

SKRIPSI

ANALISIS RISIKO PAJANAN TIMBAL (Pb) DI UDARA TERHADAP ANAK SEKOLAH DI SDN 2 MAROS KABUPATEN MAROS

**NURWAHIDA NURDIN
K011181047**



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

**DEPARTEMEN KESEHATAN LINGKUNGAN
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS RISIKO PAJANAN TIMBAL (Pb) DI UDARA TERHADAP
ANAK SEKOLAH DI SDN 2 MAROS KABUPATEN MAROS**

Disusun dan diajukan oleh


**NURWAHIDA NURDIN
K011181047**


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 18 Juli 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Dr. Hasnawati Amqam, SKM., M.Sc
Nip. 197604182005012001


Muh. Fajaruddin Natsir, SKM., M.Kes
Nip. 198902112015041002

Ketua Program Studi,



Dr. Suriah, S.KM, M.Kes
Nip. 197405202002122001

PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah di pertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Makassar pada hari Senin Tanggal 18 Juli 2022.

Ketua : **Dr. Hasnawati Amqam, SKM., M.Sc** (.....*Hasnawati*.....)

Sekretaris : **Muh. Fajaruddin Natsir, SKM., M.Kes** (.....*Fajaruddin*.....)

Anggota :

1. **Dr. Erniwati Ibrahim, SKM., M.Kes** (.....*Erniwati*.....)

2. **Dr. Lalu Muhammad Saleh, SKM.,M. Kes** (.....*Lalu Muhammad Saleh*.....)

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nurwahida Nurdin
NIM : K011181047
Fakultas : Kesehatan Masyarakat
No. Hp : 085340916221
E-mail : nurwahidanurdin47@gmail.com

Dengan ini menyatakan bahwa judul skripsi “ANALISIS RISIKO PAJANAN TIMBAL (pb) DI UDARA TERHADAP ANAK SEKOLAH DI SDN 2 MAROS KABUPATEN MAROS” benar bebas dari plagiat dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 20 Juli 2022
Yang membuat pernyataan



Nurwahida Nurdin

RINGKASAN

Universitas Hasanuddin
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Kesehatan Lingkungan

Nurwahida Nurdin

“Analisis Risiko Paparan Timbal (Pb) di Udara Terhadap Anak Sekolah di SDN 2 Maros Kabupaten Maros” (xiii + 97 Halaman + 8 Tabel + 5 Gambar + 10 Lampiran)

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik dalam tubuh manusia. Keracunan timbal (Pb) pada anak dapat mengakibatkan berbagai penyakit terutama pada sistem saraf, selain itu akan berdampak pada gangguan kardiovaskular, hyperactive, susah dalam belajar, dan sebagainya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat risiko kesehatan dari paparan timbal (Pb) di udara ambien pada anak SDN 2 Maros Kabupaten Maros. Jenis penelitian yang digunakan adalah observasional dengan menggunakan analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) dimana dihitung besaran risiko yang dapat menggambarkan populasi berisiko terpajan sehingga menghasilkan karakteristik risiko yang menentukan tingkatan dampak timbal terhadap kesehatan anak sekolah dasar. Pada penelitian ini diukur konsentrasi timbal di udara ambien sebanyak 4 titik. pengambilan sampel timbal di udara menggunakan metode *grab sampling*. Selain itu, penelitian ini juga dilakukan pengumpulan data berupa wawancara. Penentuan sampel manusia menggunakan metode *proporsional random sampling* pada siswa kelas 4,5,6 dengan total jumlah sampel sebanyak 103 sampel, serta pengukuran antropometri dan observasi lingkungan. Pemeriksaan timbal di udara menggunakan metode AAS. Analisis data menggunakan perhitungan analisis risiko dan diolah secara deskriptif.

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi timbal di udara di sekitar sekolah dasar SDN 2 Maros dengan ke 4 titik pengambilan sampel sebesar $< 0,01 \mu\text{g}/\text{NM}^3$. Lama paparan setiap tahunnya berdasarkan dengan jumlah hari sekolah sampel yakni senin-sabtu, maka lama paparan dengan jumlah hari dalam tahun sebesar 312 hari. Durasi paparan 4, 5, dan 6 tahun.

Kesimpulan dari hasil penelitian ini yaitu konsentrasi timbal di udara di sekitar sekolah dasar SDN 2 Maros masih dalam kategori aman. Nilai rata-rata berat badan siswa di SDN 2 Maros yaitu 34 kg. Lama paparan (jam/hari) zat timbal terhadap anak sekolah SDN 2 Maros yaitu 5 jam/hari. Durasi paparan (tahun) anak SDN 2 Maros berkisar 2-6 tahun. Tingkat risiko (RQ) untuk seluruh responden siswa SDN 2 Maros masih dalam kategori aman. Oleh karena itu, diharapkan pihak sekolah dasar SDN 2 Maros mempertahankan kondisi lingkungan di sekitar sekolah, tidak menebang pohon, tetap mematuhi protokol kesehatan dan kepada pemerintah setempat agar melakukan pemeriksaan serupa terutama pada daerah padat kendaraan.

Kata Kunci : Risiko, paparan, anak sekolah, Timbal

Daftar Pustaka : 43(2008-2021)

SUMMARY

**Hasanuddin University
Faculty of Public Health
environmental Health**

Nurwahida Nurdin

“Analysis of the Risk of Exposure to Lead (Pb) in the Air to School Children at SDN 2 Maros, Maros Regency” (xix + 147 Pages + 9 Tables + 5 Figures+ 10 Attachments)

Lead (Pb) is a heavy metal that is toxic in the human body. Lead poisoning (Pb) in children can cause various diseases, especially in the nervous system, besides that it will have an impact on cardiovascular disorders, hyperactivity, difficulty in learning, and so on. This study aims to determine the level of health risk from exposure to lead (Pb) in ambient air in children at SDN 2 Maros, Maros Regency. The type of research used is observational using environmental health risk analysis (ARKL) where the magnitude of the risk is calculated that can describe the population at risk of exposure so as to produce risk characteristics that determine the level of lead impact on the health of elementary school children. In this study, the concentration of lead in the ambient air was measured at 4 points. lead sampling in the air using the grab sampling method. In addition, this study also conducted data collection in the form of interviews. Determination of the human sample using the proportional random sampling method in grades 4,5,6 with a total sample size of 103 samples, as well as anthropometric measurements and environmental observations. Examination of lead in air using the AAS method. Data analysis uses risk analysis calculations and is processed descriptively.

The results showed that the concentration of lead in the air around the elementary school of SDN 2 Maros with the 4 sampling points was < 0.01 g/NM³. The length of exposure each year is based on the number of sample school days, namely Monday-Saturday, then the length of exposure with the number of days in a year is 312 days. The duration of exposure is 4, 5, and 6 years.

The conclusion from the results of this study is that the concentration of lead in the air around the elementary school of SDN 2 Maros is still in the safe category. The average weight score of students at SDN 2 Maros is 34 kg. duration of exposure (hours/day) of lead to school children at SDN 2 Maros is 5 hours/day. The duration of exposure (years) of children at SDN 2 Maros ranged from 2-6 years. the risk level (RQ) for all student respondents at SDN 2 Maros is still in the safe category. Therefore, it is hoped that the elementary school SDN 2 Maros maintains environmental conditions around the school, does not cut trees, continues to comply with health protocols and the local government to carry out similar inspections, especially in densely packed areas.

Keywords : Risk, exposure, school children, lead

Bibliography : 43(2008-2021)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji dan syukur bagi Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, karena berkat rahmat dan ridha-Nya yang senantiasa memberikan kesehatan dan kemampuan berpikir kepada penulis sehingga tugas skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam tidak lupa dihaturkan kepada Baginda Rasulullah *Shallallahu 'Alaihi Wa Sallam* yang merupakan sebaik-baiknya suri tauladan.

Alhamdulillah, dengan penuh usaha dan kerja keras serta doa dari keluarga, kerabat, dan seluruh pihak yang telah berpartisipasi sehingga skripsi yang berjudul "**Analisis Risiko Paparan Timbal (Pb) di Udara Terhadap Anak Sekolah di SDN 2 Maros Kabupaten Maros**" dapat terselesaikan yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat. Skripsi ini penulis dedikasikan yang paling utama kepada kedua orang tua tersayang, H. Nurdin (Alm.) semoga almarhum bapak saya ikut bahagia dan bangga terhadap pencapaian saya dan Hj. Hukmawati, yang selama ini telah menjadi sumber dukungan utama dan semangat dalam hidup sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Kasih sayang dan doamu mu takkan pernah tergantikan sampai akhir hayat, semoga dapat membuat ibu dan bapak bangga dengan ini. Tak lupa pula penulis persembahkan kepada Saudara Kandung penulis yang telah mendukung dan menyemangati selama pengerjaan skripsi.

Selama proses pengerjaan skripsi ini, begitu banyak bantuan, dukungan, dan doa serta motivasi yang didapatkan oleh penulis dalam menghadapi proses penelitian hingga pengerjaan karya ini. Namun, penulis mampu melewati hambatan serta tantangan tersebut dengan mudah. Dengan segala kerendahan hati, disampaikan rasa terima kasih yang tulus oleh penulis terkhusus kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc, selaku Rektor Universitas Hasanuddin.

2. Bapak Dr. Aminuddin Syam, S.KM., M.Kes., M.Med.Ed selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Dr. Erniwati Ibrahim, S.KM., M.Kes selaku Ketua Departemen Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin dan selaku penguji dari Departemen Kesehatan Lingkungan.
4. Ibu Dr. Hasnawati Amqam, S.KM., M.Sc selaku pembimbing I dan Bapak Muh. Fajaruddin Natsir, S.KM., M.Kes selaku pembimbing II yang tak henti-hentinya membimbing dan meluangkan waktu serta pikirannya di tengah kesibukannya demi terselesaikannya skripsi ini.
5. Bapak Dr. Lalu Muhammad Saleh, S.KM., M.Kes., selaku penguji dari Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang telah memberikan saran dan kritik serta arahan dalam perbaikan serta penyelesaian skripsi ini.
6. Ibu Prof. Dr. Masni, Dra., Apt., MSPH selaku pembimbing akademik yang telah memberikan nasihat, bimbingan, motivasi, serta dukungan dalam mengenyam akademik dunia perkuliahan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin yang telah mengajarkan segala hal dan pengalaman yang berharga terkait ilmu kesehatan masyarakat selama mengikuti perkuliahan.
8. Seluruh staf dan pegawai di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin yang telah membantu seluruh pengurusan dalam pelaksanaan selama kuliah baik secara langsung maupun tidak langsung. Ibu Tika dan Kak Asrul selaku staf Departemen Kesehatan Lingkungan yang telah banyak membantu dan memfasilitasi selama ini.
9. Terutama kepada BURENG SQUAD (Amal, Maftur, Arman, Dewi, Uni, Nia, Lilma, Dijah, Avika, Tika, dan Ilmi) yang selalu menjadi *support system* selama menempuh pendidikan S1 di FKM Unhas, yang telah mewarnai kehidupan kampus setiap hari dan kebersamai di kala senang, susah,

sedih, hingga duka. Semoga persahabatan ini akan terus terjalin selamanya hingga semuanya sukses.

