

SKRIPSI

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN AKIBAT PAJANAN TIMBAL (Pb) DAN
KADMIUM (Cd) PADA AIR SUMUR DI SEKITAR WILAYAH
TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR ANTANG
PASCA KEBAKARAN TAHUN 2019**

**ELFIRA APRILIA
K11116331**



**DEPARTEMEN KESEHATAN LINGKUNGAN
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

SKRIPSI

ANALISIS RISIKO KESEHATAN AKIBAT PAJANAN TIMBAL (Pb) DAN
KADMIUM (Cd) PADA AIR SUMUR DI SEKITAR WILAYAH
TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR ANTANG
PASCA KEBAKARAN TAHUN 2019

ELFIRA APRILIA
K11116331



*Skripsi Ini Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat*

DEPARTEMEN KESEHATAN LINGKUNGAN
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023

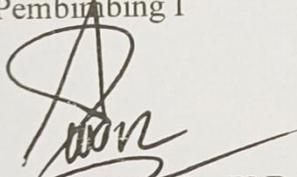
LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI

Proposal penelitian ini telah kami setuju dan siap untuk diajukan pada Ujian Skripsi Departemen Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Makassar demi penyempurnaan penulisan atas nama **Elfira Aprilia** Nim **K11116331**

Makassar, 23 Mei 2023

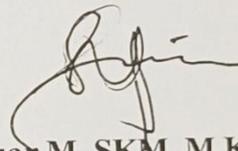
Tim Pembimbing

Pembimbing I



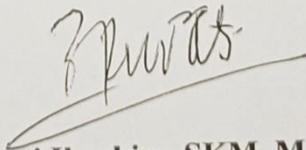
Prof. Anwar, SKM., M.Sc., PhD

Pembimbing II



Dr. Syamsuar M, SKM., M.Kes., M.ScPH

Mengetahui,
Ketua Departemen Kesehatan Lingkungan
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Hasanuddin



Dr. Erniwati Ibrahim, SKM., M.Kes

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN AKIBAT PAJANAN TIMBAL (Pb)
DAN KADMIUM (Cd) PADA AIR SUMUR DI SEKITAR WILAYAH
TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR ANTANG PASCA KEBAKARAN
TAHUN 2019**

Disusun dan diajukan oleh

ELFIRA APRILIA

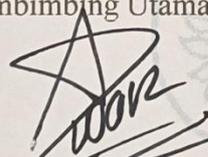
K11116331

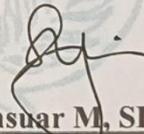
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelaksanaan Studi Program Sarjana Program Studi Kesehatan Masyarakat
Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin
pada tanggal 10 Juli 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

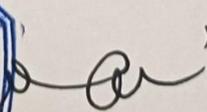
Pembimbing Pendamping


Prof. Anwar, SKM., MSc., Ph.D
NIP. 19740816 199903 1 002


Dr. Syamsuar M, SKM., M.Kes., M.ScPH
NIP. 19790911 200501 1 001

Ketua Program Studi,




Dr. Hasnawati Anqam, SKM., M.Sc
NIP. 19760418 200501 2 001

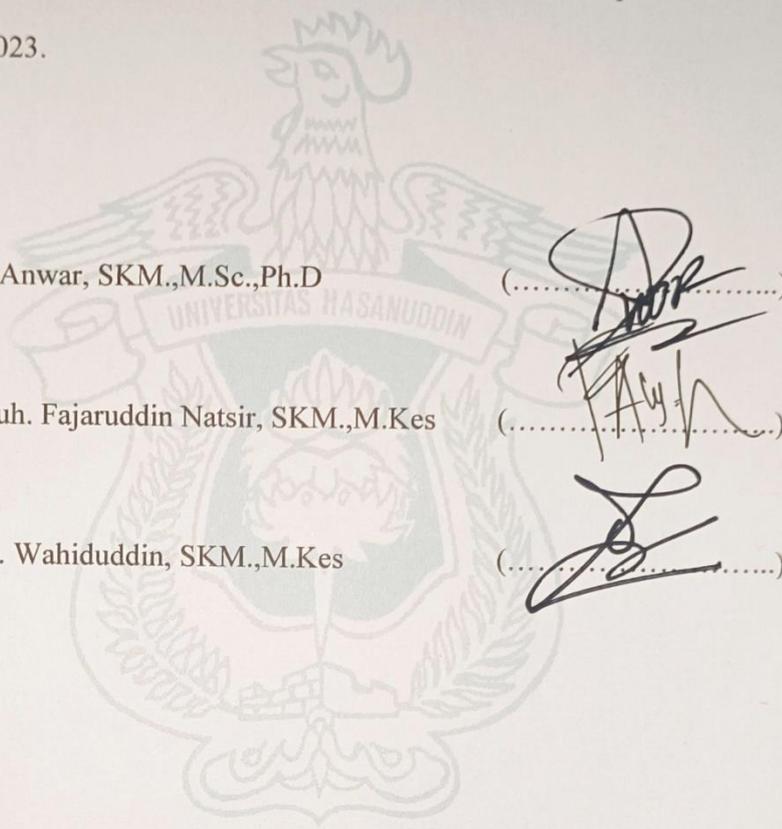
PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Makassar pada hari Senin Tanggal 10 Juli 2023.

Ketua : Prof. Anwar, SKM., M.Sc., Ph.D (.....)

Anggota : 1. Muh. Fajaruddin Natsir, SKM., M.Kes (.....)

2. Dr. Wahiduddin, SKM., M.Kes (.....)



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Elfira Aprilia
NIM : K11116331
Program Studi : Kesehatan Masyarakat
Jenjang : S1

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

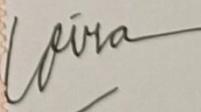
“Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Air Sumur di Sekitar Wilayah Tempat Pembuangan Akhir Antang Pasca Kebakaran Tahun 2019”

Adalah benar karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian surat pernyataan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 10 Juli 2023



Elfira Aprilia

RINGKASAN

Universitas Hasanuddin
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Kesehatan Lingkungan

Elfira Aprilia

“Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Air Sumur di Sekitar Wilayah Tempat Pembuangan Akhir Antang Pasca Kebakaran Tahun 2019”

(XVI + 129 halaman + 17 Tabel + 5 Gambar + 10 Lampiran)

Pembakaran yang terjadi pada daerah TPA dapat mengoksidasi berbagai jenis polutan. Kondisi tersebut akan teremisikan kontaminan yang bersifat karsinogen seperti *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs), dioksin, furans, dan logam berat. Logam berat timbal dan kadmium merupakan salah satu logam berat yang dilepas saat proses pembakaran. Emisi logam kadmium dan timbal pada proses pembakaran sampah dipengaruhi oleh komposisi kimia. Logam berat timbal bersifat kumulatif dimana gangguan yang paling potensial terjadi pada sistem saraf. Gangguan pada bayi dan anak-anak dapat mengurangi kecerdasan serta kelambanan dalam proses perkembangannya. Daya racun timbal yang sangat akut pada perairan dapat menyebabkan kerusakan hebat pada ginjal, sistem reproduksi, hati, otak, dan sistem saraf sentral yang bisa menyebabkan kematian. Beberapa efek yang ditimbulkan akibat paparan Cd adalah adanya kerusakan ginjal, liver, testis, sistem imunitas, sistem susunan saraf dan darah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar risiko kesehatan paparan timbal dan kadmium pada air sumur di sekitar wilayah TPA Antang pasca kebakaran tahun 2019. Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian observasional deskriptif dengan rancangan *cross sectional study* dan menggunakan metode pendekatan ARKL. Penelitian ini dilakukan di Kelurahan Tamangapa, Kecamatan Manggala, Kota Makassar. Sampel manusia dan sampel lingkungan diambil dengan teknik *purposive sampling* dengan jumlah sampel manusia 105 orang dan 12 titik sampel lingkungan.

Hasil analisis risiko kesehatan lingkungan terhadap 105 responden menunjukkan bahwa nilai $RQ < 1$ dan $THQ < 1$ dengan rata-rata nilai *intake* adalah 0,000049 untuk timbal non karsinogen dan 0,0000083 untuk kadmium non karsinogen. Konsentrasi Timbal adalah 0,0012 dan konsentrasi kadmium adalah 0,0002, konsentrasi tersebut masih berada di bawah batas aman. Nilai $RQ \leq 1$ menunjukkan bahwa paparan dengan konsentrasi yang telah diperoleh pada pengukuran di 12 titik, aman bagi masyarakat. THQ dengan hasil ≤ 1 menunjukkan bahwa masyarakat tidak akan mengalami efek merugikan kesehatan sebagai akibat dari paparan berisiko.

Kata kunci : ARKL, Timbal, Kadmium, Air Sumur
Daftar Pustaka : 99 (1995-2023)

SUMMARY

Hasanuddin University
Public Health Faculty
Environmental Health

Elfira Aprilia

“Health Risk Assessment due to Exposure Lead and Cadmium in Well Water Around off Antang Landfill Area After the 2019 Fire”

(XVI + 129 page + 17 Tables + 5 Pictures + 10 Attachment)

Combustion that occurs in landfill areas can oxidize various types of pollutants. These conditions will transmit carcinogenic contaminants such as polycyclic aromatic hydrocarbons, dioxins, furans, and heavy metals. Lead and cadmium are heavy metals which are released during the combustion process. Lead is cumulative of heavy metal where the most potential interference occurs in the nervous system. Lead toxicity is very acute in waters can cause severe damage to the kidneys, reproductive system, liver, brain and nervous system. Some of the effects caused by exposure to cadmium are damage to the kidneys, liver, immune system, nervous system and blood.

This study aims to determine the health risks of exposure to lead and cadmium in well water around the Antang final disposal site. This research was an observational research with cross sectional study design and analyzed by using the Environmental Health Risk Assessment (EHRA) method. This research was conducted in Tamangapa Village, Manggala District, Makassar City. Samples were taken by purposive sampling technique with a total sample of 105 humans and 12 environmental sample points.

The results of the environmental health risk analysis of 105 respondents showed that the $RQ < 1$ and $THQ < 1$ with an average intake value of 0.000049 for non-carcinogenic lead and 0.0000083 for non-carcinogenic cadmium. Lead concentration is 0.0012 and cadmium concentration is 0.0002, these concentrations are still below safe limits. The RQ value ≤ 1 indicates that exposure to the concentrations obtained from measurements at 12 points is safe for the community. THQ with a result of ≤ 1 indicates that people will not experience adverse health effects due to risky exposure.

Keyword : *EHRA, Lead, Cadmium, Well Water*

References : *99 (1995-2023)*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirahim

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan ridha-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang merupakan sebaik-baik suri teladan sepanjang zaman. Penyusunan skripsi yang berjudul **“Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Air Sumur di Sekitar Wilayah Tempat Pembuangan Akhir Antang Pasca Kebakaran Tahun 2019”** ini adalah salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.

Keberhasilan penyusunan skripsi ini tak lepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof Anwar Mallongi, SKM., M.Sc., PhD dan Bapak Dr. Syamsuar Manyullei, SKM., M.Kes., M.Sc.PH selaku pembimbing I dan pembimbing II yang disela-sela kesibukannya selalu memberi senyuman, juga dengan sabar dan ikhlas memberi motivasi, arahan, serta dukungan kepada penulis.
2. Bapak Muhammad Fajaruddin Natsir, SKM., M.Kes dan Bapak Dr. Wahiduddin, SKM., M.Kes selaku penguji atas masukan dan perhatiannya dalam penyusunan skripsi.

