL	7,24	0,68	52,3	18,7	30,2	0,13	15,9	124
7.	NOAA ERL	8,2	1,2	81	34	46,7	0,15	20,9	150
8.	ANZECC ERL	20	1,2	81	34	47	0,15	21	200
9.	ANZECC ISQG low	20	1,5	80	65	50	0,15	21	200
10.	SQAV TEL-HA28	11	0,58	36	28	37	-	20	98
11.	SQO Netherlands Target	2,9	0,8	-	36	85	0,3	-	140
12.	Hong Kong ISQG-low	8,2	1,5	80	65	75	0,15	40	200
13.	Hong Kong ISQV-low	8,2	1,5	80	65	75	0,28	40	200
14.	Flanders RV X	28	1	43	20	0,1	35	28	168
15.	Slightly Elevated Stream Sediments (SESS)	8	0,5	16	38	28	0,07	-	80

Sumber : Burton, 2002.

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, terdapat lebih dari 20 logam berat yang merupakan logam berat beracun yang tidak dapat terdegradasi. Logam berat tersebut telah dikelompokkan oleh Palar (2012) dan Hasrianti (2012) berdasarkan urutan daya racun yaitu :

1. Sangat beracun yaitu logam Hg, Pb, Cd, Cr, dan As,
2. Moderat yaitu logam Ba, Be, Cu, Au, Li, Mn, Se, Te, Co, dan Rb,

3. Kurang beracun yaitu logam Al, Bi, Co, Fe, Ca, Mg, Ni, K, Ag, Ti, dan Zn,
4. Tidak beracun yaitu logam Na, Al, Sr, dan Ca.

Logam berat masuk kedalam tubuh manusia melalui beberapa jalan yaitu saluran pernapasan, pencernaan, dan penetrasi melalui kulit. Dampak yang ditimbulkan apabila logam masuk kedalam tubuh yaitu logam yang sangat beracun dapat mengakibatkan kematian ataupun gangguan kesehatan dalam waktu yang singkat. Logam kategori moderat dapat mengakibatkan gangguan kesehatan dalam waktu yang relatif lama. Logam kurang beracun dalam jumlah besar dapat menimbulkan gangguan kesehatan, dan logam tidak beracun tidak menimbulkan gangguan kesehatan (Palar, 2012).

Logam berat sukar terurai baik secara fisika, kimia maupun biologi sehingga adanya logam berat di lingkungan bisa menimbulkan efek pada makhluk hidup berupa penyakit minimata, bibir sumbing, kerusakan susunan syaraf, cacat pada bayi dan terganggunya fungsi imun (Putra dan Mairizki, 2020).

2.2.1 Timbal (Pb)

Timbal adalah logam abu-abu kebiruan mengkilat yang tersedia dalam jumlah yang besar. Timbal memiliki titik didih 1740 °C (3164 °F), titik lebur 328 °C (662 °F) dan gravitasi 11,34 (Widowati dkk., 2008). Umumnya timbal dikenal dengan nama timah hitam dan dalam bahasa ilmiahnya dinamakan *plumbum* (Pb), mempunyai nomor atom 82, serta berat atom 207,2 (Palar 2012). Timbal memiliki titik lebur rendah, lunak, mudah dibentuk, mudah dimurnikan, dan dapat larut dalam asam nitrit, asam asetat, serta asam sulfat pekat. Bentuk oksidasi timbal yang paling umum adalah timbal(II), senyawa organometalik,

timbal tetra etil (TEL), timbal tetra metil (TML), dan timbal stearat (Palar, 2012). Logam timbal dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Logam Timbal (Pb) (Riani, 2012)

Secara alamiah timbal terdapat di udara dengan kadar sekitar $0,0001 - 0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sukandarrumidi dkk., 2017). Pada bidang industri *modern*, timbal digunakan sebagai bahan pembuatan cat, baterai, dan campuran bahan bakar bensin tetraetil (Herman, 2006). Timbal juga merupakan logam yang tahan korosi atau karat sehingga sering digunakan sebagai bahan *coating* (Palar, 2012).