10. Sahabat Seperjuangan saya dari SMP hingga saat ini FBT (Nini, Ega, Pilla, Lulu, Ulfa, Sisa, Alya, dan Adel) yang selalu menjadi *support system*, saling membantu serta bekerja sama dalam proses menempuh pendidikan, semoga kita semua bisa sama-sama sukses dan semoga persahabatan ini akan terus terjalin selamanya.
11. Senior SMA salah satu orang yang menemani dari awal menempuh pendidikan S1 sampai mendapatkan gelar sarjana yang selalu mensupport, memberikan semangat, menemani suka duka dan memberikan bantuan dalam proses pendidikan saya, semoga kerjasama ini akan terus terjalin *until jannah*.
12. Sahabat seperjuangan di PERKESLINGAN (Amal, Dewi, Uni dan Nia) yang telah memberikan dukungan satu sama lain, saling menguatkan dan saling membantu, serta kerjasamanya selama proses perkuliahan di Kesehatan Lingkungan FKM Unhas.
13. Muh. Arman Nyomba, SKM, sobat perjuangan skripsi yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu dalam menganalisis data saya serta dalam proses pengerjaan skripsi ini.
14. Insani Hijrawati Syukur, Mega Rosalyna, Aprilla dan Alya Junianti, sahabat yang meluangkan waktunya untuk membantu saya dalam proses penelitian meskipun dalam keadaan sedang puasa di bulan ramadhan namun mereka tetap semangat dalam membantu.
15. Teman-teman seperbimbingan skripsi (Hikma, Dinda dan Zinta) yang saling membantu dan saling memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
16. Rekan-rekan mahasiswa FKM Unhas angkatan 2018, terkhusus Kesehatan Lingkungan angkatan 2018 yang telah kebersamai serta membantu dalam proses perkuliahan di departemen Kesehatan Lingkungan FKM Unhas.

17. Teman-teman Posko PBL di Kelurahan Baru, Kota Makassar dan teman-teman Posko KKN Profesi Kesehatan Angkatan 60 di Desa Balangloe Tarowang, Kecamatan Tarowang, Kabupaten Jeneponto yang telah memberikan pengalaman tidak terlupakan dalam pengabdian kepada masyarakat.
18. Pihak Kantor Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu serta pihak SDN 2 Maros yang senantiasa membantu proses administrasi pengurusan penelitian.
19. Pihak Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar (Pak Jo dan Kak Max) yang telah membantu dalam proses administrasi pengurusan penelitian serta menemani turun ke lapangan untuk melakukan pengambilan sampel penelitian.
20. Kepada seluruh siswa-siswi SDN 2 Maros yang menjadi responden pada penelitian ini yang telah banyak membantu dan meluangkan waktunya untuk diwawancara dan memberikan informasi.

Makassar, 05 Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN	vi
SUMMARY	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	10
C. Tujuan Penelitian.....	11
D. Manfaat Penelitian	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
A. Tinjauan Umum Tentang Timbal (Pb) di Udara	13
B. Tinjauan Umum Tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)	25
C. Tinjauan Umum Tentang Variabel-Variabel Penelitian	30
D. Hubungan Lama Kerja (Lama Paparan) Dengan Kadar Timbal (Pb) Pada Anak Jalanan di Kota Samarinda	44
E. Kerangka Teori.....	54

BAB III KERANGKA KONSEP	57
A. Dasar Pemikiran Variabel Yang Diteliti	57
B. Pola Pikir Variabel.....	55
C. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif	56
BAB IV METODE PENELITIAN	60
A. Jenis Penelitian	60
B. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	60
C. Populasi dan Sampel.....	61
D. Alat, Bahan dan Cara Kerja Pemeriksaan Sampel	64
E. Pengumpulan Data.....	66
F. Pengolahan dan Analisis Data.....	67
G. Penyajian Data.....	70
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	71
A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	71
B. Hasil Penelitian.....	72
C. Pembahasan.....	84
D. Keterbatasan Penelitian.....	95
BAB VI PENUTUP.....	97
A. Kesimpulan.....	97
B. Saran.....	98

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baku Mutu Udara Ambien Nasional	18
Tabel 2.2	Tabel Sintesa Analisis Risiko Paparan Timbal (Pb) di Udara Terhadap Anak Sekolah Dasar	36
Tabel 3.1	Definisi Operasional dan Kriteria Objektif Variabel-Variabel yang akan diteliti.....	56
Tabel 5.1	Hasil Pemeriksaan Timbal (Pb) Udara di Wilayah SDN 2 Maros.....	73
Tabel 5.2	Distribusi Frekuensi Sampel Berdasarkan Jenis Kelamin, umur, jenis kendaraan, jarak rumah, dan berat badan di SDN 2 Maros.....	75
Tabel 5.3	Distribusi Frekuensi Terkait Faktor-Faktor Risiko Terjadinya Paparan Timbal pada Anak Sekolah SDN 2 Maros Kabupaten Maros.....	77
Tabel 5.4	Distribusi Frekuensi Sampel Berdasarkan Lama Paparan di SDN 2 Maros Kabupaten Maros.....	79
Tabel 5.5	Distribusi Frekuensi Sampel Berdasarkan Durasi Paparan di SDN 2 Maros Kabupaten Maros.....	80
Tabel 5.6	Nilai Risiko dan Intake minimal dan maksimal masing-masing perwakilan kelas sampel	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Metabolisme Pb Di Dalam Tubuh.....	15
Gambar 2.2 Kerangka Teori Terkait Mekanisme Paparan Timbal diudara terhadap Kesehatan Manusia.....	56
Gambar 3.1 Kerangka Konsep.....	55
Gambar 4.1 Peta Lokasi Sekolah Dasar SDN 2 Maros.....	61
Gambar 5.1 Peta Lokasi SDN 2 Maros.....	71

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Kuesioner Penelitian
- Lampiran 2 Lembar Perbaikan Proposal
- Lampiran 3 Surat Izin Penelitian dari Kampus
- Lampiran 4 Surat Izin Penelitian dari PTSP
- Lampiran 5 Rekomendasi Persetujuan Etik
- Lampiran 6 *Output* Data Analisis SPSS
- Lampiran 7 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021
Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan
Lingkungan Hidup
- Lampiran 8 Hasil Uji Laboratorium
- Lampiran 9 *Output* Data Analisis Excel
- Lampiran 10 Dokumentasi Penelitian

DAFTAR SINGKATAN

ALAD (*Amino Laevulinic Acid Dehidratase*)

APD (*Alat Pelindung Diri*)

ARKL (*Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan*)

ADHD (*Attention Deficit Hyperactivity Disorder*)

BLH (*Badan Lingkungan Hidup*)

BBLK (*Balai Besar Laboratorium Kesehatan*)

CO (*Karbon Monoksida*)

CDC (*Center Disease Control*)

CSF (*Cancer Slope Factor*)

C (*Concentration*)

D_t (*Duration Time*)

EPA (*Environment Protection Agency*)

ECR (*Excess Cancer Risk*)

f_E (*Frequency of Exposure*)

HVAS (*High Volume Air Sampler*)

HB (*Hemoglobin*)

IPA (*Ilmu Pengetahuan Alam*)

Ink (*Intake*)

LSM (*Lembaga Swadaya Masyarakat*)

NO₂ (*Nitrogen Dioksida*)

pH (*Power of Hydrogen*)

R (*Rate*)

RFD (*Reference Dose*)

RFC (*Reference Concentration*)

RQ (*Risk Quotient*)

SD (Sekolah Dasar)

SDN (Sekolah dasar negeri)

SMA (Sekolah Menengah Atas)

SSA (Spektrofotometer serapan atom)

SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*)

t_E (*Time of Exposure*)

t_{avg} (*Time Average*)

WHO (*World Health Organization*)

WWFC (*World Wide Fuel Character*)

W_b (*Weight of Body*)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Aktivitas kendaraan yang semakin meningkat khususnya kendaraan bermotor merupakan sumber utama terjadinya pencemaran udara. Kendaraan bermotor menjadi salah satu penyebab polusi udara akibat adanya pembakaran bensin. Banyaknya senyawa polutan yang terkandung dalam bahan bakar bensin yang pembakarannya tidak sempurna akan menghasilkan bahan pencemar yang tidak diinginkan. Udara yang tercemar apabila dihirup oleh manusia akan berdampak terhadap kesehatan (Insan, Makmur and Birawida, 2020).

Salah satu hasil pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar bensin tersebut adalah timbal. Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik dalam tubuh manusia. Timbal (Pb) mempunyai massa jenis $11,34 \text{ g/cm}^3$ termasuk logam yang sangat berbahaya, karena dapat memberikan efek racun terhadap fungsi organ dalam tubuh. Timbal (Pb) yang terdapat dalam tubuh akan berikatan dengan gugus $-SH$ (gugus tiol) yang terdapat dalam molekul protein dan akan menghambat aktivitas kerja enzim dalam proses pembentukan hemoglobin. Selain itu, timbal (Pb) sulit untuk diekskresi oleh tubuh sehingga mudah terakumulasi dan menyebabkan gangguan terhadap fungsi organ dan aktivitas biokimia dalam tubuh (Rismansyah, Budianta and Pambayun, 2015).

Masalah pencemaran udara yang terjadi perkotaan, dipengaruhi oleh meningkatnya aktivitas transportasi dan industri. Laju perekonomian yang tumbuh yang ditandai dengan laju urbanisasi yang tinggi akan meningkatkan hasil buangan sisa kegiatan ke udara seperti aktivitas industri, transportasi, jasa dan kegiatan lainnya (Eko Cahyono, 2016).

Pencemaran udara yang terjadi di perkotaan 70% disebabkan oleh kendaraan bermotor. Adanya faktor dari bahan bakar dan jenis kendaraan dapat berpengaruh terhadap tingkat pencemaran udara, zat-zat yang dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna seperti karbon dioksida, belerang dioksida, nitrogen dioksida, karbon monoksida dan timbal. selain itu kondisi topografi suatu daerah dan faktor meteorologi juga dapat mempengaruhi tingkat pencemaran (Gunawan, 2016). Seiring dengan berkembangnya zaman dan teknologi, pertumbuhan penduduk dan kemajuan industri transportasi secara tidak langsung akan menyebabkan kualitas udara menurun. Semakin tinggi pertumbuhan penduduk di suatu perkotaan maka akan mempengaruhi terjadinya peningkatan aktivitas manusia dan jumlah kendaraan yang bertambah akan menyebabkan komposisi udara ambien mengalami perubahan kualitas (Indrayani, 2018).

Berdasarkan wilayah pemantauan WHO, lebih dari 80% masyarakat yang tinggal di daerah perkotaan akan lebih berpotensi terkena dampak kualitas udara yang buruk. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Insan dkk bahwa kualitas udara di perkotaan sebesar 98% kota di negara yang berpenghasilan rendah dan menengah dengan penduduk yang lebih dari

100.000 jiwa, tidak memenuhi pedoman kualitas udara pada standar WHO. Tetapi, pada negara yang berpenghasilan tinggi, persentasenya menurun sebesar 56% (Birawida, 2016).

