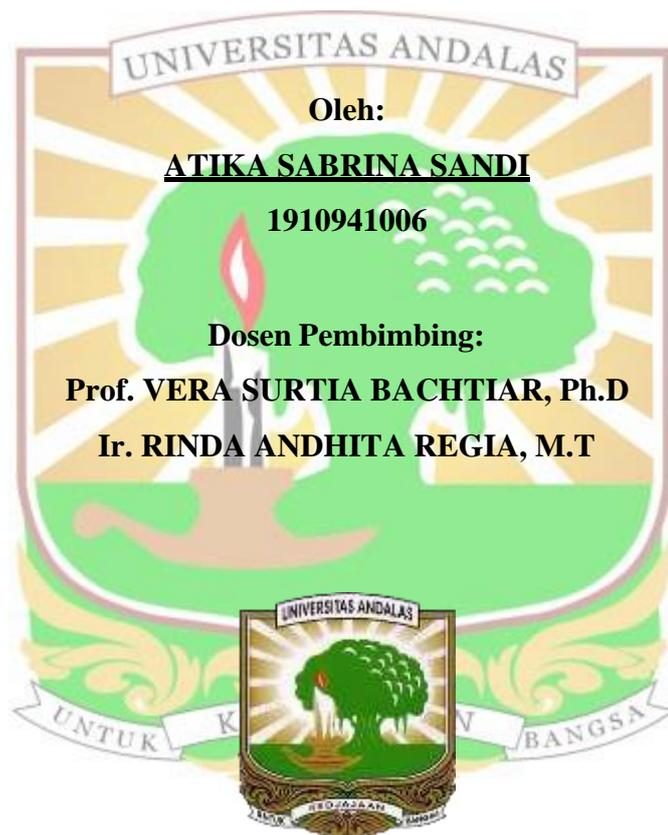


**ANALISIS KONSENTRASI LOGAM KARSINOGENIK PADA
DEBU *RESPIRABLE* DAN *PARTICULATE MATTER 2,5* (PM_{2,5})
SERTA RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN TERHADAP
PEKERJA *STORAGE 4A* INDARUNG IV PT SEMEN PADANG**

TUGAS AKHIR



Oleh:

ATIKA SABRINA SANDI

1910941006

Dosen Pembimbing:

Prof. VERA SURTIA BACHTIAR, Ph.D

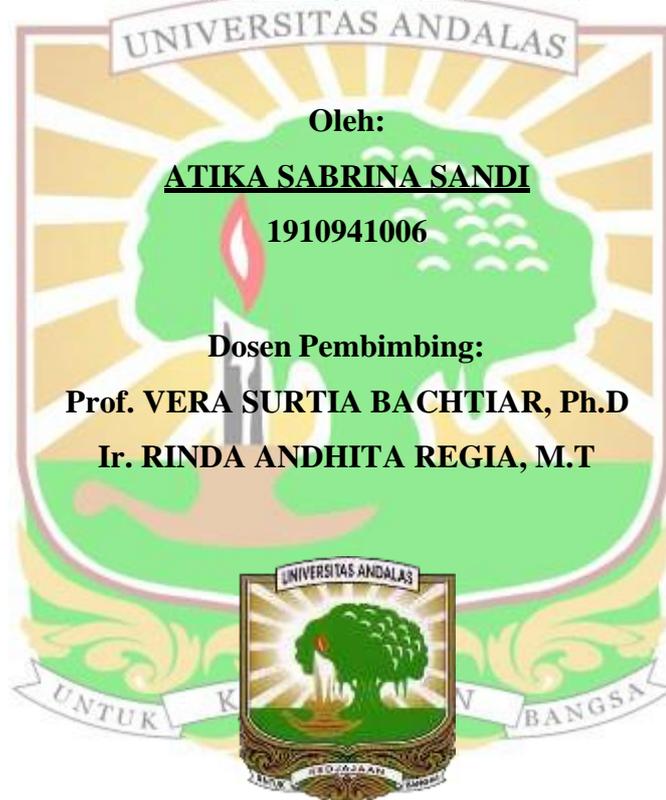
Ir. RINDA ANDHITA REGIA, M.T

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2023**

**ANALISIS KONSENTRASI LOGAM KARSINOGENIK PADA
DEBU *RESPIRABLE* DAN *PARTICULATE MATTER* 2,5 (PM_{2,5})
SERTA RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN TERHADAP
PEKERJA *STORAGE* 4A INDARUNG IV PT SEMEN PADANG**

TUGAS AKHIR

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada
Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Andalas



Oleh:

ATIKA SABRINA SANDI

1910941006

Dosen Pembimbing:

Prof. VERA SURTIA BACHTIAR, Ph.D

Ir. RINDA ANDHITA REGIA, M.T

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KONSENTRASI LOGAM KARSINOGENIK PADA DEBU *RESPIRABLE* DAN *PARTICULATE MATTER 2,5* (PM_{2,5}) SERTA RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN TERHADAP PEKERJA *STORAGE 4A* INDARUNG IV PT SEMEN PADANG

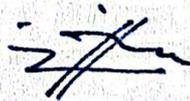
Nama: Atika Sabrina Sandi

NIM: 1910941006

Lulus Sidang Tugas Akhir tanggal: 24 Agustus 2023

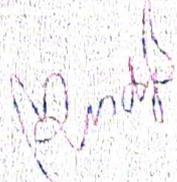
Disetujui oleh:

Pembimbing Utama,



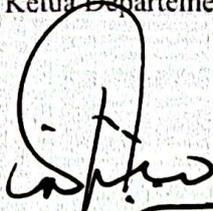
Prof. Vera Surtia Bachtiar, Ph.D
NIP. 197108081999032002

Kopembimbing,



Ir. Rinda Andhita Regia, M.T
NIP.198910252015042002

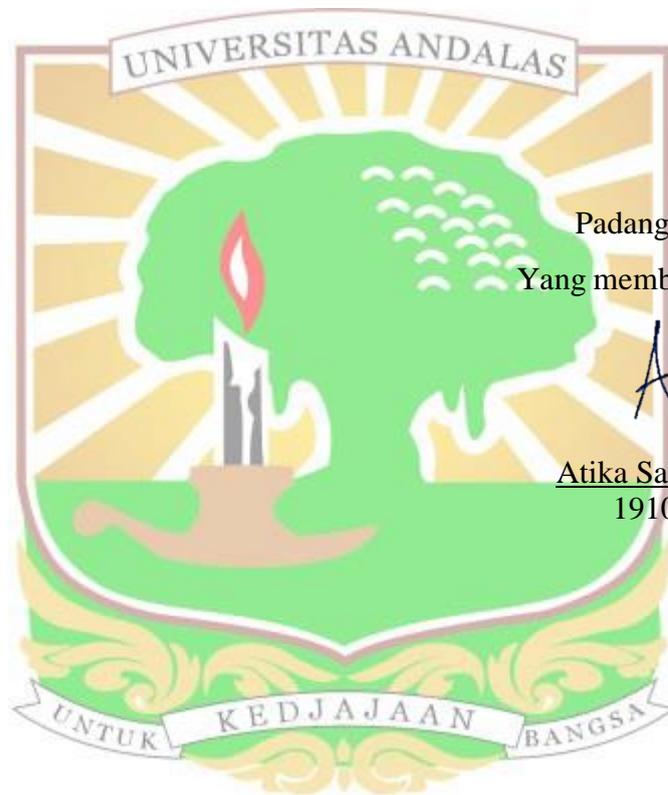
Disahkan oleh:
Ketua Departemen,



Rizki Aziz, Ph.D
NIP. 197610312005011001

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir yang ditulis dengan judul: **Analisis Konsentrasi Logam Karsinogenik pada Debu *Respirable* dan *Particulate Matter 2,5* (PM_{2,5}) Serta Risiko Kesehatan Lingkungan Terhadap Pekerja *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang*** adalah benar hasil kerja/karya saya sendiri dan bukan merupakan tiruan hasil kerja/karya orang lain, kecuali kutipan pustaka yang sumbernya dicantumkan. Jika kemudian hari pernyataan ini tidak benar, maka status kelulusan dan gelar yang saya peroleh menjadi batal dengan sendirinya.



Padang, Agustus 2023

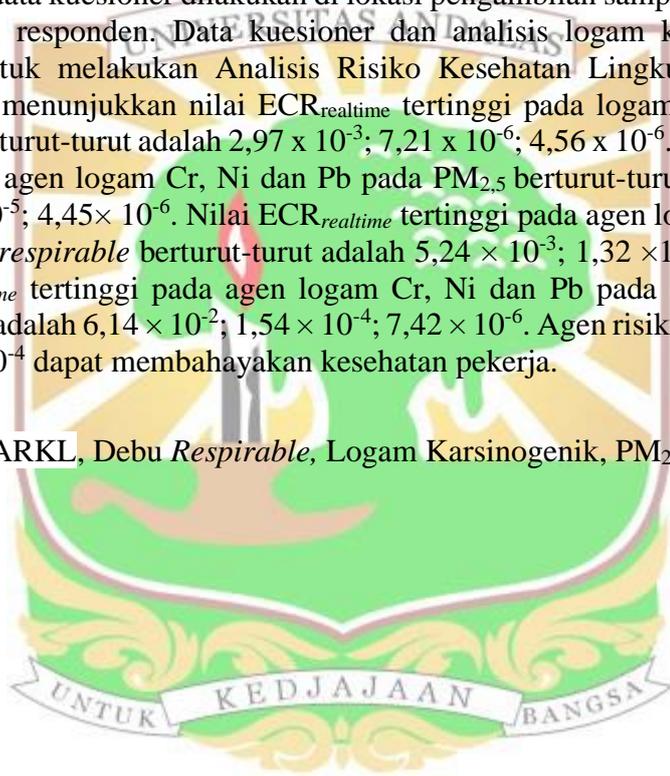
Yang membuat Pernyataan

Atika Sabrina Sandi
1910941006

ABSTRAK

PT Semen Padang memanfaatkan limbah sebagai alternatif bahan bakar dan bahan baku produksi semen yang dikumpulkan terlebih dahulu di *storage* 4A Indarung IV. Aktivitas pemanfaatan limbah di *storage* ini menghasilkan logam yang tersuspensi di udara dan berisiko terhadap kesehatan pekerja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi logam karsinogenik pada debu *respirable* dan *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2,5}) serta risiko kesehatan lingkungan terhadap pekerja. Sampling dilakukan 7 hari selama 8 jam. Pengambilan sampling dilakukan menggunakan alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS) untuk PM_{2,5} dan *Personal Dust Sampler* (PDS) untuk debu *respirable*. Analisis konsentrasi logam karsinogenik yang terkandung pada debu *respirable* dan PM_{2,5} menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dengan metode spektrofotometri. Pengambilan data kuesioner dilakukan di lokasi pengambilan sampling yang terdiri dari 36 orang responden. Data kuesioner dan analisis logam karsinogenik ini diperlukan untuk melakukan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Hasil analisis menunjukkan nilai ECR_{realtime} tertinggi pada logam Cr, Ni dan Pb pada PM_{2,5} berturut-turut adalah $2,97 \times 10^{-3}$; $7,21 \times 10^{-6}$; $4,56 \times 10^{-6}$. Nilai ECR_{lifetime} tertinggi pada agen logam Cr, Ni dan Pb pada PM_{2,5} berturut-turut adalah $3,48 \times 10^{-2}$; $8,44 \times 10^{-5}$; $4,45 \times 10^{-6}$. Nilai ECR_{realtime} tertinggi pada agen logam Cr, Ni dan Pb pada debu *respirable* berturut-turut adalah $5,24 \times 10^{-3}$; $1,32 \times 10^{-5}$; $6,34 \times 10^{-7}$. Nilai ECR_{lifetime} tertinggi pada agen logam Cr, Ni dan Pb pada debu *respirable* berturut-turut adalah $6,14 \times 10^{-2}$; $1,54 \times 10^{-4}$; $7,42 \times 10^{-6}$. Agen risiko yang memiliki nilai ECR > 10^{-4} dapat membahayakan kesehatan pekerja.

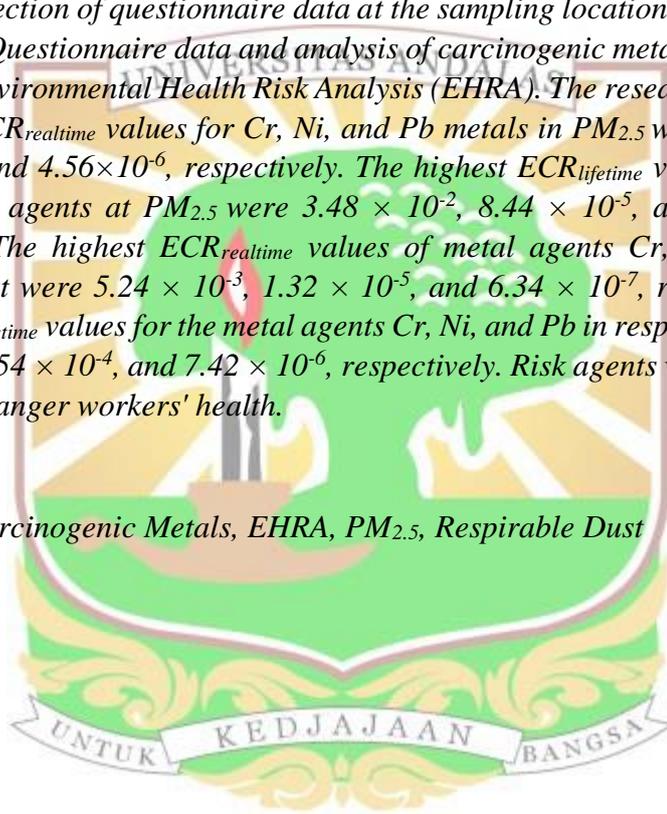
Kata Kunci : ARKL, Debu *Respirable*, Logam Karsinogenik, PM_{2,5}



ABSTRACT

PT Semen Padang utilizes waste as an alternative fuel and raw material for cement production, first collected in storage 4A Indarung IV. Waste utilization activities in this storage produce metals suspended in the air, posing a risk to workers' health. This study aims to analyze the concentration of carcinogenic metals in respirable dust and Particulate Matter 2.5 (PM_{2.5}) and environmental health risks to workers. Sampling was conducted for seven days for 8 hours, using a low-volume air Sampler (LVAS) for PM_{2.5} and a Personal Dust Sampler (PDS) for respirable dust. Analysis of the concentration of carcinogenic metals in respirable dust and PM_{2.5} using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) and spectrophotometric methods. Collection of questionnaire data at the sampling location consisting of 36 respondents. Questionnaire data and analysis of carcinogenic metals are needed to conduct an Environmental Health Risk Analysis (EHRA). The research showed that the highest ECR_{realtime} values for Cr, Ni, and Pb metals in PM_{2.5} were 2.97×10^{-3} , 7.21×10^{-6} , and 4.56×10^{-6} , respectively. The highest ECR_{lifetime} values on Cr, Ni, and Pb metal agents at PM_{2.5} were 3.48×10^{-2} , 8.44×10^{-5} , and 4.45×10^{-6} , respectively. The highest ECR_{realtime} values of metal agents Cr, Ni, and Pb in respirable dust were 5.24×10^{-3} , 1.32×10^{-5} , and 6.34×10^{-7} , respectively. The highest ECR_{lifetime} values for the metal agents Cr, Ni, and Pb in respirable dust were 6.14×10^{-2} , 1.54×10^{-4} , and 7.42×10^{-6} , respectively. Risk agents with ECR values $>10^{-4}$ can endanger workers' health.

Keywords: Carcinogenic Metals, EHRA, PM_{2.5}, Respirable Dust



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbi' alamin, puji syukur pada kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Konsentrasi Logam Karsinogenik pada Debu *Respirable* dan *Particulate Matter 2.5* Serta Risiko Kesehatan Lingkungan Terhadap Pekerja *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang*”**. Tidak lupa shalawat dan salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju alam yang penuh dengan ilmu pengetahuan seperti saat ini. Penulisan Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas. Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak, baik langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Orangtua yaitu Meidios Satria dan Santi Darma beserta serta adik satu-satunya Raihan Alkhairi Sandi yang telah memberikan semangat dan doa yang tidak pernah ada hentinya kepada Penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini;
2. Ibu Prof. Vera Surtia Bachtiar, Ph.D dan Ibu Ir. Rinda Andhita Regia, M.T selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu beliau dalam memberi arahan, nasihat, dan bimbingan kepada Penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan;
3. Bapak Juke Ismara, Bapak Muhammad Ikhlas, Bapak Sarman Durmalay, Bapak Yulmulyadi, Bapak Haris Budiman dan Abang pekerja di *storage 4A Indarung IV* yang telah meluangkan waktu dan tempat untuk Penulis agar dapat melaksanakan pengukuran konsentrasi di lokasi penelitian serta memberikan informasi dan masukan sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan;
4. Bapak Dr.Ir. Fadjar Goembira, M.Sc dan Ibu Dr. Ansiha Nur selaku dosen penguji yang telah memberikan koreksi serta masukan dan saran dalam penyempurnaan Tugas Akhir;
5. Bapak Rizki Aziz, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas;
6. Ibu Yega Serlina, M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir dan Ibu Yommi Dewilda, M.T selaku Ketua Prodi Departemen Teknik Lingkungan Fakultas

Teknik Universitas Andalas yang telah membantu memberikan arahan dalam menjalani setiap tahapan Tugas Akhir;

7. Ibu Yega Serlina, M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan yang dengan semangat memberikan dukungan, bimbingan, dan doa-doa terbaik demi kelancaran penulis selama menuntut ilmu di Departemen Teknik Lingkungan;
8. Bapak dan Ibu dosen serta staff Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas yang telah memberikan ilmu yang sangat berharga baik dalam pengerjaan Tugas Akhir ini maupun untuk masa yang akan datang;
9. Teman terdekat penulis Nabila, salwi dan fiza yang telah membantu, menyemangati, menghibur dan menemani penulis selama masa perkuliahan sehingga menjadikan masa perkuliahan penulis menjadi lebih bermakna.
10. Temen-temen penulis acil, lala, ami, dilly, vira, hasna, rafilah, naya, dan tami terima kasih telah mengisi masa perkuliahan penulis menjadi lebih bahagia dan bermakna.
11. Rekan – rekan “Konsentrasi Debu Semen” Dwi Putri Sari, Agung Prajimeko, M. Luthfi Agustaf, dan Farras Afif yang membersamai penyelesaian Tugas Akhir;
12. Uda, uni, rekan dan adik-adik anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) selalu memberikan semangat, dukungan, do'a dan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan dan penyelesaian Tugas Akhir;
13. Dan seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih penulis ucapkan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini;

Penulis berharap agar laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Penulis senantiasa menerima segala bentuk kritik dan saran demi kesempurnaan laporan ini. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan dengan kebaikan yang lebih baik, *Aamiin ya Rabbal'alamin*.

Padang, Agustus 2023

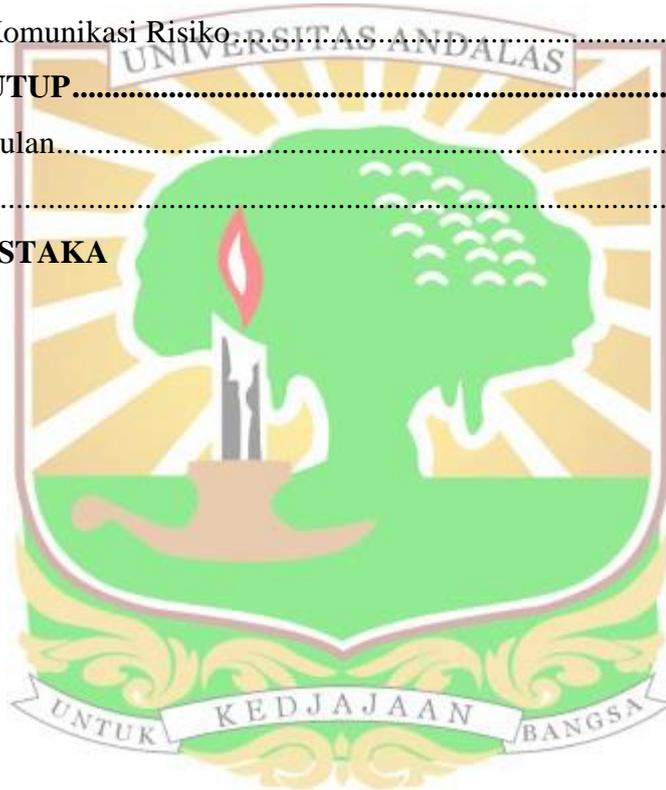
Atika Sabrina Sandi

DAFTAR ISI

ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	6
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pencemaran Udara.....	6
2.1.1 Pengertian Pencemaran Udara.....	6
2.1.2 Sumber Pencemaran Udara	7
2.1.3 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Udara	9
2.2 Industri PT Semen Padang	10
2.3 Pemanfaatan Limbah.....	13
2.4 Partikulat	16
2.4.1 Debu <i>Respirable</i>	17
2.4.2 <i>Particulate Matter</i> 2,5 (PM _{2,5})	17
2.5 Logam.....	18
2.5.1 Logam Cr (Kromium)	19
2.5.2 Logam Ni (Nikel)	19
2.5.3 Logam Pb (<i>Plumbum</i>)	20
2.6 <i>Indoor Air Quality</i>	20
2.7 Pengukuran dan Analisis	22
2.8 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)	23
2.8.1 Identifikasi bahaya	25

2.8.2 Analisis dosis respon	26
2.8.3 Analisis Paparan	28
2.8.4 Karakterisasi Risiko	29
2.8.5 Pengelolaan risiko	29
2.8.6 Komunikasi risiko	31
2.9 Penelitian Terkait	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1 Umum	34
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	34
3.3 Tahapan Penelitian	35
3.3.1 Studi Literatur	37
3.3.2 Pengambilan Data Sekunder	37
3.3.3 Pengambilan Data Primer	37
3.3.3.1 Pengambilan Data Kuesioner	37
3.3.3.2 Analisis Logam yang Terkandung dalam Debu <i>Respirable</i> dan PM _{2.5}	37
3.4 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan	40
3.4.1 Risk Assessment	40
3.4.2 Pengelolaan Risiko	41
3.4.3 Komunikasi Risiko	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Umum	42
4.2 Kondisi Eksisting	42
4.3 Identifikasi Logam	43
4.3.1 Logam dalam PM _{2.5}	43
4.3.2 Logam dalam Debu <i>Respirable</i>	44
4.4 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan	46
4.4.1 <i>Risk Assessment</i>	46
4.4.1.1 Identifikasi Bahaya	46
4.4.1.1.1 Sumber Pencemar	47
4.4.1.1.2 Media Pencemar	48
4.4.1.1.3 Dampak Terhadap Kesehatan	48
4.4.1.1.4 Reseptor	49

4.4.1.2 Analisis Dosis Respon	51
4.4.1.3 Analisis Paparan.....	51
4.4.1.3.1 Analisis Paparan Logam Pada PM _{2,5}	52
4.4.1.3.2 Analisis Paparan Logam Pada Debu <i>Respirable</i>	55
4.4.1.4 Karakteristik Risiko	59
4.4.1.4.1 Karakteristik Risiko Logam Pada PM _{2,5}	59
4.4.1.4.2 Karakteristik Risiko Logam Pada Debu <i>Respirable</i>	62
4.4.2 Pengelolaan Risiko	66
4.4.2.1 Pengelolaan Risiko Logam Pada PM _{2,5}	66
4.4.2.2 Pengelolaan Risiko Logam Pada Debu <i>Respirable</i>	69
4.4.3 Komunikasi Risiko	73
BAB V PENUTUP	74
5.1 Kesimpulan.....	74
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kategori Sumber Pencemar Udara.....	7
Gambar 2.2 Diagram Alir Pembuatan Semen.....	12
Gambar 2.3 Bagan Alir Penerapan ARKL.....	24
Gambar 2.4 Skema Paparan dan Dosis	25
Gambar 3.1 Titik Penelitian	35
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian	35
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 3.4 Alat <i>Personal Dust Sampler</i> (PDS).....	38
Gambar 3.5 Alat PDS yang dipasang di Tubuh Pekerja	38
Gambar 3.6 Alat <i>Low Volume Air Sampler</i> (LVAS)	38
Gambar 4.1 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian	43
Gambar 4.2 Aktivitas Pekerjaan di Lokasi Penelitian	43
Gambar 4.3 Konsentrasi Logam yang Terkandung dalam $PM_{2.5}$	44
Gambar 4.4 Konsentrasi Logam yang Terkandung dalam Debu <i>Respirable</i>	45
Gambar 4.5 Berat Badan Responden	49
Gambar 4.6 Durasi Paparan Responden.....	50
Gambar 4.7 <i>Intake Realtime Logam Cr</i> pada $PM_{2.5}$	52
Gambar 4.8 <i>Intake Lifetime Logam Cr</i> pada $PM_{2.5}$	52
Gambar 4.9 <i>Intake Realtime Logam Ni</i> pada $PM_{2.5}$	53
Gambar 4.10 <i>Intake Lifetime Logam Ni</i> pada $PM_{2.5}$	53
Gambar 4.11 <i>Intake Realtime Logam Pb</i> pada $PM_{2.5}$	54
Gambar 4.12 <i>Intake Lifetime Logam Pb</i> pada $PM_{2.5}$	55
Gambar 4.13 <i>Intake Realtime Logam Cr</i> pada Debu <i>Respirable</i>	56
Gambar 4.14 <i>Intake Realtime Logam Ni</i> pada Debu <i>Respirable</i>	56
Gambar 4.15 <i>Intake Realtime Logam Pb</i> pada Debu <i>Respirable</i>	56
Gambar 4.16 <i>Intake Lifetime Logam Cr</i> pada Debu <i>Respirable</i>	57
Gambar 4.17 <i>Intake Lifetime Logam Ni</i> pada Debu <i>Respirable</i>	58
Gambar 4.18 <i>Intake Lifetime Logam Pb</i> pada Debu <i>Respirable</i>	58
Gambar 4.19 <i>ECR Realtime Logam Cr</i> pada $PM_{2.5}$	59
Gambar 4.20 <i>ECR Lifetime Logam Cr</i> pada $PM_{2.5}$	60
Gambar 4.21 <i>ECR Realtime Logam Ni</i> pada $PM_{2.5}$	60
Gambar 4.22 <i>ECR Lifetime Logam Ni</i> pada $PM_{2.5}$	61
Gambar 4.23 <i>ECR Realtime Logam Pb</i> pada $PM_{2.5}$	61
Gambar 4.24 <i>ECR Lifetime Logam Pb</i> pada $PM_{2.5}$	62
Gambar 4.25 <i>ECR Realtime Logam Cr</i> pada Debu <i>Respirable</i>	63
Gambar 4.26 <i>ECR Lifetime Logam Cr</i> pada Debu <i>Respirable</i>	63
Gambar 4.27 <i>ECR Realtime Logam Ni</i> pada Debu <i>Respirable</i>	64
Gambar 4.28 <i>ECR Lifetime Logam Ni</i> pada Debu <i>Respirable</i>	64
Gambar 4.29 <i>ECR Realtime Logam Pb</i> pada Debu <i>Respirable</i>	65
Gambar 4.30 <i>ECR Lifetime Logam Pb</i> pada Debu <i>Respirable</i>	65

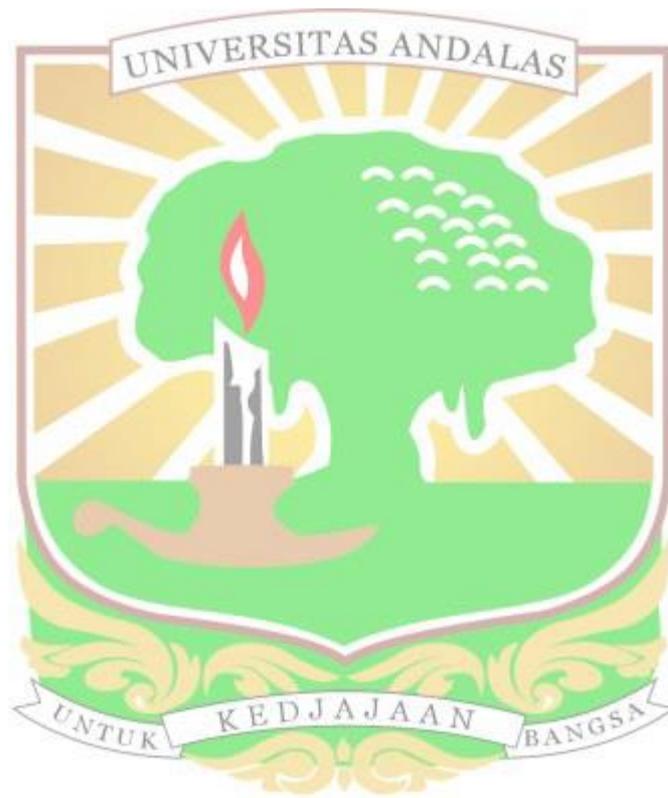
DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Konsentrasi Logam Cr, Ni dan Pb di Udara	46
Tabel 4.2 Formulir Identifikasi Bahaya	47
Tabel 4.3 Nilai SF Agen Risiko	51
Tabel 4.4 Paparan Berisiko Terhadap Responden.....	66
Tabel 4.5 Nilai Aman Logam Cr <i>Realtime</i> pada PM _{2,5}	67
Tabel 4.6 Nilai Aman Logam Cr <i>Lifetime</i> pada PM _{2,5}	68
Tabel 4.7 Nilai Aman Logam Cr <i>Realtime</i> pada Debu <i>Respirable</i>	69
Tabel 4.8 Nilai Aman Logam Cr <i>Lifetime</i> pada Debu <i>Respirable</i>	70
Tabel 4.9 Nilai Aman Logam Ni <i>Lifetime</i> pada Debu <i>Respirable</i>	71



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Data Penelitian
LAMPIRAN B	Perhitungan Data
LAMPIRAN C	Dokumentasi



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semen merupakan salah satu bahan utama dalam pembangunan infrastruktur di suatu negara. Industri semen termasuk kelompok industri primer yang mengolah bahan mentah seperti batu kapur dan tanah liat menjadi bahan baku (Hermawan dkk, 2022). Salah satu pabrik semen di Indonesia adalah PT Semen Padang. Pabrik ini merupakan pabrik semen pertama di Asia Tenggara yang terletak di Provinsi Sumatera Barat, berjarak 15 km dari pusat Kota Padang yang telah beroperasi sejak tahun 1913. Pembuatan semen menggunakan bahan baku seperti tanah liat, batu kapur, batu silika, *gypsum*, *pozzolan* dan pasir besi. Bahan baku ini kemudian dicampur dengan proporsi yang tepat dan selanjutnya bahan baku ini akan diproses pada berbagai tahap. Pabrik ini dapat beroperasi dengan menggunakan batu bara sebagai bahan bakar. Batu bara merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui sehingga jumlahnya di alam terbatas, jika digunakan secara terus menerus maka dapat mengakibatkan habisnya keberadaan batu bara di alam, oleh karena itu dibutuhkan alternatif penggunaan bahan bakar agar tidak menyebabkan kerusakan lingkungan.

PT Semen Padang memanfaatkan penggunaan bahan baku dan bahan bakar alternatif untuk menunjang produksi pembuatan semen. Pemanfaatan ini dilakukan oleh bidang *Alternative Fuel* dan *Raw Material* (AFR). AFR memiliki 2 *storage* yaitu *storage* 3A dan 4A yang digunakan sebagai tempat penyimpanan sementara bahan – bahan alternatif. *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang merupakan tempat penyimpanan sementara limbah - limbah seperti *Spent Bleaching Earth* (SBE), *Crude Oil Contaminated Soil* (COCS), *Drilling Cutting Cement* (DCC), *Fly Ash Bottom Ash* (FABA). Limbah ini dimanfaatkan sebagai bahan pencampur bahan bakar dan bahan baku pembuatan semen. SBE dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang dicampur dengan batu bara karena memiliki nilai kalor yang cukup tinggi. Sedangkan COCS, DCC dan FABA dijadikan pencampur bahan baku karena terdapat unsur – unsur yang dapat dimanfaatkan dalam proses produksi semen. Proses pemanfaatan limbah tersebut menghasilkan pencemaran udara

berupa partikulat yang mengandung logam dan dapat membahayakan kesehatan jika masuk ke dalam tubuh pekerja.

Aktivitas pada *storage* ini terdiri dari pencampuran, pengepakan dan pengangkutan limbah yang berpotensi menghasilkan pencemaran udara. Limbah dicampur dan dikemas ke dalam *jumbo bag* menggunakan alat *excavator*, setelah itu *jumbo bag* yang telah berisi limbah dibawa menggunakan truk ke *crusher* (COCS, DCC dan FAB) dan *klin* (SBE). Terdapat kurang lebih 150 ton limbah dan 15 truk keluar masuk setiap harinya. Jumlah pekerja di *storage* ini berjumlah 36 orang dengan intensitas bekerja selama 8 jam. Beberapa pekerja di *Storage* Semen Padang ini memang sudah menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) saat bekerja, namun APD yang digunakan berupa masker kain yang sering dibuka pasang dan dapat membahayakan kesehatan para pekerja di PT Semen Padang terutama pekerja *storage* 4A.

Partikulat adalah partikel kecil terdiri dari padatan atau cairan yang tersuspensi di udara. Aktivitas manusia seperti proses industri menghasilkan partikulat yang dapat mencemari udara. Terdapat banyak jenis partikulat di udara dengan ukuran berkisar antara 0,001 μm sampai dengan 500 μm . Debu *respirable* merupakan salah satu jenis partikulat dengan ukuran 0,5 μm sampai dengan 4 μm . Partikulat ini dapat menembus hidung dan sistem pernapasan bagian atas dan dalam sampai ke paru-paru. Debu *respirable* masuk ke tubuh manusia dengan konsentrasi berlebihan dapat mengakibatkan penyakit pernapasan seperti *pneumoconiosis* (Bachtiar dan Rani, 2016).

Partikulat dengan ukuran lebih kecil dari 2,5 μm disebut dengan *Particulate Matter* 2,5 ($\text{PM}_{2,5}$). Partikulat ini sangat berbahaya karena dapat terhirup dan masuk ke dalam saluran pernapasan bagian *bronkiale* dan *alveoli* yang merupakan tempat pertukaran gas oksigen dan karbon dioksida di dalam paru. Mekanisme utama pembentukan partikulat oleh industri melibatkan proses *combustion* (pembakaran bahan bakar) dan *non-combustion* (tidak menggunakan proses pembakaran). Pembentukan $\text{PM}_{2,5}$ dari sektor industri juga dapat terjadi selama proses penanganan, pengangkutan dan penyimpanan bahan mentah yang berdebu (Hester dan Harrison, 2016). $\text{PM}_{2,5}$ memiliki kandungan logam berat yang dapat

menyebabkan partikulat tersebut bersifat karsinogenik dan non karsinogenik.