Menurut Sukandarrumi dkk. (2017) sifat-sifat timbal antara lain :

1. berwarna kebiru-biruan, sangat tahan terhadap reaksi kimia, tetapi kurang tahan terhadap asam cuka dan kapur,
2. kurang tahan terhadap getaran, tahan korosi, agak lunak, dan mudah dicairkan,
3. mempunyai titik didih 1740°C dan titik leleh 328°C .

Pada tahun 2000 produksi timbal di Amerika Serikat yaitu sekitar 1,15 juta ton yang digunakan untuk pabrik kendaraan bermotor, baterai mobil, dan elektroda baterai timbal (Sembel, 2015). Kemajuan teknologi saat ini menuntut penyediaan timbal dalam bentuk logam murni maupun dalam bentuk campuran

(*alloy*) dengan logam lain. Menurut Sukandarrumidi dkk. (2017) logam timbal memiliki fungsi spesifik di bidang industri yaitu:

- a. pelindung kabel listrik bawah tanah atau dasar laut,
- b. plat/sel-sel aki (*accu*) untuk penghubung kutub dan akumulator,
- c. campuran pembuatan cat,
- d. pembungkus saluran pipa air minum,
- e. pembungkus baterai kering,
- f. peluru senapan angin,
- g. bahan konstruksi bangunan perisai radiasi nuklir, serta
- h. bahan campuran bahan bakar bensin.

Logam Pb mudah terpapar pada manusia karena sifatnya yang aktif dan mempunyai titik lebur yang rendah. Pada manusia paparan timbal yang utama masuk melalui pencernaan dan pernafasan. Paparan melalui sistem pencernaan terjadi karena manusia tidak mengetahui bahwa makanan dan minuman yang dikonsumsi telah terkontaminasi timbal, sedangkan paparan melalui sistem pernafasan terjadi akibat aktivitas manusia yang tidak sengaja menghirup partikel debu dan aerosol yang terkontaminasi timbal (ASTDR, 2015., ASTDR, 2020).

Orang dewasa menyerap sekitar 35-50% timbal pada air yang tercemar timbal. Timbal yang terserap ke dalam tubuh akan disimpan di dalam ginjal. Bagian tubuh lainnya yang menyimpan timbal dengan presentase besar yaitu hati, jantung dan otak. Pengendapan timbal dalam jumlah tertentu di dalam tubuh dapat menimbulkan berbagai penyakit diantaranya anemia, keterbelakangan mental, gangguan ginjal, dan beberapa penyakit kardiovaskular (Ikhsan dkk., 2020). Penelitian yang dilakukan oleh Tchounwou dkk. (2012) menunjukkan bahwa pada anak-anak, pengendapan timbal dalam jumlah besar di dalam tubuh dapat

menyebabkan keracunan, penurunan intelegensi, keterlambatan perkembangan syaraf, gangguan pendengaran, gangguan berbicara, gangguan konsentrasi dan antisosial. Sedangkan pada orang dewasa dapat menyebabkan gangguan reproduksi seperti penurunan kualitas sperma dan keguguran tanpa sebab.

2.2.2 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan logam berbentuk agak lunak dan berwarna metal biru-putih seperti merkuri dan seng. Logam ini memiliki nomor atom 48, berat atom 112,4 g/mol, berat jenis 8,65 g/cm³, titik didih 767 °C, titik leleh 321 °C (Handayanto dkk., 2017). Dua dari delapan isotop Cd bersifat radioaktif yaitu ¹¹³Cd dan ¹¹⁶Cd. Rata-rata konsentrasi kadmium pada kulit bumi adalah antara 0,1 dan 0,5 ppm. Kadmium memiliki sifat larut dalam asam kuat seperti HCl dan H₂SO₄, tidak larut dalam basa, serta dapat bereaksi dengan unsur non logam dan halogen (Muliari, 2019). Logam kadmium (Cd) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Logam Kadmium (Cd) (www.wikipedia.com)

Logam Cd merupakan salah satu unsur golongan transisi yang termasuk elemen minor dalam kerak bumi. Sumber logam Cd dapat berasal dari alam dan dari aktivitas non alami. Secara alami logam Cd berasal dari proses erosi dan abrasi batu karang dan tanah, kebakaran hutan, dan erupsi vulkanik, sedangkan secara non alami logam Cd berasal dari proses pertambangan. Logam Cd

termasuk logam yang reaktif dan larut dalam asam-asam pengoksidasi dan non pengoksidasi, tetapi Cd tidak larut dalam larutan alkali (Widowati dkk., 2008).