Pembakaran bahan bakar yang terjadi pada kendaraan bermotor merupakan sebagian besar penyebab terjadinya polusi udara. Senyawa polutan yang dihasilkan seperti karbon monoksida (CO), senyawa fosfor timbal (Pb), nitrogen dioksida (NO₂) dan bahan polutan lainnya. Jenis bahan bakar yang banyak digunakan di Indonesia yaitu jenis premium yang memiliki nilai oktan 88 dan mengandung timbal (*tetraethyl lead*) 3 g/L. Berdasarkan *World Wide Fuel Charter* (WWFC) standar nilai oktan minimum 91 sedangkan menurut *Environment Protection Agency* (EPA) menyatakan bahwa batas maksimum timbal (Pb) dalam 1 liter bensin yaitu 0,05 g (Wagiu and Wulur, 2016).

Proses pembakaran yang terjadi pada mesin kendaraan bermotor yang tidak sempurna dapat menghasilkan bahan pencemar dengan kadar yang lebih tinggi. Semakin tidak sempurna proses pembakaran dalam mesin, maka semakin tinggi jumlah timbal yang diemisikan ke udara. Emisi timbal yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor berasal dari persenyawaan tetrametil-Pb dan tetraetil-Pb yang biasa ditambahkan pada bahan bakar kendaraan yang memiliki fungsi sebagai anti-ketuk (*anti-knock*) pada mesin kendaraan. Selain itu, berkembangnya pembangunan dan pusat-pusat industri menyebabkan perubahan kualitas udara menurun. Bidang industri juga berpotensi menjadi sumber polutan timbal (Pb) terutama industri yang menjadikan timbal sebagai

komponen utama seperti industri baterai, industri bahan bakar, industri pemurnian maupun pengecoran dan lain-lain. Gas buangan kendaraan bermotor akan masuk langsung ke dalam lingkungan terutama di jalan raya yang dekat dengan masyarakat. Oleh karena itu, masyarakat yang tinggal atau melakukan kegiatan di sekitar jalan raya seperti pengendara motor, pejalan kaki, polisi lalu lintas, dan penjual makanan akan lebih berisiko tinggi terpajan oleh bahan pencemar (Simbolon, 2019).

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki masalah pencemaran udara. Jumlah penduduk perkotaan yang semakin meningkat, maka penduduk yang terpapar oleh polusi juga akan semakin khususnya paparan timbal pada anak yang berdampak terhadap kesehatan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Danisarah Prilly, Rahayu H. Akili, 2018 pada anak SD kelas 5 di Kecamatan Wenang Kota Manado ditemukan bahwa anak yang menghirup udara yang telah tercemar oleh timbal (Pb) rata-rata memiliki kadar timbal dalam darah sebanyak 0,54 $\mu\text{g/dL}$ -2,28 $\mu\text{g/dL}$, hasil tersebut disebabkan oleh kondisi wilayah sekolah tersebut padat dengan kendaraan dan berat badan yang rendah. Penelitian yang dilakukan oleh (Birawida, 2016) tentang anak yang menghirup udara yang telah tercemar oleh timbal (Pb) yaitu lebih banyak berisiko, $RQ \geq 1$ daripada yang tidak berisiko $RQ \leq 1$, baik pada RQ karsinogen maupun non karsinogen. Hal tersebut disebabkan oleh berat badan anak sekolah dasar. Semakin besar berat badan maka semakin rendah risiko terkena dampak akibat pencemaran timbal (Pb) di udara.

Efek toksik akibat adanya aktivitas transportasi menyebabkan terjadinya emisi gas buangan yaitu timbal (Pb) yang merupakan logam berat dengan sifat toksik dapat mempengaruhi lingkungan dan kesehatan manusia serta bersifat akumulatif sehingga menimbulkan efek jangka panjang. Konsentrasi Pb yang tinggi, dapat menyebabkan kerusakan otak sehingga dapat mempengaruhi daya ingat dan penurunan kapasitas intelektual pada anak. Batas aman maksimum kadar Pb yaitu 2 µg, ketika terjadi peningkatan hingga 10 µg/dl maka akan berisiko menurunkan kecerdasan berupa penurunan konsentrasi yang disertai hiperaktivitas/ADHD (*Attention Deficit Hyperactivity Disorder*), kenakalan dan perilaku kriminal. Setiap kenaikan kandungan timbal (Pb) yang terhirup dan terakumulasi dalam darah yaitu diatas 10 µg/dl maka akan menurunkan skor IQ 2-3 poin dan setiap kenaikan 1 µg/dl akan menurunkan 0,5 skor kemampuan aritmatika dan membaca. Hasil penelitian yang dilakukan Haryanto di Jakarta pada anak sekolah dasar ditemukan rata-rata kadar timbal (Pb) sebesar 4,2 µg/dl dan memiliki tingkat prestasi pada beberapa mata pelajaran seperti pelajaran bahasa indonesia sebesar 69,68, matematika dengan rata-rata 67,83 dan IPA dengan rata-rata 71,38 (Romli, Suhartono and Onny Setiani, 2016). Selain itu, timbal (Pb) akan membahayakan kesehatan di dalam jaringan organ tubuh terutama pada bagian organ limpa, pankreas, hati dan lambung (Sudirman; Sitti, Rahma, 2021). Pada penelitian Wagiu and Wulur, 2016 terkait hubungan antara kadar Pb di udara dengan kadar timbal (Pb) dalam darah serta dampaknya terhadap

anak di Kota Manado yaitu terdapat hubungan yang bermakna antara kadar HB dengan kadar timbal (Pb) darah anak di Pasar 45.

Menurut WHO, timbal (Pb) dapat masuk kedalam tubuh manusia dapat disebabkan oleh berbagai sumber pencemar seperti mainan anak-anak, udara, baterai, cat, kosmetik dan sebagainya. Timbal (Pb) dapat masuk ke dalam tubuh melalui saluran pernapasan (inhalasi), saluran pencernaan (oral) dan kulit (dermal). Sebesar 50% anak dapat menghirup timbal (Pb) kemudian akan masuk ke dalam tubuhnya. Masalah keracunan timbal (Pb) pada anak dapat mengakibatkan berbagai penyakit terutama pada sistem saraf, selain itu akan berdampak pada gangguan kardiovaskular, *hyperactive*, susah dalam belajar, dan sebagainya (Romli, Suhartono and Onny Setiani, 2016).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Kuang *et al.*, 2020 di salah satu Sekolah Dasar di China Timur yaitu sebanyak 395 siswa sebagai responden, didapatkan 44,6% anak perempuan mengalami peningkatan jumlah sel darah merah 2,55 g/l setelah menghirup timbal (Pb) dari berbagai sumber seperti asap kendaraan, asap rokok dan lain-lain serta hal tersebut juga menurunkan prestasi atau kinerja anak di sekolah. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Havens *et al.*, 2018) di Vietnam di kota Ho Chi Minh ditemukan bahwa anak-anak yang terpapar oleh timbal memiliki dampak kesehatan yang sama pada anak-anak umumnya yaitu dari 311 siswa yang menjadi responden 3 anak memiliki kadar timbal (Pb) dalam tubuhnya diatas ambang batas yaitu 35 µg/dl sehingga hal tersebut akan berdampak terhadap pertumbuhan dan penurunan IQ anak tersebut.

Sekolah termasuk salah satu tempat yang berpotensi akan adanya pencemaran udara. Faktor-faktor pendukung terjadinya pencemaran udara dapat disebabkan oleh suhu, kelembaban serta kecepatan udara (Kurniawati, Nurullita and Mifbakhudin, 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Dahlan, Birawida and Ibrahim, 2016 yang dilakukan di wilayah sekolah dasar Kota Makassar pada 12 titik di 3 lokasi yang berbeda yaitu SD Barombong, SD Mariso dan SD Ujung Tanah, ditemukan bahwa terdapat hubungan antara suhu dengan konsentrasi timbal (Pb) yang ada di udara dengan nilai korelasinya $-0,727$ dan terdapat hubungan antara kecepatan angin dengan konsentrasi timbal di udara yaitu $0,795$. Kemudian tidak ada hubungan antara kelembaban dengan konsentrasi timbal di udara.

Kadar timbal yang ada di udara juga akan dipengaruhi oleh cuaca seperti temperatur, kelembaban dan kecepatan angin. Tiupan angin akan mengencerkan terjadinya pencemaran udara sehingga hal tersebut dapat memperkecil bahaya akibat zat pencemar udara. Namun, hal tersebut dapat mengakibatkan semakin meluasnya daerah yang akan terkena pencemaran (Dahlan, Birawida and Ibrahim, 2016). Kelembaban udara yang rendah akan mempermudah alat untuk menangkap partikel timbal (Pb) yang ada di udara, namun kelembaban udara juga tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi timbal di udara. Kecepatan angin juga dapat mempengaruhi terjadinya penyebaran partikel timbal (Pb) di udara. Jika kecepatan angin tinggi, maka akan menyebabkan partikel timbal (Pb) ke wilayah yang lebih luas. Selain itu, faktor meteorologis juga akan

berpengaruh dalam proses penyebaran bahan pencemar udara seperti turbulensi, stabilitas atmosfer dan inversi. Faktor-faktor meteorologi sekunder seperti hujan, kabut dan radiasi matahari akan mempengaruhi tingkat terjadinya polusi udara (Kurniawati, Nurullita and Mifbakhudin, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Insan, Makmur and Birawida, 2020 tentang risiko pajanan CO, Pb, dan NO₂ terhadap anak sekolah dasar di Makassar dengan titik pengambilan sampel sebanyak dua titik yang menunjukkan bahwa lama pajanan zat tersebut terhadap anak sekolah yaitu sebesar 5,5 jam/hari dengan durasi pajanan berkisar antara 3 sampai 5 tahun, dan terdapat 7 responden yang memiliki tingkat risiko yang tidak aman ($RQ \geq 1$). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Shiek. B.Y di Taibah, Arab Saudi pada sekolah dasar menunjukkan 85% anak sekolah yang memiliki konsentrasi Pb ≥ 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ dalam darah dan 16,8% responden memiliki ≤ 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ dengan hasil yang menunjukkan adanya penurunan IQ dan performa kerja.

Salah satu Kota yang berada di sekitaran daerah Kota Makassar yaitu Kabupaten Maros. Aktivitas masyarakat di wilayah Kabupaten Maros juga cukup tinggi. Hal tersebut dapat diketahui dengan banyaknya perkantoran, pertokoan, rumah makan, tempat ibadah, pasar, pusat institusi pendidikan dan pusat-pusat keramaian lainnya. Berdasarkan data statistik Sulawesi Selatan pada Tahun 2013 jenis dan jumlah kendaraan di Maros diantaranya mobil penumpang sebanyak 4.625, bus 46, mobil beban 2.142 dan kendaraan bermotor 37.200, pada Tahun 2018 jumlah tersebut meningkat yaitu jumlah

mobil penumpang sebanyak 7.422, bus 53, mobil beban 3.588 dan sepeda motor 79.996 (BPS, 2018).