Logam berat pada partikulat umumnya bersifat karsinogenik yaitu dapat merangsang pertumbuhan sel kanker. Logam berat yang terdapat di udara khususnya pada $PM_{2,5}$ sangat berbahaya karena ukuran partikulat memungkinkan untuk berpenetrasi menembus bagian terdalam dari paru-paru dan menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, seperti infeksi saluran pernapasan akut, kanker paru-paru bahkan kematian (Silvia dkk, 2020). Contoh logam karsinogenik adalah Pb, Cr, Al, Sb, Cu, Cd dan Hg (Adhani & Husaini, 2017). Sementara kandungan logam yang terdapat pada limbah ini diantaranya adalah Na, Al, Fe, dan logam lainnya. Identifikasi logam yang terkandung pada partikulat di *storage* ini perlu dilakukan agar dapat mengetahui logam apa saja yang terkandung dan dampaknya terhadap para pekerja. Penelitian identifikasi konsentrasi logam pada debu *respirable* dan $PM_{2,5}$ Indarung IV belum pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini merupakan penelitian pertama untuk mengetahui konsentrasi logam pada debu *respirable* dan $PM_{2,5}$ yang terpapar oleh pekerja di *Storage 4A* Indarung IV.

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan sebuah pendekatan untuk menghitung atau memperkirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk identifikasi terhadap adanya faktor ketidakpastian, penelusuran pada pajanan tertentu, memperhitungkan karakteristik pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran spesifik. Tahap ARKL dimulai dengan melakukan identifikasi bahaya, memahami hubungan antara dosis agen risiko dan respon tubuh, karakteristik risiko. Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan penelitian mengenai analisis logam pada debu *respirable* dan $PM_{2,5}$. Analisis konsentrasi juga dilakukan untuk memperkirakan dampak logam karsinogenik pada debu *respirable* dan $PM_{2,5}$ yang ada di *Storage 4A* Indarung IV PT Semen Padang.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kualitas udara dan analisis risiko kesehatan pekerja akibat logam karsinogenik pada debu *respirable* dan *Particulate Matter 2,5* ($PM_{2,5}$) dari aktivitas di *storage 4A* Indarung IV PT Semen Padang, sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis hasil pengukuran logam karsinogenik pada debu *respirable* dan

- PM_{2,5} di *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang;
2. Menganalisis risiko kesehatan lingkungan pada pekerja yang ada di *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang dengan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian untuk memberikan informasi tentang kualitas udara dan analisis risiko kesehatan akibat logam karsinogenik yang terkandung dalam debu *respirable* dan *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2,5}) pada pekerja yang ada di *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang sehingga dapat dilakukan kajian lebih lanjut tentang pengendalian kualitas udara dan pengelolaan risiko yang menjadi pertimbangan PT Semen Padang.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Polutan yang diteliti adalah logam karsinogenik pada debu *respirable* dan *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2,5}) yang berasal dari limbah perusahaan yang ada di *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang;
2. Penelitian ini berlokasi di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang, Kota Padang;
3. Analisis logam menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*);
4. Pengambilan data berupa kuesioner terhadap pekerja sebagai responden;
5. Logam karsinogenik yang akan dianalisis adalah logam yang memiliki nilai SF;
6. Analisis mengenai risiko kesehatan terhadap pekerja merujuk kepada pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan Tahun 2012.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, maksud dan tujuan, manfaat dan ruang lingkup penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi literatur tentang definisi dan sumber pencemaran udara, Partikulat, debu *respirable*, *Particulate Matter* 2,5 (PM_{2,5}), logam karsinogenik mencakup definisi, karakteristik, sumber dan dampak dan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tahapan dan metode penelitian serta waktu dan lokasi penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil penelitian dan pembahasan.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

2.1.1 Pengertian Pencemaran Udara

Udara merupakan faktor penting dalam kehidupan, namun sejalanannya dengan perkembangan zaman kualitas udara semakin menurun. Penurunan kualitas udara ini disebabkan oleh perkembangan fisik kota dan industri, perkembangan transportasi dan aktivitas pertambangan. Udara di sekitar kita akan semakin tercemar akibat dari perbuatan manusia. Pencemaran udara adalah masuknya zat pencemar seperti gas-gas dan partikel kecil/*aerosol* ke dalam udara dalam jumlah tertentu untuk jangka waktu yang panjang, sehingga dapat mengganggu kelangsungan hidup manusia, hewan maupun tumbuhan (Ismiyati dkk, 2014). Pencemaran udara ditimbulkan oleh beberapa aktivitas manusia yang tidak memperhatikan dampaknya terhadap lingkungan. Selain itu, aktivitas pembangunan di berbagai sektor diprediksi dapat meningkatkan permasalahan pencemaran udara (Nurwita dkk, 2020).

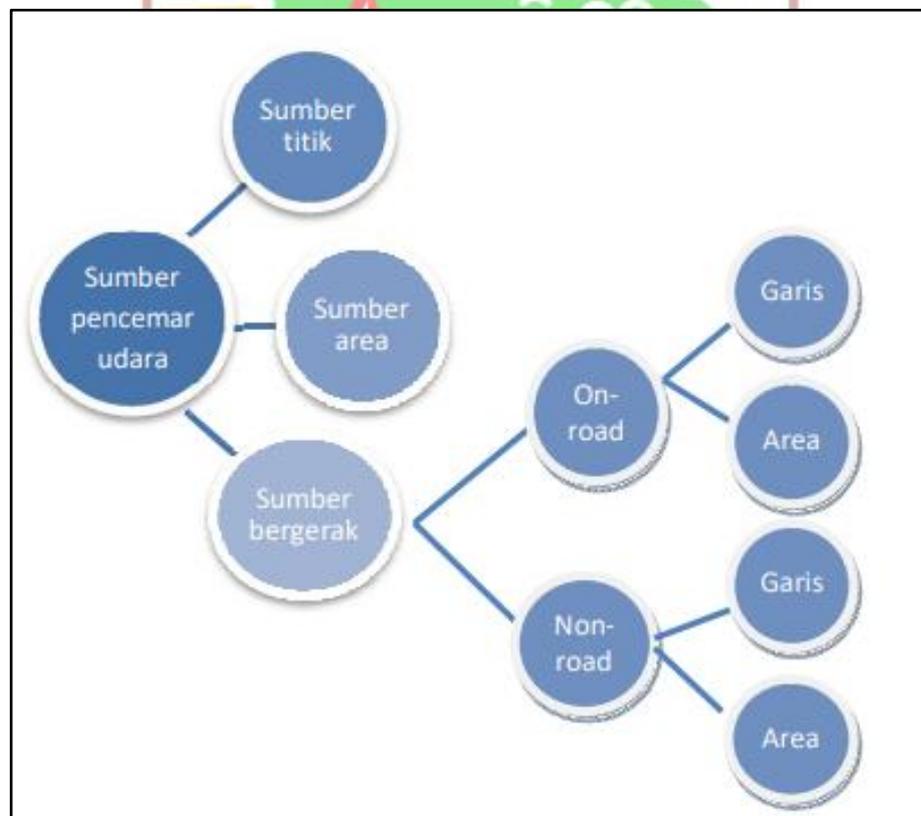
Pencemaran udara merupakan perubahan kondisi atmosfer yang terjadi akibat paparan substansi kimia atau biologis dalam jumlah besar. Pencemaran ini juga dapat diartikan sebagai keberadaan satu atau lebih zat fisik, kimia, atau biologis dalam jumlah tertentu di udara yang dapat membahayakan kesehatan makhluk hidup, merusak tampilan visual, dan menyebabkan kerusakan materi. Berbagai proses alamiah dapat mengakibatkan pencemaran udara, seperti erupsi gunung berapi dan angin yang membawa debu dan tanah. Aktivitas manusia, seperti debu terbang dari peleburan baja, asap hasil pembakaran yang tidak sempurna, dan operasi industri, dapat menjadi penyebab utama pencemaran udara. Pencemaran ini bisa berupa gangguan fisik seperti partikel, polusi cahaya, kebisingan, dan radiasi. Dampak dari pencemaran tersebut dapat mengakibatkan penurunan kualitas udara dan memiliki efek merugikan pada kesehatan manusia (Putra & Indriyani, 2015).

Emisi udara dari industri semen termasuk bahan kimia berbahaya seperti emisi gas rumah kaca, nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO_x), karbon monoksida (CO) dan partikel udara berupa TSP (*Total Suspended Particel*), PM_{10} dan $\text{PM}_{2.5}$.

Sebagian besar proses produksi di pabrik semen melibatkan penghancuran material dan pembakaran bahan. Aktivitas industri dan kegiatan transportasi dapat menghasilkan emisi partikulat dalam jumlah besar (Duppa dkk, 2020).

2.1.2 Sumber Pencemaran Udara

Sumber pencemaran udara meliputi sumber bergerak dan sumber tidak bergerak. Sumber bergerak adalah sumber yang dapat bergerak atau berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Sumber statis adalah sumber diam di suatu tempat dan tidak dapat berpindah tempat. Sumber yang digunakan dalam inventarisasi emisi adalah titik, area, dan sumber bergerak. Sumber statis diwakili oleh sumber titik dan sumber area. Sumber bergerak diwakili oleh sumber bergerak jalan di jalan raya atau *on-road* dan yang bukan di jalan raya atau *non-road*. Kategori sumber pencemar udara ditunjukkan pada **Gambar 2.1** (Karliansyah, 2013).



Gambar 2.1 Kategori Sumber Pencemar Udara

Sumber : Karliansyah, 2013

1. Sumber Titik

Sumber titik merujuk kepada sumber – sumber yang tidak bergerak yang menghasilkan pencemaran udara. Nilai ambang batas dapat ditentukan berdasarkan potensi emisinya, jenis sumber, atau toksisitas pencemar yang dikeluarkan. Industri besar seperti pabrik manufaktur yang memiliki cerobong biasanya dinyatakan sebagai sumber titik. Namun, sumber titik juga dapat ditemukan dalam skala yang lebih kecil seperti insinerator di rumah sakit, boiler di hotel, krematorium (Karliansyah, 2013).

2. Sumber Area

Sumber area mengacu pada sumber-sumber yang secara individu tidak memenuhi syarat sebagai sumber titik. Sumber area mencakup berbagai aktivitas individu yang menghasilkan jumlah pencemar yang kecil, tetapi saat dikumpulkan bersama, kontribusi emisinya menjadi penting. Sebagai contoh, satu tungku pembakaran di rumah tangga industri dalam wilayah penilaian tidak memenuhi kriteria sebagai sumber titik. Namun, jika emisi dari berbagai fasilitas serupa di wilayah tersebut digabungkan, dampaknya menjadi signifikan. Oleh karena itu, sejumlah fasilitas semacam itu perlu dicatat sebagai sumber area, contohnya termasuk kegiatan memasak di rumah tangga, Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU), lokasi konstruksi, bengkel cat, terminal bus, dan lain sebagainya (Karliansyah, 2013).

3. Sumber Bergerak

Sumber bergerak terbagi menjadi dua kategori, yaitu sumber bergerak di jalan raya (*on-road*), seperti kendaraan mobil, truk, bus, dan sepeda motor, serta sumber pergerakan di luar jalan raya (*off-road*), seperti pesawat terbang, kapal laut, kereta api, peralatan pertanian, peralatan konstruksi, dan mesin pemotong rumput. Sumber pergerakan *on-road* dan *off-road* juga dapat dijelaskan dengan menggunakan dua konsep, yaitu sumber bergerak garis dan sumber bergerak area. Sumber bergerak garis merujuk pada sumber bergerak (baik di jalan raya maupun di luar jalan raya) yang menghasilkan emisi secara individu atau secara kolektif membentuk pola garis sepanjang jalan atau lintasan di wilayah inventarisasi. Data mengenai aktivitas kendaraan/transportasi pada suatu jalan atau lintasan diperlukan untuk menghitung emisi dari sumber bergerak garis

ini, seperti volume kendaraan per harinya atau jarak yang ditempuh oleh kereta api setiap harinya. Jika data aktivitas pada suatu jalan atau lintasan tidak tersedia, maka sumber tersebut digolongkan sebagai sumber bergerak area, artinya emisi dari berbagai kendaraan secara bersama-sama membentuk suatu wilayah area di dalam wilayah inventarisasi (Karliansyah, 2013).

Pencemaran udara dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer merupakan jenis pencemaran udara yang muncul secara langsung dari sumber pencemar udara itu sendiri. Pencemar sekunder adalah jenis pencemaran yang terbentuk akibat reaksi antara pencemar primer di atmosfer. Sumber pencemar primer bisa dibagi menjadi dua kategori (Siburian, 2020):

1. Sumber Alami (*Natural Sources*)

Beberapa aktivitas alam yang dapat menyebabkan pencemaran udara adalah aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, aktivitas mikroba dan lain - lain. polutan yang dihasilkan biasanya berupa asap, gas dan debu.

2. Sumber Buatan (*Anthropogenic Sources*)

Kegiatan manusia yang menghasilkan bahan – bahan pencemar antara lain pembakaran sampah, industri, kendaraan bermotor dan lain – lain. polutan yang dihasilkan antara lain asap, debu, pasir dan gas.

2.1.3 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Udara

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas udara, yaitu (Af'idah & Husaini, 2019):

1. Suhu

Suhu dapat mengurangi polutan di atmosfer dan mencegah penyebarannya. Meningkatnya suhu dapat mengkatalisis atau mempercepat reaksi kimia yang mengubah polutan atmosfer. Pada musim kemarau, udara lebih kering, suhu tinggi dan kecepatan angin relatif rendah, maka zat pencemar udara pada musim ini juga cenderung lebih tinggi dibandingkan pada musim kemarau, karena pada musim kemarau terjadi kekeringan sehingga tidak ada pengenceran polutan di udara.

2. Kelembaban Udara

Kelembaban udara dijelaskan sebagai jumlah uap air yang terdapat dalam atmosfer. Uap air ini memegang peran penting karena memiliki kemampuan menyerap radiasi termal dari bumi. Proses ini memengaruhi seberapa cepat atau lambatnya bumi kehilangan panas, yang pada gilirannya mengatur suhu udara. Kehadiran kelembaban udara juga berdampak pada pengendapan partikel polutan. Keadaan udara yang lembab dapat membantu mengendapkan partikel-partikel pencemar seperti debu. Partikel-partikel ini cenderung berikatan dengan uap air dalam udara dan membentuk partikel yang lebih besar. Dengan demikian, partikel-partikel tersebut lebih mudah turun ke permukaan bumi karena dipengaruhi oleh gaya gravitasi.

3. Arah dan kecepatan angin

Angin merupakan aliran udara yang bergerak karena perbedaan tekanan udara di antara berbagai daerah. Naiknya perbedaan suhu udara mengakibatkan perubahan tekanan horizontal, sehingga menyebabkan pergerakan udara mendatar di atmosfer. Oleh karena itu, perbedaan temperatur antara atmosfer di wilayah kutub dan di khatulistiwa, serta antara atmosfer di atas daratan dan di atas lautan, menyebabkan gerakan udara dalam skala yang sangat luas. Kecepatan angin yang dicatat dalam data klimatologi merujuk pada kecepatan aliran udara mendatar pada ketinggian 2 m dari permukaan tanah yang ditumbuhi rumput. Oleh karena itu, ini adalah angin permukaan yang kecepatannya dapat dipengaruhi oleh ciri-ciri permukaan yang dilaluinya. Angin dapat membawa partikel polutan yang ada di udara, sehingga arah dan kecepatan angin memiliki potensi untuk mempengaruhi kualitas udara.

4. Curah Hujan

Hujan merupakan bentuk dari presipitasi dalam bentuk cairan. Presipitasi itu sendiri dapat mengambil bentuk padat (contohnya salju dan hujan es) atau berupa aerosol (seperti embun dan kabut). Hujan terbentuk ketika titik-titik air yang terpisah jatuh dari awan ke permukaan bumi. Namun, tidak semua air hujan mencapai tanah karena sebagian menguap saat jatuh melalui udara yang kering. Curah hujan memiliki peran penting dalam iklim bumi dan kehidupan di planet ini. Jika curah hujan sebesar 1 mm, ini mengindikasikan bahwa air hujan

mencukupi untuk menutupi permukaan 1 mm, walaupun air tersebut tidak meresap ke tanah atau menguap ke atmosfer. Selain itu, curah hujan membantu dalam mengurangi penyebaran polutan di atmosfer. Air hujan, sebagai pelarut alami, cenderung melarutkan polutan udara seperti debu, sehingga konsentrasi polutan ini, seperti debu, dapat berkurang. Meskipun partikel-partikel ini bisa turun ke tanah saat hujan, atmosfer bisa terisi oleh partikel-partikel debu lagi. Ketika hujan turun, ini dapat mengurangi konsentrasi partikel-partikel karena partikel-partikel ini larut dalam air akibat peningkatan kelembaban.

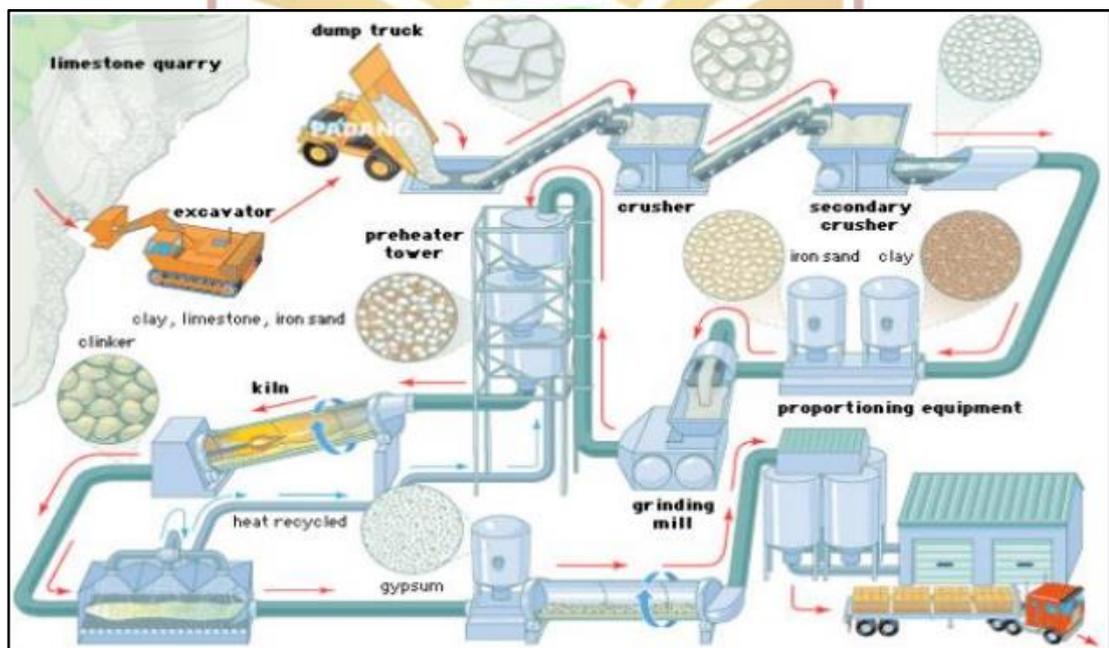
2.2 Industri PT Semen Padang

Perusahaan Semen Padang ialah pabrik pembuatan semen pertama di kawasan Asia Tenggara. Tempat ini berlokasi di Provinsi Sumatera Barat, hanya 15 km dari pusat Kota Padang. Sejak tahun 1913, pabrik semen ini sudah beroperasi. Semen merupakan hasil dari industri yang melibatkan pencampuran bahan baku utama seperti batu kapur dan bahan pengganti seperti lempung/tanah liat. Hasil akhir dari proses ini berwujud bubuk padat yang akan mengeras ketika dicampur dengan air. Meskipun cara pembuatannya berbeda-beda, endapan ini akan mengeras seperti batu. Industri semen menjadi salah satu penyumbang besar polusi udara dengan emisi gas dan partikel debu sebagai dampaknya. Proses produksi semen banyak menggunakan bahan bakar fosil, yang berkontribusi pada emisi gas rumah kaca. Selain itu, produksi semen juga memiliki efek fisik langsung terhadap pekerja dan komunitas di sekitarnya. Kebisingan dan getaran mekanik dari rangkaian proses produksi semen turut memberikan dampak pada lingkungan sekitar. Jika paparan dan dampak dari industri semen ini melampaui batas yang ditetapkan, maka akan terjadi masalah serius (PT Semen Padang, 2019).

Secara umum proses produksi semen terdiri dari beberapa tahapan dapat dilihat pada **Gambar 2.2** (PT Semen Padang, 2019):

1. Tahap ekstraksi bahan baku (*quarry*). Bahan dasar semen adalah batu kapur, tanah liat, pasir besi dan batu silika. Bahan-bahan ini diekstraksi dengan menggunakan alat berat kemudian dikirim ke pabrik semen;

2. Bahan baku ini diuji di laboratorium, kemudian dicampur dengan perbandingan yang benar dan penggilingan awal bahan baku dimulai dengan menggunakan mesin penghancur sehingga berbentuk bubuk;
3. Bahan tersebut kemudian dipanaskan dalam *preheater*. Pemanasan dilanjutkan di tungku tempat pembakaran berlangsung pada suhu 1.400°C;
4. Kemudian kristal *klinker* didinginkan dalam *cooler*. Panas dari proses pendinginan ini dikembalikan lagi ke *preheater* untuk menghemat energi;
5. *Klinker* ini kemudian digiling dalam tabung yang berputar yang berisi bola baja hingga menjadi bubuk semen yang halus;
6. *Klinker* yang telah halus ini disimpan dalam silo (tempat penampungan semen yang mirip tangki minyak milik Pertamina).



Gambar 2. 2 Diagram Alir Pembuatan Semen

Sumber: PT Semen Padang, 2019

Jenis-jenis semen dirancang untuk berbagai macam kebutuhan, dilihat dari kegunaannya. Beda semen yang digunakan tentu beda pula kegunaannya, berikut beberapa jenis produk semen dan kegunaannya (PT Semen Padang, 2019).

1. Semen *Portland* Tipe I

Semen ini digunakan dalam proyek konstruksi umum di mana tidak ada persyaratan khusus terkait reaksi panas hidrasi dan kekuatan tekan awal. Jenis semen ini sesuai untuk lingkungan tanah dan air dengan kandungan sulfat

antara 0,0% hingga 0,10%, dan cocok untuk berbagai jenis struktur seperti rumah hunian, bangunan bertingkat, dan lainnya.

2. Semen *Portland* Tipe II

Semen ini digunakan untuk membangun struktur konstruksi yang menggunakan beton bertebal, dimana ketahanan terhadap sulfat diperlukan (terutama jika ditempatkan di area dengan kandungan sulfat dalam tanah dan air berkisar antara 0,10% - 0,20%) serta memiliki proses pengerasan yang menghasilkan panas sedang. Contohnya adalah bangunan yang berlokasi di dekat laut, proyek konstruksi di tanah bekas rawa, saluran irigasi, konstruksi beton masif seperti bendungan, dan landasan jembatan;

3. Semen *Portland* Tipe III

Semen ini digunakan dalam proyek konstruksi dimana kekuatan tekan awal yang tinggi diperlukan pada tahap awal setelah pengerasan. Contohnya termasuk pembuatan jalan beton, struktur bangunan tinggi, dan pembangunan di dalam air yang tidak perlu tahan terhadap kerusakan akibat sulfat;

4. Semen *Portland* Tipe V

Semen ini digunakan dalam pembangunan struktur di area dengan kandungan sulfat melebihi 0,20%, baik di tanah maupun di perairan. Selain itu, semen ini sangat sesuai untuk proyek-proyek seperti pengolahan limbah pabrik, pembangunan di lingkungan perairan, konstruksi jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir;

5. *Oil Well Cement (OWC), Class G-HSR (High Sulfate Resistance)*

Semen khusus yang digunakan untuk memproduksi sumur minyak dan gas alam di bawah permukaan laut dan di darat. OWC yang dihasilkan adalah *Class G-HSR (High Sulfate Resistance)* atau disebut juga sebagai *Basic OWC*. Aditif dapat ditambahkan untuk aplikasi pada kedalaman suhu yang berbeda.

Bahan bakar merujuk pada suatu substansi yang dapat diubah menjadi energi. Salah satu contoh nyata penggunaan bahan bakar dalam sektor industri adalah melalui penggunaan batu bara. Batu bara merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan akan habis jika terus dimanfaatkan. PT Semen Padang merupakan industri semen yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar, membutuhkan pasokan batu bara yang besar. Setiap harinya, perusahaan ini mengkonsumsi sekitar

3.500 ton batu bara dalam proses produksinya (Sawir, 2016). Penggunaan batu bara dalam jumlah besar ini juga berdampak pada biaya produksi yang tinggi. Terbatasnya pasokan batu bara dan biaya yang signifikan untuk memperolehnya menjadi masalah serius bagi PT Semen Padang. Oleh karena itu, diperlukan pemikiran tentang opsi alternatif bahan bakar yang dapat digunakan. PT Semen Padang telah melakukan upaya untuk memanfaatkan limbah sebagai dukungan dalam produksi semen, baik sebagai bahan baku maupun bahan bakar. Jenis limbah yang dimanfaatkan termasuk limbah *Crude Oil Contaminated Soil* (COCS), *Drilling Cutting Cement* (DCC), *Fly Ash Bottom Ash* (FABA) yang digunakan sebagai bahan baku, serta *Spent Bleaching Earth* (SBE) yang digunakan sebagai bahan bakar.

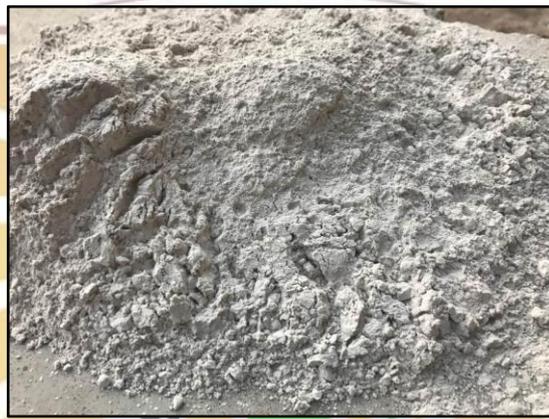
2.3. Pemanfaatan Limbah

PT Semen Padang telah memanfaatkan limbah untuk menunjang produksi semen berupa bahan baku dan bahan bakar. Limbah yang digunakan adalah *Crude Oil Contaminated Soil* (COCS), *Drilling Cutting Cement* (DCC), *Fly Ash Bottom Ash* (FABA) untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dikarenakan memiliki kandungan kimia yang sama dengan bahan baku semen seperti pasir silika (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO), pasir besi (Fe_3O_4) dan tanah liat (Al , Si , CaO , FeO dan Mg_2O). Sedangkan untuk bahan bakar memanfaatkan limbah *Spent Bleaching Earth* (SBE). Limbah ini dimanfaatkan sebagai bahan bakar dikarenakan memiliki nilai kalor yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 2.400-2.600 Kkal/Kg. COCS, DCC dan FABA dicampurkan menggunakan alat *excavator* setelah itu dimasukkan ke dalam *jumbo bag*. Kemudian *jumbo bag* yang telah berisi limbah tadi dibawa ke *crusher* menggunakan *truck* untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku semen. Sedangkan untuk limbah SBE dimasukkan ke *truck* dan dibawa ke klin agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk produksi pembuatan semen.

1. *Fly Ash Bottom Ash* (FABA)

FABA berasal dari PLTU yang dioperasikan oleh perusahaan listrik seperti Perusahaan Listrik Negara (PLN). *Fly Ash* (FA) merupakan limbah hasil pembakaran batubara yang dibakar di tungku pembangkit uap yang berbentuk halus, bulat, dan bersifat *pozzolan*. Ukuran partikel FA berkisar antara $< 1 \mu\text{m}$ sampai $> 100 \mu\text{m}$. Beberapa literatur disebutkan ukuran FA adalah $0,5 \mu\text{m} - 300$

μm . Luas FA biasanya sekitar $300 \text{ m}^2/\text{kg}$ - $500 \text{ m}^2/\text{kg}$ FA, batas bawah $200 \text{ m}^2/\text{kg}$ dan batas atas $700 \text{ m}^2/\text{kg}$. Limbah ini mengandung unsur kimia seperti silika, aluminium, besi, kalsium dan magnesium. *Bottom Ash* (BA) adalah sisa proses pembakaran batu bara yang ukuran partikelnya lebih besar dan lebih berat dari FA sehingga jatuh ke dasar tungku (*boiler*). Ukuran *bottom ash* lebih mendekati ukuran pasir biasanya 50-90 % lolos pada saringan $4,75 \text{ mm}$ (No 4). Berdasarkan jenis tungku, BA dibagi menjadi BA kering dan BA basah. Sifat BA sangat bervariasi tergantung jenis batu bara dan sistem pembakarannya (Nugraha & Rolliyah, 2021).



Gambar 2.3 Fly Ash Bottom Ash
Sumber: Sawdust, 2018

2. *Spent Bleaching Earth* (SBE)

SBE merupakan limbah terbesar yang dihasilkan oleh industri minyak sawit. Limbah ini mengandung senyawa kimia yang berbahaya terhadap kesehatan manusia dan hewan seperti gangguan sistem saraf, pernapasan dan pencernaan. Komponen kimia utama SBE terdiri dari SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO dan MgO . Sedangkan kandungan unsurnya tersusun atas C, Ca, O, Fe, Mg, Al dan K. Kandungan kimia yang ada pada limbah ini menjadikan SBE limbah yang dapat dimanfaatkan untuk bahan baku industri dan campuran bahan bakar untuk menghasilkan panas (Amelia dkk, 2023).



Gambar 2. 4 Spent Bleaching Earth

Sumber: Universal, 2023

3. *Crude Oil Contaminated Soil (COCS)*

Perusahaan yang melakukan eksplorasi minyak dalam jumlah besar menghasilkan limbah salah satunya adalah COCS. Limbah ini berbentuk lumpur yang mengandung minyak berat yang masih tinggi. COCS dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pengganti tanah liat karena mempunyai kandungan oksida yang sesuai dengan standar yang dibutuhkan dalam pembuatan semen. Limbah ini mengandung SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 dan CaO berturut turut sebesar 74,42 %, 4,60 %, 3,37 % dan 0,78 % (Sianipar & Kardena, 2018).

4. *Drilling Cutting Cement (DCC)*

DCC merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pengeboran minyak bumi memiliki karakteristik serupa dengan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi. Limbah ini mengandung bahan kimia tertentu dan dapat mencemari lingkungan. Namun, bahan kimia yang terkandung pada DCC dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti agregat halus untuk konstruksi beton ringan dan sebagai pengganti bahan baku produksi semen. Unsur kimia yang terdapat pada DCC adalah As, Ba, B, Cr, Pb, Cu dan Hg (Husin dkk, 2013).

2.4 Partikulat

Partikulat adalah zat pencemar udara yang terdiri dari padatan atau cairan yang tersuspensi di udara. Sumber partikulat dapat berasal dari sumber dari aktivitas vulkanis yang terjadi secara alami dan aktivitas manusia seperti pembakaran fosil, kendaraan dan proses-proses industri. Partikulat terdiri dari campuran kompleks partikel seperti debu, kotoran, asap, dan cairan yang ditemukan di udara dengan

ukuran kecil. Partikulat dapat terakumulasi zat berbahaya dan dapat berdampak terhadap kesehatan manusia jika terhirup oleh manusia. Dampak dari partikulat yang masuk ke dalam tubuh manusia adalah gangguan sistem pernapasan, gangguan fungsi jantung dan kanker (Farnas dkk, 2023).

2.4.1 Debu *Respirable*

Debu *respirable* adalah partikel yang melayang-layang di udara dan mempunyai ukuran cukup kecil yaitu $< 4 \mu\text{m}$. Partikulat ini dapat masuk ke dalam hidung sampai dengan sistem pernapasan bagian atas dan masuk ke dalam paru-paru bagian dalam. Partikel ini tidak dapat dikeluarkan oleh sistem mekanisme tubuh secara alami dan dapat mengendap di dalam paru-paru (Bachtiar & Rani, 2016).

Menurut WHO saluran pernapasan merupakan salah satu mekanisme untuk masuknya debu *respirable* ke dalam tubuh. Debu ini masuk ke saluran pernapasan manusia melalui lubang hidung, faring, laring, *trachea*, *bronchus*, *broncheolus*, *alveolus*, paru dan pleura. Risiko debu *respirable* yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan. Paparan yang berlebihan dapat menyebabkan penyakit *pneumoconiosis* (Darwel dkk, 2022).

2.4.2 *Particulate Matter 2,5* (PM_{2,5})

Particulate Matter 2,5 adalah partikel yang diameternya kurang dari $2,5 \mu\text{m}$. Semakin kecil ukuran diameter partikel debu maka semakin berbahaya karena dapat terhirup dan masuk ke saluran pernapasan bagian *bronkiale* dan *alveolus* yang merupakan tempat pertukaran gas oksigen dan karbon dioksida di paru - paru. Debu partikulat adalah satu dari enam polutan paling berbahaya yaitu CO, Pb, NO₂, O₃, SO₂ dan PM_{2,5}. Debu umumnya berasal dari gabungan secara mekanik dan material yang berukuran kasar yang melayang di udara dan bersifat toksik bagi manusia (Kurnia & Soedjajadi, 2014). Sumber utama PM_{2,5} umumnya diemisikan dari proses pembakaran dengan suhu tinggi, operasional industri dan kendaraan bermotor. Selain proses industri dan penggunaan kendaraan bermotor. PM_{2,5} yang terbentuk di atmosfer atau PM_{2,5} sekunder juga berkontribusi terhadap konsentrasi PM_{2,5} di udara ambien. PM_{2,5} sekunder ini terbentuk akibat reaksi kimia akibat adanya gas seperti SO₂, NO_x dan VOC yang didukung oleh kondisi meteorologi tertentu di atmosfer (Hester & Harrison, 2016).

Masalah kesehatan yang mungkin timbul akibat paparan partikulat debu antara lain peningkatan rawat inap, masalah pernapasan, bronkitis kronis, asma, denyut jantung tidak teratur, kematian akibat penyakit kardiovaskuler dan saluran pernapasan, kanker, dan gangguan fungsi paru. Sedangkan dampak kerusakan lingkungan akibat tersebarnya partikulat debu ke udara adalah berkurangnya jarak pandang, peningkatan keasaman sungai dan danau, rusaknya hutan dan ekosistem, serta perubahan keseimbangan nutrisi pada sumber air dan sungai (Kurnia & Soedjajadi, 2014).

2.5 Logam

Logam berat memiliki karakteristik yang sama dengan logam lainnya, namun perbedaannya terletak pada dampak yang dihasilkan ketika logam berat berikatan atau masuk ke dalam makhluk hidup. Beberapa jenis logam yang termasuk dalam kategori logam berat meliputi: mangan (Mn), aluminium (Al), kadmium (Cd), kromium (Cr), kobalt (Co), raksa (Hg), besi (Fe), molibdenum (Mo), selenium (Se), perak (Ag), timah (Sn), tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), kadmium (Cd), vanadium (V), tembaga (Cu), timbal (Pb), raksa (Hg), antimon (Sb), kobalt (Co), dan kromium (Cr). Logam berat sangat berpotensi berbahaya jika kadar mereka yang terlarut dalam tubuh manusia mencapai tingkat yang cukup tinggi atau melampaui batas mutu yang ditetapkan. Logam berat ini memiliki sifat yang sangat beracun dan bisa masuk ke dalam tubuh manusia melalui berbagai cara, termasuk melalui makanan, pernapasan, dan penetrasi kulit (Adhani & Husaini, 2017).