Meskipun dikenal sebagai logam berat yang berbahaya, logam Cd dan persenyawaannya banyak dimanfaatkan untuk aktivitas antropogenik. Kadmium banyak digunakan di berbagai macam industri terutama plating logam, pigmen, baterai, bahan produksi pupuk fosfat, deterjen, dan produksi minyak olahan. Kadmium juga merupakan produk samping pengecoran seng, timah dan tembaga. Logam Cd yang berasal dari sisa limbah industri yang dibuang langsung ke perairan akan bercampur dengan limbah lainnya dan bermuara ke laut terserap dan terakumulasi secara biologis dalam biota sehingga sangat merugikan bagi kehidupan makhluk hidup (Rosyid, 2020).

Logam Cd merupakan salah satu unsur kimia yang memiliki tingkat toksisitas atau bahaya yang tinggi bagi lingkungan. Salah satu penyebabnya karena kadmium memiliki sifat anti metabolik terhadap seng (Zn) yang berfungsi mengikat oksigen pada darah. Apabila kandungan Cd di dalam tubuh berlebih, maka akan menyebabkan gangguan pada proses sirkulasi darah (Muliari dkk., 2019).

Bahaya yang diakibatkan oleh logam Cd menunjukkan gejala seperti flu yaitu lemah, letih, lesu, sakit kepala, menggigil, berkeringat, nyeri otot, dan edema pulmo (Widowati dkk., 2008). Efek toksisitas kronis logam Cd dapat merusak sistem fisiologis tubuh, antara lain sistem urinaria, sistem respirasi, sistem sirkulasi, sistem syaraf, bahkan dapat mengakibatkan kerapuhan tulang. Daya toksisitas Cd juga mempengaruhi sistem reproduksi dan organ-organnya, hal ini disebabkan karena Cd dapat mematikan sel-sel sperma pada laki-laki sehingga terjadi impotensi (Suyanto dkk., 2010).

2.3 Sedimen

Sedimen permukaan yang berada di dasar suatu perairan memiliki peran penting karena menjadi sarana tempat pertumbuhan bentik perairan dan merupakan tempat melekatnya akar serta penyedia unsur hara. Fungsi dari sedimen permukaan adalah sebagai habitat berbagai jenis bakteri yang berperan penting dalam siklus rantai makanan di perairan. Selain itu, sedimen permukaan juga menjadi tempat terakumulasinya bahan-bahan pencemar yang berasal dari daratan maupun perairan permukaan (Marsaloli, 2014; Rochyatun dkk., 2006; Rochyatun dan Rozak, 2007; Rienna dkk., 2012, Edward, 2015).

Sedimen perairan merupakan material mineral dan partikulat organik yang tidak bergabung dan mengendap di bawah lingkungan akuatik (Simpson dkk., 2005). Menurut Ikbal (2013), sedimen merupakan tempat akhir senyawa di lingkungan perairan yang memegang peranan penting dalam menentukan bentuk-bentuk logam di perairan. Penyusun sedimen yang memiliki ukuran relatif besar dan berat akan mengendap di dasar perairan, sedangkan yang memiliki ukuran kecil akan tersuspensi dalam badan air (Rumhayati, 2019). Yu dalam Werorilangi dkk. (2011) menyatakan bahwa, logam di sedimen bisa berada dalam berbagai bentuk dan perikatan, salah satunya sebagai ion bebas dan berikatan dengan karbonat, logam bentuk ini disebut logam yang sangat tidak stabil sehingga mudah lepas ke perairan serta mudah diserap oleh organisme. Keterikatan senyawa logam dengan komponen geokimia sedimen biasa disebut spesiasi. Spesiasi merupakan suatu proses identifikasi dan kuantifikasi berbagai spesies, bentuk dan fase yang terdapat pada suatu media (Werorilangi dkk., 2011).