Salah satu institusi pendidikan yang ada di wilayah Kabupaten Maros yaitu SDN 2 Maros. Institusi ini berada di wilayah jalan poros di tengah-tengah padatnya institusi perkantoran, pendidikan, warung makan, masjid dan tempat-tempat umum lainnya. Selain SDN 2 Maros, pada wilayah tersebut terdapat juga SDN 3 Maros dan SMA 1 Maros namun, sekolah tersebut tidak berada pada wilayah jalan poros sehingga aktivitas kendaraan juga tidak padat. Padatnya aktivitas kendaraan di wilayah SDN 2 Maros yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia sehingga wilayah sekolah tersebut berpotensi tercemar polutan kimia yang dapat mengganggu aktivitas dan kondisi tubuh manusia terutama bagi anak yang bersekolah di SD tersebut. Tingginya aktivitas kendaraan, sehingga polutan kimia seperti Timbal (Pb) yang bersumber dari bahan bakar kendaraan pada di wilayah sekolah SDN 2 Maros dapat menjadi bahan pencemar polutan di wilayah sekolah tersebut yang akan berisiko juga terhadap anak-anak yang bersekolah di SDN 2 Maros.

Pada anak-anak, timbal akan menurunkan tingkat kecerdasan, pertumbuhan, pendengaran, yang akan menyebabkan anemia serta dapat menyebabkan gangguan pemusatan perhatian dan tingkah laku. Pada sistem saraf dan pencernaan anak yang masih dalam tahap perkembangan, sehingga anak lebih rentan terhadap zat pencemar terutama timbal. Anak dapat menyerap sebanyak 50% timbal ke dalam tubuh (Birawida, 2016). Sehingga

berdasarkan hal tersebut merupakan alasan peneliti untuk melakukan penelitian pada anak SD.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui besaran risiko timbal (Pb) pada udara ambien di kawasan Sekolah Dasar SDN 2 Maros dengan kondisi lalu lintas yang ramai di Jl. Poros Makassar-Maros Kec. Turikale, Kab. Maros dengan menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Metode analisis risiko kesehatan lingkungan dipilih karena sebagai implementasi dari studi analisis risiko kesehatan lingkungan selain itu penelitian ini bersifat *agent specific* atau meneliti sumber penyakit pada polutan tertentu dalam hal ini adalah timbal (Pb). Menurut WHO analisis risiko kesehatan lingkungan merupakan suatu proses untuk menghitung atau memperkirakan risiko pada suatu organisme sasaran, sistem atau sub populasi termasuk pada identifikasi ketidakpastian yang terjadi setelah terpajan oleh *agent* tertentu, sehingga metode ARKL dinilai sebagai metode yang sesuai karena penelitian bukan pada kejadian penyakit atau pada kondisi lingkungan (Ervianti *et al.*, 2021).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan sebelumnya, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

”Bagaimana analisis risiko kesehatan dari pajanan timbal (Pb) pada anak Sekolah Dasar SDN 2 Maros Kabupaten Maros?”

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Tujuan umum penelitian ini yaitu untuk mengetahui tingkat risiko kesehatan dari pajanan timbal (Pb) pada anak SDN 2 Maros Kabupaten Maros.

2. Tujuan Khusus

Berdasarkan tujuan umum yang telah dipaparkan, maka tujuan khusus penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk menganalisis konsentrasi timbal (Pb) pada udara di wilayah SDN 2 Maros Kabupaten Maros .
- b. Untuk mendeskripsikan berat badan siswa SDN 2 Maros Kabupaten Maros.
- c. Untuk menganalisis lama pajanan timbal (Pb) pada anak di SDN 2 Maros Kabupaten Maros .
- d. Untuk menganalisis durasi pajanan anak SDN 2 Maros Kabupaten Maros.
- e. Untuk menganalisis tingkat risiko kesehatan akibat paparan timbal (Pb) pada udara ambien di wilayah SDN 2 Maros Kabupaten Maros.

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Ilmiah

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi serta sebagai referensi bacaan yang dapat menambah pengetahuan mengenai

risiko paparan timbal (Pb) di udara terhadap anak sekolah dasar pada institusi pendidikan sekolah dasar.

2. Manfaat Institusi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu sumber informasi oleh institusi terkait (SDN 2 Maros) dalam menentukan tindakan serta kebijakan dalam melakukan pengendalian terhadap permasalahan pencemaran udara yang ada pada institusi tersebut.

3. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini menjadi pengalaman yang berharga dan luar biasa bagi peneliti dalam meningkatkan dan memperluas wawasan pengetahuan dan keilmuan terkait pencemaran dan kualitas udara

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum Tentang Timbal (Pb) di Udara

1. Sifat fisik dan kimia Timbal (Pb)

Timbal atau timah hitam atau plumbum merupakan salah satu logam yang memiliki empat bentuk isotop, memiliki warna kebiru-biruan atau abu-abu keperakan dengan titik leleh pada suhu 327,5 °C dan titik didih pada suhu 1740 °C di atmosfer. Pada suhu 550-600 °C timbal (Pb) dapat menguap dan bereaksi dengan oksigen dalam udara dan membentuk timbal oksida. Timbal (Pb) memiliki sifat yang sulit larut dalam air dingin, air panas dan air asam. Namun, timbal dapat larut dalam asam nitrit, asam setat dan asam sulfat pekat. Timbal (Pb) juga tahan terhadap korosi atau karat sehingga sering digunakan sebagai bahan coating (NMS Wija Yanti, 2020).

Secara kimiawi, timbal memiliki titik uap yang rendah dan dapat menstabilkan senyawa lain sehingga hal tersebut dapat dijadikan bahan pada produk industri. Timbal (Pb) termasuk dalam kelompok logam berat dengan golongan IV A dalam sistem periodik unsur kimia. Memiliki nomor atom 82 dengan berat atom 207,2 berbentuk padat dan memiliki berat jenis sebesar 11,4/l. Selain itu, sifat kimia timbal (Pb) berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab (Anggriana Dwi, 2011). Timbal (Pb) terdapat dalam bentuk senyawa

sulfat (PbSO_4), karbonat (PbCO_3) dan sulfida (PbS). Biji timbal (Pb) yang utama adalah galena yang mengandung PbS . Timbal (Pb) dapat diperoleh dengan memanaskan PbS pada suhu tinggi. Hasil pembakaran bahan bakar bensin dalam berbagai senyawa timbal (Pb) terutama PbBrCl dan $\text{PbBrCl} \cdot 2\text{PbO}$ dapat menjadi senyawa Pb halogen yang terbentuk selama pembakaran bensin, karena dalam bensin yang sering ditambahkan cairan anti letupan (anti ketok) yang terdiri dari 62% TEL, 18% etildiklorida dan 2% bahan-bahan lainnya (Suksmerri, 2008).

2. Metabolisme Timbal (Pb) dalam Tubuh Manusia

Timbal (Pb) dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui beberapa cara seperti saluran pernafasan, saluran pencernaan, dan melalui dermal (kulit). Namun, pada umumnya jalur saluran pernafasan merupakan jalur pemajanan terbesar yang mencapai tingkat absorpsi sebesar 40% sedangkan jalur pemajanan yang melalui saluran pencernaan hanya 5-10%. Timbal (Pb) yang masuk kedalam tubuh akan didistribusikan ke dalam darah sebesar 95% kemudian terikat dengan sel darah merah, sisanya akan terikat dengan plasma darah. Kemudian sebagian timbal juga akan disimpan pada jaringan lunak dan tulang ekskresi terutama pada ginjal dan saluran pencernaan. Berikut merupakan skema beserta penjelasan metabolisme Timbal (Pb) dalam tubuh dapat dilihat sebagai berikut (Fadlila, 2021).

b. Distribusi dan penyimpanan

Timbal (Pb) yang telah diabsorpsi akan diangkut oleh darah ke organ tubuh. Sekitar 95% timbal akan diikat oleh eritrosit dalam darah, sebanyak 90% diikat oleh tulang, kemudian sisanya akan terdeposit ke dalam jaringan lunak seperti hati, ginjal, dan saraf. Timbal (Pb) dalam darah mampu hidup atau tinggal selama 35 hari, pada jaringan lunak selama 40 hari, tulang *trabecular* selama 3-4 tahun dan pada komponen kortikal tulang yaitu selama 16-20 tahun. Selain pada organ tersebut, timbal juga dapat dilihat pada gusi yaitu dapat dilihat dari *lead line* yang merupakan pigmen berwarna abu-abu pada perbatasan gusi dan gigi yang merupakan ciri khas dari keracunan timbal.

c. Ekskresi

Pada proses ekskresi ini akan dilakukan melalui saluran pencernaan kemudian menghasilkan tinja, urin, keringat serta dapat melalui rambut. Pada proses ekskresi timbal (Pb) melalui urin sebanyak 75-80%, melalui tinja hanya 15%. Proses ekskresi melalui saluran pencernaan akan dipengaruhi oleh saluran aktif dan pasif kelenjar saliva, pankreas, serta kelenjar lainnya yang ada pada dinding usus, kemudian regenerasi sel epitel serta terjadi ekskresi pada empedu. Sedangkan pada proses ekskresi melalui ginjal akan dipengaruhi oleh filtrasi glomerulus. Waktu paruh timbal (Pb) dalam darah yaitu kurang dari 25 tahun, pada jaringan lunak selama 40 hari,

sedangkan pada tulang yaitu 25 hari, hal tersebut menyebabkan ekskresi timbal dalam tubuh menjadi lambat dan menyebabkan timbal (Pb) mudah untuk terakumulasi dalam tubuh.

3. Baku Mutu Udara

Menurut peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara, baku mutu udara ambien merupakan ukuran batas atau kadar zat, energi, dan/atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Kemudian, mutu udara ambien itu sendiri merupakan kadar zat, energi, dan/atau komponen lain yang ada di udara bebas. Baku mutu udara ambien nasional ditetapkan sebagai batas maksimum mutu udara ambien untuk mencegah terjadinya pencemaran udara. Baku mutu udara ambien pada daerah ditetapkan berdasarkan pertimbangan status mutu udara ambien di daerah yang bersangkutan.

Adanya baku mutu udara ambien bertujuan agar udara dapat terpelihara dari zat-zat yang pencemar yang tidak terlampaui, sehingga tidak terjadi lagi gangguan kesehatan terhadap manusia (Purba, 2020). Berdasarkan paparan sebelumnya terkait baku mutu udara ambien, maka baku mutu udara ambien nasional dapat dilihat pada tabel 2.1:

Tabel 2. 1
Baku Mutu Udara Ambien Nasional

Parameter	Waktu pengukuran	Baku Mutu
Pb (Timah Hitam)	24 Jam	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO (Karbon Monoksida)	1 Jam	10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	8 Jam	4.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 Tahun	
NO ₂ (Nitrogen Dioksida)	1 Jam	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 Jam	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 Tahun	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O ₃ (Oksida)	1 Jam	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	8 Jam	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 Tahun	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂ (Sulfur Dioksida)	1 Jam	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 Jam	75 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
	1 Tahun	45 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

Sumber: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Berdasarkan peraturan kementerian Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405 Tahun 2002 tentang persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri, bahwa standar persyaratan suhu yaitu berkisar antara 18-28 °C dan standar persyaratan kelembaban yaitu antara 40%-60%. Kemudian, untuk pengukuran kecepatan dan arah angin sesuai dengan standar peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077 Tahun 2011 yaitu antara 0,15 – 0,25 m/dtk.