3. Ibu Andi Wahyuni, SKM., M.Kes selaku penasehat akademik atas nasehat dan motivasinya yang sangat berarti bagi penulis.
4. Ibu Dr. Erniwati Ibrahim, SKM., M.Kes selaku Ketua Departemen Kesehatan Lingkungan beserta seluruh dosen pengajar yang telah memberikan ilmu dan motivasi kepada penulis.
5. Bapak Prof. Sukri Palluturi, SKM., M.Kes., M.Sc.PH., Ph.D selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf atas jasa-jasanya.
6. Kepala Balai Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BTKLPP) Kelas I Makassar serta para staf.
7. Keluarga tercinta yang teristimewa kedua orang tua, ayahanda Jamaluddin, dan ibunda Nurbaya, Nenek Sugi, Saudara saya Jumhari, om, tante dan seluruh keluarga besar yang telah mengiringi langkah penulis dan memberi segalanya untuk penulis. Bersusah payah mulai dari awal perkuliahan hingga sekarang dan berjasa besar dalam terlaksananya dan selesainya penelitian ini.
8. Suami tercinta Nastain B atas perjuangannya menemani hingga selesainya penelitian ini, juga yang terspesial anak tercinta Khadijah Az Zahwa Maryama dan Alesha Shanaya yang selalu jadi support sistem di setiap momen.
9. Teman-teman seperjuangan Kesehatan Lingkungan Angkatan 2016 dan adek-adek junior Kesehatan Lingkungan angkatan 2017..

10. Keluarga besar FKM UNHAS 2016, PBL Posko 16 Mattompodalle, Teman magang BTKLPP Kelas I Makassar, dan KKN-Profesi Kesehatan Angkatan 58 Desa Bontosunggu.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan namanya tidak sempat penulis sebutkan satu per satu. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih sangat jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Aamiin.

Makassar, Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	
RINGKASAN.....	iv
SUMMARY	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
A. Tinjauan Umum tentang Air	10
B. Tinjauan Umum tentang Air Sumur	18
C. Tinjauan Umum tentang Timbal (Pb)	23
D. Tinjauan Umum tentang Kadmium (Cd).....	30
E. Tinjauan Umum tentang Tempat Pembuangan Akhir.....	35
F. Tinjauan Umum tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.....	36
G. Kerangka Teori	44
BAB III KERANGKA KONSEP.....	45
A. Dasar Pemikiran Variabel yang Diteliti	45
B. Kerangka Konsep.....	46
C. Definisi Operasional.....	47
BAB IV METODE PENELITIAN.....	49
A. Jenis dan Desain Penelitian	49

B.	Lokasi dan Waktu Penelitian	53
C.	Populasi dan Sampel	54
D.	Instrumen Penelitian.....	58
E.	Pengumpulan Data	62
F.	Pengolahan dan Analisis Data	62
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		68
A.	Gambaran Umum Lokasi.....	68
B.	Hasil Penelitian	69
C.	Pembahasan	112
D.	Keterbatasan Peneliti.....	127
BAB IV PENUTUP		128
A.	Kesimpulan	128
B.	Saran.....	129
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Definisi Operasional	47
Tabel 5.1 Distribusi RT berdasarkan RW di Kel. Tamangapa	69
Tabel 5.2 Distribusi Sebaran Sampel Manusia	70
Tabel 5.3 Distribusi Responden Berdasarkan Kelompok Umur	71
Tabel 5.4 Distribusi Responden Berdasarkan Jenis Kelamin	72
Tabel 5.5 Distribusi Responden Berdasarkan Pekerjaan	72
Tabel 5.6 Distribusi Responden Berdasarkan Lama Menetap	73
Tabel 5.7 Distribusi Responden Berdasarkan Sumber Air Bersih	74
Tabel 5.8 Distribusi Responden Berdasarkan Sumber Air Minum	74
Tabel 5.9 Hasil Pemeriksaan Konsentrasi Timbal	75
Tabel 5.10 Hasil Pemeriksaan Konsentrasi Kadmium	76
Tabel 5.11 Distribusi Responden Berdasarkan Jumlah Air Diminum	78
Tabel 5.12 Distribusi Waktu Paparan Responden	78
Tabel 5.13 Distribusi Paparan Responden	80
Tabel 5.14 Distribusi Durasi Paparan Responden	80
Tabel 5.15 Distribusi Responden Berdasarkan Berat Badan	81
Tabel 5.16 Distribusi Besar Risiko Responden	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Timbal (Pb).....	27
Gambar 2.2 Kerangka Teori.....	44
Gambar 3.1. Kerangka Konsep.....	46
Gambar 4.1 Kelurahan Tamangapa.....	52
Gambar 4.2 Titik Sampel Lingkungan.....	55

DAFTAR SINGKATAN

ARKL	: Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan
Cd	: <i>Cadmium</i>
CdCl ₂	: Kadmium di Klorida
ECR	: <i>Excess Cancer Risk</i>
<i>EHRA</i>	: <i>Enviromental Health Risk Assessment</i>
H ₂ O	: <i>Hidrogen di Oksida / Senyawa Air</i>
IRIS	: <i>Integrated Risk Information System</i>
MCK	: Mandi Cuci Kakus
NAB	: Nilai Ambang Batas
<i>PAHs</i>	: <i>Polyclic Aromatic Hydrocarbons</i>
Permenkes	: Peraturan Menteri Kesehatan
Pb	: Plumbum
RfC	: <i>Reference Concentration</i>
RfD	: <i>Reference Dose</i>
<i>RQ</i>	: <i>Risk Quotient</i>
RW	: Rukun Warga
RT	: Rukun Tangga
<i>SPSS</i>	: <i>Statical Package for Social Science</i>
<i>THQ</i>	: <i>Target Hazard Quotient</i>
TPA	: Tempat Pembuangan Akhir

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran I : Kuesioner Penelitian
- Lampiran II : Permohonan Izin Penelitian
- Lampiran III : Izin penelitian dari Dinas Penanaman Modal
- Lampiran IV : Izin Penelitian ke Dinas Kesehatan Kota Makassar
- Lampiran V : Izin Penelitian ke Camat Manggala Kota Makassar
- Lampiran VI : Izin Penelitian ke Lurah Tamangapa
- Lampiran VII : Izin Penelitian ke RW/RT Kelurahan Tamangapa
- Lampiran VIII: Laporan Hasil Uji Laboratorium sampel 1-12
- Lampiran IX : Dokumentasi Kegiatan
- Lampiran X : Daftar Riwayat Hidup

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Limbah padat merupakan salah satu masalah lingkungan yang sampai saat ini masih menjadi penyebab pencemaran lingkungan dan penyebab penyebaran penyakit. Bentuk, jenis dan komposisi dari sampah dipengaruhi oleh tingkat kebudayaan masyarakat dan kondisi alam sekitarnya. Sampah padat di negara berkembang umumnya dibuang tanpa adanya pemisahan terlebih dahulu sehingga sampah organik, non organik, dan logam masih menjadi satu sehingga dalam penanganannya masih sangat sulit untuk dilakukan (Sumantri, 2010).

Masalah yang timbul pada pengelolaan sampah disebabkan oleh buruknya pewadahan, pengumpulan, dan pembuangan sampah yang menyebabkan timbulnya polusi dan penurunan kualitas lingkungan (Cyntia dkk, 2016). Pengelolaan sampah yang kurang baik dapat memberikan pengaruh negatif terhadap kesehatan, lingkungan, dan sosial budaya masyarakat. Pengaruh negatif yang dapat ditimbulkan oleh sampah yaitu menjadi tempat perkembangbiakan vektor penyakit, seperti lalat atau tikus, menyebabkan gangguan psikosomatis, misalnya sesak napas, insomnia, stres, mempengaruhi estetika lingkungan, dan apabila dilakukan pembakaran terhadap sampah maka dapat menimbulkan pencemaran udara dan bahaya kebakaran yang lebih meluas (Chandra, 2007).

Salah satu Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang saat ini masih digunakan di Provinsi Sulawesi Selatan adalah TPA Antang. TPA Antang dibangun sejak tahun 1993. TPA ini berlokasi di daerah Tamangapa Kecamatan Manggala Kota Makassar dan menjadi lokasi pembuangan sampah masyarakat kota Makassar. Daerah tersebut, merupakan daerah dengan tingkat kepadatan penduduk dikarenakan jaraknya dengan pusat kota hanya 15 KM dari pusat kota Makassar. Luas lahan TPA ini sekitar 14,3 Ha tetapi yang digunakan hanya sekitar 70% atau 10 Ha. Seluruh sampah yang berasal dari kota Makassar ditampung di lahan tersebut (Gunawan, 2017).

Berdasarkan data dari UPT Tamangapa (2020) jumlah timbulan sampah setiap hari di Kota Makassar mencapai 800-900 ton/hari. Adapun sumber timbulan sampah terdiri dari sampah rumah tangga, sampah perkantoran, sampah pasar, sampah pusat perbelanjaan, sampah yang berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan lain sebagainya. Adapun jenis sampah yang ada di TPA Antang adalah sampah organik, sampah plastik, sampah kain, sampah kertas, sampah kayu, sampah kaca, kaleng, logam, dan sampah karet.

TPA Antang pada tanggal 15 September 2019 mengalami kebakaran dimana asap dari hasil pembakaran ini memenuhi beberapa wilayah Kota Makassar dan beberapa wilayah di Kabupaten Gowa. Berdasarkan tinjauan lokasi yang telah dilakukan sebelumnya diketahui bahwa sampah yang dibawa ke TPA Antang tidak dilakukan pemilahan terlebih dahulu sehingga semua jenis sampah terkumpul. Terjadinya kebakaran juga mengakibatkan suhu

meningkat sehingga bahan karsinogenik akan mudah menguap. Asap kebakaran TPA mengandung berbagai senyawa kimia berbahaya yang dapat menyebabkan sakit pernapasan dan gangguan medis yang lain (Bates, M., 2004).

Pembakaran merupakan salah satu kegiatan yang menghasilkan bahan pencemar yang dapat mencemari lingkungan. Pembakaran sampah, pembakaran industri, pembakaran kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar untuk menghasilkan energi akan menghasilkan beberapa polutan yang kemudian akan naik ke udara dan mencemari lingkungan udara. Pembakaran yang terjadi pada daerah TPA dapat mengoksidasi berbagai jenis polutan (Sembel, 2015).

Temperatur panas yang ditimbulkan dari pembakaran dapat menguapkan kontaminan berbahaya. Sampah yang terbakar jika mengandung material berbahaya maka temperatur akan meningkat tinggi dan timbul asap hitam yang pekat. Kondisi tersebut akan teremisikan kontaminan yang bersifat karsinogen seperti *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs), dioksin, furans, dan logam berat. Dampak toksisitas senyawa kimia yang dihasilkan dari kebakaran TPA jauh lebih kompleks daripada yang ditimbulkan oleh senyawa tunggal. Kebakaran TPA selain mentransmisikan polutan karsinogen juga menghasilkan ratusan senyawa berbahaya seperti karbon monoksida, formaldehid, nitrogen oksida, sulfur oksida dan senyawa bau yang bersifat iritan hasil dari pembakaran yang tidak sempurna (Wahyono, 2015).

Logam berat timbal dan kadmium merupakan salah satu logam berat yang dilepas pada saat proses pembakaran. Emisi logam berat Cd dan Pb pada proses pembakaran sampah kota dipengaruhi oleh komposisi kimia dari sampah yang terbakar. Kadmium dan senyawa oksidanya merupakan bentuk senyawa Cd yang paling banyak ditemukan di udara. Bentuk senyawa kadmium dan oksida tersebut merupakan senyawa kadmium yang paling berbahaya yaitu CdCl_2 yang biasanya terbebas dari pembakaran sampah. Sumber tersebarnya logam berat di lingkungan dan di udara karena proses digunakannya logam tersebut pada suhu yang tinggi (Darmono, 2001).

Logam berat merupakan unsur kimia dengan berat jenis lebih besar dari 5 gram/cm^3 terletak dibagian sudut kanan bawah pada tabel sistem periodik unsur. Logam berat memiliki afinitas yang tinggi terhadap unsur Sulfur (S) dan bernomor atom 22 sampai 92 dari periode 4 sampai 7. Logam berat masih termasuk ke dalam golongan logam dengan kriteria yang sama dengan logam lainnya. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat berikatan dengan unsur lain dan apabila masuk ke organisme hidup. logam berat dapat menimbulkan efek terhadap kesehatan manusia tergantung pada bagian tubuh yang terikat dengan logam (Sumampouw, 2019).