Pada saat logam berat masuk ke dalam tubuh manusia, akan diakumulasi dalam jaringan tubuh dan tidak bisa diekskresikan lagi ke luar tubuh. Pada kadar yang sudah tinggi dalam tubuh manusia, akan menyebabkan dampak negatif yang serius, yakni (Adhani & Husaini, 2017):

1. Mengurangi konduksi saraf tepi;
2. Menghambat aktivitas enzim sehingga proses metabolisme terganggu;
3. Menghambat spermatogenesis;
4. Menyebabkan abnormalitas kromosom atau gen;
5. Menghambat perkembangan janin;
6. Menurunkan fertilitas wanita;

14. Menyebabkan gangguan emosional dan tingkah laku.
15. Menghambat pembentukan hemoglobin;
16. Pembengkakan kepala atau *ensefalopati*;
17. Menyebabkan kerusakan ginjal;
18. Menyebabkan kekurangan darah atau anemia.

Toksisitas logam pada manusia dapat menyebabkan timbulnya kerusakan jaringan, terutama jaringan detoksifikasi dan ekskresi (hati dan ginjal). Beberapa logam mempunyai sifat karsinogenik (pembentuk kanker), maupun teratogenik (salah bentuk organ). Contoh logam karsinogenik adalah Pb, Al, Ni, Sb, Cu, Cd dan Hg. Logam karsinogenik dapat dilihat dari nilai SF (*Slope Factor*) dan ECR (*Excess Cancer Risk*). Nilai referensi agen risiko dengan efek karsinogenik atau SF dapat dilihat pada situs epa (2023) dan oehha (2023). Tingkat risiko dinyatakan aman jika $ECR \leq 10^{-4}$ dan dinyatakan tidak aman jika $ECR > 10^{-4}$ (Adhani & Husaini, 2017).

2.5.1 Logam Cr (Kromium)

Kromium hadir dalam berbagai elemen, termasuk batuan, makhluk hidup, dan tanaman. Polusi kromium timbul dari limbah industri, pelapisan krom, fasilitas tekstil, dan proses pengilangan minyak. Terpapar jumlah senyawa kromium yang lebih tinggi pada manusia bisa mengakibatkan pengurangan kemampuan untuk mereduksi methemoglobin menggunakan hemoglobin. Logam ini berpotensi merusak DNA dalam beragam cara, menciptakan kemungkinan kelainan kromosom, perubahan dalam replikasi dan transkripsi DNA (Adhani & Husaini, 2017). Kehadiran yang berlebihan dari logam ini dapat mengakibatkan gangguan pada saluran pernapasan, kulit, pembuluh darah, dan organ ginjal. Dalam hal saluran pernapasan kromium dapat memicu kanker paru-paru. Selain itu, logam ini juga memiliki potensi menyebabkan penumpukan plak pada arteri aorta.

2.5.2 Logam Ni (Nikel)

Nikel merupakan elemen dengan nomor atom 28 dan massa atom 58,69. Bentuk fisik dari logam ini berupa bahan putih perak yang memiliki sifat keras. Paparan nikel ke lingkungan udara dapat terjadi karena aktivitas manusia, terutama dalam sektor industri. Nikel hadir dalam bentuk unsur bebas maupun senyawa dengan valensi 2 dan 3. Bahkan jumlah yang kecil dari nikel dapat berpotensi menyebabkan

risiko kanker. (Adhani & Husaini, 2017).

Nikel (Ni) merupakan logam yang penting bagi kehidupan namun, keberadaannya dalam jumlah berlebihan bisa berdampak negatif pada makhluk hidup. Nikel dapat diserap melalui pernapasan, melalui mulut, dan juga melalui kulit. Hal ini dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti gangguan dalam sistem tubuh, gangguan pada sistem kekebalan tubuh, masalah pada sistem reproduksi, potensi efek karsinogenik, dan bahkan berisiko menyebabkan kematian. (Aris & Nasir, 2021).

2.5.3 Logam Pb (*Plumbum*)

Plumbum atau timbal ialah jenis logam berat yang kedatangannya tidak diinginkan karena berpotensi mengancam kesehatan manusia. Salah satu efek yang ditimbulkannya adalah menurunnya tingkat kecerdasan (IQ) serta merusak fungsi otak. Tanda-tanda keracunan timbal pada orang dewasa meliputi gejala pusing, kehilangan nafsu makan, sakit kepala berulang, anemia, kesulitan tidur, kelemahan, dan risiko keguguran. Timbal juga mampu mengakibatkan perubahan pada bentuk dan dimensi sel darah merah, yang berpotensi mengakibatkan peningkatan tekanan darah. (Harlia dkk, 2017).

Logam timbal (Pb) yang mencemarkan atmosfer hadir dalam dua bentuk, yaitu dalam bentuk gas dan partikel. Gas timbal utamanya berasal dari proses pembakaran aditif bensin pada kendaraan bermotor, yang terdiri dari senyawa tetraetil Pb dan tetrametil Pb. Pelepasan Pb ke atmosfer bisa terjadi dalam bentuk gas maupun partikel, sebagai hasil dari pembakaran yang tidak sempurna di mesin kendaraan. Semakin tidak sempurna proses pembakaran dalam mesin kendaraan, maka semakin besar jumlah Pb yang terlepas ke udara. Partikel Pb dalam udara juga berasal dari sumber lain seperti kegiatan industri. (Harlia dkk, 2017).

2.6 Indoor Air Quality

Selain kualitas udara ambien, kualitas udara di dalam ruangan juga merupakan isu yang perlu diberikan perhatian karena dapat memengaruhi kesehatan manusia. Penyebab umum buruknya kualitas udara dalam ruangan meliputi kurangnya sirkulasi udara (sebanyak 52%), adanya faktor kontaminasi di dalam ruangan (16%), pencemaran udara dari luar (10%), keberadaan mikroorganisme (5%),

material bangunan yang mengeluarkan zat berbahaya (4%), serta faktor lainnya (13%). Pencemaran udara juga bisa berasal dari kegiatan sehari-hari di dapur, seperti asap. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pencemaran udara yang berasal dari dapur memiliki kontribusi yang signifikan terhadap penyebaran penyakit saluran pernapasan (Prabowo & Muslim, 2018).

Faktor-faktor yang menyebabkan pencemaran udara di dalam ruangan melibatkan elemen-elemen terkait struktur bangunan, perlengkapan interior ruangan (seperti permadani dan sistem pendingin udara), kondisi lingkungan di sekitar bangunan, suhu, tingkat kelembaban, sirkulasi udara, serta perilaku individu di dalamnya seperti kegiatan merokok. Polusi udara di dalam ruangan berasal dari materi buatan dan sejumlah bahan alami yang digunakan dalam elemen interior seperti permadani, bantal, lapisan dinding, dan perabot. Materi-materi ini, seperti asbestos, formaldehida, dan senyawa organik yang mudah menguap (VOC), dapat bocor ke udara. Di samping itu, sumber pencemaran udara di dalam ruangan juga timbul dari produk konsumen seperti produk pembersih untuk perabotan, bahan perekat, produk kosmetik, serta pestisida dan insektisida (Prabowo & Muslim, 2018).

Keadaan lingkungan di dalam ruangan memiliki efek signifikan terhadap kenyamanan saat bekerja. Jika kualitas udara di dalam ruangan tidak baik, ini dapat mengakibatkan masalah bagi para pekerja, seperti berbagai masalah kesehatan. Dampak negatif dari polusi udara dalam ruangan terutama akan dirasakan pada bagian-bagian tubuh atau organ yang bersentuhan langsung dengan udara (Prabowo & Muslim, 2018):

1. Iritasi selaput lendir: iritasi mata, mata pedih, mata merah, mata berair;
2. Gangguan kulit: kulit kering, kulit gatal;
3. Gangguan neurotoksik: sakit kepala, lemah/capai, mudah tersinggung, sulit berkonsentrasi;
4. Iritasi tenggorokan, sakit menelan, gatal, batuk kering;
5. Gangguan saluran kencing, sulit belajar.
6. Gangguan saluran cerna seperti diare;
7. Paru dan pernapasan: batuk, napas berbunyi/mengi, sesak napas, rasa berat di dada;

Sumber polusi udara dalam ruangan mungkin berasal dari luar ruangan yang dihasilkan oleh industri atau emisi dari kendaraan bermotor. Zat-zat pencemar di udara bisa memicu bronkitis, yang kemungkinan meningkatkan risiko terjadinya kanker paru. Salah satu dampak lain dari pencemaran udara dalam ruangan adalah timbulnya alergi seperti asma. Faktor utama yang menyebabkan penurunan kualitas udara di dalam ruangan adalah kurangnya sirkulasi udara yang lancar dan adanya zat-zat pencemar. Keterbatasan ventilasi mengakibatkan jumlah udara segar yang masuk ke dalam ruangan menjadi terbatas (Fahreza, 2021).

Pengaturan udara di lingkungan industri sangat diperlukan untuk memastikan bahwa kualitas udara memenuhi standar yang telah ditetapkan untuk kesejahteraan pekerja serta kebutuhan udara yang cocok untuk proses produksi, operasi mesin, dan penyimpanan produk. Salah satu metode yang digunakan untuk mengatur udara di dalam ruangan adalah melalui ventilasi, yang melibatkan pengaturan aliran udara masuk dan keluar melalui bukaan atau lubang yang ada. Tujuannya adalah untuk mendapatkan pasokan udara yang memenuhi standar kesehatan dan kebutuhan produksi di lingkungan industri (Andianto, 2013).

2.7 Pengukuran dan Analisis

Pengukuran logam pada debu *respirable* dan PM_{2.5} dilakukan untuk mengetahui konsentrasi logam yang ada pada udara ambien. Analisis logam dilakukan dengan menggunakan alat AAS (*Atomic Absorbtion Spectrophotometry*). Alat ini menggunakan metode spektrometri dengan analisis unsur secara kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Prinsip pengoperasian AAS didasarkan pada proses penguraian molekul menjadi atom. Atom – atom ini akan menyerap cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya dan akan tereksitasi. Cahaya yang tidak diserap oleh atom diteruskan dan dipancarkan oleh detektor dan kemudian diubah menjadi sinyal yang diukur. Hasil konsentrasi logam yang diperoleh dari alat AAS merupakan konsentrasi logam dalam larutan. Konsentrasi logam di udara dapat dicari menggunakan **Persamaan 2.1**.

$$C = \frac{(C_s \times V_s) - (C_b \times V_b)}{V_{stp} \times F} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

C = Konsentrasi logam di udara

C_b = Konsentrasi logam dalam larutan blanko ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_s = Konsentrasi logam dalam larutan sampel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

V_b = Volume blanko (ml)

V_s = Volume sampel (ml)

F = Fraksi sampel yang didestruksi

V_{STP} = Volume udara standar (m^3)

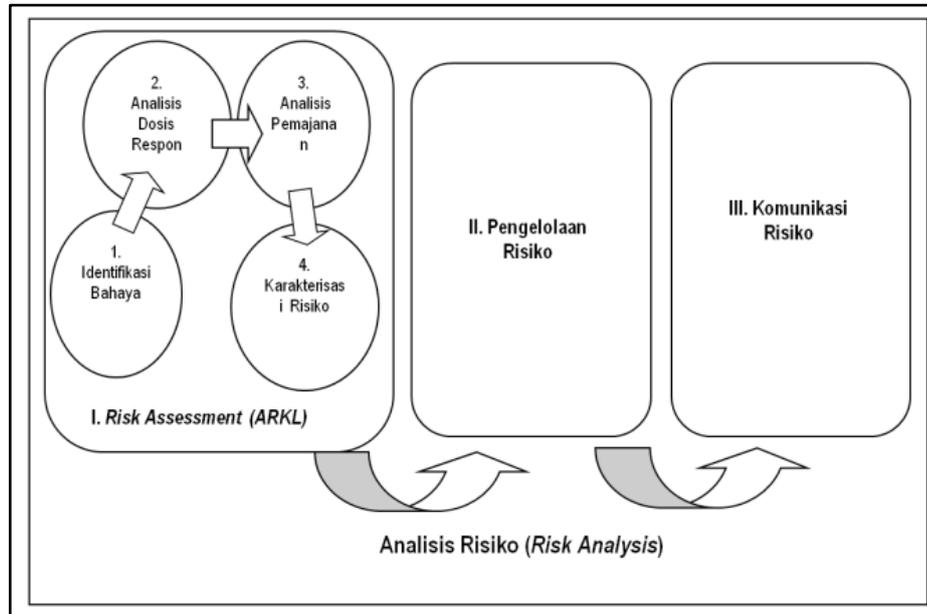
2.8 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Analisis risiko mengenal dua istilah yaitu analisis risiko dan penilaian risiko. Analisis risiko terdiri dari penelitian, penilaian risiko (ARKL) dan pengelolaan risiko. Analisis risiko dapat digambarkan sebagai berikut (Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012):

1. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat perkiraan awal, melakukan pengukuran dan observasi, serta menilai dampak dari potensi bahaya atau agen risiko yang ada di lingkungan terhadap kesehatan manusia. Penelitian ini dapat dilakukan baik di laboratorium maupun di lapangan, dengan tujuan utama untuk memahami bagaimana tubuh manusia merespons dan beradaptasi terhadap dosis tertentu dari agen risiko tersebut, serta menentukan nilai referensi yang aman bagi tubuh manusia untuk agen risiko tersebut.
2. Asesmen risiko atau ARKL dilakukan dengan tujuan untuk mengenali potensi bahaya yang dapat menimbulkan risiko, memahami kaitan antara jumlah paparan terhadap agen risiko dan respons tubuh berdasarkan hasil studi sebelumnya, mengukur tingkat paparan terhadap agen risiko tersebut, serta menentukan tingkat risiko dan dampaknya pada populasi yang terpapar
3. ARKL dilaksanakan dengan maksud mengidentifikasi potensi ancaman yang berpotensi menimbulkan risiko, memahami hubungan antara jumlah paparan terhadap faktor risiko dengan respons tubuh berdasarkan penelitian sebelumnya, mengukur sejauh mana paparan terhadap faktor risiko tersebut, dan menilai tingkat risiko dan konsekuensinya bagi populasi yang terpapar.

Secara operasional, pelaksanaan ARKL tidak hanya terfokus pada evaluasi atau penilaian risiko dari entitas risiko atau faktor tertentu dalam lingkungan terhadap

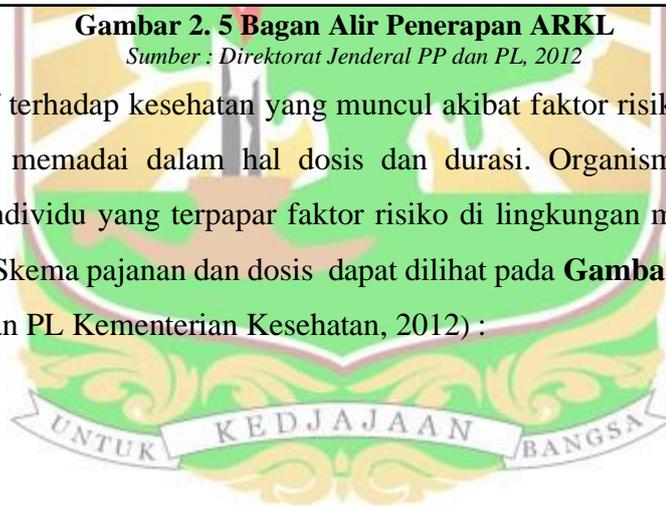
kesehatan masyarakat. Lebih dari itu, diharapkan ARKL juga mampu mengembangkan rencana tindakan untuk mengelola risiko-risiko tersebut. Bagan alir penerapan ARKL dapat di lihat pada **Gambar 2.3**.

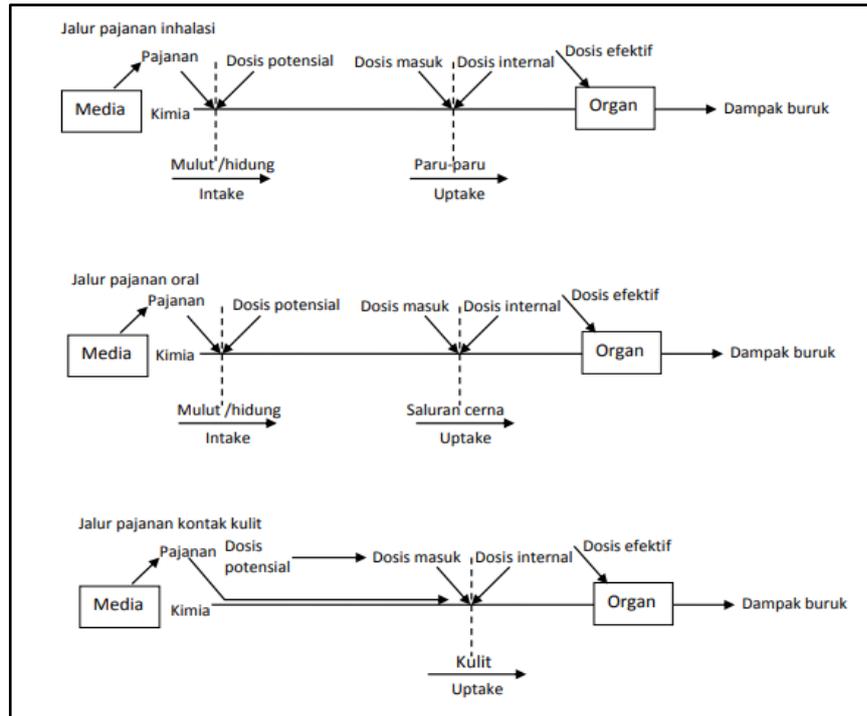


Gambar 2. 5 Bagan Alir Penerapan ARKL

Sumber : Direktorat Jenderal PP dan PL, 2012

Akibat negatif terhadap kesehatan yang muncul akibat faktor risiko terjadi karena paparan yang memadai dalam hal dosis dan durasi. Organisme, sistem, atau sekelompok individu yang terpapar faktor risiko di lingkungan melalui berbagai cara paparan. Skema pajanan dan dosis dapat dilihat pada **Gambar 2.4** (Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012) :





Gambar 2. 6 Skema Pajanan dan Dosis

Sumber : Direktorat Jenderal PP dan PL, 2012

2.8.1 Identifikasi bahaya

Langkah pertama dalam proses analisis risiko kesehatan lingkungan untuk mengenali potensi risiko disebut identifikasi bahaya, juga dikenal sebagai pengenalan risiko. Identifikasi bahaya dapat dilakukan dengan mengamati tanda-tanda penyakit yang terkait dengan agen risiko toksik dalam populasi masyarakat yang telah dikumpulkan dalam penelitian sebelumnya. Tahapan ini menjawab pertanyaan agen risiko apa yang berbahaya, di media lingkungan mana, berapa konsentrasi agen risiko dan apa saja gejala kesehatan yang berpotensi (Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012).

Identifikasi bahaya adalah identifikasi terhadap jenis dan karakteristik serta kemampuan yang bawaan suatu agen risiko yang dapat menyebabkan dampak buruk pada organisme, sistem, atau kelompok. Identifikasi bahaya adalah langkah pertama yang dilakukan dalam suatu analisis risiko. Identifikasi bahaya adalah proses melakukan penilaian toksisitas data untuk menilai dampak suatu zat dan dampaknya terhadap manusia dan lingkungan atau untuk menilai sejauh mana dampak buruk dari suatu keadaan atau kondisi (Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012).

2.8.2 Analisis dosis respon

Setelah mengidentifikasi potensi bahaya (agen risiko, konsentrasi, dan media lingkungan), langkah berikutnya melibatkan analisis tanggapan terhadap dosis, yang mencakup penentuan nilai-nilai RfD, RfC, dan/atau SF dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL. Selain itu, tujuan dari tahap ini adalah memahami dampak-dampak yang mungkin timbul pada tubuh manusia akibat paparan agen risiko tersebut. Walaupun analisis respons terhadap dosis ini tidak mengharuskan dilakukannya penelitian eksperimental mandiri, namun cukup dengan merujuk pada sumber-sumber literatur yang ada (Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012).

Analisis dosis respon merupakan analisis hubungan antara jumlah total suatu agen yang diberikan, diterima, atau diserap oleh suatu organisme, sistem, atau sub/populasi dengan perubahan yang terjadi pada suatu organisme, sistem, atau sub/populasi. Tahapan analisis dosis respon dilakukan untuk mengidentifikasi sejauh mana suatu agen risiko memiliki potensi untuk menyebabkan dampak negatif terhadap kesehatan dalam populasi yang rentan. Prosedur analisis dosis respon ini ditujukan untuk mengevaluasi efek toksisitas dari bahan kimia atau agen risiko tertentu dengan berbagai tingkat dosis atau paparan. Langkah-langkah dalam analisis dosis respon ini dirancang untuk menggambarkan pola hubungan antara besarnya dosis atau tingkat paparan dengan intensitas efek yang terjadi. Proses ini penting dalam menentukan ambang batas di mana agen risiko dapat berpotensi menyebabkan dampak berbahaya pada kesehatan manusia. Langkah analisis dosis respon ini dimaksudkan untuk (Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012) :

1. Mengetahui jalur pajanan agen yang berpotensi masuk ke dalam tubuh manusia.
2. Memahami perubahan gejala atau dampak kesehatan yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi atau dosis agen risiko yang masuk ke dalam tubuh.
3. Mengetahui dosis referensi (RfD) atau konsentrasi referensi (RfC) atau *slope factor* (SF) dari agen risiko tersebut. Laporan kajian ARKL ataupun dokumen yang menggunakan ARKL sebagai cara/ metode kajian, analisis dosis respon perlu dibahas dan dicantumkan.

Analisis dosis – respon diperoleh dari berbagai jurnal toksikologi, jurnal ilmiah, atau artikel terkait lainnya dari studi eksperimental. Penjelasan mengenai dosis referensi (RfD), konsentrasi referensi (RfC), dan *slope factor* (SF) adalah sebagai berikut (Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012) :

- a. Dosis referensi dan konsentrasi yang selanjutnya disebut RfD dan RfC merupakan nilai yang digunakan sebagai nilai aman terhadap 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 dari berbagai sumber, baik yang dilakukan langsung pada objek manusia maupun merupakan ekstrapolasi dari hewan percobaan ke manusia.
- c. Nilai RfC, RfD, dan SF suatu agen risiko dapat dilihat pada situs oehha (2023).
- d. Jika RfD, RfC, dan SF tidak tersedia, maka nilai dapat diperoleh dari dosis uji 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*) dengan catatan dosis eksperimental tersebut mencantumkan faktor antropometri yang jelas (W_b , t_E , f_E , dan D_t).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan tahun 2012, nilai RfC dapat diturunkan menggunakan **Persamaan 2.2**

$$RfC = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

- R = Laju asupan atau konsumsi (m^3/jam)
- C = Konsentrasi *risk agent*
- f_E = frekuensi pajanan (hari/tahun)
- t_E = waktu pajanan (jam/hari)
- $t_{avg} (nk)$ = Periode waktu rata-rata (10.950 hari)
- W_b = Berat badan (kg)
- D_t = durasi pajanan (tahun)

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan tahun 2012, nilai CSF dapat diturunkan menggunakan **Persamaan 2.3:**

$$\boxed{CSF = \frac{IUR \times W_b \times 1.000}{IR}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

IR = Laju inhalasi (m³/hari) W_b = Berat Badan (Kg)

CSF = *Chronic Slope Factor* (mg/kg.hari)⁻¹

IUR = Inhalation Unit Risk (μg/m³)

2.8.3 Analisis Pajanan

Analisis pajanan adalah penilaian pajanan agen dan turunannya terhadap organisme, sistem, atau sub/populasi. Selama penilaian pajanan, diperoleh informasi tentang rute pajanan, jumlah atau konsentrasi suatu zat di lingkungan, durasi pajanan dalam jam, hari, atau tahun, serta identifikasi populasi berisiko. Dampak buruk terhadap kesehatan yang disebabkan oleh agen risiko terjadi melalui pajanan dalam dosis dan waktu yang cukup. Suatu organisme, sistem, sub/populasi terpajan agen risiko di lingkungan melalui beberapa jalur pemajanan. Untuk memperkirakan besarnya pajanan yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat dihitung dengan rumus *intake*. *Intake* menyatakan jumlah pajanan yang diterima oleh individu per kilogram berat badan per hari. Menurut peraturan Menteri kesehatan tahun 2012, besar risiko/*intake* non karsinogenik dan *intake* karsinogenik dapat dihitung dengan **Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.5** (Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012).

$$\boxed{I_{nk} = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\boxed{I_k = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

C = Konsentrasi *risk agent* (mg/m³)

I_k = Asupan (*Intake*) karsinogenik (mg/kg.hari)

I_{nk} = Asupan (*Intake*) non karsinogenik (mg/kg.hari)

R = Laju asupan atau konsumsi, (m³/jam)

f_E = frekuensi pajanan (hari/tahun)

t_E = waktu pajanan (jam/hari)

W_b = Berat badan (kg)

D_t = durasi pajanan (tahun)

t_{avg} (k) = Periode waktu rata-rata

t_{avg} (nk) = Periode waktu rata-rata

2.8.4 Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko adalah upaya yang dilakukan untuk menentukan tingkat risiko atau dengan kata lain menentukan apakah suatu agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis dalam ARKL, kemungkinan besar akan menimbulkan masalah kesehatan pada masyarakat (dengan karakteristik seperti berat badan, laju inhalasi/konsumsi, waktu, frekuensi, durasi pajanan yang tertentu) atau tidak. Karakteristik risiko diperoleh dengan membandingkan/membagi *intake* dengan dosis /konsentrasi agen risiko tersebut. Variabel yang digunakan untuk menghitung tingkat risiko adalah *intake* (yang didapatkan dari analisis pajanan) dan dosis referensi (RfD), konsentrasi referensi (RfC) atau *slope factor* (SF) yang didapat dari literatur (OEHHA (2023) Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, (2012)).

Tingkat risiko terjadinya efek karsinogenik dinyatakan dengan simbol *Excess Cancer Risk* (ECR). Karakterisasi risiko untuk efek karsinogenik dihitung dengan mengalikan *intake* dengan *slope factor* (SF). Tingkat risiko dinyatakan aman jika $ECR \leq 10^{-4}$ dan dinyatakan tidak aman jika $ECR > 10^{-4}$. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan tahun 2012 rumus untuk menentukan ECR adalah dapat dilihat pada

Persamaan 2.6:

$$ECR = I \times SF \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

- I = *Intake*
- ECR = *Excess Cancer Risk*
- SF = *Slope Factor*

2.8.5 Pengelolaan risiko

Setelah melakukan empat langkah ARKL di atas, kita akan diketahui apakah suatu agen risiko aman/dapat diterima. Pengelolaan risiko bukan merupakan bagian dari langkah ARKL melainkan langkah selanjutnya yang harus dilakukan jika hasil karakterisasi risiko menunjukkan tingkat risiko yang berbahaya atau tidak dapat diterima. Pengertian batas aman adalah batas atau nilai terendah yang menjadikan tingkat risiko menjadi tidak aman. Oleh karena itu, nilai aman adalah nilai yang berada dibawah batas aman, nilai yang sama dengan batas aman akan membuat tingkat risiko menjadi tidak aman. Rumus penentuan konsentrasi aman, waktu

pajanan aman, frekuensi pajanan dan durasi pajanan untuk karsinogenik dapat ditentukan dengan menggunakan **Persamaan 2.7** sampai **Persamaan 2.14** sebagai berikut (Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012) :

1. Penentuan Konsentrasi aman

Konsentrasi aman non karsinogenik jalur inhalasi

$$C_{nk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots(2.7)$$

Konsentrasi aman karsinogenik jalur inhalasi

$$C_{k(aman)} = \frac{(0,0001/SF) \times W_b \times 70 \times 365}{R \times t_E \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

- $C_{k(aman)}$ = konsentrasi aman karsinogenik (mg/m^3)
- $C_{nk(aman)}$ = konsentrasi aman non karsinogenik (mg/m^3)
- SF = *Slope Factor*
- f_E = frekuensi pajanan (hari/tahun)
- t_E = waktu pajanan (jam/hari)
- R = Laju asupan atau konsumsi (m^3/jam)
- D_t = durasi pajanan (tahun)
- W_b = Berat badan (kg)

2. Penentuan Waktu Pajanan aman

Waktu pajanan aman non karsinogenik jalur inhalasi

$$t_{E\ nk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots(2.9)$$

Waktu Pajanan aman karsinogenik jalur inhalasi

$$t_{E\ k(aman)} = \frac{(0,0001/SF) \times W_b \times 70 \times 365}{C \times R \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

- C = konsentrasi agen risiko (mg/m^3)
- SF = *Slope Factor*
- f_E = frekuensi pajanan (hari/tahun)
- R = Laju asupan atau konsumsi, (m^3/jam)
- W_b = Berat badan (kg)
- D_t = durasi pajanan (tahun)

3. Penentuan Frekuensi Pajanan aman

Frekuensi pajanan aman non karsinogenik jalur inhalasi

$$f_{E\ nk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times D_t} \dots\dots\dots(2.11)$$

Frekuensi pajanan aman karsinogenik jalur inhalasi

$$f_{E_{k(aman)}} = \frac{(0,0001/SF) \times W_b \times 70 \times 365}{C \times R \times t_E \times D_t} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

- R = Laju asupan atau konsumsi, (m³/jam)
- C = konsentrasi agen risiko (mg/ m³)
- t_E = waktu pajanan (jam/hari)
- W_b = Berat badan (kg)
- D_t = durasi pajanan (tahun)
- SF = *Slope Factor*

4. Penentuan Durasi Pajanan aman

Durasi pajanan aman non karsinogenik jalur inhalasi

$$D_{t_{nk(aman)}} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times f_E} \dots\dots\dots (2.13)$$

Durasi pajanan aman karsinogenik jalur inhalasi

$$D_{t_{k(aman)}} = \frac{(0,0001/SF) \times W_b \times 70 \times 365}{C \times R \times t_E \times f_E} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

- C = konsentrasi agen risiko (mg/ m³)
- R = Laju asupan atau konsumsi, (m³/jam)
- f_E = frekuensi pajanan (hari/tahun)
- t_E = waktu pajanan (jam/hari)
- W_b = Berat badan (kg)
- SF = *Slope Factor*

2.8.6 Komunikasi risiko

Komunikasi risiko dilakukan untuk menyampaikan informasi risiko kepada masyarakat (populasi berisiko), pemerintah dan pihak yang berkepentingan lainnya. Komunikasi risiko merupakan tindak lanjut dari pelaksanaan ARKL dan menjadi tanggung jawab dari pemrakarsa atau pihak yang menyebabkan terjadinya risiko. Bahasa yang digunakan harus umum dan mudah dimengerti, serta memuat semua informasi yang diperlukan dan tidak menyembunyikan apapun. Komunikasi risiko dapat dilakukan dengan teknik atau metode pengajaran ataupun diskusi interaktif, dengan menggunakan media komunikasi yang sudah ada seperti media massa, televisi, radio, ataupun disajikan dalam bentuk peta menggunakan *Geographical Information System (GIS)* (Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012).

2.9 Penelitian Terkait

Penelitian terkait sebagai berikut :

1. Silvia, dkk (2020), telah melakukan penelitian tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Logam dalam $PM_{2,5}$ pada Masyarakat di Perumahan Blok D Ulu Gadut Kota Padang. Penelitian ini menggunakan alat *Low Volume Air Sampler (LVAS)* dengan laju aliran 3,5 l/menit. Logam yang ditemukan pada $PM_{2,5}$ di Perumahan Blok D Ulu Gadut Kota Padang adalah kromium (Cr), mangan (Mn) dan nikel (Ni). Karakteristik risiko diterapkan untuk mengetahui tingkat risiko yang dialami seseorang berdasarkan *intake* yang diterima. Nilai *ECR lifetime* rata-rata logam $Cr_{\text{karsinogenik}}$ dan logam Ni yaitu $ECR > 10^{-4}$ artinya konsentrasi logam $Cr_{\text{karsinogenik}}$ dan logam Ni di dalam rumah secara inhalasi tidak aman bagi penghuni rumah dewasa dan anak-anak. Nilai *RQ lifetime* rata-rata logam $Cr_{\text{non-karsinogenik}}$ dan logam Mn menunjukkan nilai $RQ > 1$ artinya konsentrasi logam $Cr_{\text{non-karsinogenik}}$ dan logam Mn di dalam rumah secara inhalasi tidak aman bagi responden dewasa dan anak-anak.
2. Suhariyono dan Menry (2003), telah melakukan penelitian tentang Analisis Logam Berat dalam Debu Udara Daerah Pemukiman Penduduk Di Sekitar Pabrik Semen Citeureup Bogor. Penelitian ini dilakukan dengan mengukur contoh pada filter *whatman* dan filter *mylar* yang ada di *cascade impactor* dengan menggunakan alat Spektrometer Pendar Sinar-X. Logam yang terdapat pada partikulat adalah Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Hg, dan Pb dengan konsentrasi tertinggi terletak pada jarak 3000 m di dalam rumah sebelah selatan pabrik semen dengan pengukuran partikel debu $PM_{2,5}$. Logam ini berasal dari debu bahan baku semen.
3. Dharossa (2020), telah melakukan penelitian mengenai Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Logam dalam $PM_{2,5}$ terhadap Siswa dan Guru di Sekolah pada Perumahan Unand Blok D Ulu Gadut Kota Padang. Tujuan penelitian adalah menganalisis konsentrasi pencemar $PM_{2,5}$ dan mengidentifikasi kandungan logam dalam $PM_{2,5}$. Logam yang berasal dari bahan baku semen yaitu logam Ca, Cu, Fe, K, In, Cr, Mn, Ni, Ti dan Zn. Pada penelitian ini, kandungan logam dalam $PM_{2,5}$ yang dilakukan analisis risiko kesehatan lingkungan adalah 3 logam dengan konsentrasi tertinggi yang

terdapat dalam bahan baku semen, memiliki nilai *Reference Concentration* (RfC)/ *Slope Factor* (SF). Logam-logam yang sesuai dengan kriteria diatas adalah logam Cr, Mn dan Ni. Dimana konsentrasi rata-rata untuk masing-masing logam secara berurutan adalah 1,4702; 1,3464 dan 1,0754 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tingkat pajanan logam Cr karsinogenik dalam ruangan dengan pengukuran *realtime* secara inhalasi dengan konsentrasi rata-rata 1,4702 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aman terhadap guru dan siswa di SDN 09 Bandar Buat dengan berat badan rata-rata 58 kg dan 29 kg. Sedangkan untuk pengukuran secara *lifetime* pajanan logam Cr dalam ruangan tidak aman terhadap guru di SDN 09 Bandar Buat. Nilai ECR untuk guru yang berada di luar ruangan dengan pengukuran secara *realtime* maupun *lifetime* menunjukkan $\text{ECR} > 10^{-4}$. Hal ini berarti tingkat pajanan logam Cr_{karsinogenik} tidak aman terhadap guru di SDN 09 Bandar Buat dengan lama pajanan di luar ruangan rata-rata 2 jam/hari.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

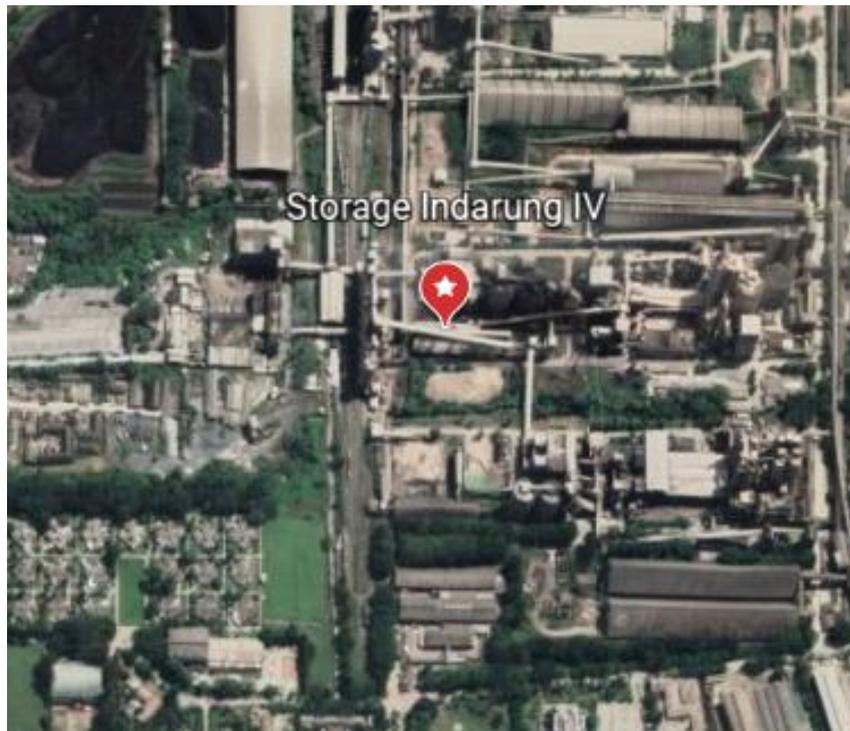
3.1 Umum

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi logam karsinogenik pada debu *respirable* dan $PM_{2.5}$ serta Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) bagi para pekerja di *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang. Hal yang pertama dilakukan adalah melakukan pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS) dan *Personal Dust Sampler* (PDS). Analisis kuantitatif dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri dengan menimbang berat filter sebelum dan sesudah sampling. Filter tersebut kemudian didestruksi dengan asam nitrat (HNO_3) dan dilakukannya pengukuran logam menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Hasil pengukuran konsentrasi logam kemudian digunakan untuk memprediksi dampak yang akan diterima oleh pekerja di *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang.