4. Dampak Timbal (Pb) Terhadap Kesehatan

Timbal (Pb) yang mudah terakumulasi dalam organ tubuh manusia, dapat mengakibatkan gangguan kesehatan berupa anemia, gangguan fungsi ginjal, gangguan sistem saraf, gangguan otak dan gangguan pada kulit. Di dalam darah, 90% timbal (Pb) terikat dengan sel darah merah

sehingga sintesis hemoglobin terhambat karena hal itu dapat menghambat enzim *Amino Laevulinic Acid Dehidratase* (ALAD) untuk proses sintesa. Timbal (Pb) dalam tubuh dapat berupa bentuk timbal (Pb) organik seperti tetraetil Pb, dan timbal (Pb) anorganik seperti oksida Pb. Timbal (Pb) yang dapat dikonsumsi oleh tubuh yaitu 0,2-2,0 mg/hari. Timbal (Pb) yang masuk ke dalam tubuh akan menyebabkan disfungsi susunan saraf, gangguan motorik dan perubahan perilaku. Berbagai perubahan anatomi akibat keracunan timbal (Pb) baik pada sistem saraf pusat maupun perifer telah banyak terjadi. *Tolerable Weekly Intake* menetapkan bahwa 25 g/kg BB, nilai ini merujuk pada timbal (Pb) yang berasal dari semua sumber pencemar dan berlaku untuk semua usia. Sedangkan untuk konsentrasi timbal (Pb) dalam darah WHO merekomendasikan konsentrasi 20g/dl untuk semua populasi dengan asumsi rata-rata timbal (Pb) ambien 0,5-1,0 g/m³ pertahun (Suksmerri, 2008).

Toksisitas timbal (Pb) bersifat kronis dan akut. Paparan timbal (Pb) secara kronis dapat mengakibatkan kelelahan, gangguan iritabilitas, gangguan gastrointestinal, kehilangan libido, infertilitas terhadap laki-laki, gangguan menstruasi serta absorpsi spontan pada wanita, depresi, sakit kepala, sulit berkonsentrasi, daya ingat terganggu dan sulit tidur. Paparan timbal (Pb) bisa terjadi ketika masuk ke dalam tubuh seseorang melalui makanan atau menghirup gas timbal (Pb) dalam waktu yang relatif pendek, namun pada kadar atau dosis yang relatif tinggi. Dari

jumlah timbal (Pb) yang terhirup yang akan diserap oleh tubuh hanya 15% dan sisanya akan terbuang bersama bahan sisa metabolisme seperti urin dan feses. Adapun toksisitas timbal (Pb) berdasarkan organ yang dipengaruhi antara lain (Anggriana Dwi, 2011):

- a. Sistem hematopoietik, yaitu Pb menghambat sistem pembentukan hemoglobin (Hb) sehingga mengakibatkan anemia.
- b. Sistem saraf, timbal (Pb) menimbulkan kerusakan pada otak dengan gejala epilepsi, halusinasi, kerusakan otak besar dan delirium.
- c. Sistem urinaria, timbal (Pb) menyebabkan lesi tubulus proksimal, *loop of henle* serta menyebabkan aminoasiduria.
- d. Sistem kardiovaskular, timbal (Pb) menyebabkan peningkatan permeabilitas pembuluh darah.
- e. Sistem reproduksi, timbal (Pb) juga akan mempengaruhi gametotoksitas atau janin yang belum lahir menjadi peka terhadap timbal (Pb). Ibu hamil yang terpapar oleh timbal (Pb) dapat mengalami keguguran, tidak berkembangnya sel otak embrio, kematian janin waktu lahir serta hipospermia dan teratospermia pada pria.
- f. Timbal (Pb) juga akan bersifat karsinogenik dalam dosis tinggi.

Selain itu, dampak dari polusi udara akibat dari aktivitas transportasi/lalu lintas yaitu saat umur kanak-kanak akan mempengaruhi fungsi paru selama 8 tahun pada anak. Sekolah-sekolah yang berada di pinggir jalan perkotaan akan lebih berisiko terkena dampak dari polutan

sehingga hal tersebut dapat mengancam kesehatan anak-anak di sekolah dan keberlanjutan generasi akan terganggu (Sumarlin, 2019).

Pada anak-anak, timbal (Pb) akan menurunkan tingkat kecerdasan, pertumbuhan, pendengaran, yang akan menyebabkan anemia serta dapat menyebabkan gangguan pemusatan perhatian dan tingkah laku. Pada sistem saraf dan pencernaan anak yang masih dalam tahap perkembangan, sehingga anak lebih rentan terhadap zat pencemar terutama timbal. Anak dapat menyerap sebanyak 50% timbal (Pb) ke dalam tubuh (Widowati dkk, 2008).

Menurut (Ardillah, 2016) faktor-faktor lingkungan dan faktor dari manusia itu sendiri yang menyebabkan terjadinya pencemaran Timbal (Pb) pada udara sebagai berikut:

a. Faktor lingkungan

1) Kandungan Timbal (Pb) di udara

Konsentrasi tertinggi dari timbal (Pb) di udara *ambient* ditemukan pada daerah yang populasinya padat, semakin besar suatu kota maka semakin tinggi timbal (Pb) di udara *ambient*. Kualitas udara di jalan raya dengan lalu lintas yang padat, maka akan mengandung timbal (Pb) yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara di jalan raya dengan kepadatan lalu lintas yang rendah.

2) Dosis dan lama pemaparan

Dosis (konsentrasi) yang besar dan pemaparan yang lama dapat menimbulkan efek yang berat dan berbahaya. Lama pemaparan mempengaruhi kandungan timbal dalam tubuh, semakin lama pemaparan akan semakin tinggi kandungan timbal (Pb). Selain itu, frekuensi pajanan juga akan berdampak terhadap efek yang akan ditimbulkan. Lamanya atau jumlah hari seseorang menghirup atau terpapar oleh timbal selama satu tahun. Diperoleh melalui melalui wawancara dan pengukuran langsung kepada seseorang dengan satuan hari/tahun.

b. Faktor Individu

1) Umur

Usia muda pada umumnya lebih peka terhadap aktivitas timbal, hal ini berhubungan dengan perkembangan organ dan fungsinya yang belum sempurna. Sedangkan pada usia tua kepekaannya lebih tinggi dari rata-rata orang dewasa, biasanya karena aktivitas enzim biotransformasi berkurang dengan bertambahnya umur dan daya tahan organ tertentu berkurang terhadap efek timbal. Semakin tua umur seseorang, akan semakin tinggi pula konsentrasi timbal yang terakumulasi pada jaringan tubuh. Umur dan jenis kelamin mempengaruhi kandungan timbal (Pb) dalam jaringan tubuh seseorang. Semakin tua umur seseorang akan semakin tinggi pula konsentrasi timbal (Pb) yang

terakumulasi pada jaringan tubuhnya. Jenis jaringan juga turut mempengaruhi kadar timbal (Pb) yang dikandung tubuh.

2) Jenis Kelamin

Efek toksik pada laki-laki dan perempuan mempunyai pengaruh yang berbeda. Wanita lebih rentan daripada pria. Hal ini disebabkan oleh perbedaan faktor ukuran tubuh (fisiologi), keseimbangan hormonal dan perbedaan metabolisme.

3) Berat badan

Dalam analisis risiko, berat badan akan mempengaruhi besarnya nilai risiko dan secara teoritis semakin berat badan seseorang maka semakin kecil kemungkinannya untuk risiko mengalami gangguan kesehatan.

4) Status kesehatan, status gizi dan tingkat kekebalan (imunologi)

Seseorang jika dalam keadaan sakit, maka akan terjadi disfungsi, tingkat toksisitas meningkat dalam tubuh sehingga hal tersebut dapat mempermudah terjadinya kerusakan organ. Kekurangan gizi, hemoglobinopati dan enzimopati seperti anemia dan defisiensi glukosa-6-fosfat dehidrogenase juga meningkatkan kerentanan terhadap paparan timbal. Selain itu, program diet juga akan meningkatkan kadar timbal yang bebas dalam darah.

5) Jenis jaringan

Setiap organ dalam tubuh ketika terpapar oleh timbal (Pb) memiliki kadar yang berbeda-beda. Timbal (Pb) yang tertinggal di dalam tubuh, baik dari udara maupun melalui makanan/minuman akan terkumpul di dalam skeleton (90-95%) hal tersebut terjadi karena timbal (Pb) di dalam tulang cukup sulit, maka kandungan timbal (Pb) di dalam tubuh ditetapkan untuk menganalisis konsentrasi timbal (Pb) di dalam darah atau urin.

c. Faktor Perilaku

1) Kebiasaan Merokok

Rokok mengandung beberapa logam berat seperti Pb, Cd, dan sebagainya yang berbahaya bagi kesehatan. Mengonsumsi rokok setiap harinya akan meningkatkan resiko inhalasi timbal (Pb) akibat dari asap rokok tersebut.

2) Penggunaan APD

Pada umumnya masker digunakan untuk melindungi diri dari kontaminan. Masker dalam hal ini digunakan sebagai APD untuk mengurangi absorpsi dari timbal (Pb) ketika dalam melakukan pekerjaan atau sedang beraktivitas.

Faktor-faktor yang mempengaruhi anak di sekolah rentan terkena zat pencemar udara yaitu tinggal di daerah perkotaan yang padat lalu lintas, lokasi sekolah yang berada di pinggir jalan yang padat lalu lintas, jenis kendaraan ke sekolah, lokasi rumah, pekerjaan orang tua, sumber air

minum, tinggal di dekat jalan utama, tinggal bersama anggota keluarga yang perokok, sering memakan makanan atau jajanan yang terpapar zat pencemar dan sebagainya. pada tahun 2012, CDC menetapkan batas kadar timbal (Pb) dalam darah anak yaitu 5 µg/dl, jumlah kadar tersebut dijadikan acuan untuk mengidentifikasi kadar timbal (Pb) dalam darah anak-anak. Namun, pada kadar timbal yang sangat rendah pun dapat memberikan dampak pada IQ, kemampuan untuk memperhatikan dan prestasi akademik. Anak yang dipengaruhi oleh zat pencemar seperti timbal (Pb) dapat mengalami kesulitan dalam masa transisi menuju remaja (Danisarah Prilly, Rahayu H. Akili, 2018).

B. Tinjauan Umum Tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

1. Pengertian Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan salah satu metode atau pendekatan yang dilakukan untuk menghitung atau memperkirakan risiko pada kesehatan manusia termasuk identifikasi bahaya terhadap adanya faktor ketidakpastian, penelusuran pada pajanan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran yang spesifik. ARKL juga merupakan suatu metode yang dilakukan untuk melakukan kajian dampak kesehatan terhadap kasus-kasus pencemaran secara umum. US-EPA mendefinisikan ARKL adalah evaluasi ilmiah dampak kesehatan potensial yang dapat terjadi karena pajanan zat tertentu (Ma'rufi, 2018).