Timbal dan kadmium yang berada di udara dapat memasuki lingkungan perairan dengan cara pengkristalan di udara dengan bantuan air hujan (Palar, 2012). Beberapa polutan hasil pembakaran akan bereaksi dengan udara dan oksigen serta sinar matahari yang kemudian dapat menghasilkan asam sulfur. Asam ini akan membentuk kabut yang kemudian akan jatuh bersama polutan

lain yaitu salah satunya timbal dan kadmium yang terakumulasi di udara dan turun ke bumi melalui air hujan (Sembel, 2015). Air hujan yang turun selanjutnya akan mendekati muka tanah dan memasuki perairan termasuk air tanah. Cemaran yang dibawa bersama air hujan akan mengendap di dasar perairan (Koodatie & Syarif, 2010).

Logam berat timbal dan kadmium adalah salah satu logam berat non esensial. Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam beracun yang jumlahnya meningkat seiring dengan perkembangan industri di Indonesia. Konsentrasi logam berat timbal bergantung pada aktifitas manusia (Kusuma dkk, 2022). Timbal dapat mencemari udara, tanah, air, tumbuhan, hewan dan mempunyai dampak pada seluruh sistem di dalam tubuh (Putri dkk, 2018). Timbal bersifat kumulatif dimana gangguan yang paling potensial terjadi pada sistem saraf. Gangguan pada bayi dan anak-anak dapat mengurangi kecerdasan serta kelambanan dalam proses perkembangannya (Anies, 2005). Daya racun timbal yang sangat akut pada perairan alami menyebabkan kerusakan hebat pada ginjal, sistem reproduksi, hati, otak, dan sistem saraf sentral yang bisa menyebabkan kematian (Achmad, 2004).

Beberapa penelitian membuktikan bahwa di lokasi TPA Antang banyak mengalami pencemaran, salah satunya pencemaran logam berat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Arba (2017), tingkat pencemaran logam berat di sekitar TPA Antang umumnya melebihi nilai ambang batas. Kadar logam timbal air sumur gali disekitar TPA Antang pada zonasi 1-5 Km umumnya melewati kadar ambang batas untuk keperluan air minum dan untuk keperluan

air bersih yang artinya wilayah sekitar TPA Antang umumnya banyak mengandung jenis logam berat (Gunawan, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Karamina dkk, juga menyebutkan bahwa TPA mengandung banyak logam berat yang berasal dari aktifitas manusia namun belum dikelola dengan baik sehingga dapat terakumulasi dan menyebabkan kerusakan lingkungan. Hasil penelitian yang mereka temukan sejumlah logam berat melebihi nilai ambang batas sesuai Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pencemaran Air. Penelitian ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Rosita terdapat logam berat yang mencemari perairan yang berada di sekitar TPA.

Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang juga sangat berbahaya apabila masuk ke dalam tubuh, karena kadmium dapat menyebabkan gangguan kesehatan baik kronis maupun akut. Beberapa efek yang ditimbulkan akibat pemajanan Cd adalah adanya kerusakan ginjal, liver, testis, sistem imunitas, sistem susunan saraf dan darah. Unsur ini berbahaya bila manusia mengonsumsi (baik itu dihirup atau dimakan) dalam jumlah yang cukup besar, karena kadmium tidak mudah untuk keluar dari dalam tubuh. Logam ini akan terakumulasi di dalam tubuh (Vianne dkk, 2017).

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416 Tahun 1990 tentang Peryaratan Kualitas Air bersih, kadar maksimum yang diperbolehkan ada pada air bersih yaitu Kadmium (Cd) sebesar 0,005 mg/l, dan Timbal (Pb) sebesar 0,05 mg/l. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum mengatur bahwa kadar kadmium

yang diperbolehkan ada dalam air minum sebesar 0,003 mg/l sedangkan kadar timbal yang diperbolehkan yaitu 0,01 mg/l. Apabila kadar logam melewati nilai ambang batas, maka akan menimbulkan gangguan terhadap kesehatan.

Berdasarkan penjelasan di atas, menunjukkan bahwa tingkat pencemaran logam berat sangat berbahaya terhadap kualitas air, maka perlu dilakukan penelitian pada air sumur masyarakat yang bermukim disekitar TPA Antang yaitu di Kelurahan Tamangapa Kecamatan Manggala Kota Makassar, Sulawesi Selatan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka peneliti merumuskan masalah yaitu, “Bagaimana analisis risiko kesehatan akibat paparan Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada air sumur di sekitar wilayah TPA Antang Pasca Kebakaran tahun 2019?”.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis risiko kesehatan akibat paparan Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada air sumur di sekitar wilayah TPA Antang Pasca Kebakaran tahun 2019.

2. Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui konsentrasi timbal dan kadmium pada air sumur masyarakat di sekitar TPA Antang.

- b. Menganalisis nilai pajanan timbal dan kadmium pada air sumur di sekitar TPA Antang.
- c. Menganalisis nilai *Risk Quotient* (RQ) akibat pajanan timbal dan kadmium pada air sumur di sekitar TPA Antang.
- d. Menganalisis nilai *Target Hazard Quotient* (THQ) akibat pajanan timbal dan kadmium pada air sumur di sekitar TPA Antang.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Manfaat Ilmiah

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi atau acuan untuk penelitian yang berbasis Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Penelitian ini memberikan gambaran tentang kondisi dan kandungan air sumur di Kelurahan Tamangapa dalam hal logam berat timbal dan kadmium.

2. Manfaat bagi Instansi

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai sumber informasi atau masukan tambahan bagi wilayah yang bersangkutan dalam memutuskan kebijakan dan regulasi terhadap upaya pencegahan terkait dampak yang akan ditimbulkan oleh adanya pajanan timbal dan kadmium di wilayah yang bersangkutan. Melalui hasil penelitian ini, Instansi setempat diharapkan mampu melakukan kontrol terhadap sumber air minum dan sumber air bersih yang digunakan oleh masyarakat.

3. Manfaat bagi Masyarakat

Penelitian ini dapat memberikan informasi terhadap masyarakat melalui instansi terkait tentang kandungan timbal dan kadmium pada air sumur sehingga masyarakat bisa mengetahui kondisi yang berhubungan dengan sumber airnya.

4. Manfaat bagi Peneliti

Penyusunan proposal penelitian hingga hasil penelitian menjadi pengalaman penting bagi peneliti. Peneliti mendapatkan tambahan wawasan dan juga pengalaman serta berkesempatan mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama menempuh studi di Program Studi Kesehatan Masyarakat Departemen Kesehatan Lingkungan Universitas Hasanuddin. Manfaat lain yang diterima oleh peneliti ialah mengetahui informasi tentang kandungan dan risiko kesehatan yang akan terjadi terhadap masyarakat yang ada di wilayah setempat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum tentang Air

1. Definisi Air

Air merupakan senyawa yang jumlahnya paling berlimpah di permukaan bumi yaitu meliputi sebesar 70% dari seluruh permukaan planet. Air terdiri dari senyawa kimia dengan rumus H_2O , dimana satu molekul air terdiri dari dua atom hidrogen yang melekat pada satu sisi dari atom oksigen yang terikat secara kovalen. Satu molekul air memiliki satu muatan positif pada sisi atom hidrogen dan muatan negatif pada sisi atom dari oksigen. Sisi atom hidrogen yang bermuatan positif dari satu molekul air menarik sisi oksigen yang bermuatan negatif dari molekul lainnya. Muatan listrik yang berlawanan ini akan saling tarik menarik sehingga molekul-molekul air akan saling berhubungan satu sama lain (Syamsuddin, 2014).

Jumlah air yang ada di bumi dan yang berada dalam siklus hidrologi adalah $1.385.984.610 \text{ km}^3$ yang sebagian besar adalah air laut sebanyak 96,5% 1,7% berupa air kutub, 1,7% sebagai air tanah dan 0,1% adalah air permukaan dan air di atmosfer. Air yang berada di atmosfer berjumlah 12.900 km^3 dan dari jumlah air tawar sebanyak 35 juta km^3 dua pertiganya adalah dalam bentuk es dan sisanya sebagian besar berupa air tanah pada kedalaman 200-600 meter dimana hanya 0.006% yang berupa air tawar di sungai. Jumlah air permukaan dan atmosfer pada suatu waktu relatif kecil

tetapi karena terjadi siklus hidrologi maka jumlah dalam satuan tahun cukup besar (Triadmodjo, 2013).

Air merupakan zat pelarut yang universal karena polaritas dan molaritasnya yang tinggi. Air disebut sebagai pelarut yang universal karena air murni jarang ditemukan di alam, akan tetapi selalu mengandung zat terlarut di dalamnya dimana kebanyakan berupa garam-garam. Senyawa ionis atau senyawa polar ketika masuk atau dimasukkan ke dalam air maka senyawa tersebut akan dikelilingi oleh molekul air. Kutub positif air tertarik ke muatan negatif zat terlarut dan kutub negatif dari molekul air akan tertarik ke muatan positif dari zat terlarut. Senyawa yang larut dalam air ada dalam bentuk yang terlarut, tersuspensi, koloid, maupun yang mudah diendapkan (Syamsuddin, 2014).

Air merupakan kebutuhan pokok bagi berlangsungnya kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya di bumi ini. Air digunakan sebagai air untuk minum, air untuk mandi dan mencuci, air untuk pengairan pertanian, perikanan, air untuk sanitasi dan air untuk transportasi baik di sungai maupun di laut. Air Selain penggunaannya secara konvensional, air juga diperlukan untuk meningkatkan kualitas hidup manusia, yaitu untuk menunjang kegiatan industri dan teknologi. Air sangat diperlukan agar industri dan teknologi dapat berjalan dengan baik (Wardhana, 2004).

Air merupakan zat paling penting dalam kehidupan manusia. Adanya air maka manusia dapat melakukan berbagai aktifitas penting dalam kesehariannya seperti mencuci, memasak dan aktifitas lainnya. Air

diperlukan untuk memenuhi kebutuhan industri, pertanian dan fasilitas umum lainnya. Tanpa adanya air maka manusia akan kesulitan dalam memenuhi kebutuhan tersebut (Wiharsa, 2016)

Air termasuk kedalam kebutuhan pokok dimana sangat dibutuhkan oleh manusia dan makhluk hidup dalam jumlah besar, kekurangan air yang disebabkan oleh perubahan iklim dapat mengakibatkan bahaya fatal bagi makhluk hidup. Air memiliki peranan penting dalam kehidupan sehingga dapat dinyatakan bahwa kualitas air merupakan syarat untuk mengukur kualitas kesehatan manusia. Tingkat kualitas dari air dapat digunakan sebagai indikator dari tingkat derajat kesehatan masyarakat. Semakin tinggi kualitas air minum maka semakin tinggi tingkat kesehatan masyarakatnya. Semakin maju suatu negara maka kualitas pengelolaan air bersihnya juga akan semakin baik, tentu berimplikasi pada meningkatnya kualitas kesehatan masyarakat (Situmorang, 2017).