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi sampling dipilih di *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang merupakan area tertutup (*indoor*) memiliki luas 73×52 meter. *Storage* ini terdapat pencemaran udara seperti debu yang berasal dari limbah perusahaan, aktivitas pekerja seperti pengepakan serta keluar masuknya kendaraan dan alat berat. Pencemaran udara ini akan berdampak kepada kesehatan pekerja, maka dari itu titik ini sudah termasuk pada kawasan dengan konsentrasi udara tercemar sehingga diperlukannya pengambilan sampling di lokasi tersebut. Titik sampling debu *respirable* mengikuti arah pekerja karena alat dipasang di tubuh pekerja, pengambilan sampling debu *respirable* dilakukan selama 8 jam dimulai dari jam 08.30 – 16.30 WIB. Pengambilan sampling $PM_{2.5}$ dilakukan dari jam 08.30 – 16.30 WIB dikarenakan ada keterbatasan alat maka alat harus dimatikan beberapa jam sehingga waktu sampling yang didapatkan selama 6 jam sesuai dengan SNI 16-7058-2004 tentang Pengukuran Kadar Debu Total di Udara Tempat Kerja. Sampling dilakukan 7 hari pada tanggal 5 – 11 April 2023. Konsentrasi logam yang terdapat dalam debu *respirable* dan $PM_{2.5}$ kemudian diteliti di Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi

Wilayah, Padang. Titik penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1.** dan lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.2.**



Gambar 3. 1 Titik Penelitian
(Sumber: Google Earth, 2022)

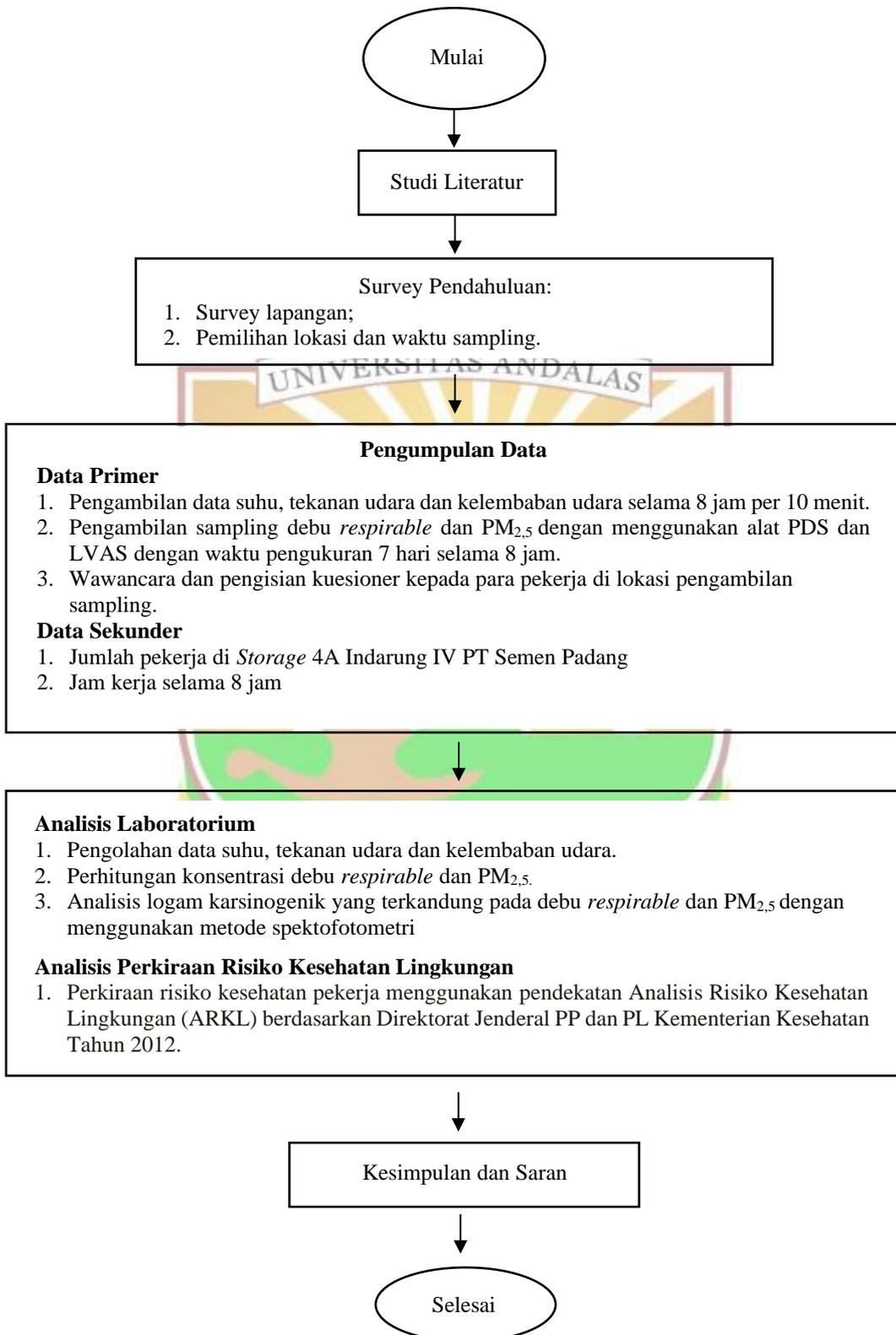


Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi studi pendahuluan, pengambilan data, analisis data, pembahasan dan penyusunan laporan. Pembuatan diagram

diperuntukkan agar penelitian berjalan dengan sistematis. Diagram alir tahapan penelitian ini bisa dilihat pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur berfungsi untuk memberikan informasi dan teori yang berkaitan dengan penelitian. Studi literatur penelitian ini mengkaji metode sampling debu *respirable* dan $PM_{2.5}$, metode pengukuran logam yang terkandung pada debu *respirable* dan $PM_{2.5}$, industri Semen Padang, logam karsinogenik yang mencakup definisi, karakteristik, sumber dan dampak, faktor meteorologi (suhu dan tekanan udara), alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS), alat *Personal Dust Sampler* (PDS), alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).

3.3.2 Pengambilan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari sumber lain. Data sekunder yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah jumlah pekerja di *storage* yang terdiri dari 36 orang pekerja dengan identitas, referensi teori yang berasal dari jurnal, penelitian terdahulu, buku, artikel, peraturan dan lain-lain.

3.3.3 Pengambilan Data Primer

3.3.3.1 Pengambilan Data Kuesioner

Jumlah tenaga kerja yang ada di *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang ini berjumlah 36 orang yang mana terdiri dari mandor, pekerja dan operator *excavator*. Data kuesioner dikumpulkan dengan mengisi kuesioner terhadap 36 orang responden. Data kuesioner terdiri dari pertanyaan - pertanyaan yang mencakup data umum, pola aktivitas yang dilakukan responden, riwayat kesehatan, jenis kelamin, berat badan, aktivitas sehari-hari, gejala penyakit yang dirasakan, penyakit bawaan dan lain-lain yang tertera pada **Lampiran A**. Lembar kuesioner diisi oleh peneliti saat kegiatan wawancara secara langsung dengan responden yang bekerja di *storage* tersebut.

3.3.3.2 Analisis Logam yang Terkandung dalam Debu *Respirable* dan $PM_{2.5}$

Logam yang dianalisis merupakan logam yang terkandung dalam debu *respirable* dan $PM_{2.5}$. Konsentrasi debu *respirable* diambil dengan menggunakan alat *Personal Dust Sampler* (PDS) yang dapat dilihat pada **Gambar 3.4**. Metode yang

digunakan adalah metode gravimetri. Prinsip pengukurannya adalah alat dipasang pada tubuh pekerja dengan pompa penghisap dipasangkan di pinggang pekerja yang dapat dilihat pada **Gambar 3.5**. Pengukuran konsentrasi $PM_{2,5}$ dilakukan menggunakan alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS) yang dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.4 Alat *Personal Dust Sampler* (PDS)



Gambar 3.5 Alat PDS yang dipasangkan di Tubuh Pekerja



Gambar 3.6 Alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS)

Alat yang digunakan dalam pengukuran konsentrasi logam ini adalah *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Alat AAS dapat dilihat pada **Gambar 3.7**. Destruksi terhadap sampel partikulat dilakukan di laboratorium. Hasil konsentrasi logam diperoleh dari alat AAS dimasukkan dalam **Persamaan 2.1** untuk mendapatkan konsentrasi logam di udara. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut (Greenberg dkk, 1992) :

1. Filter dipotong-potong sehingga menjadi beberapa bagian yang halus. Filter untuk $PM_{2.5}$ dibagi dua setelah itu dipotong kecil-kecil, sedangkan filter PDS langsung dipotong kecil-kecil. Hal ini dikarenakan perbedaan ukuran filter.
2. Setiap strip sampel dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 ml, kemudian HNO_3 pekat sebanyak 10 ml ditambahkan, asam nitrat ini dapat melarutkan logam yang ada dalam sampel dan menghilangkan bahan organik. Strip sampel harus dipotong kecil – kecil untuk mempermudah proses destruksi;
3. Sampel dipanaskan di atas *hot plate* selama 6 jam sampai semua logam yang ada di dalam partikulat terlarut seluruhnya ke dalam larutan asam. Selama pemanasan tambahkan HNO_3 5ml secara bertahap;
4. Kemudian dinginkan larutan sebelum disaring dengan menggunakan kertas saring ke dalam labu ukur 50 ml dan diencerkan sampai batasnya dengan menggunakan *aquades*;
5. Tuangkan larutan tersebut ke dalam botol *polyethylene* yang bersih.



Gambar 3. 7 Alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS)

3.4 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Setelah dianalisis menggunakan AAS maka didapatkan konsentrasi logam karsinogenik yang ada pada debu *respirable* dan PM_{2,5} di *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang. Analisis risiko pajanan logam dalam debu *respirable* dan PM_{2,5} menggunakan metode studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) yang bertujuan memperkirakan dan memperhitungkan karakteristik risiko yang diterima pekerja akibat pajanan logam karsinogenik yang terkandung dalam PM_{2,5} di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang.

3.4.1 Risk Assessment

1. Identifikasi bahaya

Identifikasi bahaya adalah identifikasi terhadap jenis dan karakteristik serta kemampuan bawaan suatu agen risiko yang dapat menimbulkan dampak buruk organisme, sistem, atau sub kelompok/populasi. Identifikasi bahaya adalah langkah pertama yang dilakukan dalam suatu analisis risiko. Identifikasi bahaya adalah proses melakukan penilaian toksisitas data untuk menilai dampak dari suatu bahan dan dampaknya terhadap manusia dan lingkungan atau untuk menilai sejauh mana dampak negatif dari suatu zat.

2. Analisis dosis respon

Setelah melakukan identifikasi bahaya (agen risiko, konsentrasi dan lingkungan), maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dosis respon yaitu mencari nilai RfD, dan/atau RfC, dan/atau SF dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL, serta memahami efek apa saja yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko tersebut pada tubuh manusia.

3. Analisis Pajanan

Analisis pajanan adalah penilaian pajanan suatu agen dan turunannya terhadap suatu organisme, sistem, atau sub kelompok/populasi. Selama penilaian pajanan, diperoleh informasi mengenai rute pajanan, jumlah atau konsentrasi suatu zat di media lingkungan, durasi pajanan dalam jam, hari, atau tahun, serta identifikasi populasi berisiko. *Intake* mewakili jumlah pajanan yang diterima oleh seseorang per kilogram berat badan per hari. Besar risiko/*intake* non karsinogenik dan *intake* karsinogenik dapat dihitung dengan **Persamaan 2.3**

dan **Persamaan 2.4**.

4. Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko adalah suatu upaya untuk menentukan tingkat risiko atau dengan kata lain menentukan apakah suatu agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis dalam ARKL, kemungkinan besar akan menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat (dengan karakteristik seperti berat badan laju inhalasi/konsumsi, waktu, frekuensi, durasi pajanan yang tertentu) atau tidak. Tingkat risiko untuk efek karsinogenik dinyatakan dalam *Excess Cancer Risk* (ECR), rumus untuk menentukan ECR dapat dilihat pada **Persamaan 2.5**.

3.4.2 Pengelolaan Risiko

Setelah melakukan empat langkah ARKL di atas, kita telah mengetahui apakah suatu agen risiko aman atau dapat diterima. Pengelolaan risiko bukan merupakan bagian dari ARKL melainkan langkah selanjutnya yang harus dilakukan jika hasil karakterisasi risiko menunjukkan tingkat risiko yang tidak aman. Strategi pengelolaan risiko dapat dilakukan dengan cara menentukan konsentrasi aman, waktu pajanan aman, frekuensi pajanan dan durasi pajanan yang dapat ditentukan dengan menggunakan **Persamaan 2.6**, **Persamaan 2.7**, **Persamaan 2.8** dan **Persamaan 2.9**.

3.4.3 Komunikasi Risiko

Komunikasi risiko dilakukan untuk menyampaikan informasi risiko kepada masyarakat (populasi yang berisiko), pemerintah dan pihak berkepentingan lainnya. Komunikasi risiko merupakan tindak lanjut dari pelaksanaan ARKL dan merupakan tanggung jawab dari pencetus atau pihak yang menyebabkan terjadinya risiko. Bahasa yang digunakan harus sederhana, mudah dipahami dan mencakup informasi yang jelas tanpa ada yang ditutup-tutupi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Penelitian ini memaparkan hasil analisis konsentrasi logam yang terdapat pada debu *respirable* dan *Particulate Matter 2,5* (PM_{2,5}) serta Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan di *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang*. Pengambilan sampling dilakukan pada tanggal 5 April 2023 – 11 April 2023 pukul 08.30 -17.00 WIB. Pengukuran kadar logam pada debu dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Bab ini menjelaskan perkiraan risiko dari tiga logam yang teridentifikasi memiliki nilai SF yang terkandung pada PM_{2,5} dan debu *respirable* dengan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.

4.2 Kondisi Eksisting

Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang merupakan salah satu *storage* yg dimiliki oleh unit *Alternative Fuel* dan *Raw Material* (AFR) PT Semen Padang yang berukuran 73 × 52 meter yang merupakan lokasi *indoor* (tertutup) yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1**. *Storage* ini berlokasi pada koordinat 00°56'57.2" lintang selatan dan 100°28'06.2" bujur timur. Aktivitas pekerja yang terdapat di lokasi ini terdiri dari pengadukan limbah, pengepakan limbah, pengangkutan limbah dan aktivitas alat berat yang beroperasi pada pukul 08.30 -17.00 WIB yang dapat dilihat pada **Gambar 4.2**. Pekerja yang ada di lokasi tersebut berpotensi terpapar logam yang terkandung pada partikulat.



Gambar 4.1 Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

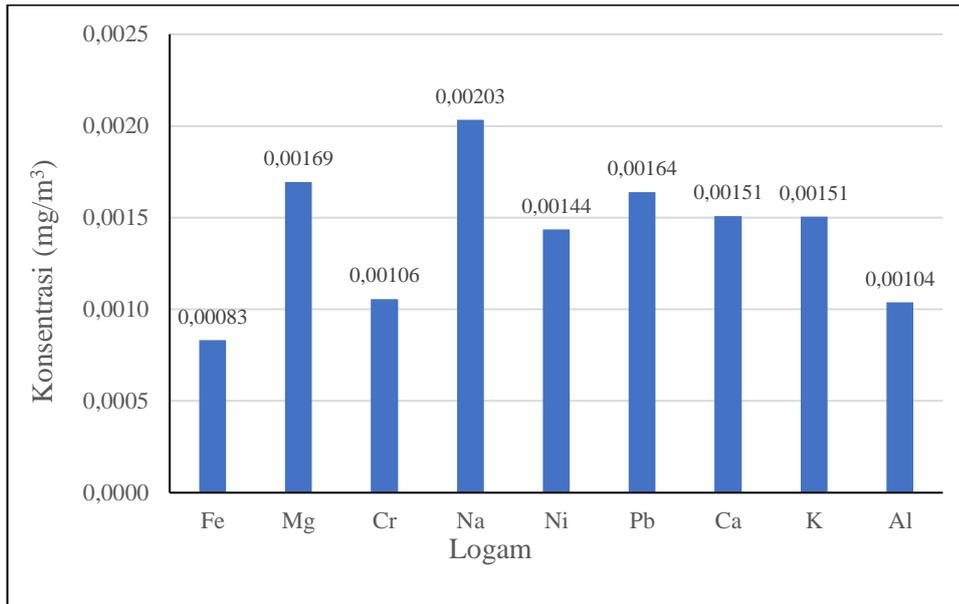


Gambar 4.2 Aktivitas Pekerjaan di Lokasi Penelitian

4.3 Identifikasi Logam

4.3.1 Logam dalam PM_{2,5}

Pada penelitian ini menganalisis konsentrasi logam yang terkandung pada PM_{2,5} di *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang*. Kandungan logam dapat dilihat pada dan **Gambar 4.3**.

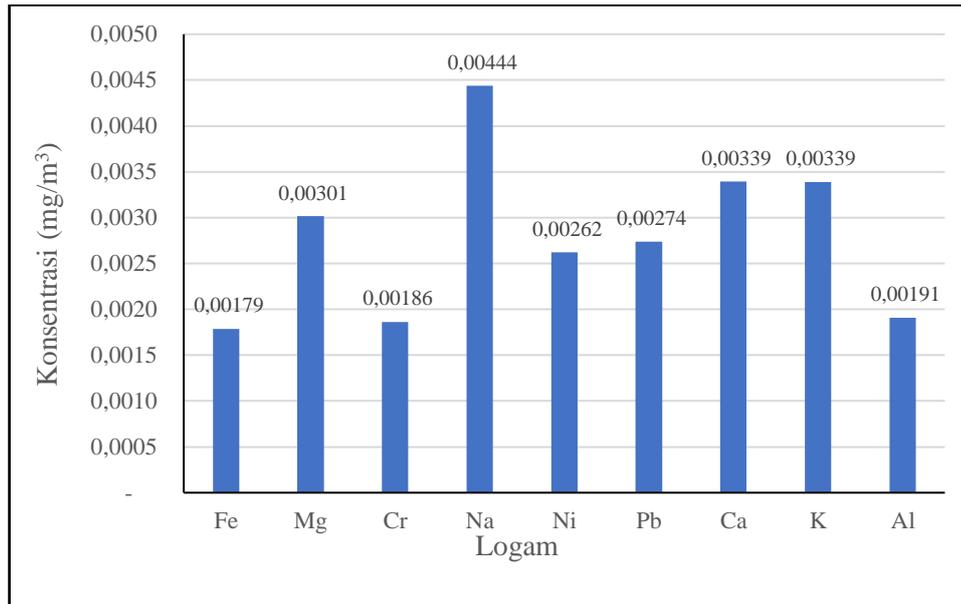


Gambar 4. 3 Konsentrasi Logam yang Terkandung dalam PM_{2.5}

Berdasarkan hasil pengukuran kandungan logam dengan konsentrasi tertinggi adalah logam Na (natrium) sebesar 0,00203 mg/m³ dan logam dengan konsentrasi terendah adalah Fe (besi) sebesar 0,00083 mg/m³. Hal ini dikarenakan logam Na yang terkandung pada limbah yang ada di *storage* cukup tinggi. Kandungan logam Na pada limbah lumpur berminyak (COCS) sebesar 0,27 % dan *Fly Ash Bottom Ash* (FABA) sebesar 0,22 %. Sedangkan logam Fe yang terkandung pada limbah lumpur berminyak (COCS) hanya sebesar 0,02 %.

4.3.2 Logam dalam Debu *Respirable*

Penelitian ini juga melakukan analisis logam yang terkandung dalam debu *respirable*. Berdasarkan hasil pengukuran kandungan logam dengan konsentrasi tertinggi adalah logam Na (natrium) sebesar 0,00444 mg/m³ dan logam dengan konsentrasi terendah adalah Fe (besi) sebesar 0,00179 mg/m³. Hal ini dikarenakan perbedaan persentasi kandungan logam dalam limbah yang ada di *storage*. Kandungan logam dapat dilihat **Gambar 4.4**.



Gambar 4. 4 Konsentrasi Logam yang Terkandung dalam Debu *Respirable*

Berdasarkan hasil penelitian logam yang terkandung pada partikulat yang ada di Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang adalah Fe, Mg, Cr, Na, Ni, Pb, Ca, K dan Al. Logam yang berasal dari limbah yang terdapat lokasi ini adalah Fe, Mg, Cr, Na, Ca, K dan Al. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Yudi dkk, (2020) dimana pada penelitian ini menyatakan bahwa logam yang terkandung pada limbah *Spent Bleaching Earth* (SBE) adalah Fe, Mg, Cr, Ca, K dan Al. Logam yang terkandung pada *Crude Oil Contaminated Soil* (COCS), *Drilling Cutting Cement* (DCC), *Fly Ash Bottom Ash* (FABA) adalah Fe, Mg, Cr, Na, Ca, K dan Al, kandungan logam ini sesuai dengan hasil uji kandungan limbah yang dilakukan pihak Semen Padang pada tahun 2023. Logam yang tidak terdapat dalam kandungan limbah dapat berasal dari emisi alat *excavator* dan truk yang ada di dalam *storage* (Ni dan Pb) hal ini sesuai dengan penelitian Mukhtar (2013) yang menyatakan logam Ni dapat berasal dari minyak dan logam Pb berasal dari emisi kendaraan.

Kandungan logam dalam partikulat yang dilakukan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan adalah tiga logam yang memiliki nilai *Slope Factor* (SF) yang dapat dilihat pada *Integrated Risk System* (IRIS) melalui situs oehha (2023). Logam-logam yang memiliki nilai SF adalah Cr (*chromium*), Ni (nikel) dan Pb (timbal). Sedangkan untuk logam lain yang didapatkan pada penelitian ini seperti Na, Mg, Ca, K, Al dan Fe tidak dilakukan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan karena

tidak memiliki nilai SF. Konsentrasi untuk masing-masing logam Cr, Ni dan Pb pada PM_{2,5} secara berurutan adalah 0,00106; 0,00143 dan 0,00163 mg/m³. Konsentrasi logam Cr, Ni dan Pb pada debu *respirable* secara berurutan adalah 0,00186; 0,00262 dan 0,00273 mg/m³. Konsentrasi untuk masing-masing logam di udara dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Silvia, dkk (2020) melakukan penelitian risiko pajanan logam dalam PM_{2,5} pada masyarakat di perumahan blok D Ulu Gadut Kota Padang. Penelitian ini didapatkan konsentrasi Cr sebesar 0,00024 mg/m³ dan konsentrasi Ni sebesar 0,00035 mg/m³. Konsentrasi pada penelitian tersebut lebih kecil dibandingkan dengan penelitian ini, hal ini dikarenakan pada penelitian Silvia, dkk (2020) dilakukan di udara ambien dan terletak di sekitar pabrik semen. Sedangkan pada penelitian ini dilakukan pada sumber pencemar dan berada di *indoor* sehingga logam yang ada pada partikulat tidak mudah bertransportasi.

Tabel 4.1 Konsentrasi Logam Cr, Ni dan Pb di Udara

PM _{2,5}			Debu <i>Respirable</i>		
Cr (mg/m ³)	Ni (mg/m ³)	Pb (mg/m ³)	Cr (mg/m ³)	Ni (mg/m ³)	Pb (mg/m ³)
0,00106	0,00143	0,00163	0,00186	0,00262	0,00273

4.4 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis risiko logam yang terkandung dalam PM_{2,5} dan debu *respirable* menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) kajian lapangan (*field study*). Metode ini digunakan untuk mengkaji risiko kesehatan pekerja akibat paparan logam yang terkandung dalam partikulat dengan menggunakan pengukuran langsung di lapangan seperti konsentrasi logam di udara (C), berat badan (Wb), dan lamanya terjadi pajanan (Dt). Pada penelitian ini memerlukan responden yaitu para pekerja yang ada di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang sebanyak 36 orang. Analisis ini diperlukan agar dapat memprediksi risiko kesehatan pekerja dalam 30 tahun kedepan.

4.4.1 Risk Assessment

4.4.1.1 Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya merupakan tahapan pertama dalam ARKL yang bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya apa saja yang dirasakan oleh pekerja bila terpapar agen

risiko. Agen risiko pada penelitian ini adalah logam Cr, Ni dan Pb yang terkandung di dalam partikulat. Media lingkungan yang terkontaminasi adalah udara yang ada di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang akibat dari aktivitas pekerja dan kandungan logam yang terdapat pada limbah serta asap kendaraan.

Logam berat yang terkandung dalam partikulat dan masuk ke tubuh manusia akan berbahaya bagi kesehatan. Logam berat juga dikenal sebagai logam esensial dimana dapat bersifat racun pada tubuh manusia pada konsentrasi tertentu. Hal ini dikarenakan logam dapat menghambat kerja enzim sehingga dapat menyebabkan kanker. Logam yang dapat di udara dapat berpindah karena logam terkandung pada partikulat yang dapat melayang di udara (Adhani, 2017). Formulir identifikasi bahaya dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Formulir Identifikasi Bahaya

No	Sumber	Media Lingkungan Potensial	Agen Risiko	Konsentrasi (mg/m ³)
1	Kegiatan industri berupa mengepakan limbah dan pengangkutan limbah menggunakan alat berat	PM _{2,5} di udara	Logam Cr	0,00106
2		PM _{2,5} di udara	Logam Ni	0,00144
3		PM _{2,5} di udara	Logam Pb	0,00164
4		Debu <i>Respirable</i> di udara	Logam Cr	0,00186
5		Debu <i>Respirable</i> di udara	Logam Ni	0,00262
6		Debu <i>Respirable</i> di udara	Logam Pb	0,00273

4.4.1.1.1 Sumber Pencemar

Sumber pencemar pada penelitian ini adalah logam yang terkandung pada partikulat yang berasal dari kegiatan di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang. Logam Cr, Ni dan Pb merupakan logam yang terkandung pada PM_{2,5} dan debu *respirable*. Kromium (Cr) dapat hadir di batuan, tanah dan tumbuhan. Logam Cr di lokasi ini berasal dari limbah – limbah yang terdapat di *storage* ini. Kandungan logam Cr yang paling besar pada limbah *Drilling Cutting Cement* (DCC) yaitu sebesar 0,62 %. Limbah *Fly Ash Bottom Ash* (FABA) dan *Spent Bleaching Earth* (SBE) merupakan limbah dengan kandungan Cr paling kecil yaitu sebesar 0,02%. Sedangkan untuk kandungan Cr pada limbah COCS adalah 0,38 %.

Nikel merupakan logam berwarna putih dengan nomor atom 28. Logam nikel di udara biasanya berasal dari aktivitas penambangan dan peleburan. Logam nikel di *storage* berasal dari asap kendaraan yang keluar masuk lokasi ini. Kendaraan yang ada di lokasi ini berupa truk, mobil, motor hingga *excavator*. Jumlah kendaraan ini

berbeda setiap harinya tergantung aktivitas pekerja dan volume bahan baku.

Penyebaran logam timbal (Pb) pada lapisan bumi hanya sekitar 0,0002% dari kerak bumi. Timbal merupakan logam yang memiliki titik lebur rendah dan berwarna kecoklatan. Logam ini mudah ditemukan di lokasi pertambangan dan pembakaran bahan bakar fosil yang menyebabkan akumulasi timbal dan senyawanya di lingkungan (Adhani, 2017). Logam Pb di *Storage* bersumber dari asap kendaraan yang keluar masuk dan beroperasi di lokasi ini.

4.4.1.1.2 Media Pencemar

Media pencemar pada penelitian ini adalah udara ambien yang berada di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang. Penyebab agen risiko ke penerima dapat dipengaruhi oleh banyak faktor. Suhu, tekanan, kelembaban udara dan aktivitas pekerja dapat mempengaruhi penyebaran agen risiko.

4.4.1.1.3 Dampak Terhadap Kesehatan

Logam berat dapat bersifat karsinogen yang dapat menyebabkan kanker terhadap manusia. Kanker dapat disebabkan oleh kerusakan gen dan DNA sel. Logam akan menumpuk di tubuh manusia dan dapat menyebabkan dampak yang serius. Ketika logam masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur pernapasan maka akan menyebabkan beberapa gangguan kesehatan seperti sesak napas, batuk hingga kanker paru. Logam yang bersifat karsinogenik seperti arsenik, merkuri, kromium, besi, timbal, nikel dan cadmium.

Senyawa kromium (Cr) dalam jumlah paparan yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kapasitas methemoglobin dengan hemoglobin. Logam ini dapat mengganggu kesehatan manusia, karena akan berdampak negatif terhadap organ hati, ginjal dan akan berdampak karsinogen (penyebab kanker) dan teratogen (menghambat pertumbuhan janin dan mutagen) (Handayani & Dewi, 2015). Beberapa dampak yang disebabkan oleh Cr yang masuk melalui jalur pernapasan adalah sesak napas, batuk, *brochitis* dan kanker paru.

Nikel (Ni) merupakan logam yang dibutuhkan tubuh dalam jumlah tertentu. Namun, jika masuk ke dalam tubuh dalam konsentrasi besar maka akan menyebabkan gangguan reproduksi, efek karsinogen bahkan kematian (Aris, 2021).

Logam ini dapat masuk ke dalam tubuh manusia dari berbagai cara seperti makanan, pernapasan dan kulit. Ni yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernapasan dapat meningkatkan risiko kanker dan menyebabkan kanker paru.

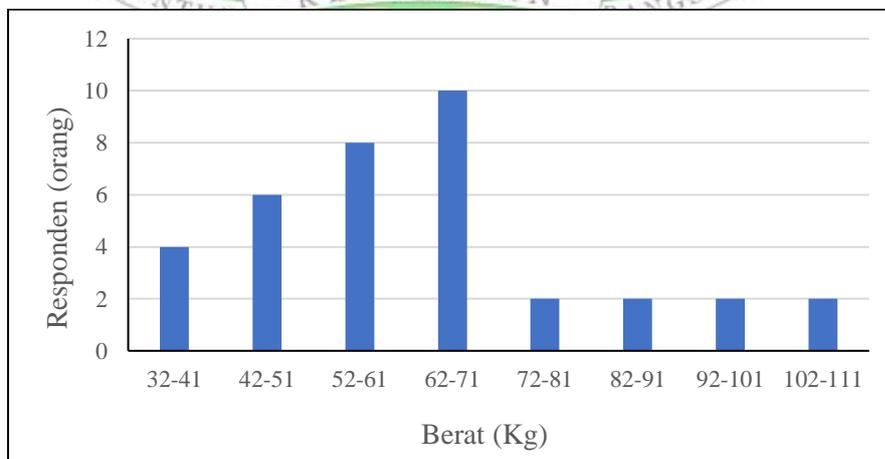
4.4.1.1.4 Reseptor

Reseptor pada penelitian ini adalah para pekerja yang ada di *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang*. Risiko yang diterima responden akan berbeda sesuai dengan karakteristik responden. Kuesioner sebarkan kepada pekerja *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang* untuk mendapatkan data karakteristik responden. Lama pajanan yang dirasakan pekerja sama dengan lama bekerja per hari yaitu 8 jam/hari. Berdasarkan hasil kuesioner terdapat 6 orang yang memiliki riwayat penyakit seperti paru-paru basah, asam lambung dan asam urat dan 30 orang lainnya tidak memiliki riwayat penyakit. Para pekerja juga mengalami keluhan kesehatan seperti batuk, flu, asma, mual, muntah dan sakit kepala.

Data karakteristik responden adalah berat badan, lama pajanan per hari dan durasi pajanan.

a. Berat badan

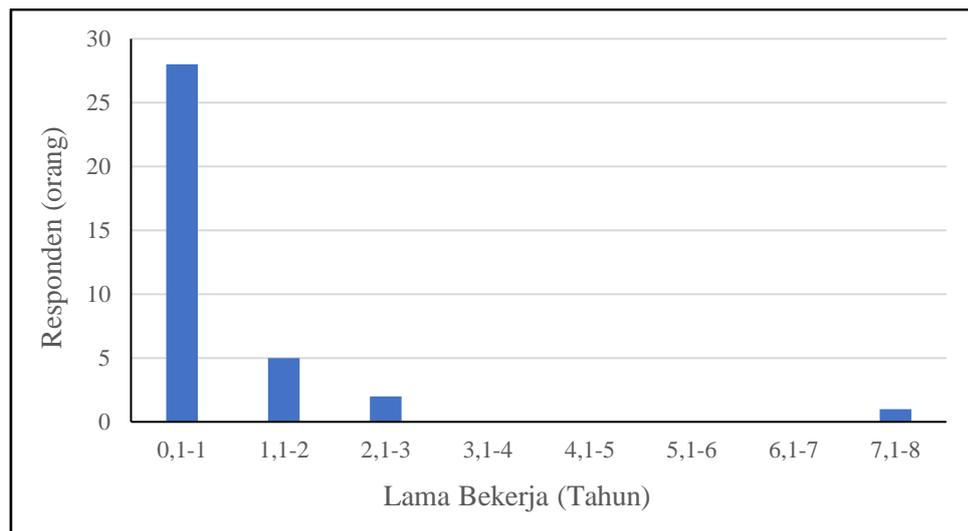
Berat badan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi *intake* atau jumlah agen risiko yang masuk ke dalam tubuh manusia. Berat badan memiliki hubungan berbanding terbalik dengan *intake*. Semakin besar berat badan maka semakin kecil jumlah agen risiko yang masuk ke dalam tubuh manusia dan begitu pula sebaliknya. Berat badan responden dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Berat Badan Responden

b. Durasi Pajanan

Durasi pajanan merupakan faktor yang mempengaruhi jumlah agen risiko yang masuk ke dalam tubuh. Berdasarkan hasil kuesioner yang didapatkan durasi pajanan paling banyak berkisar antara 0,1-1 tahun atau sama dengan 1,2 – 12 bulan. Durasi pajanan responden terbesar adalah selama 8 tahun. Durasi pajanan sebanding dengan besarnya *intake*, semakin lama durasi pajanan maka *intake* juga semakin besar begitu pula sebaliknya. Durasi pajanan responden dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Durasi Pajanan Responden

c. Frekuensi Pajanan

Frekuensi pajanan adalah lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya. Jumlah hari ke kerja di *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang* adalah 5 hari dalam 1 minggu dan 1 tahun terdiri dari 52 minggu. Frekuensi pajanan dapat dicari dengan mengalikan jumlah hari kerja dengan jumlah minggu dalam 1 tahun. Maka nilai frekuensi pajanan pada penelitian ini adalah 260 hari/ tahun.

d. Waktu Pajanan

Waktu pajanan adalah lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap harinya. Waktu pajanan pada setiap lokasi berbeda beda. Pemukiman memiliki waktu pajanan 24 jam/hari sedangkan pada lingkungan kerja memiliki 8 jam/hari. *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang* termasuk ke dalam lingkungan kerja sehingga memiliki waktu pajanan 8 jam/ hari.