3. Langkah-langkah ARKL

Langkah-langkah Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) terbagi menjadi empat langkah yaitu identifikasi bahaya (*hazard identification*), analisis dosis respon (*dose response assessment*), analisis pemajanan (*exposure assessment*) dan karakteristik risiko (*risk characterization*): (syahrul basri, Emmi Bujawati, Minawir Amansyah, Habibi, 2014).

a. Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Langkah ini merupakan tahap awal dalam analisis risiko kesehatan lingkungan untuk mengenali risiko. Tahap ini juga merupakan proses untuk menentukan bahan kimia yang berpengaruh terhadap kesehatan manusia.

b. Analisis dosis respon (*dose response assessment*)

Analisis dosis respon merupakan tahap penetapan nilai-nilai kuantitatif toksisitas risk agent untuk setiap bentuk spesifik kimianya. Toksisitas dinyatakan sebagai dosis referensi (*reference dose*, RFD) untuk efek-efek non karsinogenik dan *cancer Slope Factor* (CSF) untuk efek-efek karsinogenik. Analisis dosis respon merupakan tahap untuk menentukan karena ARKL dapat dilakukan *risk agent* yang sudah ada dosis responnya.

Dalam analisis dosis respon dinyatakan sebagai *risk agent* yang terhirup (*inhaled*), tertelan (*ingested*) atau terserap melalui kulit (*absorbed*) per kg berat badan per hari (mg/kg/hari).

c. Analisis pemajanan (*exposure assessment*)

Analisis pemajanan disebut juga penilaian kontak yang bertujuan untuk mengenali jalur-jalur pajanan *risk agent* agar jumlah asupan yang diterima oleh individu dalam populasi berisiko bisa dihitung.

d. Karakteristik risiko (*risk characterization*)

Karakteristik risiko kesehatan dinyatakan sebagai *Risk Quotient* (RQ) atau tingkat risiko untuk efek-efek nonkarsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek-efek karsinogenik. RQ dihitung dengan membagi asupan non karsinogenik (*Ink*) *risk agent* dengan RfD atau konsentrasi referensi (RfC). Nilai referensi agen risiko pada pemajanan inhalasi (mg/kg.hari) dengan tingkat risiko dikatakan aman apabila nilai intake/asupan \leq RfD atau RfCnya atau dinyatakan dengan $RQ \leq 1$. Nilai RfC untuk timbal menurut US-EPA pada tahun 2006 adalah 0,004 mg/kg/hari (Birawida, 2016).

4. Analisis Risiko dan Anak-Anak

Anak-anak dan orang dewasa memiliki perbedaan baik dari segi perilaku maupun fisiologisnya. Banyak parameter yang dapat diperhatikan dalam menilai risiko kesehatan pada anak-anak. Faktor-faktor yang memungkinkan penilaian risiko tingkat risiko kesehatan pada anak-anak yaitu (Enhealth, 2012):

- a. Pertumbuhan, perkembangan, dan tingkat kedewasaan.
- b. Potensi harapan hidup untuk anak-anak lebih besar dengan potensi yang telah diakumulasi atau melebihi periode laten.

- c. Perbedaan pola konsumsi. Dimana anak-anak berkemungkinan untuk lebih banyak makan makanan terutama seperti susu, minuman cepat saji, buah dan sayuran dibandingkan dengan orang dewasa.
- d. Faktor perilaku yaitu pola kegiatan anak-anak yang memungkinkan lebih banyak kontak dengan berbagai kontaminan seperti tanah serta memungkinkan beraktivitas makan ditempat yang sama.
- e. Adanya parameter untuk penilaian toksisitas, seperti daya tangkap atau daya ingat, kecerdasan, dan gangguan pada pendengaran yang berbeda antara anak-anak dengan orang dewasa.
- f. Respon biokimia dan fisiologis antara anak-anak dan orang dewasa juga berbeda. Anak-anak memiliki tingkat metabolisme yang lebih tinggi, memiliki kemampuan yang terbatas dalam menjaga suhu tubuh, laju pertumbuhannya lebih cepat dan persentase air yang lebih tinggi pada jaringan lunak anak-anak.
- g. Proses disposisi agen dalam tubuh anak-anak seperti waktu transisitas, pH, serta aktivitas enzim pada usus anak-anak berbeda dengan orang dewasa.
- h. Perbedaan mikroflora pada usus. Mikroflora merupakan kumpulan mikroorganisme yang secara alami terdapat pada tubuh manusia yang sehat.
- i. Fungsi hati pada anak-anak berhubungan dengan proses detoksifikasi setelah lahir, seperti dengan ginjal yang dapat mengekskresi senyawa asing.

- j. Sistem kekebalan tubuh yang belum sempurna.
- k. Perbedaan pada proses pembersihan bahan kimia dalam tubuh.
- l. Rasio paparan, pada massa tubuh anak-anak dapat berubah-ubah.

Adapun data yang digunakan untuk melakukan perhitungan *intake* pada timbal (Pb) melalui jalur pajanan inhalasi (pernapasan) baik berupa data primer (hasil pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan sendiri) maupun data sekunder (pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan oleh pihak lain seperti BLH, Dinas Kesehatan, LSM dan lain-lain). Rumus perhitungan yang digunakan sebagai berikut (Direktur Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012):

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Keterangan:

- I_{nk} (*Intake*) : Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya.
- C (*Concentration*) : Konsentrasi agen risiko pada media udara (udara ambien).
- R (*Rate*) : Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya (dewasa : 0,83m³/jam), (anak-anak 96-12 tahun : 0,5 m³/jam).
- t_E (*Time of Exposure*) : Lamanya atau jumlah jam terjadinya

- pajanan setiap harinya (pajanan pada pemukiman : 24 jam/hari, pajanan pada lingkungan kerja : 8 jam/hari, pajanan pada sekolah dasar : 6 jam/hari).
- f_E (*Frequency of Exposure*) : Lamanya jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya (pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun, pajanan pada lingkungan kerja ; 250 hari/tahun).
- D_t (*Duration Time*) : Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan (residensial pemukiman/pajanan seumur hidup : 30 tahun).
- W_b (*weight of body*) : Berat badan manusia/populasi/kelompok populasi (dewasa asia/Indonesia : 55 kg, anak-anak : 15 kg).
- $t_{avg(nk)}$ (*Time Average*) : Periode waktu rata-rata untuk efek non karsinogenik (30 tahun x 365 hari/tahun = 10.950 hari).

C. Tinjauan Umum Tentang Variabel-Variabel Penelitian

1. Konsentrasi Pb (Timbal) di Udara

Konsentrasi Timbal (Pb) yang ada di udara dapat ditemukan pada wilayah yang populasinya padat, semakin besar jumlah penduduk atau aktivitas masyarakat di suatu kota maka konsentrasi Timbal (Pb) di udara juga semakin meningkat. kualitas udara di jalan raya dengan lalu lintas yang padat akan berbeda dengan jalan raya yang memiliki lalu lintas yang rendah. Pada wilayah yang memiliki lalu lintas yang tinggi maka akan mengandung Timbal (Pb) yang tinggi juga karena dihasilkan oleh bahan

bakar kendaraan yang tidak terakumulasi secara sempurna yang menjadi sumber utama pencemaran (Ardillah, 2016).

Berdasarkan Peraturan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup bahwa Baku Mutu Udara Ambien Nasional Untuk Timbal (Pb) dalam waktu pengukuran 24 jam yaitu $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Oleh karena itu, ketika konsentrasi Timbal (Pb) di udara melebihi nilai ambang batas tersebut maka akan berdampak terhadap kesehatan manusia. Pada anak-anak umumnya lebih rentan terhadap paparan timbal dibandingkan dengan orang dewasa, karena akan mudah terjadi proses penyerapan timbal pada saluran pencernaan sehingga organ-organ tubuh seperti otak, ginjal dan hati mudah untuk terpapar dan masih akan terus mengalami perkembangan. Menurut WHO pada tahun 2013 memperkirakan bahwa kasus yang terjadi dengan ketidakmampuan intelektual pada anak-anak sebanyak 600.000 kasus yang disertai dengan 143.000 kasus kematian akibat keracunan timbal. Anak-anak menjadi kelompok yang rentan terhadap paparan timbal karena usia anak dan tingkat penyerapan timbal yang cukup tinggi serta organ tubuh yang masih sensitif terutama bagian otak. Sehingga anak-anak yang keracunan Timbal (Pb) akan mengalami kehilangan ingatan jangka pendek, gangguan terhadap fungsi motorik penglihatan, daya tangkap dan daya reaksi (Tarigan, 2019).

2. *Intake* (Asupan)

Intake atau tingkat risiko pajanan individu dilakukan untuk menganalisis besarnya suatu pajanan *risk agent* dari Timbal (Pb) yang diterima oleh seseorang per kilogram berat badan setiap harinya. Dalam ARKL *intake* terbagi menjadi dua yaitu *intake* non karsinogenik yang merupakan banyaknya bahan atau agen risiko yang tidak menyebabkan kanker pada media lingkungan yang masuk ke dalam tubuh manusia setiap harinya. Sedangkan *intake* karsinogenik merupakan banyaknya agen risiko yang dapat menyebabkan kanker pada suatu media lingkungan yang masuk ke dalam tubuh manusia pada setiap harinya. Penelitian yang dilakukan oleh (Birawida, 2016) bahwa anak SD setiap hari berada di Kecamatan Tallo memiliki berat badan 34,2 kg, menghirup udara selama 288 hari/tahun selama 5 tahun. Setiap hari menghirup udara sebanyak $3.350 \mu\text{g}/\text{M}^3\text{jam}$. Konsentrasi timbal (Pb) dalam udara adalah $1,88\mu\text{g}/\text{kg}$. Maka besarnya *intake* timbal (Pb) untuk paparan 30 tahun (non karsinogen) dan 70 tahun (karsinogen) (Birawida, 2016). Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa laju asupan mempengaruhi besarnya nilai tingkat risiko, sehingga semakin besar laju konsumsi maka akan semakin tinggi tingkat risikonya.

3. Lama Pajanan

Lama pajanan merupakan lama atau jumlah (jam) terjadinya pajanan di udara yang mengandung Timbal (Pb) yang akan diterima oleh seseorang untuk setiap harinya. Lama pajanan atau waktu pajanan

dilakukan dengan mengurangi jumlah jam terpapar setiap harinya. Oleh karena itu hal ini dapat dilakukan pada populasi pekerja maupun siswa bukan pada penduduk atau masyarakat. hal tersebut dapat dilakukan untuk pemajanan melalui inhalasi sedangkan untuk pemajanan melalui ingesti (makanan atau minuman) dapat dilakukan dengan pembatasan jumlah konsumsi saja (Direktur Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012).

4. Frekuensi Pajanan

Frekuensi pajanan merupakan jumlah hari terjadinya pajanan di udara yang mengandung Timbal (Pb) yang diterima oleh seseorang untuk setiap tahunnya. Frekuensi pajanan yang aman atau melalui inhalasi terjadi pada lingkungan kerja maupun lingkungan yang tidak permanen seperti lingkungan tempat pemukiman. Pada frekuensi pajanan dilakukan dengan mengurangi jumlah hari terpapar dalam satu tahun kemudian dapat dilakukan pada populasi pekerja dan siswa bukan pada populasi penduduk atau masyarakat (Direktur Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012). Seseorang yang memiliki berat badan, laju konsumsi dan durasi paparan yang sama, maka akan memiliki *intake* dan tingkat risiko yang berbeda jika frekuensi paparannya berbeda (Juwitriani Alwi, Yasnani, 2016).