Saat ini kebanyakan orang memanfaatkan air tawar dan air tanah sebagai sumber air minum dan sumber air bersih. Air laut yang asin jumlahnya besar akan tetapi pemanfaatannya sangat sedikit karena biaya proses desalinasi yang sangat mahal. Hal ini hanya dilakukan oleh daerah yang sudah tidak mempunyai sumber lain yang lebih baik. Penggunaan air tawar masih dapat memenuhi kebutuhan dan dipertahankan karena adanya siklus hidrologi. Siklus ini yang mempertahankan jumlah air yang ada di bumi selalu tetap (Slamet, 2009). Berikut merupakan sifat-sifat dari air (Syamsuddin, 2014):

a. Sifat-sifat kimia air:

- 1) Bereaksi dengan oksida-oksida asam
- 2) Bereaksi dengan oksida-oksida basa
- 3) Bereaksi dengan logam
- 4) Bereaksi dengan senyawa non-logam
- 5) Menggabung dalam membentuk garam-garam hidrat
- 6) Bersifat amfoterik yakni dapat bersifat asam dan dapat bersifat basa di dalam reaksi kimia. Pada saat bereaksi dengan asam kuat, air bersifat basa, dan pada saat bereaksi dengan basa kuat, air bersifat asam.

b. Sifat-sifat fisik air meliputi:

- 1) Dapat berbentuk padat (es, salju) cair, dan gas (uap air)
- 2) Tidak berwarna
- 3) Tidak berasa
- 4) Tidak berbau
- 5) Densitas (kepadatan): 1g/cc pada suhu 4°C
- 6) Titik beku: 0°C
- 7) Titik didih: 100°C
- 8) Suhu kritis: 374°C
- 9) Tekanan kritis: 217,5 atm.

c. Air memiliki beberapa sifat fisikawi yang spesifik, yakni:

- 1) Diperlukan energi yang lebih besar untuk memecahkan ikatan- ikatan hidrogen diantara molekul-moleku air.

- 2) Memiliki kapasitas panas spesifik yang tinggi. Kapasitas panas yang tinggi itulah yang mengakibatkan air sebagai media penyimpanan energi panas, sekaligus peredam panas (pendingin) yang baik-kedua tertinggi sesudah amoniak.
- 3) Memiliki panas penguapan yang tinggi (40,65 kJ/mol atau 2557kJ/kg pada titik didih normal).
- 4) Menjadi penyangga terhadap cuaca atau terhadap iklim yang sangat fluktuatif. Lautan menyerap panas 1.000× lebih banyak jika dibandingkan dengan udara dan menyimpan 80-90% panas bumi.
- 5) Molekul air mengembang jika suhunya ditingkatkan, dan kerapatannya menurun 4% jika panasnya mendekati titik (suhu) didihnya.
- 6) Pada saat suhu air 4°C, air akan selalu berada pada dasar danau air tawar, berapapun suhu udara.

2. Jenis-jenis Air

Air merupakan kebutuhan dasar bagi manusia karena selama hidup manusia selalu memerlukan air. Air diperoleh dalam tiga wujud yaitu bentuk padat sebagai es, bentuk cair sebagai air, dan bentuk gas sebagai uap air. Semakin bertambah jumlah penduduk, semakin tinggi pula laju pemanfaatan sumber-sumber air. Kebutuhan hidup masyarakat yang semakin meningkat diperlukan industrialisasi yang dengan sendirinya akan meningkatkan aktifitas penduduk serta beban penggunaan sumberdaya air. Beban dari pencemaran air juga bertambah cepat sesuai dengan cepatnya

laju pertumbuhan. Sumber air bersih menjadi semakin langka (Slamet, 2009).

a. Air Hujan

Air hujan merupakan uap air yang telah melalui proses kondensasi dan jatuh ke bumi. Air hujan yang jatuh ke bumi tidak selalu dalam bentuk zat cair akan tetapi dapat pula dalam keadaan zat padat. Air hujan bersumber dari air yang berada di angkasa sebagai uap air atau dalam bentuk awan yang berasal dari proses evaporasi air laut, air permukaan dan es yang ada di kutub. Kualitas air hujan tergantung dari besar dan lama dari curah hujan. Kualitasnya dapat dilihat dari kandungannya karena air hujan merupakan air murni (Daud & Dullah, 2014).

Ketersediaan air tidak terlepas dari proses berlangsungnya daur hidrologi yang merupakan suatu siklus air yang terjadi di bumi. Proses daur hidrologi menggunakan energi panas matahari untuk menunjang terjadinya proses evaporasi di laut atau badan air lainnya. Uap air ini akan terbawa oleh angin melintasi daratan yang bergunung ataupun datar dan apabila keadaan atmosfer memungkinkan maka sebagian dari uap air akan turun menjadi hujan (Bisri, 2012).

b. Air Permukaan

Air permukaan adalah air yang berada di atas permukaan dimana air ini tidak mengalami infiltrasi ke bawah tanah. Air yang diperoleh dari sungai, air dari danau dan air dari waduk digolongkan sebagai air permukaan karena letaknya di atas tanah. Air permukaan sangat mudah

mengalami pencemaran yang diakibatkan oleh banyaknya kegiatan yang dilakukan oleh manusia (Untung, 2008). Aliran permukaan tanah biasanya dapat dilihat pada daerah urban. Sungai-sungai bergabung satu sama lain dan membentuk sungai utama yang membawa seluruh air permukaan di sekitar daerah aliran sungai menuju laut (Syarifuddin, 2017).

c. Air Tanah

Air tanah dapat berasal dari air hujan maupun air permukaan yang masuk ke dalam tanah melalui pori-pori tanah. Menjaga kelestarian air tanah, maka perlu adanya keseimbangan antara pengisian dan pengambilannya. Meningkatkan kapasitas infiltrasi air tanah dengan cara memperbaiki struktur tanah. Cara yang paling efektif dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi adalah dengan memperhatikan tata guna lahan sehingga memungkinkan untuk memberi kesempatan peresapan ke dalam tanah. Lahan yang terbuka dan ditutupi dengan tumbuhan dapat memperbesar infiltrasi (Selintung, 2012).

Air tanah (*groundwater*) merupakan air yang menempati rongga-rongga pada lapisan geologi dalam keadaan jenuh dan dalam jumlah yang cukup (Bisri, 2012). Air tanah ialah air yang letaknya berada di dalam tanah. Air tanah dapat diperoleh dengan menggali sumur atau pompa. Air tanah yang sebagian besar berasal dari air permukaan dan air hujan relatif lebih bersih. Kualitas air tanah dapat dipengaruhi oleh letak dan kondisi pada daerah tertentu. Air yang berada di sekitar lokasi

penggalian batu dan pasir akan banyak mengandung unsur besi. Air yang berada di sekitar daerah berkapur akan banyak mengandung kalsium (Untung, 2008).

1) Air Tanah Dangkal

Air tanah dangkal adalah air tanah yang terjadi karena infiltrasi dan terkumpul pada atas lapisan tanah yang rapat air. Air tanah dangkal dimanfaatkan sebagai sumber air baku melalui sumur-sumur dangkal. Rata-rata rumah penduduk di Indonesia mempunyai sumur dangkal untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, terutama yang belum sempat dilayani oleh PDAM. Kapasitas air tanah dangkal berfluktuasi sesuai musim. Ketersediaan air tergantung pada lokasi dan lapisan geologi tanah. Umumnya air tanah dangkal mempunyai kualitas yang baik karena adanya penyaringan oleh lapisan tanah kelilingnya. Tetapi adanya peningkatan pembuangan limbah yang tidak tertib menyebabkan air tanah dangkal tercemar (Selintung, 2012).

2) Air Tanah Dalam

Air tanah dalam terdapat setelah lapisan rapat dari air yang pertama. Pengambilan air tanah dalam, tidak semudah pada pengambilan air tanah dangkal. Pengambilan air tanah dalam harus menggunakan bor dan memasukkan pipa ke dalamnya sehingga dalam suatu kedalaman akan didapatkan suatu lapisan air. Air yang tak dapat

keluar dengan sendirinya maka digunakan pompa untuk membantu pengeluaran air tanah dalam (Sutrisno & Suciastuti 2006).

Air tanah dalam adalah air tanah yang letaknya diantara dua lapisan tanah rapat air. Dikenal dua macam permukaan statis air tanah yaitu permukaan air tanah statis negatif dan permukaan air tanah statis positif. Permukaan air tanah statis negatif adalah muka air tanah setelah pengeboran masih dibawah permukaan tanah sehingga masih perlu pompa untuk menaikkan air kepermukaan. Muka air tanah statis positif adalah permukaan air tanah yang melampaui permukaan tanah setelah dilakukan pengeboran. Pengeboran air tanah dalam dapat dilakukan dengan beberapa cara. Cara pancang, cara jetting, cara auger dan lainnya. Pemilihan cara yang akan digunakan tergantung dari jenis lapisan tanah yang akan dibor dan kedalaman tanah yang dibor (Selintung, 2012).

B. Tinjauan Umum tentang Air Sumur

Salah satu sarana air bersih yang sebagian besar masih dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia adalah air sumur gali. Sumur gali mudah dalam pembuatan dan dapat dibuat oleh masyarakat sendiri dengan peralatan yang sederhana dan biaya yang cukup murah. Sumur gali mempunyai tingkat risiko pencemaran sangat tinggi karena mudah terkontaminasi melalui rembesan yang umumnya berasal dari tempat pembuangan kotoran manusia, pembuangan kotoran hewan juga berasal dari limbah sumur itu sendiri baik lantai maupun saluran air limbahnya yang tidak kedap air (Roebiakto dkk, 2017).

Sumur merupakan sumber air bersih yang banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia. Air sumur agar memenuhi syarat kesehatan sebagai air rumah tangga maka perlu dilindungi terhadap bahaya-bahaya pengotoran. Menghindari sumber pengotoran maka harus diperhatikan jarak sumur dengan kakus, lubang galian sampah, lubang galian untuk air limbah, dan sumber-sumber pengotoran lainnya. Jarak ini tergantung pada bidang dari kemiringan tanah yang jaraknya tidak berada di bawah tempat sumber pengotoran. Sumur harus di tempatkan di lokasi yang memiliki air dalam tanah dan tidak dibuat di dataran rendah yang besar kemungkinan dapat tergenang air banjir (Entjang, 2000).

Air sumur merupakan salah satu bagian dari air tanah. Air sumur sebagian besar airnya berasal dari air hujan yang jatuh ke permukaan bumi. Sumur merupakan sumber utama persediaan air bersih bagi penduduk yang tinggal di daerah pedesaan maupun perkotaan Indonesia. Secara teknis, sumur menurut Chandra (2007) dibagi ke dalam 2 jenis yaitu:

1. Sumur dangkal (*shallow well*)

Sumur ini memiliki sumber air yang berasal dari resapan air hujan di atas permukaan bumi terutama di daerah dataran rendah. Jenis sumur seperti ini banyak terdapat di Indonesia dan sangat mudah terkontaminasi air kotor yang berasal dari kegiatan mandi-cuci-kakus (MCK). Sumur dangkal ini akan mengalami kekeringan pada musim kemarau.

2. Sumur dalam (*deep well*)

Sumber air dari jenis sumur ini berasal dari proses purifikasi alami dari air hujan oleh lapisan kulit bumi menjadi air tanah. Sumber air sumur dalam tidak mengalami kontaminasi dan memenuhi persyaratan sanitasi. Sumur ini tidak mengalami kekeringan dan air akan tersedia sepanjang tahun.

Air sumur gali termasuk kategori air tanah dangkal sehingga mudah mengalami cemaran dari permukaan. Cemaran tersebut dapat berasal dari aktifitas alamiah maupun aktifitas manusia. Air bersih yang layak pakai harus memenuhi syarat yang mencakup kualitas fisik, kimia dan biologi (Mahardika dkk, 2018).

Pengambilan air tanah dangkal dapat melalui sumur gali dan sumur pompa tangan. Sumur gali dibuat dari pasangan batu atau pipa beton dengan diameter yang berbeda-beda. Mulai dengan diameter 80 cm sampai 200 cm tergantung lokasi dan jumlah penggunaannya. Kedalaman sumur tergantung dari kedalaman air tanah. Umumnya kedalaman sumur dibuat lebih dalam dari tinggi muka air tanah pada musim kemarau yang paling ekstrem, sehingga masih ada air dalam sumur pada waktu musim kemarau. Alat yang digunakan untuk mengambil air adalah timba atau pompa. Sumur Pompa Tangan (SPT) disesuaikan dengan kedalaman muka air minimal dan jenis pompa yang digunakan. Fungsi pompa adalah untuk menghisap air dari dalam tanah dan membawanya ke permukaan. Letak sumur harus minimal 10 meter dari sumber pencemar seperti lobang kakus atau sampah (Selintung, 2012).