Logam berat di laut dapat meningkat karena pengaruh aktivitas manusia melalui pembuangan limbah yang berakibat pada rusaknya lingkungan dan

kehidupan organisme laut. Logam berat yang berada di laut akan terakumulasi dalam sedimen melalui proses gravitasi, biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi (Palar, 2012). Senyawa logam dalam bentuk terlarut dalam air dapat diadsorpsi oleh partikulat dan masuk ke dalam sedimen yang terdiri atas partikel yang berasal dari penghancuran batuan dan rangka organisme laut (Maslukah, 2013). Kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air laut karena adanya akumulasi logam berat di dalam sedimen. Hal ini dimungkinkan karena logam berat dalam air mengalami proses pengenceran dengan adanya pola arus pasang surut (Ikbal, 2013). Contoh penelitian terkait analisis kandungan logam berat dalam sedimen di pelabuhan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penelitian terkait kandungan logam berat dalam sedimen

Peneliti	Judul Penelitian	Hasil
Lestari (2013)	Distribusi Kuantitatif Logam Berat Cd dalam Air, Sedimen, dan Ikan Merah (<i>Lutjanus Erythropterus</i>) di Sekitar Perairan Pelabuhan Parepare	Konsentrasi logam berat Cd dalam sedimen berkisar antara 41,95 – 68,76 mg/kg berat kering sedimen.
Usman (2013)	Distribusi Kuantitatif Logam Berat Pb dalam Air, Sedimen, dan Ikan Merah (<i>Lutjanus Erythropterus</i>) di Sekitar Perairan Pelabuhan Parepare	Konsentrasi logam berat Pb dalam sedimen berkisar antara 38,96 – 60,89 mg/kg berat kering sedimen.
Muhammadiyah (2016)	Distribusi Kuantitatif Logam Berat Pb dan Cd dalam Air dan Sedimen Sekitar Perairan Pelabuhan Kayu Bangkoa	Konsentrasi logam berat Pb dalam sedimen berkisar antara 22,65 – 35,72 mg/kg berat kering sedimen, sedangkan untuk logam berat Cd berkisar antara 17,18 – 26,15 mg/kg berat kering sedimen.

Penelitian yang dilakukan oleh Lestari (2013) dan Usman (2013) telah melampaui ambang batas baku mutu logam berat Pb dan Cd dalam sedimen pada

semua lokasi pengambilan sampel yaitu 50 mg/kg dan 1,5 mg/kg berat kering sedimen (ANZECC, 2013). Penelitian yang dilakukan oleh Muhammadiyah (2016) telah melampaui ambang batas baku mutu logam Cd dalam sedimen, sedangkan untuk logam Pb belum melampaui ambang batas baku mutu logam Pb dalam sedimen.

Sedimen mempunyai peran penting pada ekosistem perairan, karena sedimen merupakan tempat terjadinya siklus biogeokimia dan basis rantai makanan dalam sistem perairan. Makrofauna, mikrofauna, dan mikroba yang tinggal di dalam maupun di permukaan sedimen melakukan proses demineralisasi bahan-bahan organik yang menjadi nutrisi dasar bagi hewan-hewan pada tingkat tropik yang lebih tinggi dalam rantai makanan (Rumhayati, 2019).

2.4 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrometer Serapan Atom (SSA) merupakan instrumen yang paling banyak digunakan untuk analisis kuantitatif logam berat dalam sampel lingkungan (Morais dkk., 2012). Spektrofotometri serapan atom digunakan untuk analisis kuantitatif unsur-unsur logam dalam jumlah sekelumit (*trace*) dan sangat kelumit (*ultratrace*). Analisis dengan cara ini dapat memberikan kadar total unsur logam dalam suatu sampel dan tidak tergantung pada bentuk molekul dari logam dalam sampel tersebut. Cara ini cocok untuk analisis logam karena mempunyai kepekaan yang tinggi yaitu batas deteksi kurang dari 1 ppm, pelaksanaannya relatif sederhana dan interferensinya sedikit (Gandjar dan Rohman, 2007).