5. Durasi Pajanan

Durasi pajanan merupakan jumlah (tahun) terjadinya pajanan di udara yang mengandung Timbal (Pb) yang diterima oleh seseorang.

Semakin lama seseorang terpajan dengan bahan yang berbahaya, maka risiko kesehatan yang akan terjadi juga semakin besar. Durasi pajanan oleh bahan pencemar yang berbahaya meskipun dalam tingkat konsentrasi yang rendah tetapi dapat menimbulkan dampak kesehatan. Efek racun logam yang berbahaya seperti Timbal (Pb) sangat berkaitan dengan tingkat dan lamanya pajanan, semakin tinggi kadar suatu logam dan semakin lama pajanan maka efek yang akan ditimbulkan juga akan lebih besar. Jika Timbal (Pb) terus menerus dihirup secara kontinyu dalam kurun relatif lama maka akan menyebabkan keracunan sehingga menimbulkan gejala-gejala klinis seperti hiperaktivitas, penurunan IQ, ensefalopati, kerusakan arteriol dan kapiler otak serta kejang-kejang (Juwitriani Alwi, Yasnani, 2016).

6. Berat Badan

Dalam analisis risiko, berat badan akan mempengaruhi besarnya nilai risiko. Secara teoritis, semakin berat badan seseorang maka semakin kecil kemungkinan untuk mengalami risiko gangguan kesehatan. Selain itu, ukuran berat badan seseorang akan mempengaruhi nutrisi dalam tubuh manusia, orang yang memiliki berat badan yang ideal akan mempunyai nutrisi yang cukup sehingga keberadaan logam berat dalam tubuh untuk menggantikan nutrisi akan terhalangi (Juwitriani Alwi, Yasnani, 2016).

7. Karakteristik Risiko (RQ)

Dalam analisis risiko, karakteristik risiko kesehatan atau *Risk Quotient* atau tingkat risiko untuk efek nonkarsinogenik dan *Excess Concer Risk* (ECR) untuk efek karsinogenik (Birawida, 2016). Karakteristik risiko dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko atau apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis pada ARKL berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat dengan karakteristik seperti berat badan, laju inhalasi, waktu, frekuensi, durasi pajanan tertentu atau tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Karakteristik risiko dilakukan dengan membandingkan/membagi intake dengan konsentrasi agen risiko. Variabel yang digunakan untuk menghitung tingkat risiko yaitu *intake* (asupan) yang didapatkan dari analisis pemajanan dan dosis referensi (RfD)/ konsentrasi referensi (RfC). Nilai RfC untuk Timbal (Pb) melalui jalur inhalasi menurut IRIS Tahun 2006 yaitu 4,936-4 (Direktur Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012).

D. Tabel sintesa

Berikut merupakan tabel sintesa mengenai Analisis Risiko Paparan timbal (Pb) di Udara Terhadap Anak Sekolah Dasar di SDN 2

Maros sebagaimana pada tabel 2. 2 berikut:

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
1	Penilaian Risiko Paparan Co, Pb Dan No2 Pada Anak Sekolah Di Kawasan Sekolah Dasar Makassar	Insan Sosiawan, Makmur Soelomo, Agus Bintara Birawida (Insan, Makmur and Birawida, 2020)	2020	Observasional dengan rancangan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).	Konsentrasi CO, Pb, dan NO2, Anak SD, lama paparan, durasi paparan, berat badan, karakteristik risiko paparan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Lama paparan (jam/hari) CO, Pb, serta NO2 terhadap anak ialah sebesar 5,5 jam/hari. Durasi paparan (tahun)

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
						anak Sekolah Dasar Inpres Bawakaraeng Jl. Gunung Bawakaraeng Kota Makassar ialah berkisar antara 3 sampai 5 tahun.
2	Faktor Yang Berhubungan Dengan Kandungan Timbal (Pb) Dalam Udara Ambien Di Wilayah Sekolah Dasar	Rishar Dahlan, Agus Bintara Birawida, Erniwati Ibrahim	2016	Observasional Analitik	Variabel penelitian terdiri dari variabel dependen yaitu konsentrasi	Hasil analisis statistik ditemukan ada hubungan antara suhu

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
	Di Kawasan Pesisir Kota Makassar	(Dahlan, Birawida and Ibrahim, 2016)			Pb di udara dan variabel independen suhu, kelembaban, serta kecepatan udara	terhadap konsentrasi timbal di udara ambien di stasiun I, II dan III kurang dari 0,05 yakni sebesar 0,007 dan nilai koefisien korelasinya bernilai negatif yakni - 0,727. Tidak ada hubungan antara kelembaban dengan

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
						konsentrasi timbal di udara ambien di stasiun I, II dan III. Nilai signifikan antara kecepatan udara terhadap konsentrasi timbal di udara ambien di stasiun I, II dan III kurang dari 0,05 yakni sebesar 0,002 dan nilai koefisien

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
						korelasinya bernilai positif yakni 0,795 ada hubungan antara kecepatan udara dengan konsentrasi timbal di udara ambien.
3.	Dampak Kandungan Timbal (Pb) Dalam Udara Terhadap Kecerdasan Anak Sekolah Dasar	Fine Reffiane , Mohammad Nur Arifin dan Budi Santoso	2011	<i>croos sectional</i>	Konsentrasi timbal (Pb)	Berdasarkan hasil penelitian kadar Timbal (Pb) tertinggi di

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
		(Reffiane, Arifin and Santoso, 2011)				perempatan padat kendaraan sebesar 2,41 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan terendah 0,86 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, dengan melihat hasil data ada kecenderungan bahwa semakin padat kepadatan kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
						kadar Pb dalam udara juga meningkat, sehingga kecenderungan pengaruh kadar pencemaran Timbal (Pb) terhadap kesehatan meningkat.
4.	Perbandingan Tingkat	Nurul Hiarunnisa Achmad,	2017	<i>cross sectional</i>	Kadar timbal (Pb) di udara dan tingkat	Berdasarkan uji Mann Whitney

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
	Inteligensi Dan Kadar Timbal Rambut Anak Usia Sekolah Dasar Berdasarkan Kadar Timbal (Pb) Udara	Widharto Prwirohardjono, Endy Paryanto Prawirohartono (Nurul Hairunnisa Achmad, 2017)			inteligensi SD 1 , SD 2	antara kadar Pb rambut dan tingkat inteligensi didapatkan nilai p sebesar 0,204. Tidak ada perbedaan yang bermakna pada tingkat inteligensi siswa berdasarkan kadar Pb rambut. Penelitian ini tidak

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
						menunjukkan hubungan secara statistik antara tingkat inteligensi dengan kadar Pb rambut.
5.	Hubungan Lama Kerja (Lama Pajanan) Dengan Kadar Timbal (Pb) Pada Anak Jalanan di Kota Samarinda	Hansen, Muhamad Habibi, Ainur Rachman (Hansen, 2019)	2019	Observasional analitik dengan rancangan cross sectional	Anak jalanan yang ada di Kota Samarinda dan spesimen darah pada anak jalanan	uji kenormalan data dengan menggunakan uji kolmogorv smirnov menyatakan data berdistribusi tidak

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
						normal ($p < 0,05$). dari hasil uji tersebut didapatkan nilai $p = 0,464$ ($p > 0,05$).
6.	Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Dalam Makanan Jajanan, Kerang Anadara Sp. Dan Urine Siswa Sd Negeri Tallo Tua 69 Makassar	Dwi Habrianti, Agus Bintara Birawida , Anwar (Dwi Habrianti dkk, no date)	2013	Desain penelitian deskriptif observasional dan analisis laboratorium	Makanan jajanan berupa siomay goreng, bakwan dan bakso, kerang Anadara sp. serta urine yang diperoleh dari 20 siswa SD	Frekuensi konsumsi kerang Anadara sp dengan kadar urine siswa SD Negeri Tallo Tua 69 Makassar diperoleh konsentrasi timbal

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
					Negeri Tallo Tua 69 Makassar kelas IV, V dan VI.	(Pb) dalam urine responden yang mengonsumsi kerang sebanyak 2- 4 kali seminggu dan lebih besar dari empat kali seminggu, positif mengandung Pb di atas batas toleransi tubuh. Persentasenya

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
						mencapai 73,3%. Sedangkan siswa dengan tingkat konsumsi kerang lebih dari 4 kali seminggu, secara keseluruhan (100%) logam berat Pb dalam urinnya melebihi 150 $\mu\text{g/ml}$.

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
7.	Penilaian Dan Manajemen Risiko Timbal Di Udara Pada Anak Sekolah Dasar Pesisir Kota Makassar	Agus Bintara Birawida (Birawida, 2016)	2016	Observasional Dengan Menggunakan Rancangan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan	Konsentrasi Pb Di Udara, Laju Asupan, Durasi Paparan, Frekuensi Paparan Dan Tingkat Risiko Kesehatan (Risk Quotient/Rq) Paparan Timbal (Pb)	Berat Badan 34,2 Kg, Menginhalasi Udara Selama 288 Hari/Tahun Selama 5 Tahun. Setiap Hari Menginhalasi Udara Sebanyak 3.350 $\mu\text{g}/\text{M}^3$ Jam. Konsentrasi Timbal (Pb) Dalam Udara Adalah 1,88 $\mu\text{g}/\text{Kg}$. Maka Besarnya

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
						Intake Timbal (Pb) Untuk Paparan 30 Tahun (Non Karsinogen) Dan 70 Tahun (Karsinogen).

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun Terbit	Rancangan Penelitian	Variabel Penelitian	Hasil Penelitian
8.	Analisis Risiko Paparan Multijalur pada Anak-anak di Taman Dekat Lokasi Pembuangan Bahan Berbahaya: Taman Babilonia tahun 2012	Anisa Budiarti (Anisa Budiarti, 2012)	2012	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)	Variabel antropometri seperti, berat badan, durasi pemajanan, frekuensi pemajanan, lama tinggal di lokasi, dan laju asupan menggunakan nilai <i>default</i> yang ditetapkan oleh EPA	Semakin lama seseorang terpajan dengan bahan berbahaya, kemungkinan risiko kesehatannya yang akan diterima juga semakin besar.