Air tanah dangkal dapat terjadi karena daya dari proses peresapan air pada permukaan tanah. Lumpur akan tertahan, demikian pula dengan sebagian bakteri, sehingga air tanah akan jernih. Air tanah lebih banyak mengandung zat kimia (garam-garam yang terlarut) karena melalui lapisan tanah yang mempunyai unsur-unsur kimia tertentu untuk masing-masing lapisan tanah. Lapis tanah di sini berfungsi sebagai saringan. Disamping penyaringan, pengotoran juga masih terus terjadi, terutama pada muka air yang dekat dengan permukaan tanah, setelah menemui lapisan rapat air, air akan terkumpul yang dalam hal ini merupakan air tanah dangkal di mana air tanah ini yang nantinya dimanfaatkan untuk sumber air minum melalui sumur-sumur dangkal. Hal-hal yang perlu diketahui dalam pembuatan sumur dangkal ini adalah (Sutrisno & Suciastuti 2006).

1. Sumur harus diberi tembok rapat air 3 m dari muka tanah, agar pengotoran oleh air permukaan dapat dihindarkan.
2. Sekeliling sumur harus diberi lantai rapat air selebar 1-1,5 m untuk mencegah terjadinya pengotoran dari luar.
3. Lantai (sekelilingnya) harus diberi saluran pembuangan air kotor, agar air kotor dapat tersalurkan dan tidak akan mengotori sumur ini.
4. Pengambilan air sebaiknya dengan pipa kemudian air dipompa ke luar.
5. Bibir sumur, hendaknya diberi tembok pengaman setinggi 1,00 m.

Sumur bor dibuat dengan cara mengebor tanah menggunakan bor fidia maupun bor intan. Diameter sumur bor biasanya 4-5 m dengan kedalaman yang lebih dari sumur gali. Sumur bor pada tanah berpasir kedalamannya bisa

mencapai 30-40 m dengan air naik 5-7 m dari permukaan tanah. Sumur bor pada tanah liat atau tanah padas kedalamannya 40-60 m dengan air naik 7 m dari permukaan tanah. Tanah yang berkapur kedalaman sumurnya lebih dari 60 m dan pada tanah yang berbukit kedalamannya lebih dari 100 m. Air dari sumur bor sejuk dan jernih, relatif tidak ada pencemaran air, serta mengandung bakteri dan algae lebih sedikit dibandingkan dengan air sumur gali (Kuncoro, 2008).

Secara umum, syarat lokasi penempatan sumur bor atau sumur pompa yaitu harus berjarak horizontal minimum 11 meter ke arah hulu dan aliran tanah dari sumber pengotoran seperti resapan dari tangki septik, kakus, empang, lubang galian untuk sampah dll. Syarat konstruksi untuk sumur bor menurut Tim MGMP Pati (2009) yaitu:

1. Saringan atau pipa-pipa yang berlobang berada dalam lapisan yang mengandung air.
2. Lapisan yang kedap air antara permukaan tanah dan pipa saringan sekurang-kurangnya 3 meter.
3. Lantai sumur yang kedap air ditinggikan 20 cm dari permukaan tanah, lebarnya kurang lebih 1,5 meter sekeliling pompa.
4. Saluran pembuangan air limbah harus di tembok kedap air minimal 10 meter panjangnya.
5. Mengambil air dapat menggunakan pompa tangan maupun pompa listrik.

Sumur yang sudah dibuat menurut aturan kesehatan masih tetap akan mengalami risiko pengotoran pada saat pembuatan dan pemakaian, karena

itu air sumur perlu dilakukan desinfeksi. Desinfektan yang sering digunakan adalah kaporit. Dosis kaporit ialah 1 gram/100 liter air. Pemberian kaporit pada sumur baru dilakukan dengan membuat larutan kaporit sebanyak 20 liter air ditambah 2 sendok makan kaporit. Pompa dilepas dari pipa dan dituangkan 20 liter larutan kaporit kemudian di diamkan selama 24 jam (Entjang, 2000).

Sumur bor pada dasarnya adalah sumur gali yang dibuat dengan menggunakan bor auger bumi dan bukan sekop. Alat tersebut apabila diputar dengan tangan, maka lubang yang terbentuk akan memiliki diameter antara 8 dan 14 inci. *Auger* yang digerakkan dengan menggunakan mesin akan membentuk lubang dengan diameter yang lebih lebar yaitu mencapai diameter 3 kaki. Sumur bor memiliki kedalaman yang lebih dalam dibandingkan dengan sumur gali biasa, tapi kedalamannya jarang dapat mencapai permukaan air yang lebih rendah dari 100 kaki di dalam tanah (John & Storey, 1999).

C. Tinjauan Umum tentang Timbal (Pb)

Timbal atau timah hitam merupakan salah satu jenis logam yang lunak dan berwarna coklat kehitaman dan mudah dimurnikan dari pertambangan. Timbal dalam pertambangan berbentuk sulfida logam yang sering disebut galena. Senyawa ini sangat banyak ditemukan pada pertambangan di seluruh dunia (Darmono, 1995).

Timbal adalah logam lunak berwarna abu-abu dan pada sistem periodik unsur termasuk dalam golongan IV. Timbal memiliki kepadatan yang tinggi. Kepadatan timbal lebih dari 11 kali lipat dari air dan sekitar 1,5 kali lipat dari

logam biasa lainnya, seperti besi. Masing-masing atom dalam timbal relatif berat, ini karena timbal memiliki nomor atom yang tinggi. Nomor atom suatu elemen menunjukkan berapa banyak proton (partikel bermuatan positif) yang terkandung dalam inti atom di pusat atom. Timbal memiliki nomor atom 82 dan hanya 12 proton lebih sedikit dari pada proton planet pluto yang merupakan atom terberat dari semua atom alami. Semua atom timbal memiliki 82 proton, dapat memiliki jumlah neutron (partikel yang tidak berubah) yang berbeda dalam inti atom. Hal ini berarti bahwa setiap bagian timbal mengandung beberapa jenis atom, yang disebut isotop. Setiap isotop timbal memiliki massa atom yang berbeda (Watt, 2002).

Timbal termasuk logam pancatransisi dan merupakan anggota kelompok karbon dengan simbol Pb. Timbal berbentuk logam lembut, stabil, memiliki densitas tinggi, tahan korosi, memiliki konduktivitas lemah dan paruh waktu sangat lama serta terdapat bebas secara alami di bumi dalam bentuk empat isotop yaitu 204, 206, 207 dan 208 serta kemampuan bereaksi. Timbal biasanya digunakan untuk penahan radiasi. Penggunaan timbal dipermudah oleh sifat-sifatnya (Sembel, 2015).

Timbal pada awalnya adalah logam berat yang secara alami terdapat di dalam kerak bumi. Timbal juga bisa berasal dari kegiatan manusia yang jumlahnya mampu menjapai 300 kali lebih banyak dibandingkan Pb alami. Pb memiliki titik lebur rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal meleleh pada suhu 328°C (662°F), titik didih sebesar 1740°C (3164°F)

dan memiliki gravitasi 11,34 dengan berat atom 207,20. Logam timbal bersifat toksik yang melalui makanan, minuman, udara, air, serta debu yang tercemar Pb. Intoksikasi Pb bisa terjadi melalui jalur oral, pernapasan, kontak lewat kulit, lewat mata, dan parenteral (Widowati dkk, 2008).



Gambar 2.1. Timbal (Pb)

Sumber : Ethan Currrens, 2009

(<https://periodictable.com/Items/PbTe/index.wt.html>)

1. Sumber dan Penggunaan Timbal

Logam timbal didapatkan di alam sebagai bentuk endapan primer maupun endapan sekunder. Endapan primer logam timbal didapatkan sebagai mineral galena (PbS), didapatkan bersama dengan sphalerite, pirit dan chalcopyrite. Endapan sekunder logam timbal didapatkan sebagai mineral anglesite (PbSO_4) dan *cerrusite* (PbCO_3). Timah hitam merupakan racun sintetik. Keracunan Pb akan menimbulkan gejala rasa logam di mulut, garis hitam pada gusi, gangguan pencernaan, anoreksia, muntah-muntah, kolik, encephalus, *wrist drop*, irritable, perubahan kepribadian, kelumpuhan, dan kebutaan (Sukandarrumidi, 2018).

Kebanyakan logam (selain emas) biasanya tidak terjadi secara alami, sebaliknya, ditemukan dalam senyawa yang dikombinasikan dengan unsur-unsur lain, seperti sulfur, oksigen, dan karbon. Senyawa-senyawa ini juga tidak muncul dalam bentuk murni, tetapi cenderung dikombinasikan dengan banyak senyawa lain dalam proporsi yang berbeda. Batuan yang mengandung jumlah logam dan mineral yang bermanfaat disebut bijih. Timbal yang paling penting adalah berasal dari batu yang disebut galena, yang mengandung timbal sulfida (PbS) dalam jumlah besar. Galena biasanya juga mengandung sejumlah kecil senyawa logam lainnya termasuk zink dan perak (Watt, 2002).

Timbal dalam perindustrian dipergunakan sebagai bahan campuran pembuatan cat, pembungkus luar batu baterai kering, elemen utama baterai basah. Timbal juga dimanfaatkan sebagai bahan penampur bensin yaitu berupa timbal organik ($TEL = Tetra Ethyl Lead$) yang sengaja ditambahkan ke dalam bensin untuk meningkatkan nilai oktan (Sukandarrumidi, 2018).

Timbal yang terdapat di dalam air memiliki memiliki bilangan oksidasi $+II$ dimana logam ini dikeluarkan oleh sejumlah industri dan pertambangan. Timbal yang berasal dari bahan bakar bertimbal merupakan sumber utama dari timbal yang berada di atmosfer bumi dan daratan yang kemudian dapat memasuki perairan alami. Timbal yang berasal dari batuan kapur dan galena (Pbs) merupakan sumber timbal pada perairan alami (Achmad, 2004).

Timah hitam atau Pb yang ada dalam tatanan udara, terutama sekali bersumber dari buangan (asap) kendaraan bermotor. Logam ini merupakan sisa-sisa pembakaran yang terjadi antara bahan bakar dengan mesin kendaraan. Melalui buangan mesin kendaraan tersebut, unsur Pb terlepas ke udara. Sebagian di antaranya akan membentuk partikulat di udara bebas dengan unsur-unsur lain; sedangkan sebagian lainnya akan menempel dan diserap oleh daun tumbuh-tumbuhan yang ada di sepanjang jalan (Palar, 2012). Kegunaan logam timbal yaitu (Sukandarrumidi, 2018):

- a. Pelindung kabel listrik bawah tanah atau dasar laut.
- b. Pelat/ sel-sel accu untuk penghubung kutub dan akumulator
- c. Sebagai gelang *packing*
- d. Pembungkus saluran pipa air minum
- e. Peluru senapan
- f. Pembungkus baterai kering
- g. Bahan konstruksi bangunan perisai radiasi nuklir

2. Efek yang ditimbulkan Timbal

Pencemaran timbal sebagian besar disebabkan oleh asap kendaraan bermotor. Hampis sebanyak 85% pencemaran timbal pada manusia berlangsung melalui pernapasan, 14% melalui pencernaan, dan sisanya 1% melalui kulit. Timbal yang meracuni lingkungan akan berdampak pada seluruh sistem tubuh. Pemaparan yang tinggi akan menyebabkan kerusakan otak yang parah bahkan dapat menyebabkan kematian. Timbal pada anak kecil menimbulkan penurunan kemampuan otak (Mallongi, 2017).

Timbal merupakan logam yang sangat beracun dan dapat mempengaruhi setiap organ dan sistem dalam tubuh manusia. Anemia merupakan gejala awal dari keracunan kronik karena timbal menghambat sintesis haemolymph. Timbal dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernapasan, makanan dan kontak dengan kulit. Timbal tetraetil diabsorpsi melalui kulit tetapi kebanyakan masuk ke dalam sel-sel darah merah dan disirkulasi ke seluruh tubuh dan terkonsentrasi dalam hati dan ginjal yang selanjutnya akan disebarluaskan ke tulang, gigi, dan otak. Target utama dari timbal adalah sistem persarafan (Sembel, 2015).