Spektrofotometri serapan atom didasarkan pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, tergantung sifat unsurnya. Contohnya timbal menyerap cahaya pada panjang

gelombang 283,3 nm dan kadmium menyerap cahaya pada panjang gelombang 228,8 nm. Sampel cair yang mengandung ion logam diatomisasi dengan atomizer sehingga membentuk uap atom dalam keadaan dasar (*ground state*). Sinar yang berasal dari lampu katoda dipancarkan pada uap atom dengan panjang gelombang tertentu sehingga elektronnya mengalami eksitasi ke orbital lebih tinggi. Sinar akan diserap oleh unsur yang bersangkutan dalam jumlah tertentu, kemudian sinar yang tidak diserap akan diteruskan ke monokromator dan detektor (Lestari, 2007).

Menurut Gandjar dan Rohman (2007), ada 6 peralatan spektrofotometri serapan atom yaitu :

1. Sumber Sinar

Sumber sinar yang umum digunakan yaitu lampu katoda berongga (*hollow cathode lamp*). Lampu ini terdiri dari tabung kaca tertutup yang mengandung katoda dan anoda. Katoda berbentuk silinder berongga yang terbuat dari logam atau dilapisi dengan logam tertentu. Tabung logam diisi dengan gas mulia berupa neon atau argon dengan tekanan rendah.

2. Nyala

Sampel yang akan dianalisis pada spektrofotometer serapan atom harus diuraikan menjadi atom-atom netral yang masih dalam keadaan dasar. Alat yang digunakan untuk mengubah suatu sampel menjadi uap atom-atom yaitu dengan nyala (*flame*) dan dengan tanpa nyala (*flameless*).

3. Sistem Pembakar-Pengabut (Nebulizer)

Sistem pembakar bertujuan untuk mengubah larutan uji menjadi atom-atom dalam bentuk gas. Fungsi pengabut adalah menghasilkan kabut atau

aerosol larutan uji. Larutan yang akan dikabutkan ditarik ke dalam pipa kapiler oleh aksi semprotan udara yang ditiupkan melalui ujung pipa kapiler. Aliran gas bertekanan tinggi diperlukan untuk menghasilkan aerosol yang halus.

4. Monokromator

Monokromator berfungsi untuk memisahkan dan memilih panjang gelombang yang digunakan untuk analisis. *Chopper* yang terdapat di dalam monokromator berfungsi untuk memisahkan panjang gelombang.

5. Detektor

Detektor yang berupa sel fotosentitif digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang melewati tempat pengamatan. Umumnya detektor yang digunakan adalah tabung penggandaan foton (*photomultiplier tube*).

6. Readout

Readout adalah suatu alat penunjuk atau bisa diartikan sebagai sistem pencatatan hasil. Pencatatan hasil dilakukan dengan suatu alat yang telah dikalibrasi untuk pembacaan suatu transmisi atau absorpsi. Hasil pembacaan dapat berupa angka atau kurva dari suatu alat perekam yang menggambarkan absorpsi atau intensitas emisi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel sedimen, HNO_3 p.a, larutan standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ p.a dan $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ p.a, kertas saring *whatman* no.42, akuabides, dan *tissue*.

3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Eckmen grab*, *GPS*, *cool box*, botol polietilen (PE), oven, desikator, neraca analitik, *hot plate*, *bulb*, buret mikro, cawan petri, kertas label, labu semprot, spatula, lumpang dan alu, ayakan 150 mesh, plastic sampel, Spektrofotometer Serapan Atom Buck Scientific 205 dan alat-alat gelas umum yang digunakan di laboratorium.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret-Juli 2022. Pengambilan sampel bertempat di sekitar pelabuhan Soekarno-Hatta, Makassar. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

3.4 Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel sedimen ditentukan secara acak berdasarkan situasi dan kondisi yang berada di pelabuhan Soekarno-Hatta yang dapat mewakili titik-titik pencemaran logam.