4.4.1.2 Analisis Dosis Respon

Analisis dosis respon dilakukan untuk mencari nilai konsentrasi referensi (RfC) dan/atau *Slope Factor* (SF) dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL. Nilai RfC dijadikan referensi untuk aman non karsinogenik, sedangkan nilai SF dijadikan referensi untuk aman karsinogenik. Penelitian ini fokus kepada efek karsinogenik maka memakai nilai SF. Nilai SF masing logam dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Nilai SF Agen Risiko

No	Agen Risiko	<i>Slope Factor</i> (SF)
1	Logam Cr	$5,1 \times 10^2 \text{ (mg/kg day)}^{-1}$
2	Logam Ni	$9,1 \times 10^{-1} \text{ (mg/kg day)}^{-1}$
3	Logam Pb	$4,2 \times 10^{-2} \text{ (mg/kg day)}^{-1}$

Sumber: <https://oehha.ca.gov/chemicals>

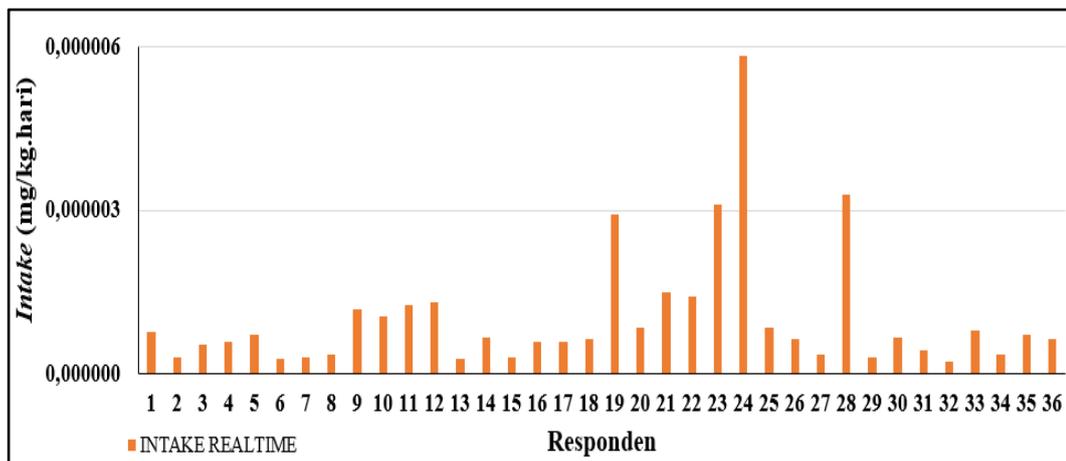
4.4.1.3 Analisis Paparan

Analisis paparan dilakukan dengan mengukur nilai intake atau asupan dari agen risiko. Data yang dapat digunakan ada dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data pengukuran konsentrasi agen yang didapatkan dari pengukuran sendiri, sedangkan data sekunder adalah data yang didapatkan dari pihak terpercaya seperti DLH dan dinas kesehatan. Selain data primer dan sekunder juga digunakan asumsi nilai default yang tersedia (Kemenkes, 2012). Rumus yang digunakan untuk perhitungan intake karsinogenik dapat dilihat di **Persamaan 2.7**.

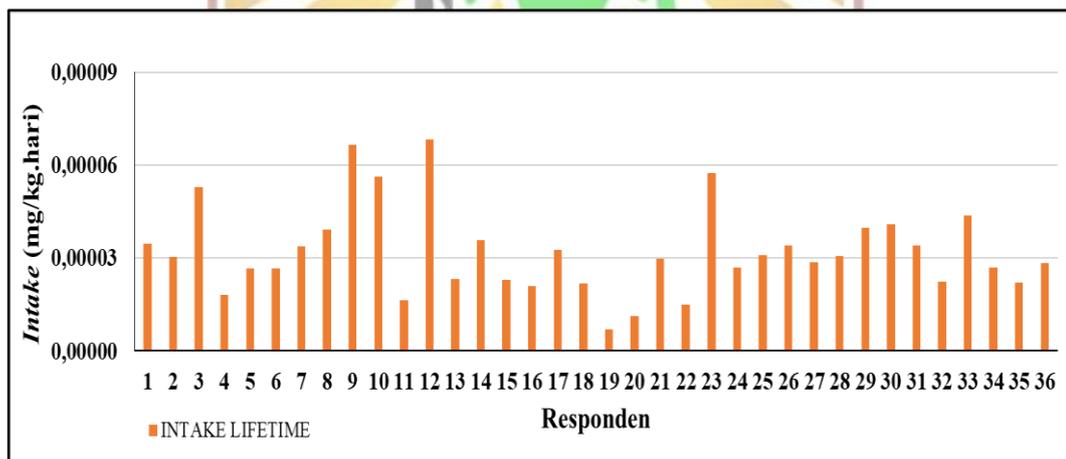
Konsentrasi logam dapat mempengaruhi besarnya nilai *intake*, semakin besar konsentrasi logam semakin besar nilai *intake*, begitu juga sebaliknya. Selain itu laju inhalasi (R), jumlah hari terjadi paparan tiap tahun (Fe), jumlah tahun terjadi paparan (Dt), berat badan (Wb) dan periode waktu rata-rata hari untuk efek karsinogenik (tavg). Jumlah tahun terjadi paparan (Dt) memiliki hubungan berbanding lurus dengan nilai *intake*, semakin besar nilai Dt maka akan semakin besar pula nilai *intake*. Sedangkan untuk berat badan berbanding terbalik dengan *intake*, semakin besar berat badan maka semakin kecil nilai *intake*. Sedangkan untuk R, Fe, dan tavg memakai nilai *default* yang tersedia. Nilai *default* untuk laju inhalasi (R) untuk dewasa adalah $0,83 \text{ m}^3/\text{jam}$, jumlah hari terjadinya paparan setiap hari (Fe) pada lingkungan kerja adalah 250 hari/tahun dan periode waktu rata-rata hari untuk efek karsinogenik adalah 25.550 hari.

4.4.1.3.1 Analisis Paparan Logam Pada PM_{2,5}

Intake realtime adalah jumlah konsentrasi agen yang masuk ke dalam tubuh saat penelitian, sedangkan *intake lifetime* adalah jumlah konsentrasi agen yang masuk ke dalam tubuh sepanjang hayat. *Intake realtime* dan *intake lifetime* logam Cr pada PM_{2,5} yang didapatkan dari 36 responden dapat dilihat pada **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8**.



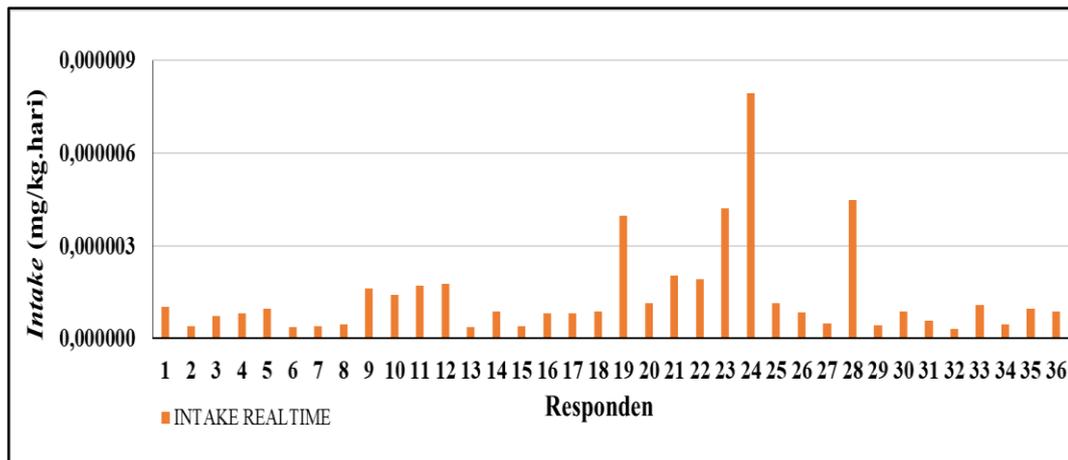
Gambar 4.7 *Intake Realtime* Logam Cr pada PM_{2,5}



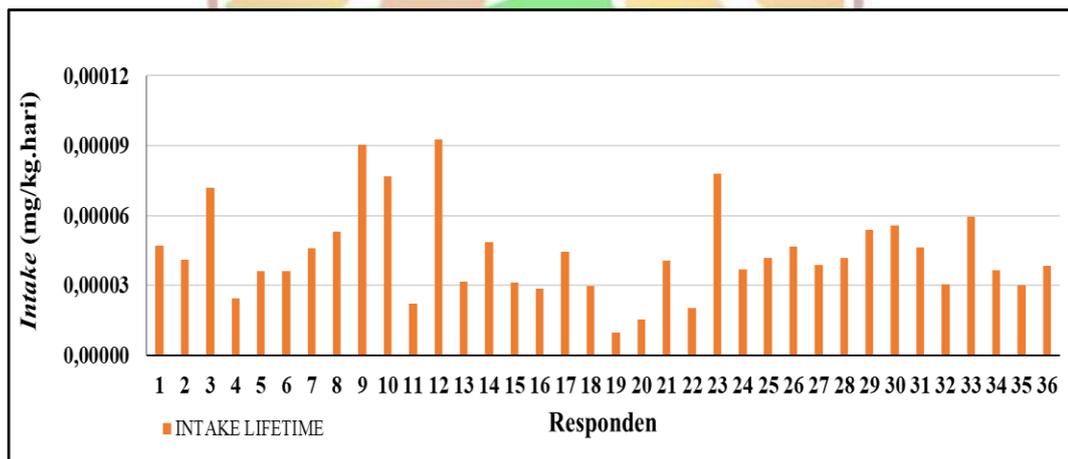
Gambar 4.8 *Intake Lifetime* Logam Cr pada PM_{2,5}

Berdasarkan **Gambar 4.7** *intake realtime* logam Cr paling kecil terdapat pada responden ke-32 yaitu sebesar $2,18 \times 10^{-7}$ mg/kg.hari. Sedangkan nilai *intake realtime* logam Cr paling besar terdapat pada responden ke-24 yaitu sebesar $5,83 \times 10^{-6}$ mg/kg.hari. **Gambar 4.8** menunjukkan *intake lifetime* Cr paling kecil terdapat pada responden ke-19 sebesar $6,99 \times 10^{-6}$ mg/kg.hari, sedangkan untuk *Intake lifetime* Cr paling besar terdapat pada responden ke-12 sebesar $6,82 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari. Berat badan (Wb) dan jumlah tahun terjadi paparan (Dt) dapat

mempengaruhi nilai *intake*. Dt pada *realtime* lebih kecil dibandingkan Dt pada *lifetime* hal ini mengakibatkan nilai *intake realtime* setiap responden lebih kecil dibandingkan nilai *intake lifetime*. Berdasarkan penelitian Silvia, dkk (2020) didapatkan *intake realtime* logam Cr sebesar $3,2 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari dan *intake lifetime* sebesar $7,4 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari. Nilai *intake* logam Cr dan Ni pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini, hal ini dikarenakan perbedaan nilai karakteristik agen seperti berat badan, lama pajanan per hari dan lama pajanan setiap tahunnya.



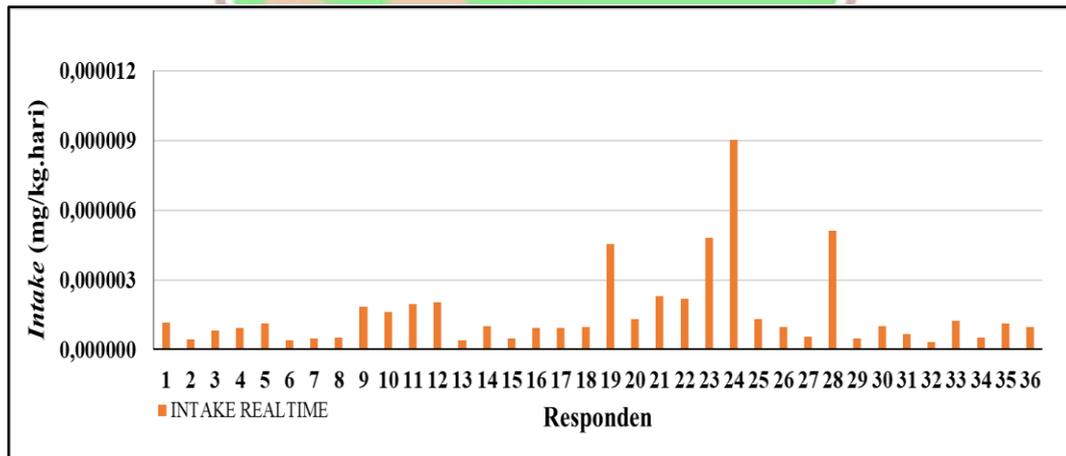
Gambar 4.9 Intake Realtime Logam Ni pada PM_{2,5}



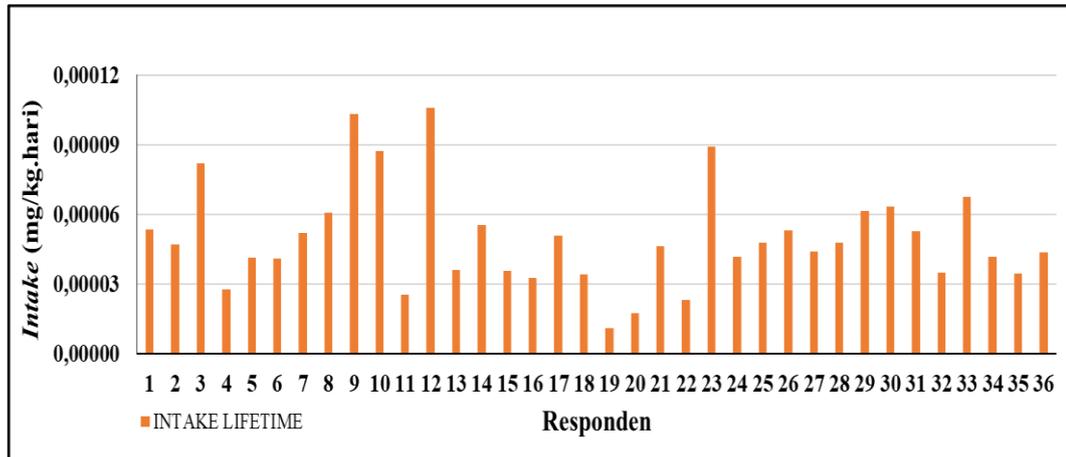
Gambar 4.10 Intake Lifetime Logam Ni pada PM_{2,5}

Nilai *intake realtime* logam Ni paling kecil terdapat pada responden ke-32 yaitu sebesar $2,97 \times 10^{-7}$ mg/kg.hari. Sedangkan nilai *intake realtime* logam Ni paling besar terdapat pada responden ke-24 yaitu sebesar $7,92 \times 10^{-6}$ mg/kg.hari. Hal ini dikarenakan perbedaan jumlah tahun terjadi pajanan (Dt) dan berat badan (Wb) kedua responden. Berat badan pada responden ke-32 adalah 109 kg sedangkan

responden ke-24 memiliki berat badan 98 kg. Jumlah tahun terjadi pajanan (Dt) pada responden ke-32 adalah 0,3 tahun sedangkan responden ke-24 memiliki nilai Dt sebesar 8 tahun. Grafik *intake realtime* logam Ni dapat dilihat pada **Gambar 4.9**. *Intake lifetime* Ni paling kecil terdapat pada responden ke-19 sebesar $9,50 \times 10^{-6}$ mg/kg.hari, sedangkan untuk *Intake lifetime* Ni paling besar terdapat pada responden ke-12 sebesar $9,27 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari. Berat badan (Wb) dan jumlah tahun terjadi pajanan (Dt) dapat mempengaruhi nilai *intake*. Berat badan responden ke-12 adalah 32 kg dengan Dt sebesar 30,58 tahun. Berat badan responden ke-19 adalah 67 kg dengan Dt sebesar 8,75 tahun. Grafik *intake lifetime* logam Ni dapat dilihat pada **Gambar 4.10**. Dt pada *realtime* lebih kecil dibandingkan Dt pada *lifetime* hal ini mengakibatkan nilai *intake realtime* setiap responden lebih kecil dibandingkan nilai *intake lifetime*. Berdasarkan penelitian Silvia, dkk (2020) didapatkan *intake realtime* logam Ni sebesar $3,4 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari dan *intake lifetime* logam Ni sebesar $7,9 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari. Nilai *intake realtime* Cr pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini, sedangkan *intake lifetime* Ni pada penelitian tersebut lebih kecil dibanding penelitian ini. Hal ini dikarenakan perbedaan nilai karakteristik agen seperti berat badan, lama pajanan per hari dan lama pajanan setiap tahunnya.



Gambar 4.11 Intake Realtime Logam Pb pada PM_{2,5}

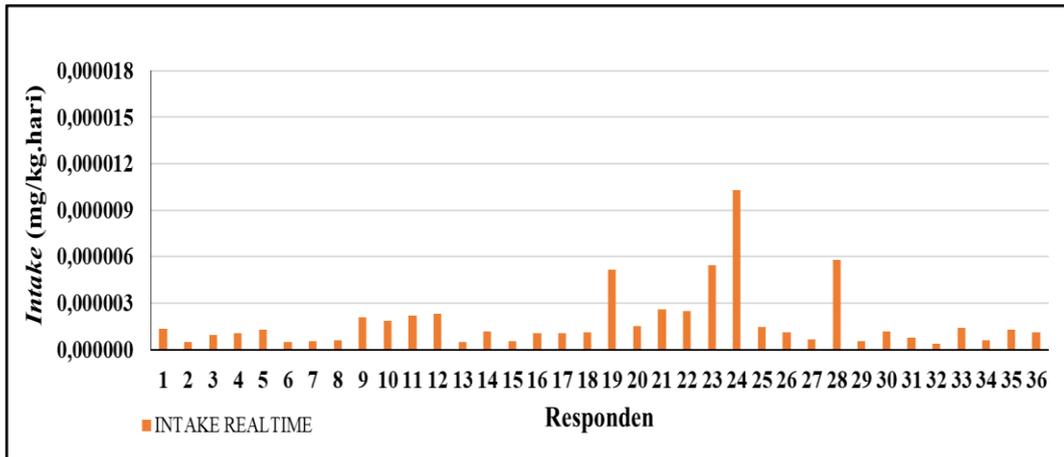


Gambar 4.12 Intake Lifetime Logam Pb pada PM_{2,5}

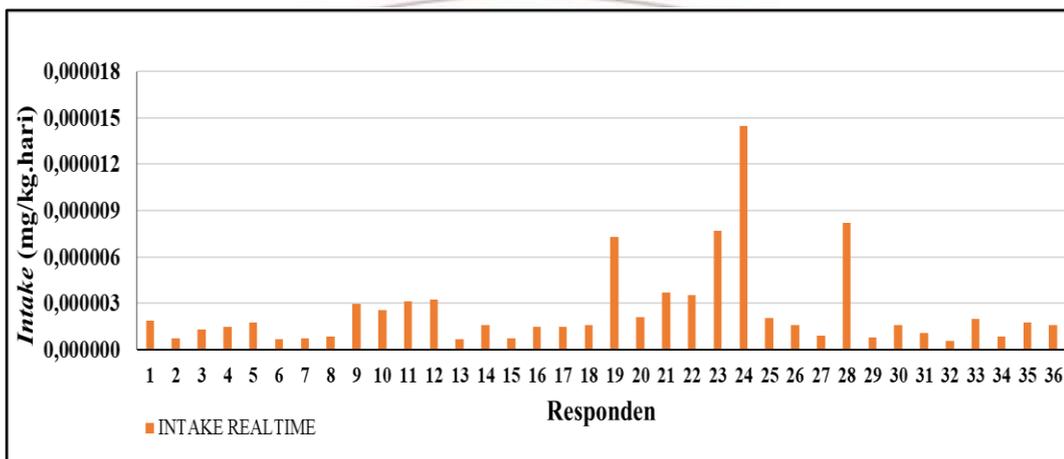
Nilai *intake realtime* logam Pb paling kecil terdapat pada responden ke-32 yaitu sebesar $3,39 \times 10^{-7}$ mg/kg.hari. Sedangkan nilai *intake realtime* logam Pb paling besar terdapat pada responden ke-24 yaitu sebesar $9,04 \times 10^{-6}$ mg/kg.hari. Grafik *intake realtime* logam Pb dapat dilihat pada **Gambar 4.11**. *Intake lifetime* Pb paling kecil terdapat pada responden ke-19 sebesar $1,08 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari, Sedangkan untuk *intake lifetime* Pb paling besar terdapat pada responden ke-12 sebesar $1,06 \times 10^{-4}$ mg/kg.hari. Grafik *intake lifetime* logam Pb dapat dilihat pada **Gambar 4.12**. Berdasarkan penelitian Alimin (2022) didapatkan *intake realtime* logam Pb sebesar $2,1 \times 10^{-4}$ mg/kg.hari dan *intake lifetime* logam Pb sebesar $4,9 \times 10^{-4}$ mg/kg.hari. Dt pada *realtime* lebih kecil dibandingkan Dt pada *lifetime* hal ini mengakibatkan nilai *intake realtime* setiap responden lebih kecil dibandingkan nilai *intake lifetime*. Nilai *intake realtime* dan *lifetime* Pb pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini. Hal ini dikarenakan logam Pb pada penelitian Alimin (2022) dihasilkan melalui kandungan yang ada pada batu kapur dan asap yang berasal dari mesin penggilingan, sedangkan pada penelitian ini Pb hanya berasal dari asap kendaraan yang keluar masuk *storage*, selain itu perbedaan nilai karakteristik agen seperti berat badan, lama pajanan per hari dan lama pajanan setiap tahunnya juga dapat mempengaruhi konsentrasi *intake*.

4.4.1.3.2 Analisis Pajanan Logam Pada Debu *Respirable*

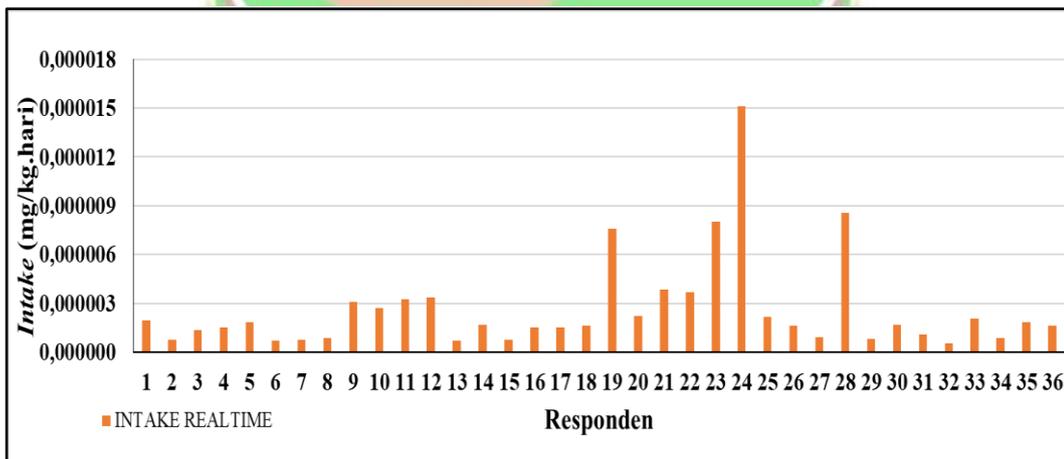
Intake realtime logam Cr, Ni dan Pb pada debu *respirable* yang didapatkan dari 36 responden dapat dilihat pada **Gambar 4.13**, **Gambar 4.14** dan **Gambar 4.15**.



Gambar 4.13 Intake Realtime Logam Cr pada Debu Respirable



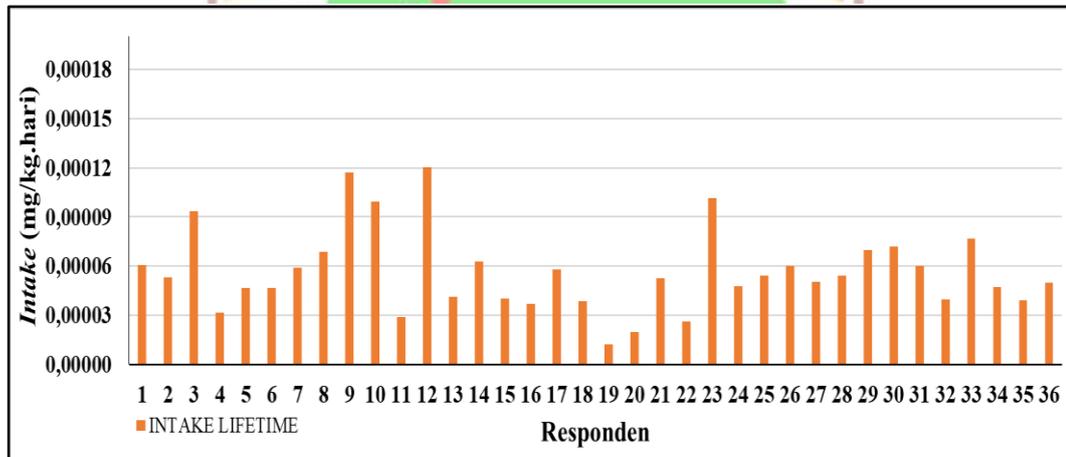
Gambar 4.14 Intake Realtime Logam Ni pada Debu Respirable



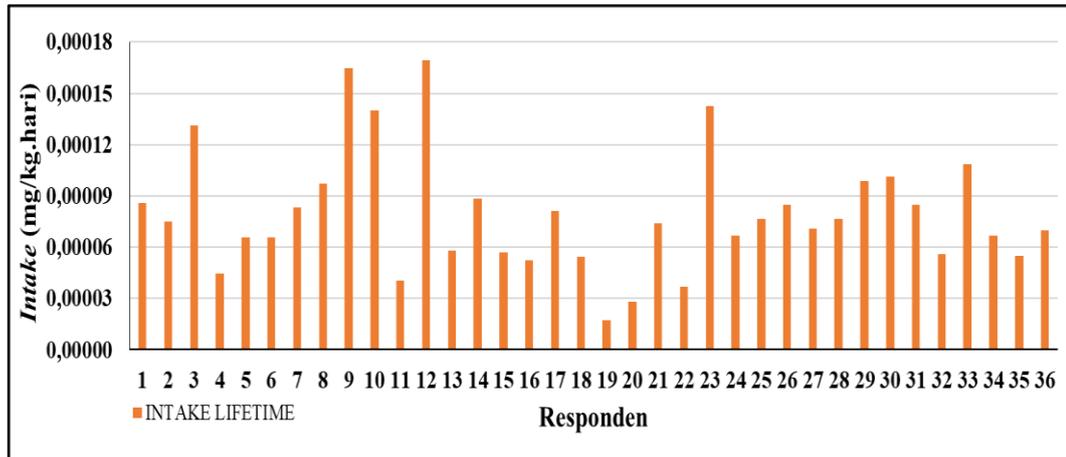
Gambar 4.15 Intake Realtime Logam Pb pada Debu Respirable

Berdasarkan Gambar 4.13, Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 didapatkan nilai intake realtime terkecil logam Cr, Ni dan Pb pada debu respirable berturut - turut adalah $3,85 \times 10^{-7}$ mg/kg.hari; $5,42 \times 10^{-7}$ mg/kg.hari dan $5,66 \times 10^{-7}$ mg/kg.hari yang terdapat pada responden ke -32. Nilai intake realtime terbesar pada logam Cr,

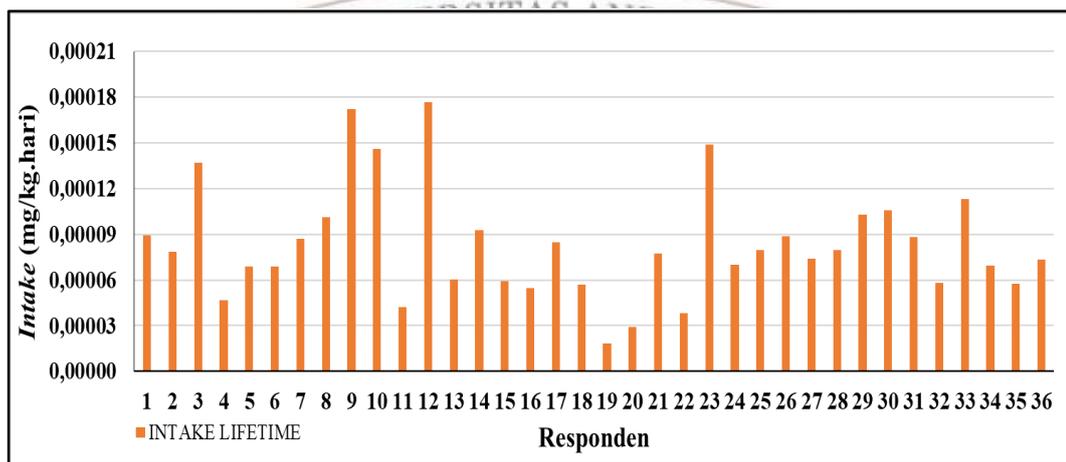
Ni dan Pb berturut - turut adalah $1,03 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari; $1,45 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari dan $1,51 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari yang terdapat pada responden ke -24. Berdasarkan penelitian Silvia, dkk (2020) didapatkan *intake realtime* logam Cr sebesar $3,2 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari dan *intake realtime* logam Ni sebesar $3,4 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari. Nilai *intake realtime* Cr dan Ni pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini, Hal ini dikarenakan perbedaan nilai karakteristik agen seperti berat badan, lama pajanan per hari dan lama pajanan setiap tahunnya. Dt pada *realtime* lebih kecil dibandingkan Dt pada *lifetime* hal ini mengakibatkan nilai *intake realtime* setiap responden lebih kecil dibandingkan nilai *intake lifetime*. Berdasarkan penelitian Alimin (2022) didapatkan *intake realtime* logam Pb sebesar $2,1 \times 10^{-4}$ mg/kg.hari. Nilai *intake realtime* Pb pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini. Hal ini dikarenakan perbedaan konsentrasi logam Pb di udara dan nilai karakteristik agen seperti berat badan, lama pajanan per hari dan lama pajanan setiap tahunnya.



Gambar 4.16 Intake Lifetime Logam Cr pada Debu Respirable



Gambar 4.17 Intake Lifetime Logam Ni pada Debu Respirable



Gambar 4.18 Intake Lifetime Logam Pb pada Debu Respirable

Intake lifetime terkecil pada logam Cr, Ni dan Pb berturut-turut adalah $1,23 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari; $1,74 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari dan $1,81 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari yang terdapat pada responden ke-19. Nilai intake lifetime terbesar pada logam Cr, Ni dan Pb berturut-turut adalah $1,20 \times 10^{-4}$ mg/kg.hari; $1,69 \times 10^{-4}$ mg/kg.hari dan $1,77 \times 10^{-4}$ mg/kg.hari yang terdapat pada responden ke-12. Grafik intake lifetime logam Cr, Ni dan Pb dapat dilihat pada **Gambar 4.16**, **Gambar 4.17** dan **Gambar 4.18**. Perbedaan nilai intake realtime maupun intake lifetime dipengaruhi oleh berat badan pekerja dan lamanya atau jumlah tahun terjadi pajanan. Berdasarkan penelitian Silvia, dkk (2020) didapatkan intake lifetime sebesar $7,4 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari dan intake lifetime logam Ni sebesar $7,9 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari. Nilai intake lifetime Cr dan Ni pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan penelitian ini. Hal ini dikarenakan perbedaan nilai karakteristik agen seperti berat badan, lama pajanan per hari dan lama pajanan setiap tahunnya. Di pada realtime lebih kecil

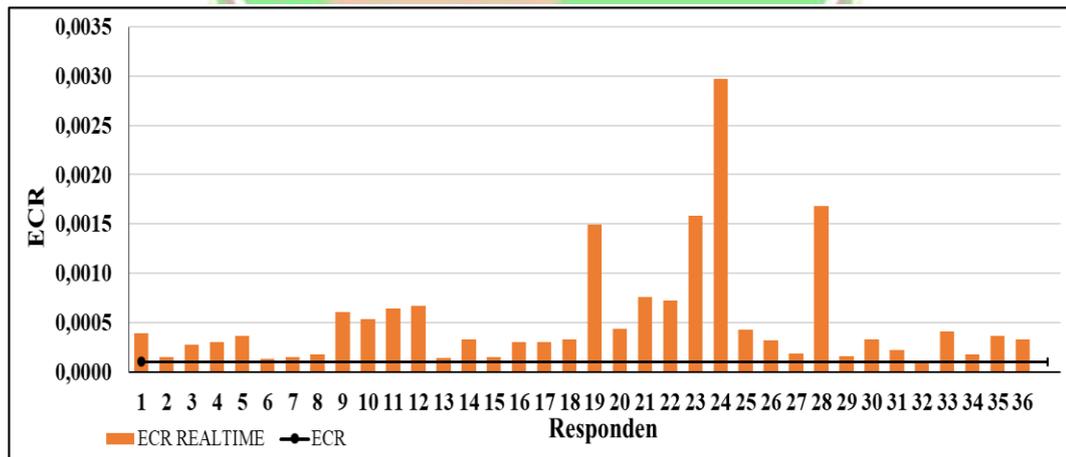
dibandingkan Dt pada *lifetime* hal ini mengakibatkan nilai *intake realtime* setiap responden lebih kecil dibandingkan nilai *intake lifetime*. Berdasarkan penelitian Alimin (2022) didapatkan *intake lifetime* logam Pb sebesar $4,9 \times 10^{-4}$ mg/kg.hari. Nilai *intake lifetime* Pb pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini. Hal ini dikarenakan perbedaan konsentrasi logam Pb di udara dan nilai karakteristik agen seperti berat badan, lama pajanan per hari dan lama pajanan setiap tahunnya.