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang paling banyak mencemari perairan, hal ini disebabkan karena timbal merupakan salah satu limbah hasil penguraian bahan bakar dan dari industri. Tubuh manusia ketika terpapar oleh timbal, maka timbal akan dibawa oleh sel darah merah dan didistribusikan ke jaringan lunak (ginjal dan hati), didistribusikan kembali ke tulang, gigi, dan rambut biasanya dalam bentuk garam fosfat. Mekanisme toksisitasnya sendiri dikarenakan timbal dapat menghambat biosintesis heme, dan juga dapat berikatan dengan gugus sulfidril pada protein (Sudir dkk, 2017).

Keberadaan logam timbal di perairan dapat mengakibatkan kematian bagi biota pada konsentrasi yang cukup tinggi. Ikan akan mengalami kematian jika mengandung timbal hingga 188 mg/L. biota perairan seperti *Crustacea* akan mengalami kematian setelah 245 jam, bila pada badan perairan dimana biota berada terlarut timbal pada konsentrasi 2,75-49 mg/L.

golongan *Insecta* yang hidup di perairan akan mengalami kematian dalam kurun waktu 168-336 jam, jika di badan air terdapat timbal terlarut sebanyak 3,5-66 mg/L (Rumhayati, 2019).

Timbal sangat beracun terhadap manusia dan mengalami akumulasi di dalam tubuh yang dapat menyerang sistem syaraf pusat. Berbeda dengan logam seperti Seng (Zn), Besi (Fe), Kalsium (Ca), dan Natrium (Na), yang diperlukan untuk tubuh, timbal sama sekali tidak memiliki fungsi biologis yang berguna dan tidak boleh masuk dalam tubuh. Timbal berguna di bidang industri dan dapat dijadikan sebagai perisai untuk sinar-X dan radiasi yang dihasilkan dalam reaktor nuklir (Lew, 2009).

Timbal merupakan racun yang dikenal, dengan pemasukan tiap hari yang melalui makanan, air, udara, dan penghirupan asap tembakau. Kesetimbangan dalam tubuh dapat dipelihara pada total intakes kira-kira 0,3-0,4 mg/hari. Intake dengan konsentrasi 8-10 mg/l dalam air untuk selama beberapa minggu, adalah di dalam *range* yang membahayakan. Keracunan yang dilaporkan berasal dari penggunaan air dengan variasi konsentrasi antara 0,04-1 mg/l atau lebih. Konsentrasi serendah 0,1 mg/l akan mengganggu kehidupan ikan. Konsentrasi standar maksimal yang diperbolehkan untuk unsur timbal dalam air minum menurut Departemen Kesehatan Republik Indonesia adalah sebesar 0,1 mg/l (Sutrisno & Suciastuti 2006).

D. Tinjauan Umum tentang Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan logam berat yang berwarna putih keperakan yang menyerupai aluminium. Kadmium digunakan untuk melapisi logam seperti halnya seng tetapi kualitasnya lebih baik. Logam ini juga biasa digunakan sebagai elektrolisis dimana dilakukan dengan cara direndam atau disemprot. Kadmium juga banyak digunakan sebagai bahan pigmen untuk industri cat, enamel, dan plastik yang biasanya dalam bentuk sulfida dapat memberi warna kuning sampai coklat sawo matang. Kadmium juga dapat digunakan untuk pembuatan aki bersama dengan nikel (Darmono, 1995).

Kadmium merupakan logam berat yang berbentuk lunak berwarna metal biru putih yang hampir sama dengan seng dan merkuri. Kadmium merupakan hasil sampingan dari tambang seng dan timah serta dari peleburan. Rata-rata konsentrasi kadmium pada kulit bumi adalah antara 0,1 dan 0,5 ppm. Kadmium baru ditemukan pada tahun 1817 dan baru diketahui kegunaannya sebagai bahan pelapis elektro atau galvanisasi sekitar 50 tahun yang lalu. Kadmium dipergunakan sebagai bahan pelapis besi dan baja, pembuatan baterai, *electroplating*, pembelahan nuklir, cat, pigmen warna, pensil warna dan *helium-cadmium laser* (Sembel, 2015).

Kadmium (Cd) dalam tabel sistem periodik unsur merupakan unsur logam dengan nomor atom 48, massa atomnya sebesar 112,41, dan terletak pada periode 5. Logam kadmium dikenal sebagai unsur *chalcophile* yaitu ditemukan sebagai depositsulfida. Kelimpahan kadmium dalam kerak bumi sekitar 0,13 μ g/g. Kadmium memiliki kemiripan sifat seperti logam seng dan

keduanya mengalami proses geokimia yang sama. Kadmium di perairan berada dalam bentuk ion bebas (divalen) maupun dalam bentuk senyawa klorida dan senyawa kompleks dengan ligan organik yang berada di perairan (Rumhayati, 2019).

Logam Kadmium menjadi terkenal setelah adanya kasus pencemaran air sungai di wilayah Kumamoto Jepang yang menyebabkan keracunan pada manusia. Logam Kadmium biasanya selalu ada dan bercampur dengan logam lain terutama dalam pertambangan Seng (Zn) dan Timbal (Pb) yang selalu ditemukan kadmium dengan kadar sebesar 0,2%-0,4%. Kadmium mempunyai sifat yang tahan terhadap panas sehingga bagus untuk menjadi campuran pembuatan bahan keramik, enamel dan plastik, serta sangat tahan terhadap korosi sehingga bagus untuk melapisi pelat besi dan baja (Darmono, 1995).

1. Sumber dan Penggunaan Kadmium

Sumber alamiah kadmium berasal dari eposisi atmosferik dan efluen pabrik yang menggunakan logam ini dalam proses kerjanya. Industri baterai, pemakaian pupuk dan fungisida ikut menyumbang kadmium di perairan sebagai sumber antropogenik. Kadmium banyak ditemukan di air dan sedimen perairan yang dikelilingi oleh industri. Konsentrasi kadmium dalam sedimen perairan dapat mencapai 100 mg/kg berat kering sedimen. Musim panas atau kemarau, bagian bawah perairan akan kekurangan oksigen terlarut sehingga kadmium akan banyak diendapkan dalam sedimen karena adanya reduksi mikrobial ion sulfat menjadi ion sulfide yang dapat membentuk senyawa CdS dengan ion Cd (Rumhayati, 2019).

Kadmium merupakan unsur kimia dengan simbol Cd dan memiliki jumlah atom sebesar 48 dan terdiri dari 8 isotop. Logam berat ini telah digunakan pada industri baja dan plastik. Keberadaan Cd dalam air dapat melalui air buangan dan menyebar sebagai bahan cemaran yang disebabkan oleh pemakaian pupuk dan pencemaran udara lokal. Pencemaran Cd juga dapat berasal dari pemutihan timah dari perabotan yang terbuat dari logam. Kadar Cd dalam air minum biasanya kurang dari 1 mg/L. makanan adalah sumber utama pemaparan Cd. *Intake* melalui mulut perhari adalah 10-35 mg. salah satu sumber tambahan dari pemaparan kadmium adalah merokok (Daud & Dullah, 2014).

Keberadaan kadmium di alam sangat berhubungan dengan hadirnya logam berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn). Timbal dan seng pada industri pertambangan pada proses pemurnian akan selalu memperoleh hasil samping berupa kadmium yang terbuang pada lingkungan. Kadmium masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan dan minuman yang telah terkontaminasi (Darmono, 2010).

Kadmium dihasilkan sebagai hasil samping ekstraksi timbal dan seng. Logam kadmium digunakan pada campuran logam, cat dan produksi beberapa plastik. Pembakaran bensin yang mengandung TEL dapat menghasilkan kadmium yang akan masuk ke udara. Kadmium dihasilkan juga dari pembakaran plastik dan rokok. Asap dua puluh batang rokok dapat mengandung 2×10^{-5} g logam kadmium. Kadmium dapat mengganti kedudukan seng pada metabolisme lemak sehingga dapat menghambat

beberapa reaksi. Kadmium dapat menggantikan kedudukan ion Ca^{2+} . Adanya kadmium dalam tulang, menyebabkan tulang berpori sehingga mudah retak. Kadmium dapat tertimbun dalam kerang. Tiram dalam air tercemar dapat mengandung (0,05 ppm kadmium, sedangkan dalam air tercemar mencapai 5 ppm kadmium (Achmad,2001).

Logam kadmium sangat penting dan banyak digunakan khususnya pada bidang pelapisan elektrik dan galvanisasi karena Cd memiliki keistimewaan yang tidak mengalami korosi. Cd banyak digunakan dalam pembuatan alloy dan digunakan sebagai pigmen warna cat, keramik, plastik, stabilizer plastik, katode untuk Ni-Cd pada baterai, bahan fotografi, pembuatan tabung pada tv, karet sabun, kembang api, percetakan tekstil, dan pigmen untuk gelas dan email gigi. Pemnafaatan Cd dan persenyawaannya yaitu (Widowati dkk, 2008):

- a. Senyawa Cds dan CdSes yang banyak digunakan sebagai zat warna.
- b. Senyawa Cd sulfat (CdSO_4) yang digunakan pada industri baterai yang berfungsi sebagai pembuatan sel wseton karena memiliki voltase stabil yaitu sebesar 1,0186 volt.
- c. Senyawa Cd-bromida (CdBr) dan Cd-ionida (CdI_2) yang digunakan untuk kegiatan fotografi.
- d. Senyawa dietil-Cd [$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cd}$] yang digunakan untuk pembuatan tetraeil-Pb.
- e. Senyawa Cd-stearat untuk perindustrian manufaktur polyvinilkhlorida (PVC) sebagai bahan *stabilizer*.

2. Efek yang ditimbulkan Kadmium

Keracunan kadmium yang akut dapat menyebabkan tekanan darah tinggi, kerusakan ginjal, dan kerusakan sel darah merah. Efek akut dari kadmium disebabkan oleh sifatnya yang mirip dengan seng yang merupakan logam esensial yang berada pada organisme. Kadmium menggantikan seng dalam enzim sehingga mengubah stereostruktur enzim dan mengakibatkan perubahan aktivitas enzim. Kadmium dapat mengalami biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup (Rumhayati, 2019).

Kadmium beraksi sebagai katalis dalam pembentukan reaktif oksigen, meningkatkan peroksida lipid, menghabiskan antioksidan, *glutation* dan mempromosi produksi pembengkakan sitokin. Toksisitas akut dapat terjadi apabila seseorang mengkonsumsi kadmium dalam konsentrasi tinggi. Menghirup gas kadmium atau bahan yang mengandung kadmium yang dipanaskan dapat mengakibatkan pneumonitis akut dan pembengkakan paru-paru. Menghirup gas Cd yang lebih banyak dapat mengakibatkan bronchitis pada saluran pernapasan, radang paru-paru dan pembengkakan paru-paru. Toksisitas akut dapat terjadi apabila seseorang menelan Cd dalam konsentrasi yang relatif tinggi dimana makanan ataupun minuman telah tercemar oleh Cd (Sembel, 2015).

Organ yang menjadi target utama dari toksisitas Cd adalah ginjal. Batas krisis konsentrasi Cd pada lapisan ginjal yang mungkin menyebabkan 10% prevakusi dari berat molekul protein rendah pada masyarakat yaitu kira-kira sebesar 175% mg/orang selama 50 tahun (Daud & Dullah).

Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang bila terpapar pada tubuh manusia maka akan berikatan dengan albumin dan juga sel darah serta metallothionin pada jaringan hati dan ginjal. Logam berat Kadmium apabila terpapar secara oral, maka akan menyebabkan luka pada tubulus proksimal ginjal. Gejala keracunan akut kadmium berupa muntah, dan diare, sedangkan gejala keracunan kronis yaitu terjadinya nefrotoksisitas (Sudir dkk, 2017).