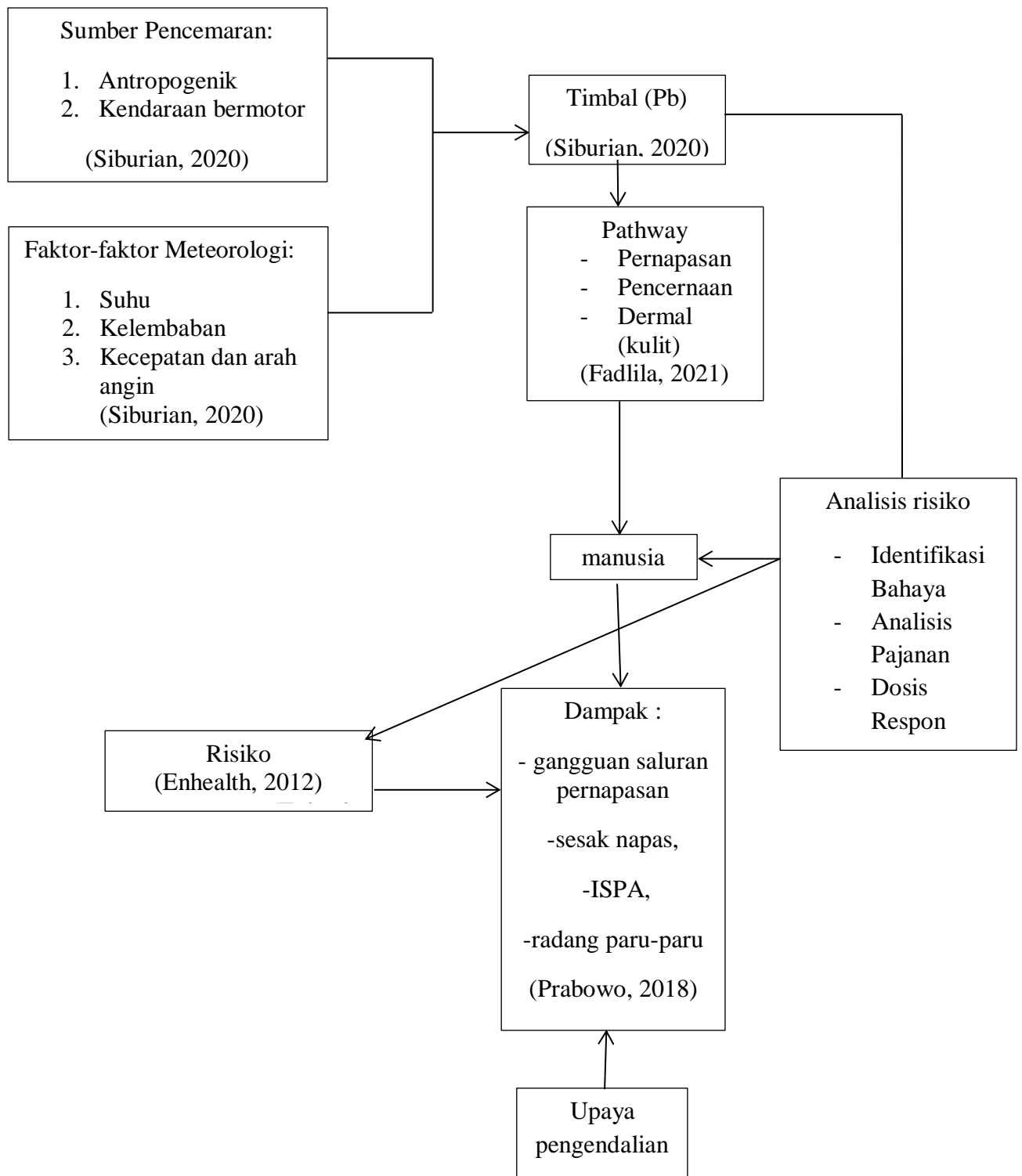
E. Kerangka Teori

Sumber pencemaran udara berawal dari jenis emisi alami dan antropogenik. Pencemaran primer merupakan pencemaran udara yang disebabkan oleh zat pencemar yang timbul secara langsung dari sumber udara salah satunya yaitu timbal (Pb) dan zat-zat organik dan partikulat lainnya yang berasal dari hasil pembakaran. Sumber pencemar udara tersebut biasanya ditentukan oleh faktor-faktor meteorologi seperti suhu, kelembaban, kecepatan dan arah angin dan lain-lain. Ketika hasil pembakaran masuk ke dalam udara, maka secara bersamaan akan terjadi proses transformasi fisika kimia yang mengubah pencemar primer menjadi suatu gas atau partikulat yang biasa disebut dengan sebagai pencemar sekunder (Siburian,S, 2020).

Pada udara ambien, bahan pencemaran udara dapat diketahui besar bahayanya atau risiko paparannya pada manusia melalui identifikasi bahaya, analisis pajanan, dosis respon dan penilaian risiko dampaknya. Tahapan alur tersebut disebut sebagai metode analisis risiko kesehatan lingkungan. Setelah melalui metode analisis risiko kesehatan lingkungan, nilai yang diperoleh pada tahap tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai Rfc kemudian nilai hasil perbandingan tersebut akan menentukan jumlah konsentrasi zat pencemar di udara yang berbahaya maupun yang belum berbahaya (Enhealth, 2012).

Zat pencemar di udara ambien dengan konsentrasi yang tinggi dapat memberikan dampak terhadap manusia ataupun organisme lainnya seperti gangguan saluran pernapasan sesak napas, ISPA, radang paru-paru dan

sebagainya. Pencemaran udara merupakan salah satu jабaran yang penting untuk dilihat agar dapat dilakukan pengendalian pencemaran udara serta melindungi makhluk hidup atau para penerima dari dampak negatif yang akan ditimbulkan (Prabowo, 2018).



Gambar 2. 2 Kerangka Teori Mekanisme Paparan Timbal di udara terhadap Kesehatan Manusia

BAB III

KERANGKA KONSEP

A. Dasar Pemikiran Variabel Yang Diteliti

Kondisi kualitas udara di daerah perkotaan semakin hari semakin memburuk. Banyaknya aktivitas manusia dan berkembangnya teknologi khususnya mesin-mesin yang semakin canggih merupakan penyebab sumber pencemar di udara. Penggunaan mesin-mesin yang canggih yang mengeluarkan zat pencemar dapat menyebabkan bertambahnya jumlah polutan di udara. Kendaraan bermotor merupakan salah satu benda yang memiliki mesin sebagai penghasil berbagai jenis polutan karena hasil pembakaran yang tidak sempurna.

Zat-zat kimia tersebut dapat masuk ke dalam tubuh manusia yang bersifat racun atau toksik. Dari berbagai macam zat-zat toksik yang dihasilkan, salah satu zat yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia yaitu Pb. Ketika konsentrasi zat toksik tersebut melebihi ambang batas yang telah ditentukan maka akan menyebabkan gangguan kesehatan manusia yang ada di sekitar daerah tersebut. Gangguan yang dapat ditimbulkan seperti sakit kepala, mual, bahkan dapat menyebabkan penyakit serius yang menyerang sistem saraf dan bagian vital tubuh seperti hati dan ginjal.

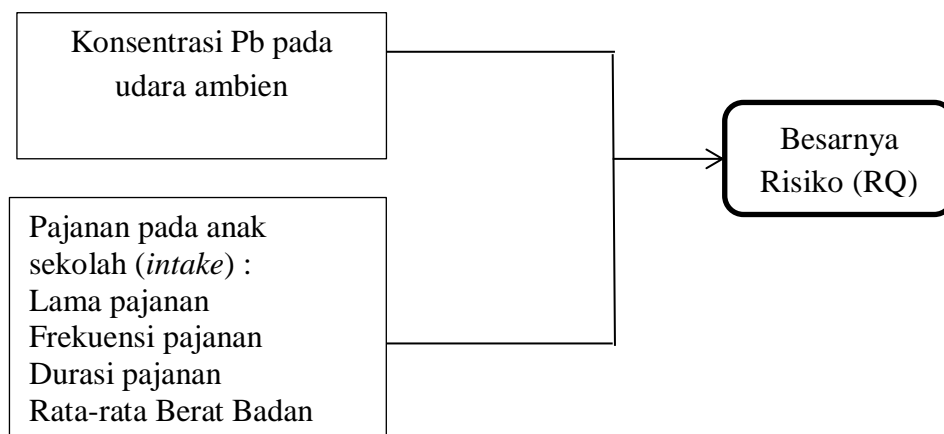
Zat toksik timbal (Pb) sebagai salah satu polutan di udara dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur inhalasi dan jumlah polutan dihitung

sebagai *intake*. Nilai *intake* pada manusia dapat dipengaruhi oleh banyaknya variabel seperti rata-rata berat badan, lama pajanan, frekuensi pajanan, dan

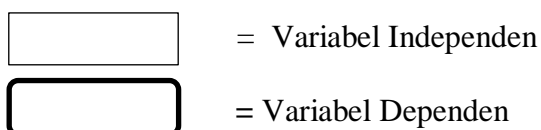
durasi pajanan. Ketika nilai *intake* telah ditemukan, maka penilaian risiko terhadap pajanan polutan timbal (Pb) pada anak di Sekolah Dasar SDN 2 Maros dapat dilakukan dengan berdasarkan nilai *Reference concentration* atau nilai referensi agen risiko pada pemajanan inhalasi zat. Kemudian, nilai *intake* dibandingkan dengan nilai Rfc zat, ketika hasil dari perbandingan tersebut $RQ \geq 1$, maka dapat diketahui konsentrasi polutan di udara ambien tersebut tidak aman sehingga perlu dilakukan pengendalian. Sedangkan, jika nilai $RQ \leq 1$, maka udara di lingkungan Sekolah SDN 2 Maros dapat dipertahankan.

B. Pola Pikir Variabel

Berdasarkan dasar pemikiran tersebut maka dapat digambarkan kerangka konsep variabel independen dan variabel dependen sebagaimana disajikan pada gambar 3.1.:



Keterangan :



Gambar 3. 1 Kerangka Konsep

C. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Berikut merupakan definisi Operasional dan Kriteria Objektif variabel-variabel yang akan diteliti sebagaimana yang disajikan pada tabel 3. 1 berikut:

N0.	Variabel	Definisi Operasional	Kriteria Objektif	Metode pengukuran	Skala Data
1.	Konsentrasi Pb	Konsentrasi Pb adalah kandungan Pb yang terdapat pada udara ambien di sekitar Sekolah Dasar SDN 2 Maros		<i>midget impinger</i>	Rasio

N0.	Variabel	Definisi Operasional	Kriteria Objektif	Metode pengukuran	Skala Data
2.	<i>Intake</i> (asupan)	<i>Intake</i> (asupan) merupakan estimasi jumlah konsentrasi Pb ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) pada udara ambien di kawasan Sekolah Dasar SDN 2 Maros yang masuk ke dalam tubuh anak sekolah dinyatakan dalam satuan mg/kg/hari.		Kuesioner	Rasio
3.	Lama pajanan	Lama pajanan merupakan lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan terhadap udara yang mengandung Pb yang diterima anak sekolah dasar setiap harinya.		Kuesioner	Nominal

N0.	Variabel	Definisi Operasional	Kriteria Objektif	Metode pengukuran	Skala Data
4.	Frekuensi pajanan	Kekerapan (hari) terjadinya pajanan udara yang mengandung Pb yang diterima oleh anak sekolah dasar setiap tahunnya.		Kuesioner	Rasio
5.	Durasi Pajanan	lamanya (tahun) terjadinya pajanan udara yang mengandung Pb yang diterima oleh anak sekolah dasar.		Kuesioner	Rasio
6.	Berat badan (kg)	Berat badan merupakan ukuran tubuh dalam sisi beratnya yang diukur dengan alat ukur berat badan dengan satuan kg.		Timbangan digital	Rasio