4.4.1.4 Karakteristik Risiko

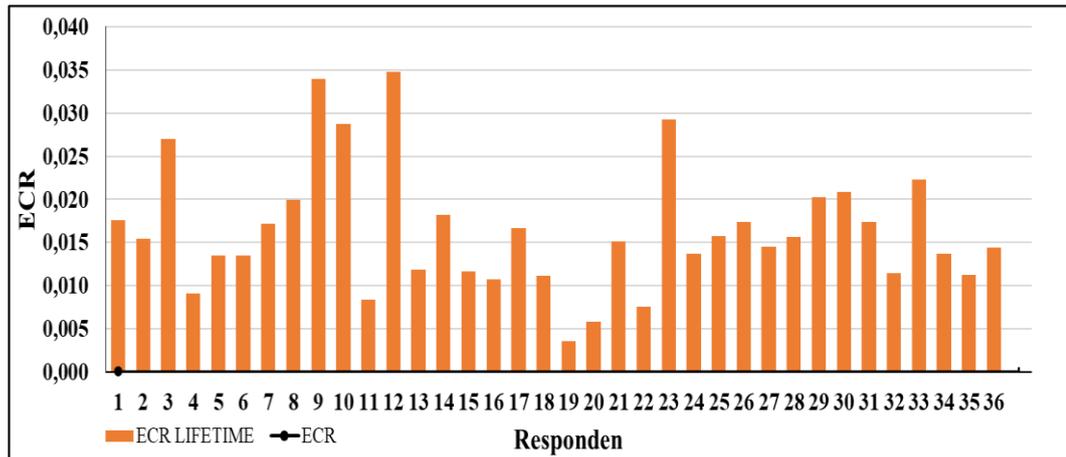
Karakteristik merupakan tahapan akhir dari ARKL yang bertujuan untuk menentukan apakah agen risiko yang telah dianalisis berbahaya terhadap kesehatan manusia. Tingkat risiko untuk efek karsinogenik dinyatakan dalam bentuk *Excess Cancer Risk* (ECR). Untuk mencari nilai ECR dapat dilakukan dengan mengalikan intake dengan SF, seperti yang dapat dilihat pada **Persamaan 2.8**. Tingkat risiko dinyatakan aman jika $ECR \leq 10^{-4}$ dan dinyatakan tidak aman jika $ECR > 10^{-4}$.

4.4.1.4.1 Karakteristik Risiko Logam Pada PM_{2,5}

Grafik ECR *realtime* dan *lifetime* logam Cr pada PM_{2,5} dapat dilihat pada **Gambar 4.19** dan **Gambar 4.20**.

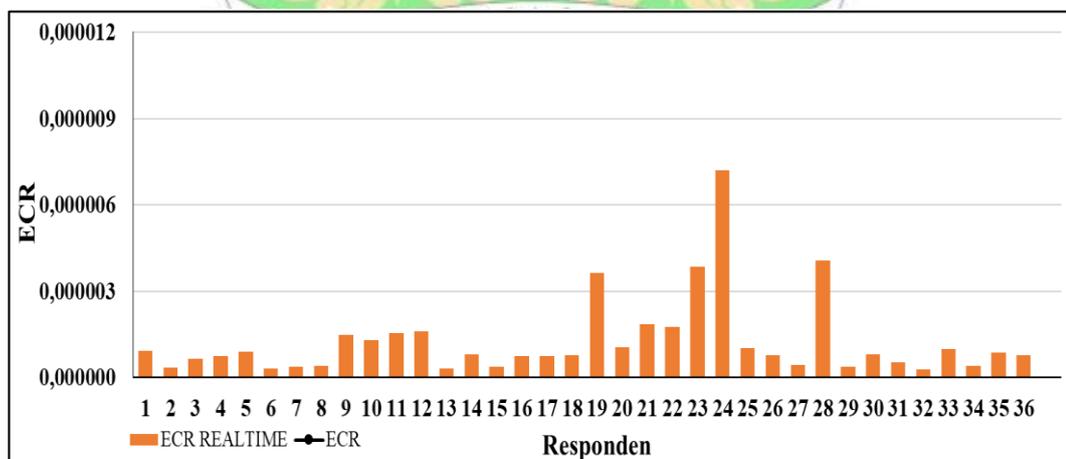


Gambar 4.19 ECR Realtime Logam Cr pada PM_{2,5}

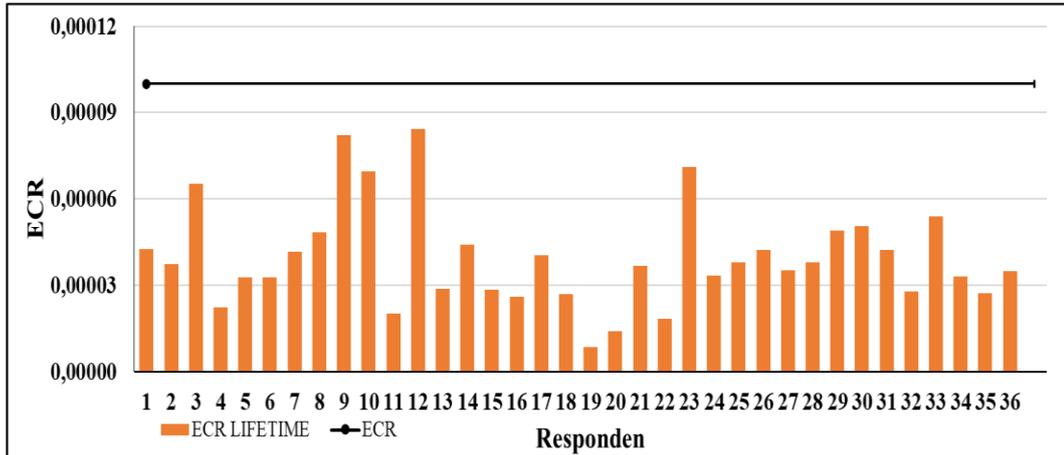


Gambar 4.20 ECR Lifetime Logam Cr pada PM_{2,5}

Berdasarkan Gambar 4.19 nilai ECR *realtime* logam Cr paling kecil terdapat pada responden ke-32 yaitu sebesar $1,11 \times 10^{-4}$. Sedangkan nilai ECR *realtime* logam Cr paling besar terdapat pada responden ke-24 yaitu sebesar $2,97 \times 10^{-3}$. Nilai ECR *lifetime* Cr paling kecil terdapat pada responden ke-19 sebesar $3,57 \times 10^{-3}$, sedangkan untuk ECR *lifetime* Cr paling besar terdapat pada responden ke-12 sebesar $3,48 \times 10^{-2}$. ECR *lifetime* logam Cr dapat dilihat pada Gambar 4.20. Logam Cr yang terkandung pada PM_{2,5} tidak aman karsinogenik terhadap 36 pekerja yang ada di Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang karena semua responden memperoleh nilai $ECR > 10^{-4}$. Berdasarkan penelitian Silvia, dkk (2020) didapatkan ECR *realtime* logam Cr sebesar $1,1 \times 10^{-3}$ dan ECR_{*lifetime*} logam Cr sebesar $2,5 \times 10^{-3}$. Nilai *intake* pada penelitian tersebut lebih kecil dibandingkan dengan penelitian ini. Hal ini dikarenakan perbedaan nilai *intake* dan nilai *slope factor* (SF).

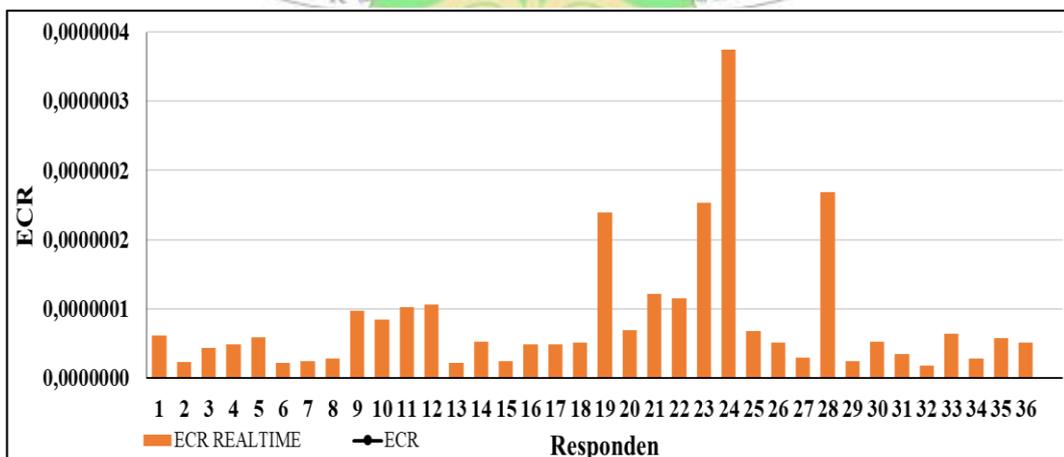


Gambar 4.21 ECR Realtime Logam Ni pada PM_{2,5}

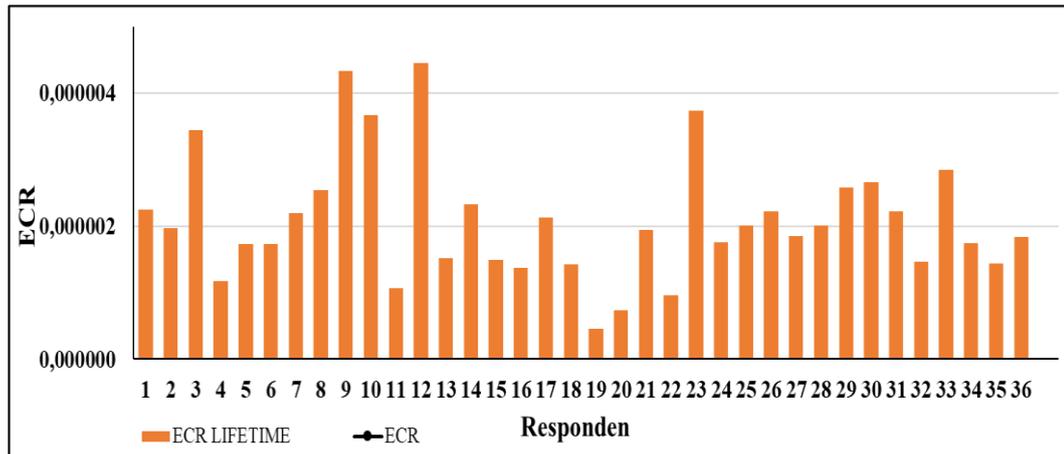


Gambar 4.22 ECR Lifetime Logam Ni pada PM_{2,5}

Nilai ECR *realtime* logam Ni paling kecil terdapat pada responden ke-32 yaitu sebesar $2,69 \times 10^{-7}$. Sedangkan nilai ECR *realtime* logam Ni paling besar terdapat pada responden ke-24 yaitu sebesar $7,21 \times 10^{-6}$. Grafik ECR *realtime* logam Ni dapat dilihat pada **Gambar 4.21**. Nilai ECR *lifetime* Ni paling kecil terdapat pada responden ke-19 sebesar $8,65 \times 10^{-6}$, sedangkan untuk ECR *lifetime* Ni paling besar terdapat pada responden ke-12 sebesar $8,44 \times 10^{-5}$. Logam Ni yang terkandung pada PM_{2,5} aman karsinogenik terhadap 36 pekerja yang ada di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang karena semua responden memperoleh nilai $ECR \leq 10^{-4}$. ECR *lifetime* logam Ni dapat dilihat pada **Gambar 4.22**. Berdasarkan penelitian Silvia, dkk (2020) didapatkan ECR *realtime* logam Ni sebesar $4,5 \times 10^{-5}$ dan ECR *lifetime* logam Cr sebesar $1,0 \times 10^{-4}$. Nilai *intake* pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini. Hal ini dikarenakan perbedaan nilai *intake* dan nilai *Slope Factor* (SF).



Gambar 4.23 ECR Realtime Logam Pb pada PM_{2,5}

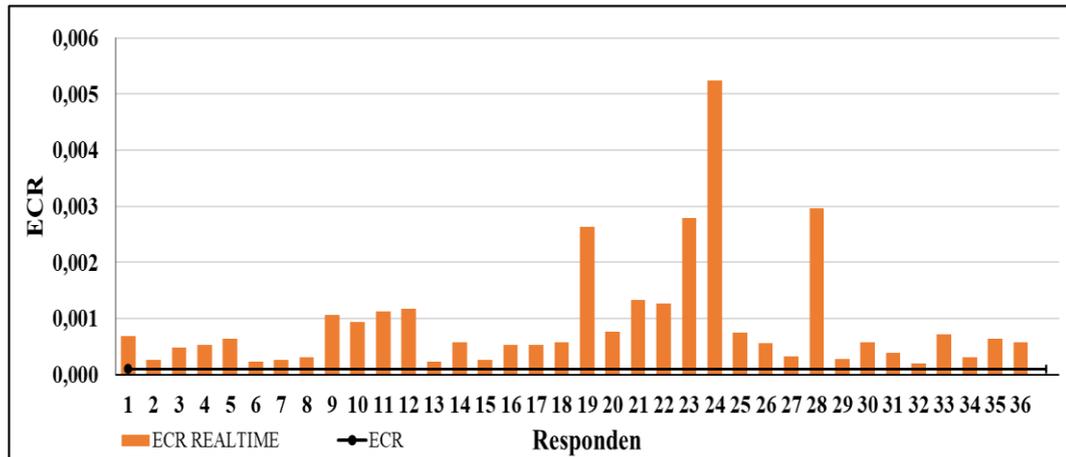


Gambar 4.24 ECR Lifetime Logam Pb pada PM_{2,5}

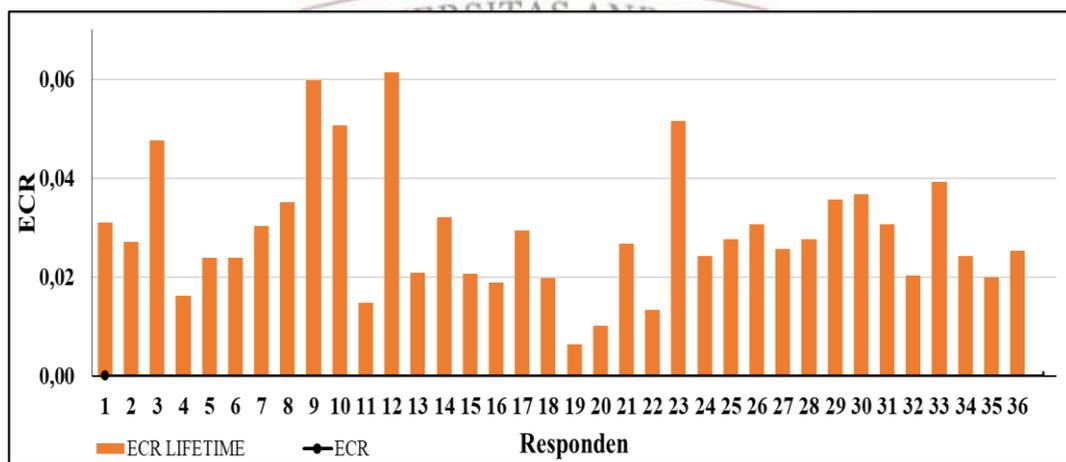
Nilai ECR *realtime* logam Pb paling kecil terdapat pada responden ke-32 yaitu sebesar $1,42 \times 10^{-8}$. Sedangkan nilai ECR *realtime* logam Pb paling besar terdapat pada responden ke-24 yaitu sebesar $4,56 \times 10^{-7}$. Grafik ECR *realtime* logam Pb dapat dilihat pada **Gambar 4.23**. Nilai ECR *lifetime* Pb paling kecil terdapat pada responden ke-19 sebesar $3,79 \times 10^{-7}$, sedangkan untuk ECR *lifetime* Pb paling besar terdapat pada responden ke-12 sebesar $4,45 \times 10^{-6}$. Grafik ECR *lifetime* logam Pb dapat dilihat pada **Gambar 4.24**. Logam Pb yang terkandung pada PM_{2,5} aman karsinogenik terhadap 36 pekerja yang ada di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang karena semua responden memperoleh nilai $ECR \leq 10^{-4}$. Berdasarkan penelitian Alimin (2022) didapatkan ECR *realtime* logam Pb sebesar $7,5 \times 10^{-6}$ dan ECR *lifetime* logam Pb sebesar $1,8 \times 10^{-5}$. Nilai *intake* pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini. Hal ini dikarenakan perbedaan nilai *intake* dan nilai *Slope Factor* (SF).

4.4.1.4.2 Karakteristik Risiko Logam Pada Debu *Respirable*

Grafik ECR *realtime* dan *lifetime* logam Cr pada debu *respirable* dapat dilihat pada **Gambar 4.25** dan **Gambar 4.26**.



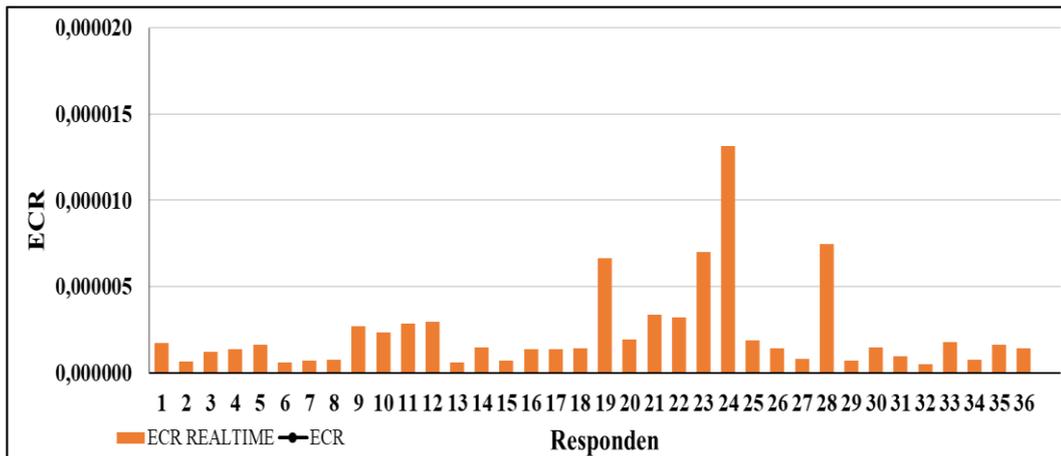
Gambar 4.25 ECR Realtime Logam Cr pada Debu Respirable



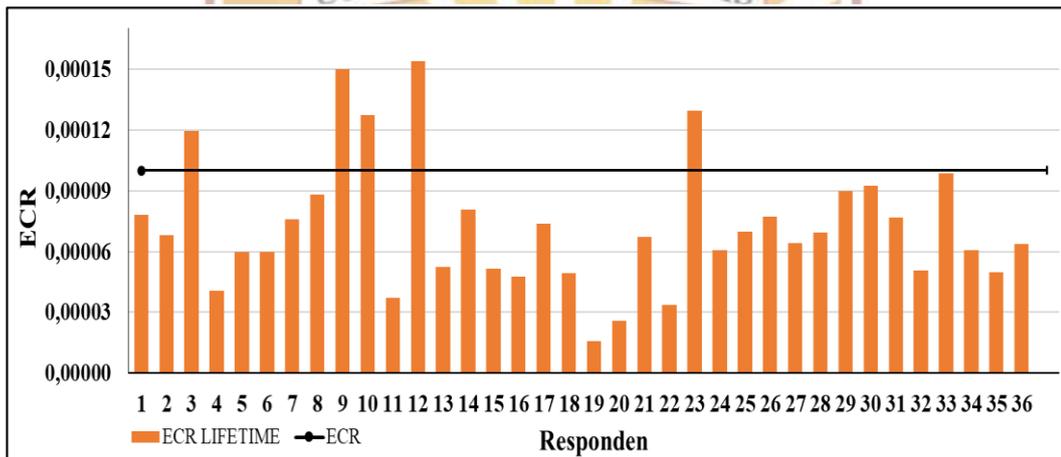
Gambar 4.26 ECR Lifetime Logam Cr pada Debu Respirable

Berdasarkan **Gambar 4.25** nilai ECR *realtime* logam Cr paling kecil terdapat pada responden ke-32 yaitu sebesar $1,96 \times 10^{-4}$. Sedangkan nilai ECR *realtime* logam Cr paling besar terdapat pada responden ke-24 yaitu sebesar $5,24 \times 10^{-3}$. Nilai ECR *lifetime* Cr paling kecil terdapat pada responden ke-19 sebesar $6,29 \times 10^{-3}$, sedangkan untuk ECR *lifetime* Cr paling besar terdapat pada responden ke-12 sebesar $6,14 \times 10^{-2}$. Grafik ECR *lifetime* logam Cr dapat dilihat pada **Gambar 4.26**. Logam Cr yang terkandung pada debu *respirable* tidak aman karsinogenik terhadap 36 pekerja yang ada di *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang* karena semua responden memperoleh nilai ECR $> 10^{-4}$. Berdasarkan penelitian Silvia, dkk (2020) didapatkan *intake realtime* logam Cr sebesar $3,2 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari dan *intake lifetime* sebesar $7,4 \times 10^{-5}$ mg/kg.hari. Nilai *intake* logam Cr dan Ni pada penelitian tersebut lebih kecil dibandingkan dengan penelitian ini, hal ini dikarenakan perbedaan nilai karakteristik agen seperti berat badan, lama pajanan per hari dan

lama pajanan setiap tahunnya.



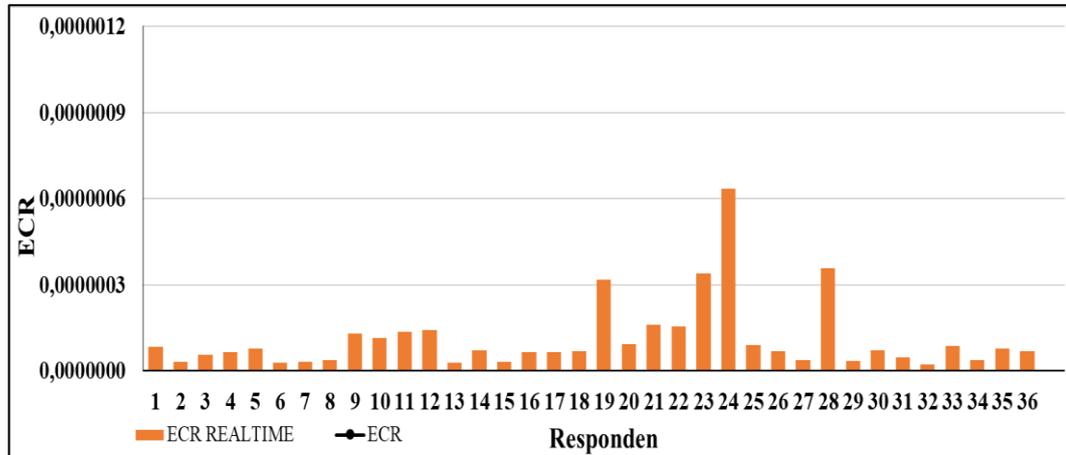
Gambar 4.27 ECR Realtime Logam Ni pada Debu Respirable



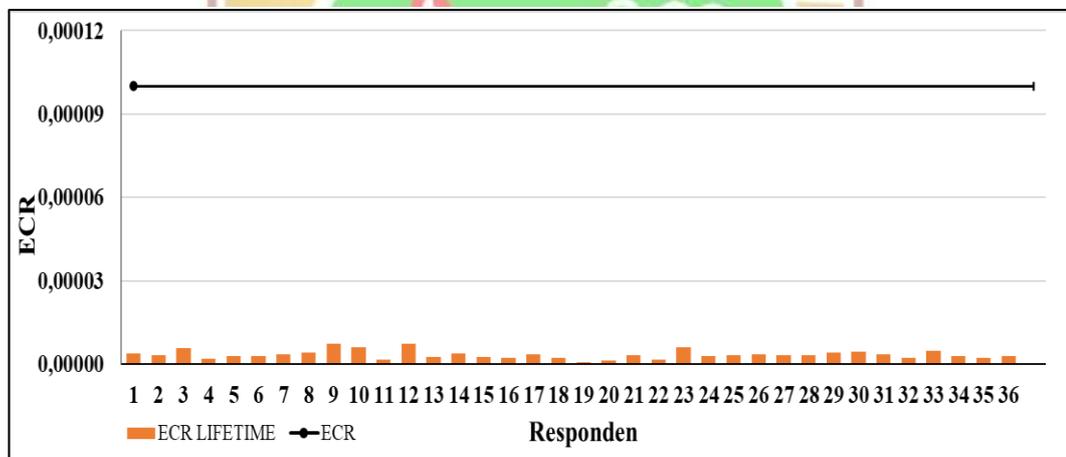
Gambar 4.28 ECR Lifetime Logam Ni pada Debu Respirable

Nilai ECR realtime logam Ni paling kecil terdapat pada responden ke-32 yaitu sebesar $4,93 \times 10^{-7}$. Sedangkan nilai ECR realtime logam Ni paling besar terdapat pada responden ke-24 yaitu sebesar $1,32 \times 10^{-6}$. Logam Ni yang terkandung pada debu respirable aman karsinogenik terhadap 36 pekerja yang ada di Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang karena semua responden memperoleh nilai $ECR \leq 10^{-4}$. Grafik ECR realtime logam Ni dapat dilihat pada Gambar 4.27. Nilai ECR lifetime Ni paling kecil terdapat pada responden ke-19 sebesar $1,58 \times 10^{-5}$, sedangkan untuk ECR lifetime Ni paling besar terdapat pada responden ke-12 sebesar $1,54 \times 10^{-4}$. Terdapat 5 responden yang tidak aman karsinogenik dikarenakan nilai $ECR > 10^{-4}$, sedangkan 31 responden lainnya aman karsinogenik karena nilai $ECR \leq 10^{-4}$. ECR lifetime logam Ni dapat dilihat pada Gambar 4.28. Berdasarkan penelitian Silvia, dkk (2020) didapatkan ECR realtime logam Ni sebesar $4,5 \times 10^{-5}$ dan ECR lifetime logam Ni sebesar $1,0 \times 10^{-4}$. Nilai intake

realtime pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini. Sedangkan nilai *intake lifetime* pada penelitian tersebut lebih kecil dibandingkan dengan penelitian ini Hal ini dikarenakan perbedaan nilai *intake* dan nilai *Slope Factor (SF)*.



Gambar 4.29 ECR Realtime Logam Pb pada Debu Respirable



Gambar 4.30 ECR Lifetime Logam Pb pada Debu Respirable

Nilai ECR *realtime* logam Pb paling kecil terdapat pada responden ke-32 yaitu sebesar $2,38 \times 10^{-8}$. Sedangkan nilai ECR *realtime* logam Pb paling besar terdapat pada responden ke-24 yaitu sebesar $6,34 \times 10^{-7}$. Grafik ECR *realtime* logam Pb dapat dilihat pada **Gambar 4.29**. Nilai ECR *lifetime* Pb paling kecil terdapat pada responden ke-19 sebesar $7,61 \times 10^{-7}$, sedangkan untuk ECR *lifetime* Pb paling besar terdapat pada responden ke-12 sebesar $7,42 \times 10^{-6}$. Grafik ECR *lifetime* logam Pb dapat dilihat pada **Gambar 4.30**. Logam Pb yang terkandung pada debu *respirable* aman karsinogenik terhadap 36 pekerja yang ada di *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang* karena semua responden memperoleh nilai $ECR \leq 10^{-4}$. Berdasarkan

penelitian Alimin (2022) didapatkan ECR *realtime* logam Pb sebesar $7,5 \times 10^{-6}$ dan ECR *lifetime* logam Pb sebesar $1,8 \times 10^{-5}$. Nilai *intake* pada penelitian tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini. Hal ini dikarenakan perbedaan nilai *intake* dan nilai *Slope Factor* (SF).

4.4.2 Pengelolaan Risiko

Pengelolaan risiko merupakan tindak lanjut dari langkah ARKL untuk menindaklanjuti hasil karakteristik yang berisiko atau tidak aman. Responden yang memiliki nilai ECR $> 10^{-4}$ perlu dilakukannya pengelolaan risiko. Pengelolaan risiko dilakukan dengan menentukan batas aman konsentrasi, penentuan waktu aman, penentuan frekuensi aman dan durasi pajanan aman. Pajanan berisiko terhadap responden pada saat *realtime* dan *lifetime* dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Pajanan Berisiko Terhadap Responden

Pajanan		Beresiko
PM _{2,5}	Cr	<i>Realtime</i> dan <i>Lifetime</i>
	Ni	Tidak berisiko
	Pb	Tidak berisiko
Debu <i>Respirable</i>	Cr	<i>Realtime</i> dan <i>Lifetime</i>
	Ni	<i>Lifetime</i>
	Pb	Tidak berisiko

Berdasarkan **Tabel 4.4** dapat dilihat bahwa logam Cr pada partikulat berisiko pada saat *realtime* maupun *lifetime*. Sedangkan logam Ni yang terkandung pada partikulat hanya berisiko pada saat *lifetime* dan logam Pb tidak berisiko saat *realtime* maupun *lifetime*. Pengelolaan risiko dapat dilakukan dengan cara menentukan batas aman dari pajanan logam Cr dan Ni yang terkandung pada PM_{2,5} dan debu *respirable*. Perhitungan konsentrasi aman, waktu pajanan aman dan frekuensi pajanan aman dapat dihitung menggunakan **Persamaan 2.8**, **Persamaan 2.10** dan **Persamaan 2.12**.

4.4.2.1 Pengelolaan Risiko Logam Pada PM_{2,5}

Logam pada PM_{2,5} yang berisiko terhadap kesehatan pekerja adalah logam Cr saat *realtime* dan *lifetime*. Nilai aman logam Cr untuk 36 pekerja *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6**.

Tabel 4. 5 Nilai Aman Logam Cr *Realtime* pada PM_{2,5}

Responden	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	Waktu Paparan Aman (jam/hari)	Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
1	0,00027	2	67
2	0,00072	5	177
3	0,00039	3	96
4	0,00035	3	86
5	0,00029	2	71
6	0,00079	6	194
7	0,00070	5	171
8	0,00061	5	150
9	0,00017	1	43
10	0,00020	2	49
11	0,00016	1	40
12	0,00016	1	39
13	0,00078	6	193
14	0,00032	2	79
15	0,00070	5	171
16	0,00035	3	86
17	0,00035	3	86
18	0,00033	2	80
19	0,00007	1	17
20	0,00024	2	60
21	0,00014	1	34
22	0,00015	1	36
23	0,00007	1	16
24	0,00004	1	9
25	0,00025	2	61
26	0,00033	2	81
27	0,00057	4	141
28	0,00006	1	15
29	0,00067	5	166
30	0,00032	2	79
31	0,00049	4	120
32	0,00095	7	233
33	0,00026	2	64
34	0,00061	5	150
35	0,00029	2	71
36	0,00033	2	80

Berdasarkan **Tabel 4.5** konsentrasi aman *realtime* paparan logam Cr didapatkan berkisar antara 4×10^{-5} - $9,5 \times 10^{-4}$ mg/m³, hal ini berarti bahwa konsentrasi aman

untuk pekerja di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang pada saat *realtime* adalah $<3,5 \times 10^{-5}$ mg/m³. Waktu pajanan aman didapatkan berkisar antara 1-7 jam/hari. Frekuensi pajanan aman didapatkan berkisar antara 9-233 hari/ tahun.

Tabel 4.6 Nilai Aman Logam Cr *Lifetime* pada PM_{2,5}

Responden	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	Waktu Pajanan Aman (jam/hari)	Frekuensi Pajanan Aman (hari/tahun)
1	0,000006	1	1
2	0,000007	1	2
3	0,000004	1	1
4	0,000012	1	3
5	0,000008	1	2
6	0,000008	1	2
7	0,000006	1	2
8	0,000005	1	1
9	0,000003	1	1
10	0,000004	1	1
11	0,000013	1	3
12	0,000003	1	1
13	0,000009	1	2
14	0,000006	1	1
15	0,000009	1	2
16	0,000010	1	2
17	0,000006	1	2
18	0,000009	1	2
19	0,000030	1	7
20	0,000018	1	4
21	0,000007	1	2
22	0,000014	1	3
23	0,000004	1	1
24	0,000008	1	2
25	0,000007	1	2
26	0,000006	1	1
27	0,000007	1	2
28	0,000007	1	2
29	0,000005	1	1
30	0,000005	1	1
31	0,000006	1	1
32	0,000009	1	2
33	0,000005	1	1
34	0,000008	1	2

Responden	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	Waktu Paparan Aman (jam/hari)	Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
35	0,000009	1	2
36	0,000007	1	2

Berdasarkan **Tabel 4.6** konsentrasi aman *lifetime* paparan logam Cr didapatkan berkisar antara 3×10^{-6} - 3×10^{-5} mg/m³, hal ini berarti konsentrasi aman untuk pekerja di *Storage* 4a Indarung IV PT Semen Padang pada saat *realtime* adalah $<3 \times 10^{-6}$ mg/m³. Waktu paparan aman didapatkan 1jam/hari, hal ini berarti pekerja aman dari paparan agen risiko selama kurang dari 1 jam/hari. Frekuensi paparan aman didapatkan berkisar antara 1-7 hari/ tahun.

4.4.2.2 Pengelolaan Risiko Logam Pada Debu *Respirable*

Logam pada debu *respirable* yang berisiko terhadap kesehatan pekerja adalah logam Cr saat *realtime* maupun *lifetime* dan Ni saat *lifetime*. Nilai aman logam Cr dan Ni dapat dilihat pada **Tabel 4.7**, **Tabel 4.8** dan **Tabel 4.9**.

Tabel 4.7 Nilai Aman Logam Cr *Realtime* pada Debu *Respirable*

Responden	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	Waktu Paparan Aman (jam/hari)	Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
1	0,00027	1	38
2	0,00072	3	100
3	0,00039	2	55
4	0,00035	1	49
5	0,00029	1	40
6	0,00079	3	110
7	0,00070	3	97
8	0,00061	3	85
9	0,00017	1	24
10	0,00020	1	28
11	0,00016	1	23
12	0,00016	1	22
13	0,00078	3	109
14	0,00032	1	45
15	0,00070	3	97
16	0,00035	1	49
17	0,00035	1	49
18	0,00033	1	46
19	0,00007	1	10
20	0,00024	1	34

Responden	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	Waktu Paparan Aman (jam/hari)	Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
21	0,00014	1	19
22	0,00015	1	20
23	0,00007	1	9
24	0,00004	1	5
25	0,00025	1	35
26	0,00033	1	46
27	0,00057	2	80
28	0,00006	1	9
29	0,00067	3	94
30	0,00032	1	45
31	0,00049	2	68
32	0,00095	4	132
33	0,00026	1	36
34	0,00061	3	85
35	0,00029	1	40
36	0,00033	1	46

Berdasarkan **Tabel 4.7** konsentrasi aman *realtime* paparan logam Cr didapatkan berkisar antara 4×10^{-5} - $9,5 \times 10^{-4}$ mg/m³, hal ini berarti konsentrasi aman untuk pekerja di *Storage 4A Indarung IV PT Semen Padang* pada saat *realtime* adalah $<4 \times 10^{-5}$ mg/m³. Waktu paparan aman didapatkan berkisar antara 1-4 jam/hari. Frekuensi paparan aman didapatkan berkisar antara 4 -132 hari/ tahun.