E. Tinjauan Umum tentang Tempat Pembuangan Akhir

Beberapa metode pembuangan akhir sampah yaitu: (Runtunuwu, 2020)

1. Metode Penimbunan Terbuka (*Open Dumping*)

Metode penimbunan terbuka merupakan salah satu sistem pembuangan akhir yang paling sederhana. Sampah ditimbun di lokasi TPA tanpa ada tindak lanjut berikutnya. Timbunan sampah yang terbuka dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitar berupa bau, lalat, pencemaran terhadap air, estetika, dan lain sebagainya. Metode penimbunan secara terbuka tidak lagi direkomendasikan untuk digunakan.

2. Metode Lahan Urung Terkendali (*Controlled Landfill*)

Metode lahan urung terkendali merupakan perbaikan dari metode penimbunan terbuka. Timbunan sampah secara bertahap ditutup dengan lapisan tanah untuk mengurangi kemungkinan gangguan terhadap pencemaran lingkungan di sekitarnya. Akhir pengoperasiannya di TPA yaitu semua timbunan sampah akan tertutup oleh lapisan tanah. Metode ini perlu dilakukan usaha proteksi pencemaran *leachate* dan gas dengan cara seperti:

- a. Pengumpulan *leachate* di dasar TPA
- b. Pengumpulan dan penyaluran gas metan
- c. Pengolahan *leachate* di dalam kolam-kolam
- d. Pemagaran lokasi dan sistem drainase merupakan fasilitas tanahm

3. Metode Lahan Urung Saniter (*Sanitary Landfill*)

Metode lahan urung saniter adalah metode penutupan dengan lapisan tanah yang dilakukan pada akhir hari operasi sehingga setelah operasi berakhir, maka tidak akan terlihat adanya timbunan sampah. Upaya pengendalian *leachate* dan gas pada metode ini lebih baik atau lebih aman dibandingkan dengan *controlled landfill*. Metode ini jauh lebih baik dari metode sebelumnya hanya saja biaya pengoperasiannya dan pemeliharannya cukup mahal sehingga pemerintah belum mampu melaksanakannya.

4. *Improved Sanitary Landfill*

Metode *improved sanitary landfill* adalah pengembangan lebih lanjut dari metode *sanitary landfill* dimana seluruh air lindi yang dihasilkan akan disalurkan dan diolah di suatu tempat sebelum dibuang secara aman ke lingkungan.

F. Tinjauan Umum tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Analisis risiko adalah suatu kegiatan sistematis dengan menggunakan informasi yang ada untuk mendeteksi seberapa besar konsekuensi dengan tingkat keseringan suatu kejadian yang timbul. Tujuan dilakukan analisis risiko adalah untuk memisahkan antara risiko kecil (*minor risk*) dengan risiko besar

(*major risk*) yang kemudian dapat digunakan sebagai evaluasi dan pertimbangan perlakuan pengendalian. Tujuan dari analisis risiko adalah untuk membedakan risiko minor yang dapat diterima atau risiko mayor yang membutuhkan tindakan pengendalian. Analisis risiko dapat dilakukan untuk berbagai tingkat rincian tergantung pada risiko, tujuan analisis, informasi, data dan sumber daya yang tersedia. Analisis risiko dapat berbentuk kualitatif, semi kuantitatif, kuantitatif ataupun kombinasi diantara ketiganya tergantung pada keadaan (Wibowo, 2018).

Risiko disebabkan oleh alam, binatang, ataupun oleh manusia itu sendiri baik secara sengaja maupun karena kelalaian atau ketidaksengajaan karena berbagai alasan. Risiko dapat dikelola, dihindari, dimitigasi ataupun dialihkan melalui suatu *Good Corporate Governance*, sistem dan prosedur yang baik, kualitas sumber daya manusia yang baik, instrument yang terukur dan terkendali. Risiko dapat dikelola melalui program keselamatan, keamanan, dan kepastian. Suatu risiko apabila tidak dapat dikelola dengan baik maka akan bertransformasi menjadi suatu krisis. Krisis yang tidak dapat dikelola dengan sempurna akan berubah menjadi bencana (*disaster*) (Bong dkk, 2019).

Analisis risiko kesehatan lingkungan menfokuskan kajian pada potensi risiko yang ada pada lingkungan yang dapat menjadi sumber pajanan dan menimbulkan efek kesehatan masyarakat. ARKL mampu meramalkan besaran tingkat risiko secara kuantitatif dan mampu berkolaborasi dengan epidemiologi kesehatan lingkungan dimana dapat membuktikan apakah prediksi itu sudah terbukti atau belum. Penilaian status kesehatan masyarakat tidak hanya

memberikan estimasi numerik risiko kesehatan melainkan juga memberikan perspektif kesehatan masyarakat dengan memadukan analisis mengenai kondisi pemukiman setempat, data efek kesehatan, dan kondisi masyarakat (Pitriani & Herawanto, 2019).

1. Identifikasi Bahaya

Identifikasi dalam analisis risiko meliputi urutan dari suatu kejadian akibat terlepasnya sesuatu bahan dari tempatnya ke dalam suatu lingkungan dan terjadi kontak dengan manusia, tanaman, hewan, batuan, unsur kimia di alam, ekosistem, dan lain sebagainya. Gambaran dari urutan kejadian tersebut disajikan dalam bentuk Analisis Aliran Suatu Kesalahan dan Analisis Aliran Suatu Proses. Analisis aliran suatu kesalahan biasanya digunakan untuk menggambarkan urutan akibat dari suatu kecelakaan, sedang analisis aliran suatu proses digunakan untuk menggambarkan urutan akibat dari terlepasnya suatu bahan ke alam dan terjadi kontak dengan komponen-komponen di alam terutama kontak dengan manusia (Suratmo, 2004).

Mengidentifikasi bahaya mengenali kondisi bahaya yang merupakan suatu kondisi yang memiliki potensi merugikan, gangguan, bahkan kecelakaan. Mengidentifikasi bahaya merupakan proses kualitatif untuk mengetahui adanya potensi bahaya dari suatu peralatan, lingkungan kerja, material maupun lainnya. Melakukan identifikasi bahaya maka langkah pencegahan dapat dilakukan untuk insiden yang diakibatkan oleh kondisi tidak aman dan perilaku tidak aman (Pinontoan dkk, 2019).

Kecelakaan atau terlepasnya suatu bahan dari suatu proses yang dibuat atau akibat dari aktivitas manusia dapat terjadi akibat kelalaian manusia yang menjalankan aktivitas tersebut atau dapat pula karena suatu bencana alam. Organisasi yang menangani masalah lingkungan dari Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) telah membagi sembilan klas bahan berbahaya yang perlu diperhatikan risikonya (Suratmo, 2004):

- a. Klas 1: Bahan peledak
- b. Klas 2: Gas (termasuk gas cair bertekanan tinggi)
- c. Klas 3: Bahan cair yang mudah menyala dan *combustible*;
- d. Klas 4: Bahan padat yang mudah menyala, *combustible*, dan yang akan menyala apabila terkena air
- e. Klas 5: Bahan yang teroksidasi, peroxida organic
- f. Klas 6: Bahan beracun dan bahan yang menimbulkan infeksi
- g. Klas 7: Bahan radioaktif
- h. Klas 8: Korosi
- i. Klas 9: Berbagai bahan berbahaya lainnya

2. Dosis Respon

Analisis dosis-respon yaitu nilai kuantitatif toksisitas agen risiko untuk setiap bentuk spesi kimia. Dosis respon diperlukan untuk menentukan tingkat aman atau tingkat bahaya dari dari dosis obat, bahan cemaran, dan zat lain yang dapat terpapar oleh manusia maupun organisme lain (Surono dkk, 2018). Berdasarkan dari pedoman analisis risiko kesehatan lingkungan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal PP dan PL tahun 2012, analisis

dosis- respons yaitu mencari nilai RfD , dan/atau RfC , dan/atau SF dari agen risiko yang menjadi fokus dari ARKL, serta memahami efek apa saja yang dapat ditimbulkan oleh agen risiko tersebut pada tubuh manusia. Analisis dosis respon ini tidak harus dengan melakukan penelitian percobaan sendiri namun cukup dengan merujuk pada literature yang tersedia. Langkah analisis dosis respon ini dimaksudkan untuk:

- a. Mengetahui jalur pajanan (*pathways*) dari suatu agen risiko yang masuk ke dalam tubuh manusia.
- b. Memahami perubahan gejala atau efek kesehatan yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi atau dosis agen risiko yang masuk ke dalam tubuh.
- c. Mengetahui dosis referensi (RfD) atau konsentrasi referensi (RfC) atau *slope factor* (SF) dari agen risiko tersebut.

Uraian tentang dosis referensi (RfD), konsentrasi referensi (RfC), dan *slope factor* (SF) adalah sebagai berikut :

- a. Dosis referensi dan konsentrasi yang selanjutnya disebut RfD dan RfC adalah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman pada efek non karsinogenik suatu agen risiko, sedangkan SF (*slope factor*) adalah referensi untuk nilai yang aman pada efek karsinogenik.
- b. Nilai RfD , RfC , dan SF merupakan hasil penelitian (*experimental study*) dari berbagai sumber baik yang dilakukan langsung pada obyek manusia maupun merupakan ekstrapolasi dari hewan percobaan ke manusia.

- c. Mengetahui *RfC*, *RfD*, dan *SF* suatu agen risiko dapat dilihat pada *Integrated Risk Information System (IRIS)* yang bisa diakses di situs www.epa.gov/iris.
- d. Nilai dapat diturunkan dari dosis eksperimental yang lain seperti NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*), LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*), MRL (*Minimum Risk Level*), baku mutu udara ambien pada NAAQS (*National Ambient Air Quality Standard*) jika tidak ada *RfD*, *RfC*, dan *SF* dengan catatan dosis eksperimental tersebut mencantumkan faktor antropometri yang jelas (*Wb*, *tE*, *fE*, dan *Dt*).

3. Analisis Paparan

Salah satu faktor penting dalam mengevaluasi paparan kontaminan adalah memperkirakan jumlah kontaminan yang masuk ke dalam tubuh manusia atau yang terpapar pada manusia. Persamaan umum untuk menghitung asupan kontaminan yang dianjurkan oleh EPA yaitu (Notodarmojo, 2005): Untuk kontaminan yang terlarut dalam air tanah :

$$I = \frac{C \times IR \times FP \times WP}{BT} \times \frac{1}{WR}$$

I : Intake atau asupan kontaminan harian (mg/kg- hari)

C :konsentrasi kontaminan rata rata selama periode pengamatan (mg/L untuk kontaminan air atau mg/m³ untuk kontaminan dari udara)

IR : jumlah medium yang tertelan persatuan waktu (L/hari)

FP : frekuensi paparan (hari/tahun)

WP : lama waktu paparan (tahun)

BT : berat tubuh yang terpapar (kg)

WR : waktu perata, dimana paparan dirata-ratakan (hari)

4. Karakteristik Risiko

Langkah ARKL yang terakhir adalah karakterisasi risiko yang dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko atau menentukan risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis pada ARKL berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat (dengan karakteristik seperti berat badan, laju inhalasi/konsumsi, waktu, frekuensi, durasi pajanan yang tertentu) atau tidak menimbulkan risiko. Karakteristik risiko dilakukan dengan membandingkan / membagi *intake* dengan dosis /konsentrasi agen risiko tersebut. Variabel yang digunakan untuk menghitung tingkat risiko adalah *intake* (yang didapatkan dari analisis pemajanan) dan dosis referensi (*RfD*) / konsentrasi referensi (*RfC*).