Tabel 4. 8 Nilai Aman Logam Cr *Lifetime* pada Debu *Respirable*

Responden	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	Waktu Paparan Aman (jam/hari)	Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
1	0,000006	1	1
2	0,000007	1	1
3	0,000004	1	1
4	0,000012	1	2
5	0,000008	1	1
6	0,000008	1	1
7	0,000006	1	1
8	0,000005	1	1
9	0,000003	1	1
10	0,000004	1	1
11	0,000013	1	2
12	0,000003	1	1

Responden	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	Waktu Paparan Aman (jam/hari)	Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
13	0,000009	1	1
14	0,000006	1	1
15	0,000009	1	1
16	0,000010	1	1
17	0,000006	1	1
18	0,000009	1	1
19	0,000030	1	4
20	0,000018	1	3
21	0,000007	1	1
22	0,000014	1	2
23	0,000004	1	1
24	0,000008	1	1
25	0,000007	1	1
26	0,000006	1	1
27	0,000007	1	1
28	0,000007	1	1
29	0,000005	1	1
30	0,000005	1	1
31	0,000006	1	1
32	0,000009	1	1
33	0,000005	1	1
34	0,000008	1	1
35	0,000009	1	1
36	0,000007	1	1

Berdasarkan **Tabel 4.8** konsentrasi aman *lifetime* paparan logam Cr didapatkan berkisar antara 3×10^{-6} - 3×10^{-5} mg/m³, hal ini berarti konsentrasi aman untuk pekerja di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang pada saat *realtime* adalah $<3 \times 10^{-6}$ mg/m³. Waktu paparan aman didapatkan 1 jam/hari, hal ini berarti pekerja aman dari paparan agen risiko selama kurang dari 1 jam/hari. Frekuensi paparan aman didapatkan berkisar antara 1-4 hari/ tahun.

Tabel 4. 9 Nilai Aman Logam Ni *Lifetime* pada Debu *Respirable*

Responden	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	Waktu Paparan Aman (jam/hari)	Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
3	0,00220	7	1
9	0,00175	5	1
10	0,00206	6	1

Responden	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	Waktu Paparan Aman (jam/hari)	Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
12	0,00170	5	1
23	0,00202	6	1

Berdasarkan **Tabel 4.9** konsentrasi aman *lifetime* paparan logam Ni didapatkan berkisar antara $1,7 \times 10^{-3} - 2,2 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^3$, hal ini berarti konsentrasi aman untuk pekerja di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang pada saat *realtime* adalah $<1,7 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^3$. Waktu paparan aman didapatkan 5-6 jam/hari, hal ini berarti pekerja aman dari paparan agen risiko selama kurang dari 5 jam/hari. Frekuensi paparan aman didapatkan berkisar antara 1 hari/ tahun, hal ini berarti pekerja aman dari paparan agen risiko selama kurang dari 1 hari/tahun.

Berdasarkan hasil pengukuran pengelolaan risiko telah didapatkan nilai konsentrasi aman, waktu paparan aman, frekuensi paparan aman dan durasi paparan aman sehingga dapat melindungi pekerja dari paparan logam Cr dan Ni yang terdapat pada partikulat. Pengelolaan risiko harus dilakukan dengan metode yang tepat. Pengelolaan risiko dapat dilakukan dengan tiga pendekatan yaitu :

1. Pendekatan teknologi

Pengelolaan risiko menggunakan teknologi yang tersedia meliputi penggunaan alat, bahan dan metode. Contoh pendekatan teknologi yang dapat dilakukan adalah dengan membuat alat pengepakan otomatis agar meminimalisir partikulat yang masuk ke tubuh pekerja yang diakibatkan proses pengepakan.

2. Pendekatan sosial-ekonomi

Pendekatan sosial-ekonomi dapat dilakukan dengan melibatkan pihak lain, efisiensi proses, dan penerapan sistem kompensasi. Pendekatan sosial-ekonomi yang dapat dilakukan adalah dengan menyediakan masker yang sesuai standar berupa masker respirator yang mampu menahan debu dengan ukuran yang sangat kecil. Serta memeriksa kesehatan para pekerja secara rutin misalnya pemeriksaan kapasitas fungsi paru, sehingga dapat diketahui ada atau tidaknya gangguan kesehatan para pekerja.

3. Pendekatan Institusional

Pendekatan institusional dapat dilakukan dengan cara melakukan kerja sama dengan pihak lain. HSE PT Semen Padang dapat melakukan pengawasan secara

rutin di *Storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang dan melakukan evaluasi untuk meminimalisir pengeluaran polutan yang dihasilkan dari aktivitas pekerja.

4.4.3 Komunikasi Risiko

Komunikasi risiko adalah tindak lanjut dari pelaksanaan ARKL dan merupakan tanggung jawab dari pihak yang menyebabkan risiko. Tahap ini berfungsi untuk menyampaikan risiko kepada pekerja yang menerima dampak risiko, pihak perusahaan, pemerintah dan pihak yang berkepentingan lainnya. Komunikasi risiko dapat dilakukan dengan cara menyampaikan bahaya yang dapat ditimbulkan akibat pajanan logam Cr, Ni dan Pb menggunakan bahasa yang sederhana, mudah dipahami dan memuat informasi yang jelas tanpa ditutup-tutupi. Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi RI Nomor 8 tahun 2010 tentang Alat Pelindung Diri (APD) menyatakan bahwa perusahaan wajib menyediakan APD bagi pekerja yang ada di tempat kerja, dalam penelitian ini APD perlindungan pernapasan beserta perlengkapannya.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Logam karsinogenik pada debu *respirable* terbesar terdapat pada logam Pb dengan konsentrasi 0,00273 mg/m³, sedangkan logam terkecil yaitu logam Cr dengan konsentrasi sebesar 0,00186 mg/m³. Pada PM_{2,5} didapatkan Pb dengan konsentrasi terbesar yaitu 0,00164 mg/m³, sedangkan logam terkecil yaitu logam Cr dengan konsentrasi sebesar 0,00106 mg/m³. Logam Pb sebagai konsentrasi terbesar berasal dari aktivitas alat berat sedangkan untuk logam Cr berasal dari limbah *fly ash* yang tersuspensi ke udara.
2. Logam Cr dan Ni pada debu *respirable* berisiko terhadap kesehatan, sedangkan logam Pb pada debu *respirable* tidak berisiko terhadap kesehatan para pekerja. Logam Cr pada PM_{2,5} berisiko terhadap kesehatan pekerja, sedangkan logam Ni dan Pb pada PM_{2,5} tidak berisiko terhadap kesehatan para pekerja *storage* 4A Indarung IV PT Semen Padang.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan penelitian pada *storage* lain yang ada di unit AFR seperti *storage* 3A.
2. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai respon tubuh seperti analisis gizi setiap pekerja yang nilai ECR > 10⁻⁴.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R & Husaini, SKM (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Af'idah, N. (2019). *Analisis Hubungan Konsentrasi Total Suspended Particulate (Tsp) di Dalam dan di Luar Ruang dan Faktor-Faktor yang Berhubungan*. Surabaya: Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Alimin, H. (2022). *Analisis Risiko Paparan Particulate Matter 2,5 (Pm2,5) Pada Pekerja Penggilingan Batu Kapur PT.X di Kabupaten 50 Kota*. Padang: Universitas Andalas
- Andianto (2013). *Sistem Sirkulasi Udara di Ruang Produksi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Aris, M., Ibrahim, T., & Nasir, L. (2021). *Kontaminasi logam nikel (Ni) pada struktur jaringan ikan*. Universitas Khairun. 1(9), 64-72.
- Bachtiar, V & Rani, P. (2016). *Analisis Debu Respirable Terhadap Masyarakat di Kawasan Perumahan Sekitar Lokasi Pabrik PT. Semen Padang*. Jurnal Teknik Lingkungan. 13(1), 1-9.
- Darwel., Alvionita, F., Doni, A., & Fratama, D. (2022). *Descriptive Study Of Respirable Dust Levels By Furniture Industry Workers In Nanggalo District, Padang City*. Jurnal Teknologi dan Seni Kesehatan. 1(13), 90-100.
- Direktorat Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan. 2012. *Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan*.
- Duppa, A., Daud, A., & Bahar, B. (2018). *Kualitas Udara Ambien di Sekitar Industri Semen Bosowa Kabupaten Maros*. Jurnal Kesehatan Masyarakat. 3(3), 86-87.
- Fahreza, M & Candra, H. (2021). *Sistem Pemantau Kualitas Udara Dalam Ruang Menggunakan Raspberry PI dan Telegram*. 1(6), 35-36.
- Farnas, Z., Goembira, F., & Zulkarnaini. (2023). *Analisis Distribusi Ukuran dan Kandungan Logam pada Partikulat di Sekitar Industri Semen Kota Padang*. Journal of Civil Engineering and Vocational Education. 1(10),

249-250.

- Greenberg, A., Clescert, L, & Eaton, A. (1992). *Standard Methods*.
- Harlia, E., Balia, R., & Suryanto, D. (2017). *Identification of Heavy Metal Plumbum (Pb) In Edible Offal*. *Jurnal Ilmu Ternak*. 17(2), 73-76.
- Handayani, C & Dewi, S. (2015). *Distribusi Logam Berat Pb, Cd, Cr, Ni dan Risiko Kesehatan Akibat Paparan Logam Berat Melalui Saluran Pencernaan di Lahan Sawah Sekitar Kawasan Industri Kabupaten Bandung*. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 1(46).47-59.
- Hermawan, A., Wijayanto, D., Aprilia, A., Sari, N., & Safitry, N. (2022). *Implementasi Perang Dagang pada Persaingan Industri Semen di Indonesia Sebagai Ancaman Pertahanan Negara di Era Milenial*. *Journal of Advanced Research in Defense and Security Studies*. 1(2), 2-3.
- Hester, R & Harrison, R. (2016). *Airbone Particulate Matter Sources Atmospheric Processes and Health*. 42(2)
- Husin, A., Lasino & Sugiharto, B. (2013). *Penelitian Tingkat Toksisitas Produk Komponen Bangunan dari Bahan Drill Cutting*. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 12(3), 251-258.
- Ismiyati., Marlita, D & Saidah, D. (2014). *Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor*. *Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistik*,1(3), 241-242.
- Karliansyah, M. (2013). *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Kurnia, L & Soedjajadi, K. (2014). *Analisis Risiko Paparan Debu PM_{2,5} Terhadap Kejadian Penyakit Paru Obstruktif Kronis pada Pekerja Bagian Boiler Perusahaan Lem di Probolinggo*. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 7(2), 118-125.
- Nugraha, C & Rolliyah. (2021). *Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash untuk Pengelolaan Batuan dan Air Asam di Tambang Batubara*. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Nurwita, M., Maesarih., & Widowati, N. (2020). *Upaya Dinas Lingkungan Hidup dalam Pengendalian Pencemaran Udara di Kota Tangerang*. Semarang: Universitas Diponegoro.

- OEHHA. (*California Office of Environmental Health Hazard Assessment*). 2023. *Chemicals Inhalation Slope Factor*.
- Prabowo, K & Muslim, B. (2018). *Penyehatan Udara*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- PT Semen Padang. (2019). *Profil PT Semen Padang*. Padang: PT Semen Padang.
- Putra, R & Indriyani, T. (2015). *Penerapan Aturan Asosiasi dengan Algoritma Apriori untuk Analisis Polutan Udara di Surabaya*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Sawir, H. (2016). *Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Briket Sebagai Bahan Bakar Alternatif dalam Kiln di Pabrik PT Semen Padang*. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 16(1), 1-8.
- Sianipar, M & Kardena, E. (2023). *Pengaruh Penambahan Biosurfaktan sebagai Prapengolahan Lumpur dalam Menurunkan TPH Melalui Oil Recovery pada Teknik Bioremediasi Fase Slurry*. *Jurnal Teknik Lingkungan*.
- Siburian, S. (2020). *Pencemaran Udara dan Emisi Rumah Kaca*. Jakarta Selatan: Kreasi Candikia Pustaka.
- Silvia, S., Goembira, F., Ihsan, T., Lestari, R., & Irfan, T. (2020). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Logam dalam PM_{2,5} pada Masyarakat di Perumahan Blok D Ulu Gadut Kota Padang*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 17(2),1-10.



LAMPIRAN

LAMPIRAN A

(DATA PENELITIAN)

Data penimbangan filter PM_{2,5}

No	Tanggal Sampling	Filter sebelum sampling	Filter sesudah sampling	Selisih
1	05-Apr-23	0,0939	0,0939	0,00006
2	06-Apr-23	0,1562	0,1565	0,00036
3	07-Apr-23	0,0920	0,0922	0,00020
4	08-Apr-23	0,1579	0,1584	0,00050
5	09-Apr-23	0,0920	0,0923	0,00032
6	10-Apr-23	0,0931	0,0936	0,00048
7	11-Apr-23	0,1547	0,1552	0,00046

Data penimbangan filter Debu *Respirable*

No	Tanggal Sampling	Blanko Sebelum Sampling	Blanko Sesudah Sampling	Selisih	Filter Sebelum Sampling	Filter Sesudah Sampling	Selisih
1	05-Apr-23	78,94	78,94	0,00	78,44	80,38	1,94
2	06-Apr-23	78,94	78,94	0,00	78,84	80,00	1,16
3	07-Apr-23	78,94	78,94	0,00	77,62	77,88	0,26
4	08-Apr-23	78,94	78,94	0,00	78,48	81,28	2,80
5	09-Apr-23	78,94	78,94	0,00	77,78	78,64	0,86
6	10-Apr-23	78,94	78,94	0,00	77,58	78,48	0,90
7	11-Apr-23	78,94	78,94	0,00	78,28	79,28	1,00

Data Responden

No	Nama	Umur	Berat Badan	Lama Bekerja	Perokok	Riwayat Penyakit	Lama Mengidap Penyakit	Keluhan Kesehatan	Lama Merasakan Keluhan
1	Yosnedi	32	55	7	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
2	Albibibi	32	62	3	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
3	Amin D.	25	45	4	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
4	Hengky	41	70	7	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
5	Fauzi	37	58	7	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
6	Zulfikar	33	68	3	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
7	Prasetyo	30	60	3	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
8	M. Amin	39	35	2	Tidak	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
9	Defi Safri	26	35	7	Tidak	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
10	Dedi Kurniawan	27	40	7	Ya	Tidak	Tidak Ada	Gatal-Gatal	Sesaat
11	Sepdiantoni	40	85	18	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
12	Andre Wahyudi	28	32	7	Ya	Tidak	Tidak Ada	Asma	Sesaat
13	Fadly	29	90	4	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
14	Efridal	31	55	6	Ya	Tidak	Tidak Ada	Influenza	Sesaat
15	Jumardi	39	60	3	Tidak	Tidak	Tidak Ada	Batuk	Sesaat
16	Indra Yona	38	70	7	Tidak	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
17	Andika	31	60	6	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
18	Haris Budiman	28	75	8	Tidak	Asam Lambung	2 Bulan	Mual, Muntah	Sesaat
19	Ismail	52	67	33	Iya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
20	Doche Delson	37	105	15	Tidak	Hipertensi	24 Bulan	Sakit Kepala	Sesaat
21	Arja Gunawan	39	48	12	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
22	Armono	39	101	24	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
23	Boy Setiawan	23	46	24	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak

No	Nama	Umur	Berat Badan	Lama Bekerja	Perokok	Riwayat Penyakit	Lama Mengidap Penyakit	Keluhan Kesehatan	Lama Merasakan Keluhan
24	Rizan Al Amin	29	98	96	Tidak	Paru-Paru Basah	2 Hari	Batuk	1 Bulan
25	Elsa M	37	50	7	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
26	Gerald Nuriman	27	66	7	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
27	Aldhika Putra	32	66	4	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
28	Reza Putra	33	65	36	Ya	Tidak	Tidak Ada	Batuk Berdahak	Sesaat
29	Geri Musliadi	26	58	3	Ya	Infeksi Saluran Kencing	2 Bulan	Batuk	Sesaat
30	Diego Saherta	27	55	6	Tidak	Infeksi Gigi	5 Bulan	Demam Tinggi	Sesaat
31	Ravi PEP	25	70	5	Ya	Tidak	Tidak Ada	Demam Tinggi	Sesaat
32	Reynold	24	109	4	Ya	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
33	Efrinaldi	31	45	6	Ya	Tidak	Tidak Ada	Demam Tinggi	Sesaat
34	Romi	32	70	4	Tidak	Tidak	Tidak Ada	Tidak	Tidak
35	Evendi	43	50	6	Ya	Asam Urat	3 Tahun	Tidak	Tidak
36	Ilham	29	75	8	Ya	Tidak	Tidak Ada	Demam Tinggi	Sesaat

KUESIONER PENELITIAN

ANALISIS KONSENTRASI *PARTICULATE MATTER* 2.5 DAN DEBU *RESPIRABLE* SERTA RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN TERHADAP PEKERJA *STORAGE* INDARUNG IV PT SEMEN PADANG

A. Data Umum

- a. Nama Responden : EFRIDAL
- b. Umur : 31 TAHUN

B. Data Khusus

- a. Berat Badan : 55
- b. Lama Bekerja : 6. Bulan

C. Data Kesehatan

- a. Perokok : Ya
- b. Riwayat Penyakit : -
- c. Lama Mengidap Penyakit : -
- d. Keluhan Kesehatan yang dirasakan selama Bekerja : FLU
- e. Lama Merasakan Keluhan : 2 minggu

LAMPIRAN B

(Perhitungan Data)

A. Perhitungan Konsentrasi Logam

Hasil Perhitungan *Intake Realtime* dan ECR Logam Cr

Sampel	LOGAM (mg/l)	C blanko (mg/l)	C blanko ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	C Logam dalam Larutan (mg/l)	C Logam dalam Larutan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VSTP (m^3)	V(m^3)	Logam di udara (mg/m^3)
LVAS	Fe	0,00003	28,729	0,04	40.000	1,2014	0,00005	0,00083
	Mg	0,00059	586,092	0,082	82.000			0,00169
	Cr	0,00022	215,472	0,051	51.000			0,00106
	Na	0,00034	339,134	0,098	98.000			0,00203
	Ni	0,00000	2,340	0,069	69.000			0,00144
	Pb	0,00423	4227,261	0,083	83.000			0,00164
	Ca	0,00049	490,372	0,073	73.000			0,00151
	K	0,00066	656,748	0,073	73.000			0,00151
	Al	0,00012	115,547	0,05	50.000			0,00104

CONTOH PERHITUNGAN

- Perhitungan volume udara yang dihisap saat sampling

Dik:

V_s = volume udara yang dihisap

Q_1 = Kecepatan udara saat sampling (3,5 l/menit)

t = waktu sampling (360 menit)

n = jumlah data (42 data)

- Konsentrasi logam di udara

Dik :

C = Konsentrasi logam di udara

C_s = Konsentrasi logam dalam larutan sampel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_b = Konsentrasi logam dalam larutan blanko ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

V_s = Volume sampel (ml)

V_b = Volume blanko (ml)

$$V_s = \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n) \times t}{n}$$

$$V_s = \frac{(3,5 \text{ l/menit} \times 42) \times 360 \text{ menit}}{42}$$

$$V_s = 1.260 \text{ l}$$

2. Perhitungan V_{STP}

Dik:

P_s = Tekanan saat sampling (742,2 mmHg)

P_{STP} = Tekanan kondisi standar (760 mmHg)

V_s = Volume sampling (1,260 m^3)

V_{STP} = Volume kondisi standar

T_s = Suhu sampling (304K)

T_{STP} = Suhu kondisi standar (298 K)

$$V_{STP} = P_s \frac{V_s \times T_{STP}}{T_s \times P_{STP}}$$

$$V_{STP} = 742,2 \text{ mmHg} \frac{1,260 \text{ m}^3 \times 298 \text{ K}}{304 \text{ K} \times 760 \text{ mmHg}}$$

$$V_{STP} = 1,2014 \text{ m}^3$$

V_{STP} = Volume udara standar (m^3)

F = Fraksi sampel yang didestruksi

Contoh perhitungan logam Cr pada $PM_{2,5}$

$$C = \frac{(C_s \times V_s) - (C_b \times V_b)}{V_{stp} \times F}$$

$$C_s = 0,051 \text{ mg/l} = 51.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$C_b = 0,000215 \text{ mg/l} = 215,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$V_s = 0,00005 \text{ m}^3$$

$$V_b = 0,00005 \text{ m}^3$$

$$V_{STP} = 1,2014 \text{ m}^3$$

$$F = 0,5$$

$$C = \frac{(51.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 0,00005 \text{ m}^3) - (215,47 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 0,00005 \text{ m}^3)}{1201,4 \text{ m}^3 \times 0,5}$$

$$C = 1,05678 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$C = 0,00106 \text{ mg}/\text{m}^3$$

B. Perhitungan ARKL Logam Cr, Ni dan Pb pada PM_{2,5}

Hasil Perhitungan *Intake Realtime* dan ECR Logam Cr

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0010568	8	260	0,6	55	0,83	0,00000076	0,00038624	Berisiko
2	0,0010568	8	260	0,3	62	0,83	0,00000029	0,00014684	Berisiko
3	0,0010568	8	260	0,3	45	0,83	0,00000053	0,00026976	Berisiko
4	0,0010568	8	260	0,6	70	0,83	0,00000060	0,00030348	Berisiko
5	0,0010568	8	260	0,6	58	0,83	0,00000072	0,00036626	Berisiko
6	0,0010568	8	260	0,3	68	0,83	0,00000026	0,00013389	Berisiko
7	0,0010568	8	260	0,3	60	0,83	0,00000030	0,00015174	Berisiko
8	0,0010568	8	260	0,2	35	0,83	0,00000034	0,00017341	Berisiko
9	0,0010568	8	260	0,6	35	0,83	0,00000119	0,00060695	Berisiko
10	0,0010568	8	260	0,6	40	0,83	0,00000104	0,00053108	Berisiko
11	0,0010568	8	260	1,5	85	0,83	0,00000126	0,00064265	Berisiko
12	0,0010568	8	260	0,6	32	0,83	0,00000130	0,00066385	Berisiko
13	0,0010568	8	260	0,3	90	0,83	0,00000026	0,00013488	Berisiko
14	0,0010568	8	260	0,5	55	0,83	0,00000065	0,00033106	Berisiko
15	0,0010568	8	260	0,3	60	0,83	0,00000030	0,00015174	Berisiko
16	0,0010568	8	260	0,6	70	0,83	0,00000060	0,00030348	Berisiko
17	0,0010568	8	260	0,5	60	0,83	0,00000060	0,00030348	Berisiko
18	0,0010568	8	260	0,7	75	0,83	0,00000063	0,00032371	Berisiko
19	0,0010568	8	260	2,8	67	0,83	0,00000293	0,00149473	Berisiko
20	0,0010568	8	260	1,3	105	0,83	0,00000085	0,00043354	Berisiko
21	0,0010568	8	260	1,0	48	0,83	0,00000149	0,00075869	Berisiko
22	0,0010568	8	260	2,0	101	0,83	0,00000141	0,00072113	Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
23	0,0010568	8	260	2,0	46	0,83	0,00000310	0,00158335	Berisiko
24	0,0010568	8	260	8,0	98	0,83	0,00000583	0,00297282	Berisiko
25	0,0010568	8	260	0,6	50	0,83	0,00000083	0,00042487	Berisiko
26	0,0010568	8	260	0,6	66	0,83	0,00000063	0,00032187	Berisiko
27	0,0010568	8	260	0,3	66	0,83	0,00000036	0,00018392	Berisiko
28	0,0010568	8	260	3,0	65	0,83	0,00000330	0,00168079	Berisiko
29	0,0010568	8	260	0,3	58	0,83	0,00000031	0,00015697	Berisiko
30	0,0010568	8	260	0,5	55	0,83	0,00000065	0,00033106	Berisiko
31	0,0010568	8	260	0,4	70	0,83	0,00000043	0,00021677	Berisiko
32	0,0010568	8	260	0,3	109	0,83	0,00000022	0,00011137	Berisiko
33	0,0010568	8	260	0,5	45	0,83	0,00000079	0,00040463	Berisiko
34	0,0010568	8	260	0,3	70	0,83	0,00000034	0,00017341	Berisiko
35	0,0010568	8	260	0,5	50	0,83	0,00000071	0,00036417	Berisiko
36	0,0010568	8	260	0,7	75	0,83	0,00000063	0,00032371	Berisiko

Hasil Perhitungan *Intake Lifetime* dan ECR Logam Cr

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>lifetime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0010568	8	260	26,58	55	0,83	0,00003451	0,01760156	Berisiko
2	0,0010568	8	260	26,25	62	0,83	0,00003023	0,01541850	Berisiko
3	0,0010568	8	260	33,33	45	0,83	0,00005289	0,02697558	Berisiko
4	0,0010568	8	260	17,58	70	0,83	0,00001794	0,00914761	Berisiko
5	0,0010568	8	260	21,58	58	0,83	0,00002657	0,01355174	Berisiko
6	0,0010568	8	260	25,25	68	0,83	0,00002651	0,01352250	Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>lifetime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
7	0,0010568	8	260	28,25	60	0,83	0,00003362	0,01714635	Berisiko
8	0,0010568	8	260	19,17	35	0,83	0,00003910	0,01994266	Berisiko
9	0,0010568	8	260	32,58	35	0,83	0,00006648	0,03390252	Berisiko
10	0,0010568	8	260	31,58	40	0,83	0,00005638	0,02875428	Berisiko
11	0,0010568	8	260	19,50	85	0,83	0,00001638	0,00835449	Berisiko
12	0,0010568	8	260	30,58	32	0,83	0,00006824	0,03480482	Berisiko
13	0,0010568	8	260	29,33	90	0,83	0,00002327	0,01186925	Berisiko
14	0,0010568	8	260	27,50	55	0,83	0,00003570	0,01820851	Berisiko
15	0,0010568	8	260	19,25	60	0,83	0,00002291	0,01168380	Berisiko
16	0,0010568	8	260	20,58	70	0,83	0,00002100	0,01070834	Berisiko
17	0,0010568	8	260	27,50	60	0,83	0,00003273	0,01669114	Berisiko
18	0,0010568	6	260	30,67	75	0,83	0,00002190	0,01116789	Berisiko
19	0,0010568	6	260	8,75	67	0,83	0,00000699	0,00356697	Berisiko
20	0,0010568	6	260	22,25	105	0,83	0,00001135	0,00578771	Berisiko
21	0,0010568	8	260	20,00	48	0,83	0,00002975	0,01517376	Berisiko
22	0,0010568	8	260	21,00	101	0,83	0,00001485	0,00757186	Berisiko
23	0,0010568	8	260	37,00	46	0,83	0,00005744	0,02929196	Berisiko
24	0,0010568	8	260	37,00	98	0,83	0,00002696	0,01374929	Berisiko
25	0,0010568	8	260	21,58	50	0,83	0,00003082	0,01572002	Berisiko
26	0,0010568	8	260	31,58	66	0,83	0,00003417	0,01742684	Berisiko
27	0,0010568	8	260	26,33	66	0,83	0,00002849	0,01453003	Berisiko
28	0,0010568	8	260	28,00	65	0,83	0,00003076	0,01568734	Berisiko
29	0,0010568	8	260	32,25	58	0,83	0,00003970	0,02024912	Berisiko
30	0,0010568	8	260	31,50	55	0,83	0,00004090	0,02085703	Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>lifetime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
31	0,0010568	8	260	33,42	70	0,83	0,00003409	0,01738480	Berisiko
32	0,0010568	8	260	34,33	109	0,83	0,00002249	0,01147081	Berisiko
33	0,0010568	8	260	27,50	45	0,83	0,00004364	0,02225485	Berisiko
34	0,0010568	8	260	26,33	70	0,83	0,00002686	0,01369974	Berisiko
35	0,0010568	8	260	15,50	50	0,83	0,00002214	0,01128928	Berisiko
36	0,0010568	8	260	29,67	75	0,83	0,00002825	0,01440496	Berisiko

Hasil Perhitungan *Intake Realtime* dan ECR Logam Ni

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0014358	8	260	0,6	55	0,83	0,00000103	0,00000094	Tidak Berisiko
2	0,0014358	8	260	0,3	62	0,83	0,00000039	0,00000036	Tidak Berisiko
3	0,0014358	8	260	0,3	45	0,83	0,00000072	0,00000065	Tidak Berisiko
4	0,0014358	8	260	0,6	70	0,83	0,00000081	0,00000074	Tidak Berisiko
5	0,0014358	8	260	0,6	58	0,83	0,00000098	0,00000089	Tidak Berisiko
6	0,0014358	8	260	0,3	68	0,83	0,00000036	0,00000032	Tidak Berisiko
7	0,0014358	8	260	0,3	60	0,83	0,00000040	0,00000037	Tidak Berisiko
8	0,0014358	8	260	0,2	35	0,83	0,00000046	0,00000042	Tidak Berisiko
9	0,0014358	8	260	0,6	35	0,83	0,00000162	0,00000147	Tidak Berisiko
10	0,0014358	8	260	0,6	40	0,83	0,00000141	0,00000129	Tidak Berisiko
11	0,0014358	8	260	1,5	85	0,83	0,00000171	0,00000156	Tidak Berisiko
12	0,0014358	8	260	0,6	32	0,83	0,00000177	0,00000161	Tidak Berisiko
13	0,0014358	8	260	0,3	90	0,83	0,00000036	0,00000033	Tidak Berisiko
14	0,0014358	8	260	0,5	55	0,83	0,00000088	0,00000080	Tidak Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m3/jam)	I <i>realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
15	0,0014358	8	260	0,3	60	0,83	0,00000040	0,00000037	Tidak Berisiko
16	0,0014358	8	260	0,6	70	0,83	0,00000081	0,00000074	Tidak Berisiko
17	0,0014358	8	260	0,5	60	0,83	0,00000081	0,00000074	Tidak Berisiko
18	0,0014358	8	260	0,7	75	0,83	0,00000086	0,00000078	Tidak Berisiko
19	0,0014358	8	260	2,8	67	0,83	0,00000398	0,00000362	Tidak Berisiko
20	0,0014358	8	260	1,3	105	0,83	0,00000115	0,00000105	Tidak Berisiko
21	0,0014358	8	260	1,0	48	0,83	0,00000202	0,00000184	Tidak Berisiko
22	0,0014358	8	260	2,0	101	0,83	0,00000192	0,00000175	Tidak Berisiko
23	0,0014358	8	260	2,0	46	0,83	0,00000422	0,00000384	Tidak Berisiko
24	0,0014358	8	260	8,0	98	0,83	0,00000792	0,00000721	Tidak Berisiko
25	0,0014358	8	260	0,6	50	0,83	0,00000113	0,00000103	Tidak Berisiko
26	0,0014358	8	260	0,6	66	0,83	0,00000086	0,00000078	Tidak Berisiko
27	0,0014358	8	260	0,3	66	0,83	0,00000049	0,00000045	Tidak Berisiko
28	0,0014358	8	260	3,0	65	0,83	0,00000448	0,00000407	Tidak Berisiko
29	0,0014358	8	260	0,3	58	0,83	0,00000042	0,00000038	Tidak Berisiko
30	0,0014358	8	260	0,5	55	0,83	0,00000088	0,00000080	Tidak Berisiko
31	0,0014358	8	260	0,4	70	0,83	0,00000058	0,00000053	Tidak Berisiko
32	0,0014358	8	260	0,3	109	0,83	0,00000030	0,00000027	Tidak Berisiko
33	0,0014358	8	260	0,5	45	0,83	0,00000108	0,00000098	Tidak Berisiko
34	0,0014358	8	260	0,3	70	0,83	0,00000046	0,00000042	Tidak Berisiko
35	0,0014358	8	260	0,5	50	0,83	0,00000097	0,00000088	Tidak Berisiko
36	0,0014358	8	260	0,7	75	0,83	0,00000086	0,00000078	Tidak Berisiko

Hasil Perhitungan *Intake Lifetime* dan ECR Logam Ni

Responden	Konsentrasi (mg/m³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m3/jam)	I <i>Lifetime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0014358	8	260	26,58	55	0,83	0,00004689	0,00004267	Tidak Berisiko
2	0,0014358	8	260	26,25	62	0,83	0,00004107	0,00003738	Tidak Berisiko
3	0,0014358	8	260	33,33	45	0,83	0,00007186	0,00006540	Tidak Berisiko
4	0,0014358	8	260	17,58	70	0,83	0,00002437	0,00002218	Tidak Berisiko
5	0,0014358	8	260	21,58	58	0,83	0,00003610	0,00003285	Tidak Berisiko
6	0,0014358	8	260	25,25	68	0,83	0,00003602	0,00003278	Tidak Berisiko
7	0,0014358	8	260	28,25	60	0,83	0,00004568	0,00004157	Tidak Berisiko
8	0,0014358	8	260	19,17	35	0,83	0,00005313	0,00004835	Tidak Berisiko
9	0,0014358	8	260	32,58	35	0,83	0,00009032	0,00008219	Tidak Berisiko
10	0,0014358	8	260	31,58	40	0,83	0,00007660	0,00006971	Tidak Berisiko
11	0,0014358	8	260	19,50	85	0,83	0,00002226	0,00002025	Tidak Berisiko
12	0,0014358	8	260	30,58	32	0,83	0,00009272	0,00008437	Tidak Berisiko
13	0,0014358	8	260	29,33	90	0,83	0,00003162	0,00002877	Tidak Berisiko
14	0,0014358	8	260	27,50	55	0,83	0,00004851	0,00004414	Tidak Berisiko
15	0,0014358	8	260	19,25	60	0,83	0,00003113	0,00002832	Tidak Berisiko
16	0,0014358	8	260	20,58	70	0,83	0,00002853	0,00002596	Tidak Berisiko
17	0,0014358	8	260	27,50	60	0,83	0,00004447	0,00004046	Tidak Berisiko
18	0,0014358	6	260	30,67	75	0,83	0,00002975	0,00002707	Tidak Berisiko
19	0,0014358	6	260	8,75	67	0,83	0,00000950	0,00000865	Tidak Berisiko
20	0,0014358	6	260	22,25	105	0,83	0,00001542	0,00001403	Tidak Berisiko
21	0,0014358	8	260	20,00	48	0,83	0,00004042	0,00003678	Tidak Berisiko
22	0,0014358	8	260	21,00	101	0,83	0,00002017	0,00001836	Tidak Berisiko
23	0,0014358	8	260	37,00	46	0,83	0,00007803	0,00007101	Tidak Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m3/jam)	I Lifetime (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
24	0,0014358	8	260	37,00	98	0,83	0,00003663	0,00003333	Tidak Berisiko
25	0,0014358	8	260	21,58	50	0,83	0,00004188	0,00003811	Tidak Berisiko
26	0,0014358	8	260	31,58	66	0,83	0,00004642	0,00004225	Tidak Berisiko
27	0,0014358	8	260	26,33	66	0,83	0,00003871	0,00003522	Tidak Berisiko
28	0,0014358	8	260	28,00	65	0,83	0,00004179	0,00003803	Tidak Berisiko
29	0,0014358	8	260	32,25	58	0,83	0,00005394	0,00004909	Tidak Berisiko
30	0,0014358	8	260	31,50	55	0,83	0,00005556	0,00005056	Tidak Berisiko
31	0,0014358	8	260	33,42	70	0,83	0,00004631	0,00004214	Tidak Berisiko
32	0,0014358	8	260	34,33	109	0,83	0,00003056	0,00002781	Tidak Berisiko
33	0,0014358	8	260	27,50	45	0,83	0,00005929	0,00005395	Tidak Berisiko
34	0,0014358	8	260	26,33	70	0,83	0,00003650	0,00003321	Tidak Berisiko
35	0,0014358	8	260	15,50	50	0,83	0,00003007	0,00002737	Tidak Berisiko
36	0,0014358	8	260	29,67	75	0,83	0,00003837	0,00003492	Tidak Berisiko