Tingkat risiko untuk efek non karsinogenik dinyatakan dalam notasi *Risk Quotien (RQ)*. Karakterisasi risiko untuk efek non karsinogenik dilakukan perhitungan dengan membandingkan / membagi *intake* dengan *RfC* atau *RfD*. Adapun rumusnya yaitu sebagai berikut:

a. Rumus untuk jalur inhalasi

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfC}$$

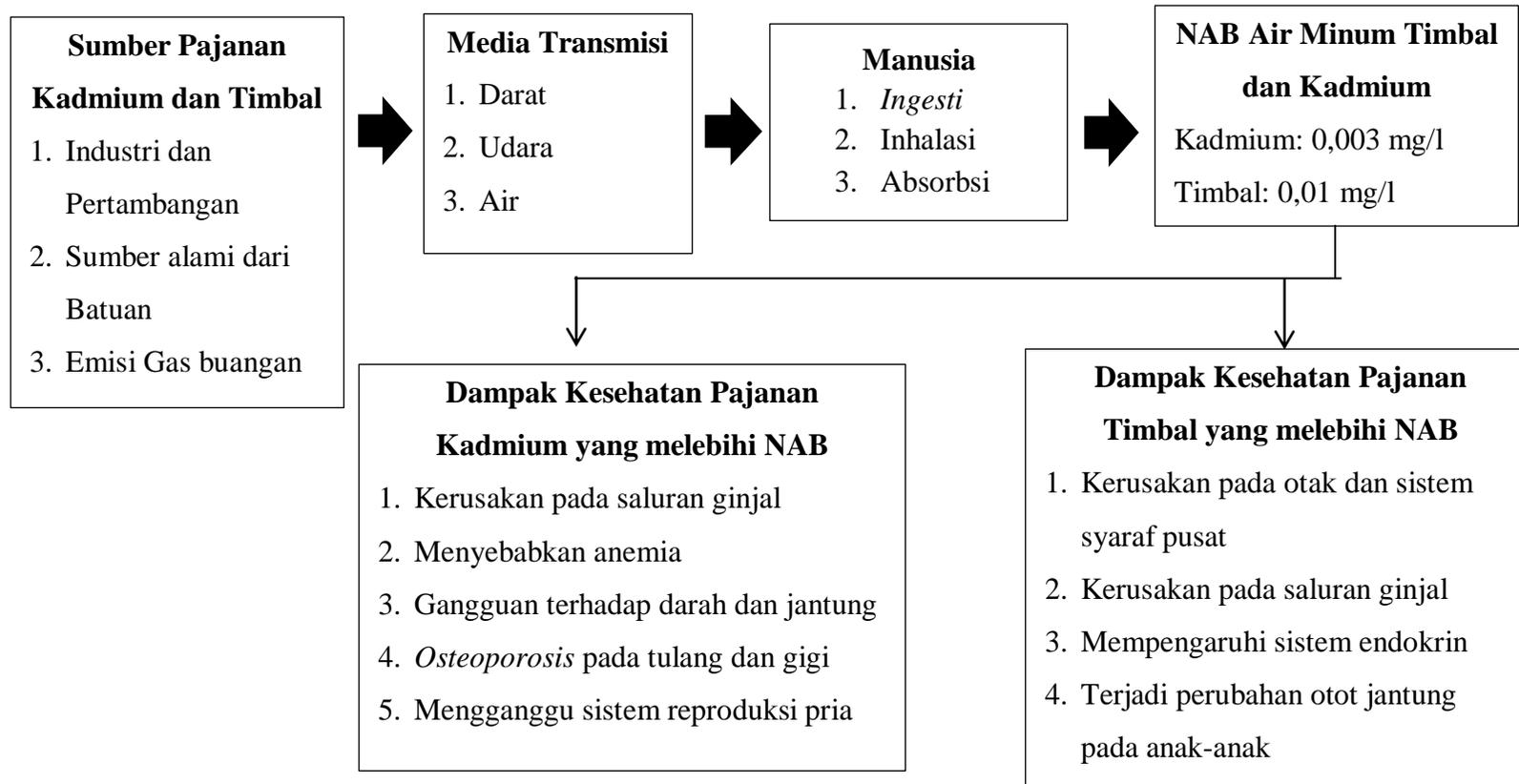
b. Rumus untuk jalur ingesti

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfD}$$

Tingkat risiko pada efek non karsinogenik dikatakan aman apabila $intake \leq RfD$ atau RfC nya atau dinyatakan dengan $RQ \leq 1$. Tingkat risiko dikatakan tidak aman apabila $intake > RfD$ atau RfC nya atau dinyatakan dengan $RQ > 1$. Sedangkan tingkat risiko untuk efek karsinogenik dikatakan *acceptable* atau aman bilamana $ECR \leq E-4$ (10-4) atau dinyatakan dengan $ECR \leq 1/10.000$. Tingkat risiko dikatakan *unacceptable* atau tidak aman bilamana $ECR > E-4$ (10-4) atau dinyatakan dengan $ECR > 1/10.000$.

G. Kerangka Teori

Berikut ini disusun kerangka teori berdasarkan teori simpul yang merupakan hasil modifikasi



Gambar 2.2 Kerangka Teori

Sumber :Palar (2012), Permenkes RI No 492/2010, Widowati (2008)

BAB III

KERANGKA KONSEP

A. Dasar Pemikiran Variabel yang Diteliti

Penelitian ini akan berfokus pada besarnya risiko kesehatan lingkungan yang disebabkan oleh adanya paparan Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) yang berada pada air sumur masyarakat di sekitar wilayah TPA Antang. ARKL dilakukan dengan empat tahapan yaitu mengidentifikasi bahaya (konsentrasi, sumber, dan risiko kesehatan), analisis dosis-respon (nilai RfD *risk agent*), analisis paparan untuk mengetahui karakteristik responden (berat badan, laju konsumsi), pola aktivitas (waktu paparan, frekuensi paparan, durasi paparan), dan yang terakhir adalah penilaian besar risiko (RQ).

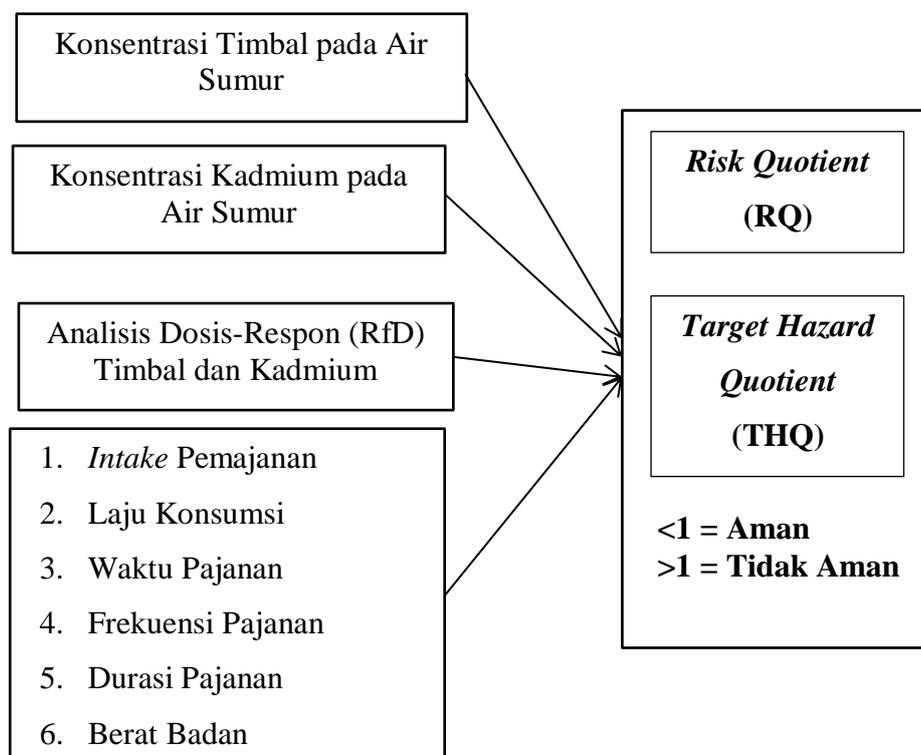
Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) berdasarkan Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 33 Tahun 2010 tentang Pedoman Pengelolaan Sampah adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. TPA Antang adalah tempat pengolahan akhir sampah, dimana dalam pelaksanaan operasionalnya masih menggunakan sistem *open dumping* yaitu sampah dibuang dan diletakkan begitu saja di tanah lapang. Sistem *open dumping* di TPA Antang Makassar akan sangat berpengaruh terhadap kualitas lingkungan sekitarnya, khusus kualitas air permukaan maupun air sumur di sekitar TPA Antang Makassar.

Keberadaan TPA Sampah Antang Makassar sebagai tempat pembuangan, penimbunan sampah dari Kota Makassar, tidak jauh dari daerah pemukiman penduduk sehingga dikhawatirkan akan dapat mencemari lingkungan, terutama

kualitas air sumur sebagai sumber air yang dimanfaatkan masyarakat sekitarnya, dan sampai saat ini, penduduk yang bermukim di sekitar TPA Antang Makassar masih memanfaatkan air sumur (Asriani, 2017).

B. Kerangka Konsep

Berdasarkan dasar pemikiran variabel maka kerangka konsep penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1. Kerangka Konsep

Keterangan:



= Variabel yang diteliti

C. Definisi Operasional

No	Variabel	Definisi Operasional	Pengukuran	Skala
1	Konsentrasi Timbal pada air sumur	Banyaknya kandungan Timbal pada air sumur di sumur masyarakat sekitar TPA Antang	Uji Laboratorium	Rasio
2	Konsentrasi Kadmium pada air sumur	Banyaknya kandungan Kadmium pada air sumur di sumur masyarakat sekitar TPA Antang	Uji Laboratorium	Rasio
3	Air Sumur	Sumur adalah salah satu sarana penyediaan air bersih dengan cara menggali atau memberi lapisan tanah sampai mendapatkan lapisan air dengan kedalaman tertentu yang terdiri dari bibir sumur, dinding sumur, lantai sumur, saluran air limbah dan dilengkapi dengan kerekan timba dengan gulungannya atau pompa.	Observasi	-
4.	Analisis Pemajanan	Analisis pemajanan yaitu menghitung nilai intake atau asupan dari suatu agen risiko yang melibatkan data berupa data primer maupun data sekunder serta nilai default yang tersedia yang dilakukan dengan perhitungan melalui rumus.	Perhitungan	
4	Intake	Jumlah konsentrasi timbal dan kadmium yang masuk ke dalam tubuh dengan berat badan tertentu setiap harinya (mg/kg/hari)	Perhitungan	-
5	Dosis-Respon (RfD)	Nilai dosis referensi atau dosis respon adalah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai aman pada efek non karsinogenik	Nilai berdasarkan <i>IRIS</i>	Rasio

		suatu agen risiko (mg/kg/hari).		
6	Laju Konsumsi	Laju konsumsi adalah banyaknya konsumsi air minum yang teringesti oleh tubuh dalam waktu satu hari atau selama 24 jam (liter/hari)	Wawancara	Rasio
	Durasi Paparan	Lamanya waktu responden menerima paparan per tahun	Wawancara	Rasio
8	Frekuensi Paparan	Waktu paparan timbal dan kadmium yang diterima oleh responden pada setiap tahunnya (hari/tahun)	Wawancara	Rasio
9	Waktu Paparan	Waktu paparan adalah Periode waktu rata-rata paparan (hari)	Wawancara	Rasio
10	Berat Badan	Berat badan responden (kg) pada saat dilakukan penelitian	Observasi	Rasio
11	<i>Risk Quotient</i> (RQ)	RQ adalah nilai perkiraan besarnya kemungkinan risiko akibat paparan timbal dan kadmium pada air sumur di sekitar TPA Antang. Kriteria objektif RQ \leq 1 : aman RQ $>$ 1 : tidak aman	Perhitungan	Rasio
12	<i>Target Hazard Quotient</i> (THQ)	Rasio dosis aman yang tidak menimbulkan potensi risiko kesehatan yang bermakna Kriteria objektif THQ \leq 1 : tidak memiliki potensi risiko kesehatan THQ $>$ 1 : memiliki potensi risiko kesehatan	Perhitungan	Rasio