Hasil Perhitungan *Intake Realtime* dan ECR Logam Pb

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m3/jam)	I Realtime (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0016392	8	260	0,6	55	0,83	0,00000117	0,00000005	Tidak Berisiko
2	0,0016392	8	260	0,3	62	0,83	0,00000045	0,00000002	Tidak Berisiko
3	0,0016392	8	260	0,3	45	0,83	0,00000082	0,00000003	Tidak Berisiko
4	0,0016392	8	260	0,6	70	0,83	0,00000092	0,00000004	Tidak Berisiko
5	0,0016392	8	260	0,6	58	0,83	0,00000111	0,00000005	Tidak Berisiko
6	0,0016392	8	260	0,3	68	0,83	0,00000041	0,00000002	Tidak Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m3/jam)	I <i>Realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
7	0,0016392	8	260	0,3	60	0,83	0,00000046	0,00000002	Tidak Berisiko
8	0,0016392	8	260	0,2	35	0,83	0,00000053	0,00000002	Tidak Berisiko
9	0,0016392	8	260	0,6	35	0,83	0,00000185	0,00000008	Tidak Berisiko
10	0,0016392	8	260	0,6	40	0,83	0,00000162	0,00000007	Tidak Berisiko
11	0,0016392	8	260	1,5	85	0,83	0,00000195	0,00000008	Tidak Berisiko
12	0,0016392	8	260	0,6	32	0,83	0,00000202	0,00000008	Tidak Berisiko
13	0,0016392	8	260	0,3	90	0,83	0,00000041	0,00000002	Tidak Berisiko
14	0,0016392	8	260	0,5	55	0,83	0,00000101	0,00000004	Tidak Berisiko
15	0,0016392	8	260	0,3	60	0,83	0,00000046	0,00000002	Tidak Berisiko
16	0,0016392	8	260	0,6	70	0,83	0,00000092	0,00000004	Tidak Berisiko
17	0,0016392	8	260	0,5	60	0,83	0,00000092	0,00000004	Tidak Berisiko
18	0,0016392	8	260	0,7	75	0,83	0,00000098	0,00000004	Tidak Berisiko
19	0,0016392	8	260	2,8	67	0,83	0,00000455	0,00000019	Tidak Berisiko
20	0,0016392	8	260	1,3	105	0,83	0,00000132	0,00000006	Tidak Berisiko
21	0,0016392	8	260	1,0	48	0,83	0,00000231	0,00000010	Tidak Berisiko
22	0,0016392	8	260	2,0	101	0,83	0,00000219	0,00000009	Tidak Berisiko
23	0,0016392	8	260	2,0	46	0,83	0,00000482	0,00000020	Tidak Berisiko
24	0,0016392	8	260	8,0	98	0,83	0,00000904	0,00000038	Tidak Berisiko
25	0,0016392	8	260	0,6	50	0,83	0,00000129	0,00000005	Tidak Berisiko
26	0,0016392	8	260	0,6	66	0,83	0,00000098	0,00000004	Tidak Berisiko
27	0,0016392	8	260	0,3	66	0,83	0,00000056	0,00000002	Tidak Berisiko
28	0,0016392	8	260	3,0	65	0,83	0,00000511	0,00000021	Tidak Berisiko
29	0,0016392	8	260	0,3	58	0,83	0,00000048	0,00000002	Tidak Berisiko
30	0,0016392	8	260	0,5	55	0,83	0,00000101	0,00000004	Tidak Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m3/jam)	I <i>Realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
31	0,0016392	8	260	0,4	70	0,83	0,00000066	0,00000003	Tidak Berisiko
32	0,0016392	8	260	0,3	109	0,83	0,00000034	0,00000001	Tidak Berisiko
33	0,0016392	8	260	0,5	45	0,83	0,00000123	0,00000005	Tidak Berisiko
34	0,0016392	8	260	0,3	70	0,83	0,00000053	0,00000002	Tidak Berisiko
35	0,0016392	8	260	0,5	50	0,83	0,00000111	0,00000005	Tidak Berisiko
36	0,0016392	8	260	0,7	75	0,83	0,00000098	0,00000004	Tidak Berisiko

Hasil Perhitungan *Intake Lifetime* dan ECR Logam Pb

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m3/jam)	I <i>Lifetime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0016392	8	260	26,58	55	0,83	0,00005353	0,00000225	Tidak Berisiko
2	0,0016392	8	260	26,25	62	0,83	0,00004689	0,00000197	Tidak Berisiko
3	0,0016392	8	260	33,33	45	0,83	0,00008204	0,00000345	Tidak Berisiko
4	0,0016392	8	260	17,58	70	0,83	0,00002782	0,00000117	Tidak Berisiko
5	0,0016392	8	260	21,58	58	0,83	0,00004122	0,00000173	Tidak Berisiko
6	0,0016392	8	260	25,25	68	0,83	0,00004113	0,00000173	Tidak Berisiko
7	0,0016392	8	260	28,25	60	0,83	0,00005215	0,00000219	Tidak Berisiko
8	0,0016392	8	260	19,17	35	0,83	0,00006065	0,00000255	Tidak Berisiko
9	0,0016392	8	260	32,58	35	0,83	0,00010311	0,00000433	Tidak Berisiko
10	0,0016392	8	260	31,58	40	0,83	0,00008745	0,00000367	Tidak Berisiko
11	0,0016392	8	260	19,50	85	0,83	0,00002541	0,00000107	Tidak Berisiko
12	0,0016392	8	260	30,58	32	0,83	0,00010586	0,00000445	Tidak Berisiko
13	0,0016392	8	260	29,33	90	0,83	0,00003610	0,00000152	Tidak Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I Lifetime (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
14	0,0016392	8	260	27,50	55	0,83	0,00005538	0,00000233	Tidak Berisiko
15	0,0016392	8	260	19,25	60	0,83	0,00003554	0,00000149	Tidak Berisiko
16	0,0016392	8	260	20,58	70	0,83	0,00003257	0,00000137	Tidak Berisiko
17	0,0016392	8	260	27,50	60	0,83	0,00005076	0,00000213	Tidak Berisiko
18	0,0016392	6	260	30,67	75	0,83	0,00003397	0,00000143	Tidak Berisiko
19	0,0016392	6	260	8,75	67	0,83	0,00001085	0,00000046	Tidak Berisiko
20	0,0016392	6	260	22,25	105	0,83	0,00001760	0,00000074	Tidak Berisiko
21	0,0016392	8	260	20,00	48	0,83	0,00004615	0,00000194	Tidak Berisiko
22	0,0016392	8	260	21,00	101	0,83	0,00002303	0,00000097	Tidak Berisiko
23	0,0016392	8	260	37,00	46	0,83	0,00008909	0,00000374	Tidak Berisiko
24	0,0016392	8	260	37,00	98	0,83	0,00004182	0,00000176	Tidak Berisiko
25	0,0016392	8	260	21,58	50	0,83	0,00004781	0,00000201	Tidak Berisiko
26	0,0016392	8	260	31,58	66	0,83	0,00005300	0,00000223	Tidak Berisiko
27	0,0016392	8	260	26,33	66	0,83	0,00004419	0,00000186	Tidak Berisiko
28	0,0016392	8	260	28,00	65	0,83	0,00004771	0,00000200	Tidak Berisiko
29	0,0016392	8	260	32,25	58	0,83	0,00006159	0,00000259	Tidak Berisiko
30	0,0016392	8	260	31,50	55	0,83	0,00006343	0,00000266	Tidak Berisiko
31	0,0016392	8	260	33,42	70	0,83	0,00005287	0,00000222	Tidak Berisiko
32	0,0016392	8	260	34,33	109	0,83	0,00003489	0,00000147	Tidak Berisiko
33	0,0016392	8	260	27,50	45	0,83	0,00006769	0,00000284	Tidak Berisiko
34	0,0016392	8	260	26,33	70	0,83	0,00004167	0,00000175	Tidak Berisiko
35	0,0016392	8	260	15,50	50	0,83	0,00003434	0,00000144	Tidak Berisiko
36	0,0016392	8	260	29,67	75	0,83	0,00004381	0,00000184	Tidak Berisiko

CONTOH PERHITUNGAN	Karakteristik Risiko Kesehatan
<p>Analisis pajanan</p> <p>Menghitung <i>intake realtime</i> karsinogenik logam Cr pada PM_{2,5}</p> <p>Contoh :</p> $I_k = \frac{C \times R \times f_E \times t_E \times D_t}{W_b \times \text{tagv}}$ $I_k = \frac{0,00106 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 260 \text{ hari/ tahun} \times 8 \text{ jam /Hari} \times 0,6 \text{ Tahun}}{55 \text{ kg} \times 25.550 \text{ hari}}$ <p>$I_k = 7,6 \times 10^{-7} \text{ mg/kg hari}$</p>	<p>Menghitung ECR <i>realtime</i> logam Cr pada PM_{2,5}</p> <p>Contoh :</p> <p>ECR = I x SF</p> <p>ECR = $(7,6 \times 10^{-7}) \times 510$</p> <p>ECR = $3,8 \times 10^{-4}$ (Berisiko)</p>

Pengolahan Risiko Logam Cr Realtime PM_{2,5}

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Pajanan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Pajanan Aman (hari/tahun)
1	0,0010568	8	260	0,6	55	0,83	510	0,0002736	2	67
2	0,0010568	8	260	0,3	62	0,83	510	0,0007197	5	177
3	0,0010568	8	260	0,3	45	0,83	510	0,0003918	3	96
4	0,0010568	8	260	0,6	70	0,83	510	0,0003482	3	86
5	0,0010568	8	260	0,6	58	0,83	510	0,0002885	2	71
6	0,0010568	8	260	0,3	68	0,83	510	0,0007893	6	194
7	0,0010568	8	260	0,3	60	0,83	510	0,0006965	5	171
8	0,0010568	8	260	0,2	35	0,83	510	0,0006094	5	150

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Paparan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
9	0,0010568	8	260	0,6	35	0,83	510	0,0001741	1	43
10	0,0010568	8	260	0,6	40	0,83	510	0,0001990	2	49
11	0,0010568	8	260	1,5	85	0,83	510	0,0001644	1	40
12	0,0010568	8	260	0,6	32	0,83	510	0,0001592	1	39
13	0,0010568	8	260	0,3	90	0,83	510	0,0007835	6	193
14	0,0010568	8	260	0,5	55	0,83	510	0,0003192	2	79
15	0,0010568	8	260	0,3	60	0,83	510	0,0006965	5	171
16	0,0010568	8	260	0,6	70	0,83	510	0,0003482	3	86
17	0,0010568	8	260	0,5	60	0,83	510	0,0003482	3	86
18	0,0010568	8	260	0,7	75	0,83	510	0,0003265	2	80
19	0,0010568	8	260	2,8	67	0,83	510	0,0000707	1	17
20	0,0010568	8	260	1,3	105	0,83	510	0,0002438	2	60
21	0,0010568	8	260	1,0	48	0,83	510	0,0001393	1	34
22	0,0010568	8	260	2,0	101	0,83	510	0,0001465	1	36
23	0,0010568	8	260	2,0	46	0,83	510	0,0000667	1	16
24	0,0010568	8	260	8,0	98	0,83	510	0,0000355	1	9
25	0,0010568	8	260	0,6	50	0,83	510	0,0002487	2	61
26	0,0010568	8	260	0,6	66	0,83	510	0,0003283	2	81
27	0,0010568	8	260	0,3	66	0,83	510	0,0005746	4	141
28	0,0010568	8	260	3,0	65	0,83	510	0,0000629	1	15
29	0,0010568	8	260	0,3	58	0,83	510	0,0006732	5	166
30	0,0010568	8	260	0,5	55	0,83	510	0,0003192	2	79
31	0,0010568	8	260	0,4	70	0,83	510	0,0004875	4	120
32	0,0010568	8	260	0,3	109	0,83	510	0,0009489	7	233

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Paparan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
33	0,0010568	8	260	0,5	45	0,83	510	0,0002612	2	64
34	0,0010568	8	260	0,3	70	0,83	510	0,0006094	5	150
35	0,0010568	8	260	0,5	50	0,83	510	0,0002902	2	71
36	0,0010568	8	260	0,7	75	0,83	510	0,0003265	2	80

Pengolahan Risiko Logam Cr *Lifetime* PM_{2,5}

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Paparan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
1	0,0010568	8	260	26,58	55	0,83	510	0,0000060	1	1
2	0,0010568	8	260	26,25	62	0,83	510	0,0000069	1	2
3	0,0010568	8	260	33,33	45	0,83	510	0,0000039	1	1
4	0,0010568	8	260	17,58	70	0,83	510	0,0000116	1	3
5	0,0010568	8	260	21,58	58	0,83	510	0,0000078	1	2
6	0,0010568	8	260	25,25	68	0,83	510	0,0000078	1	2
7	0,0010568	8	260	28,25	60	0,83	510	0,0000062	1	2
8	0,0010568	8	260	19,17	35	0,83	510	0,0000053	1	1
9	0,0010568	8	260	32,58	35	0,83	510	0,0000031	1	1
10	0,0010568	8	260	31,58	40	0,83	510	0,0000037	1	1
11	0,0010568	8	260	19,50	85	0,83	510	0,0000126	1	3
12	0,0010568	8	260	30,58	32	0,83	510	0,0000030	1	1
13	0,0010568	8	260	29,33	90	0,83	510	0,0000089	1	2
14	0,0010568	8	260	27,50	55	0,83	510	0,0000058	1	1

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Pajanan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Pajanan Aman (hari/tahun)
15	0,0010568	8	260	19,25	60	0,83	510	0,0000090	1	2
16	0,0010568	8	260	20,58	70	0,83	510	0,0000099	1	2
17	0,0010568	8	260	27,50	60	0,83	510	0,0000063	1	2
18	0,0010568	6	260	30,67	75	0,83	510	0,0000095	1	2
19	0,0010568	6	260	8,75	67	0,83	510	0,0000296	1	7
20	0,0010568	6	260	22,25	105	0,83	510	0,0000183	1	4
21	0,0010568	8	260	20,00	48	0,83	510	0,0000070	1	2
22	0,0010568	8	260	21,00	101	0,83	510	0,0000140	1	3
23	0,0010568	8	260	37,00	46	0,83	510	0,0000036	1	1
24	0,0010568	8	260	37,00	98	0,83	510	0,0000077	1	2
25	0,0010568	8	260	21,58	50	0,83	510	0,0000067	1	2
26	0,0010568	8	260	31,58	66	0,83	510	0,0000061	1	1
27	0,0010568	8	260	26,33	66	0,83	510	0,0000073	1	2
28	0,0010568	8	260	28,00	65	0,83	510	0,0000067	1	2
29	0,0010568	8	260	32,25	58	0,83	510	0,0000052	1	1
30	0,0010568	8	260	31,50	55	0,83	510	0,0000051	1	1
31	0,0010568	8	260	33,42	70	0,83	510	0,0000061	1	1
32	0,0010568	8	260	34,33	109	0,83	510	0,0000092	1	2
33	0,0010568	8	260	27,50	45	0,83	510	0,0000047	1	1
34	0,0010568	8	260	26,33	70	0,83	510	0,0000077	1	2
35	0,0010568	8	260	15,50	50	0,83	510	0,0000094	1	2
36	0,0010568	8	260	29,67	75	0,83	510	0,0000073	1	2

CONTOH PERHITUNGAN**Pengelolaan Risiko**

a) Konsentrasi aman logam Cr pada PM_{2,5}

Contoh :

$$C_{k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/\text{SF}) \times W_b \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{R \times t_E \times f_E \times D_t}$$

$$C_{k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/510) \times 55 \text{ Kg} \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 260 \text{ hari.tahun} \times 0,6 \text{ tahun}}$$

$$C_{k(\text{aman})} = 2,7 \times 10^{-4}$$

b) Waktu pajanan aman logam Cr pada PM_{2,5}

Contoh :

$$t_{E_k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/\text{SF}) \times W_b \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{C \times R \times f_E \times D_t}$$

$$t_{E_k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/510) \times 55 \text{ Kg} \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{0,00106 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 260 \text{ hari.tahun} \times 0,6 \text{ tahun}}$$

$$t_{E_k(\text{aman})} = 2 \text{ jam/hari}$$

c) Frekuensi pajanan aman logam Cr pada PM_{2,5}

$$f_{E_k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/\text{SF}) \times W_b \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{C \times R \times t_E \times D_t}$$

$$f_{E_k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/510) \times 55 \text{ Kg} \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{0,00106 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 0,6 \text{ tahun}}$$

$$f_{E_k(\text{aman})} = 67 \text{ hari/tahun}$$

C. Perhitungan ARKL Logam Cr, Ni dan Pb pada Debu *Respirable*

Hasil Perhitungan *Intake Realtime* dan ECR Logam Cr

Responden	Konsentrasi (mg/m³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m³/jam)	I <i>Realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0018638	8	260	0,6	55	0,83	0,00000134	0,00068122	Berisiko
2	0,0018638	8	260	0,3	62	0,83	0,00000051	0,00025899	Berisiko
3	0,0018638	8	260	0,3	45	0,83	0,00000093	0,00047577	Berisiko
4	0,0018638	8	260	0,6	70	0,83	0,00000105	0,00053524	Berisiko
5	0,0018638	8	260	0,6	58	0,83	0,00000127	0,00064598	Berisiko
6	0,0018638	8	260	0,3	68	0,83	0,00000046	0,00023614	Berisiko
7	0,0018638	8	260	0,3	60	0,83	0,00000052	0,00026762	Berisiko
8	0,0018638	8	260	0,2	35	0,83	0,00000060	0,00030585	Berisiko
9	0,0018638	8	260	0,6	35	0,83	0,00000210	0,00107048	Berisiko
10	0,0018638	8	260	0,6	40	0,83	0,00000184	0,00093667	Berisiko
11	0,0018638	8	260	1,5	85	0,83	0,00000222	0,00113345	Berisiko
12	0,0018638	8	260	0,6	32	0,83	0,00000230	0,00117084	Berisiko
13	0,0018638	8	260	0,3	90	0,83	0,00000047	0,00023789	Berisiko
14	0,0018638	8	260	0,5	55	0,83	0,00000114	0,00058390	Berisiko
15	0,0018638	8	260	0,3	60	0,83	0,00000052	0,00026762	Berisiko
16	0,0018638	8	260	0,6	70	0,83	0,00000105	0,00053524	Berisiko
17	0,0018638	8	260	0,5	60	0,83	0,00000105	0,00053524	Berisiko
18	0,0018638	8	260	0,7	75	0,83	0,00000112	0,00057092	Berisiko
19	0,0018638	8	260	2,8	67	0,83	0,00000517	0,00263626	Berisiko
20	0,0018638	8	260	1,3	105	0,83	0,00000150	0,00076463	Berisiko
21	0,0018638	8	260	1,0	48	0,83	0,00000262	0,00133810	Berisiko
22	0,0018638	8	260	2,0	101	0,83	0,00000249	0,00127186	Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>Realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
23	0,0018638	8	260	2,0	46	0,83	0,00000548	0,00279256	Berisiko
24	0,0018638	8	260	8,0	98	0,83	0,00001028	0,00524318	Berisiko
25	0,0018638	8	260	0,6	50	0,83	0,00000147	0,00074934	Berisiko
26	0,0018638	8	260	0,6	66	0,83	0,00000111	0,00056768	Berisiko
27	0,0018638	8	260	0,3	66	0,83	0,00000064	0,00032439	Berisiko
28	0,0018638	8	260	3,0	65	0,83	0,00000581	0,00296441	Berisiko
29	0,0018638	8	260	0,3	58	0,83	0,00000054	0,00027685	Berisiko
30	0,0018638	8	260	0,5	55	0,83	0,00000114	0,00058390	Berisiko
31	0,0018638	8	260	0,4	70	0,83	0,00000075	0,00038232	Berisiko
32	0,0018638	8	260	0,3	109	0,83	0,00000039	0,00019642	Berisiko
33	0,0018638	8	260	0,5	45	0,83	0,00000140	0,00071366	Berisiko
34	0,0018638	8	260	0,3	70	0,83	0,00000060	0,00030585	Berisiko
35	0,0018638	8	260	0,5	50	0,83	0,00000126	0,00064229	Berisiko
36	0,0018638	8	260	0,7	75	0,83	0,00000112	0,00057092	Berisiko

Hasil Perhitungan *Intake Lifetime* dan ECR Logam Cr

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>Lifetime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0018638	8	260	26,58	55	0,83	0,00006087	0,03104401	Berisiko
2	0,0018638	8	260	26,25	62	0,83	0,00005332	0,02719372	Berisiko
3	0,0018638	8	260	33,33	45	0,83	0,00009329	0,04757703	Berisiko
4	0,0018638	8	260	17,58	70	0,83	0,00003163	0,01613371	Berisiko
5	0,0018638	8	260	21,58	58	0,83	0,00004687	0,02390130	Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I Lifetime (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
6	0,0018638	8	260	25,25	68	0,83	0,00004676	0,02384973	Berisiko
7	0,0018638	8	260	28,25	60	0,83	0,00005930	0,03024115	Berisiko
8	0,0018638	8	260	19,17	35	0,83	0,00006897	0,03517302	Berisiko
9	0,0018638	8	260	32,58	35	0,83	0,00011724	0,05979413	Berisiko
10	0,0018638	8	260	31,58	40	0,83	0,00009944	0,05071414	Berisiko
11	0,0018638	8	260	19,50	85	0,83	0,00002889	0,01473489	Berisiko
12	0,0018638	8	260	30,58	32	0,83	0,00012036	0,06138552	Berisiko
13	0,0018638	8	260	29,33	90	0,83	0,00004105	0,02093389	Berisiko
14	0,0018638	8	260	27,50	55	0,83	0,00006297	0,03211449	Berisiko
15	0,0018638	8	260	19,25	60	0,83	0,00004041	0,02060680	Berisiko
16	0,0018638	8	260	20,58	70	0,83	0,00003703	0,01888638	Berisiko
17	0,0018638	8	260	27,50	60	0,83	0,00005772	0,02943829	Berisiko
18	0,0018638	6	260	30,67	75	0,83	0,00003862	0,01969689	Berisiko
19	0,0018638	6	260	8,75	67	0,83	0,00001234	0,00629109	Berisiko
20	0,0018638	6	260	22,25	105	0,83	0,00002002	0,01020782	Berisiko
21	0,0018638	8	260	20,00	48	0,83	0,00005247	0,02676208	Berisiko
22	0,0018638	8	260	21,00	101	0,83	0,00002619	0,01335454	Berisiko
23	0,0018638	8	260	37,00	46	0,83	0,00010130	0,05166245	Berisiko
24	0,0018638	8	260	37,00	98	0,83	0,00004755	0,02424972	Berisiko
25	0,0018638	8	260	21,58	50	0,83	0,00005436	0,02772551	Berisiko
26	0,0018638	8	260	31,58	66	0,83	0,00006027	0,03073584	Berisiko
27	0,0018638	8	260	26,33	66	0,83	0,00005025	0,02562672	Berisiko
28	0,0018638	8	260	28,00	65	0,83	0,00005425	0,02766787	Berisiko
29	0,0018638	8	260	32,25	58	0,83	0,00007003	0,03571353	Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I Lifetime (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
30	0,0018638	8	260	31,50	55	0,83	0,00007213	0,03678569	Berisiko
31	0,0018638	8	260	33,42	70	0,83	0,00006012	0,03066170	Berisiko
32	0,0018638	8	260	34,33	109	0,83	0,00003967	0,02023115	Berisiko
33	0,0018638	8	260	27,50	45	0,83	0,00007696	0,03925105	Berisiko
34	0,0018638	8	260	26,33	70	0,83	0,00004738	0,02416233	Berisiko
35	0,0018638	8	260	15,50	50	0,83	0,00003904	0,01991099	Berisiko
36	0,0018638	8	260	29,67	75	0,83	0,00004982	0,02540613	Berisiko

Hasil Perhitungan *Intake Realtime* dan ECR Logam Ni

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I Realtime (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0026218	8	260	0,6	55	0,83	0,00000188	0,000002	Tidak Berisiko
2	0,0026218	8	260	0,3	62	0,83	0,00000071	0,000001	Tidak Berisiko
3	0,0026218	8	260	0,3	45	0,83	0,00000131	0,000001	Tidak Berisiko
4	0,0026218	8	260	0,6	70	0,83	0,00000148	0,000001	Tidak Berisiko
5	0,0026218	8	260	0,6	58	0,83	0,00000178	0,000002	Tidak Berisiko
6	0,0026218	8	260	0,3	68	0,83	0,00000065	0,000001	Tidak Berisiko
7	0,0026218	8	260	0,3	60	0,83	0,00000074	0,000001	Tidak Berisiko
8	0,0026218	8	260	0,2	35	0,83	0,00000084	0,000001	Tidak Berisiko
9	0,0026218	8	260	0,6	35	0,83	0,00000295	0,000003	Tidak Berisiko
10	0,0026218	8	260	0,6	40	0,83	0,00000258	0,000002	Tidak Berisiko
11	0,0026218	8	260	1,5	85	0,83	0,00000313	0,000003	Tidak Berisiko
12	0,0026218	8	260	0,6	32	0,83	0,00000323	0,000003	Tidak Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>Realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
13	0,0026218	8	260	0,3	90	0,83	0,00000066	0,000001	Tidak Berisiko
14	0,0026218	8	260	0,5	55	0,83	0,00000161	0,000001	Tidak Berisiko
15	0,0026218	8	260	0,3	60	0,83	0,00000074	0,000001	Tidak Berisiko
16	0,0026218	8	260	0,6	70	0,83	0,00000148	0,000001	Tidak Berisiko
17	0,0026218	8	260	0,5	60	0,83	0,00000148	0,000001	Tidak Berisiko
18	0,0026218	8	260	0,7	75	0,83	0,00000157	0,000001	Tidak Berisiko
19	0,0026218	8	260	2,8	67	0,83	0,00000727	0,000007	Tidak Berisiko
20	0,0026218	8	260	1,3	105	0,83	0,00000211	0,000002	Tidak Berisiko
21	0,0026218	8	260	1,0	48	0,83	0,00000369	0,000003	Tidak Berisiko
22	0,0026218	8	260	2,0	101	0,83	0,00000351	0,000003	Tidak Berisiko
23	0,0026218	8	260	2,0	46	0,83	0,00000770	0,000007	Tidak Berisiko
24	0,0026218	8	260	8,0	98	0,83	0,00001446	0,000013	Tidak Berisiko
25	0,0026218	8	260	0,6	50	0,83	0,00000207	0,000002	Tidak Berisiko
26	0,0026218	8	260	0,6	66	0,83	0,00000157	0,000001	Tidak Berisiko
27	0,0026218	8	260	0,3	66	0,83	0,00000089	0,000001	Tidak Berisiko
28	0,0026218	8	260	3,0	65	0,83	0,00000818	0,000007	Tidak Berisiko
29	0,0026218	8	260	0,3	58	0,83	0,00000076	0,000001	Tidak Berisiko
30	0,0026218	8	260	0,5	55	0,83	0,00000161	0,000001	Tidak Berisiko
31	0,0026218	8	260	0,4	70	0,83	0,00000105	0,000001	Tidak Berisiko
32	0,0026218	8	260	0,3	109	0,83	0,00000054	0,000000	Tidak Berisiko
33	0,0026218	8	260	0,5	45	0,83	0,00000197	0,000002	Tidak Berisiko
34	0,0026218	8	260	0,3	70	0,83	0,00000084	0,000001	Tidak Berisiko
35	0,0026218	8	260	0,5	50	0,83	0,00000177	0,000002	Tidak Berisiko
36	0,0026218	8	260	0,7	75	0,83	0,00000157	0,000001	Tidak Berisiko

Hasil Perhitungan *Intake Lifetime* dan ECR Logam Ni

Responden	Konsentrasi (mg/m³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m³/jam)	I <i>Lifetime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0026218	8	260	26,58	55	0,83	0,00008563	0,00007792	Tidak Berisiko
2	0,0026218	8	260	26,25	62	0,83	0,00007501	0,00006826	Tidak Berisiko
3	0,0026218	8	260	33,33	45	0,83	0,00013123	0,00011942	Berisiko
4	0,0026218	8	260	17,58	70	0,83	0,00004450	0,00004050	Tidak Berisiko
5	0,0026218	8	260	21,58	58	0,83	0,00006592	0,00005999	Tidak Berisiko
6	0,0026218	8	260	25,25	68	0,83	0,00006578	0,00005986	Tidak Berisiko
7	0,0026218	8	260	28,25	60	0,83	0,00008341	0,00007590	Tidak Berisiko
8	0,0026218	8	260	19,17	35	0,83	0,00009701	0,00008828	Tidak Berisiko
9	0,0026218	8	260	32,58	35	0,83	0,00016492	0,00015008	Berisiko
10	0,0026218	8	260	31,58	40	0,83	0,00013988	0,00012729	Berisiko
11	0,0026218	8	260	19,50	85	0,83	0,00004064	0,00003698	Tidak Berisiko
12	0,0026218	8	260	30,58	32	0,83	0,00016931	0,00015408	Berisiko
13	0,0026218	8	260	29,33	90	0,83	0,00005774	0,00005254	Tidak Berisiko
14	0,0026218	8	260	27,50	55	0,83	0,00008858	0,00008061	Tidak Berisiko
15	0,0026218	8	260	19,25	60	0,83	0,00005684	0,00005172	Tidak Berisiko
16	0,0026218	8	260	20,58	70	0,83	0,00005209	0,00004740	Tidak Berisiko
17	0,0026218	8	260	27,50	60	0,83	0,00008120	0,00007389	Tidak Berisiko
18	0,0026218	6	260	30,67	75	0,83	0,00005433	0,00004944	Tidak Berisiko
19	0,0026218	6	260	8,75	67	0,83	0,00001735	0,00001579	Tidak Berisiko
20	0,0026218	6	260	22,25	105	0,83	0,00002816	0,00002562	Tidak Berisiko
21	0,0026218	8	260	20,00	48	0,83	0,00007382	0,00006717	Tidak Berisiko
22	0,0026218	8	260	21,00	101	0,83	0,00003683	0,00003352	Tidak Berisiko
23	0,0026218	8	260	37,00	46	0,83	0,00014250	0,00012967	Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I Lifetime (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
24	0,0026218	8	260	37,00	98	0,83	0,00006689	0,00006087	Tidak Berisiko
25	0,0026218	8	260	21,58	50	0,83	0,00007647	0,00006959	Tidak Berisiko
26	0,0026218	8	260	31,58	66	0,83	0,00008478	0,00007715	Tidak Berisiko
27	0,0026218	8	260	26,33	66	0,83	0,00007068	0,00006432	Tidak Berisiko
28	0,0026218	8	260	28,00	65	0,83	0,00007631	0,00006945	Tidak Berisiko
29	0,0026218	8	260	32,25	58	0,83	0,00009851	0,00008964	Tidak Berisiko
30	0,0026218	8	260	31,50	55	0,83	0,00010146	0,00009233	Tidak Berisiko
31	0,0026218	8	260	33,42	70	0,83	0,00008457	0,00007696	Tidak Berisiko
32	0,0026218	8	260	34,33	109	0,83	0,00005580	0,00005078	Tidak Berisiko
33	0,0026218	8	260	27,50	45	0,83	0,00010826	0,00009852	Tidak Berisiko
34	0,0026218	8	260	26,33	70	0,83	0,00006664	0,00006065	Tidak Berisiko
35	0,0026218	8	260	15,50	50	0,83	0,00005492	0,00004998	Tidak Berisiko
36	0,0026218	8	260	29,67	75	0,83	0,00007008	0,00006377	Tidak Berisiko

Hasil Perhitungan Intake Realtime dan ECR Logam Pb

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I Realtime (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0027373	8	260	0,6	55	0,83	0,00000196	0,00000008	Tidak Berisiko
2	0,0027373	8	260	0,3	62	0,83	0,00000075	0,00000003	Tidak Berisiko
3	0,0027373	8	260	0,3	45	0,83	0,00000137	0,00000006	Tidak Berisiko
4	0,0027373	8	260	0,6	70	0,83	0,00000154	0,00000006	Tidak Berisiko
5	0,0027373	8	260	0,6	58	0,83	0,00000186	0,00000008	Tidak Berisiko
6	0,0027373	8	260	0,3	68	0,83	0,00000068	0,00000003	Tidak Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>Realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
7	0,0027373	8	260	0,3	60	0,83	0,00000077	0,00000003	Tidak Berisiko
8	0,0027373	8	260	0,2	35	0,83	0,00000088	0,00000004	Tidak Berisiko
9	0,0027373	8	260	0,6	35	0,83	0,00000308	0,00000013	Tidak Berisiko
10	0,0027373	8	260	0,6	40	0,83	0,00000270	0,00000011	Tidak Berisiko
11	0,0027373	8	260	1,5	85	0,83	0,00000326	0,00000014	Tidak Berisiko
12	0,0027373	8	260	0,6	32	0,83	0,00000337	0,00000014	Tidak Berisiko
13	0,0027373	8	260	0,3	90	0,83	0,00000069	0,00000003	Tidak Berisiko
14	0,0027373	8	260	0,5	55	0,83	0,00000168	0,00000007	Tidak Berisiko
15	0,0027373	8	260	0,3	60	0,83	0,00000077	0,00000003	Tidak Berisiko
16	0,0027373	8	260	0,6	70	0,83	0,00000154	0,00000006	Tidak Berisiko
17	0,0027373	8	260	0,5	60	0,83	0,00000154	0,00000006	Tidak Berisiko
18	0,0027373	8	260	0,7	75	0,83	0,00000164	0,00000007	Tidak Berisiko
19	0,0027373	8	260	2,8	67	0,83	0,00000759	0,00000032	Tidak Berisiko
20	0,0027373	8	260	1,3	105	0,83	0,00000220	0,00000009	Tidak Berisiko
21	0,0027373	8	260	1,0	48	0,83	0,00000385	0,00000016	Tidak Berisiko
22	0,0027373	8	260	2,0	101	0,83	0,00000366	0,00000015	Tidak Berisiko
23	0,0027373	8	260	2,0	46	0,83	0,00000804	0,00000034	Tidak Berisiko
24	0,0027373	8	260	8,0	98	0,83	0,00001510	0,00000063	Tidak Berisiko
25	0,0027373	8	260	0,6	50	0,83	0,00000216	0,00000009	Tidak Berisiko
26	0,0027373	8	260	0,6	66	0,83	0,00000163	0,00000007	Tidak Berisiko
27	0,0027373	8	260	0,3	66	0,83	0,00000093	0,00000004	Tidak Berisiko
28	0,0027373	8	260	3,0	65	0,83	0,00000854	0,00000036	Tidak Berisiko
29	0,0027373	8	260	0,3	58	0,83	0,00000080	0,00000003	Tidak Berisiko
30	0,0027373	8	260	0,5	55	0,83	0,00000168	0,00000007	Tidak Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>Realtime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
31	0,0027373	8	260	0,4	70	0,83	0,00000110	0,00000005	Tidak Berisiko
32	0,0027373	8	260	0,3	109	0,83	0,00000057	0,00000002	Tidak Berisiko
33	0,0027373	8	260	0,5	45	0,83	0,00000206	0,00000009	Tidak Berisiko
34	0,0027373	8	260	0,3	70	0,83	0,00000088	0,00000004	Tidak Berisiko
35	0,0027373	8	260	0,5	50	0,83	0,00000185	0,00000008	Tidak Berisiko
36	0,0027373	8	260	0,7	75	0,83	0,00000164	0,00000007	Tidak Berisiko

Hasil Perhitungan *Intake Lifetime* dan ECR Logam Pb

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I <i>Lifetime</i> (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
1	0,0027373	8	260	26,58	55	0,83	0,00008940	0,00000375	Tidak Berisiko
2	0,0027373	8	260	26,25	62	0,83	0,00007831	0,00000329	Tidak Berisiko
3	0,0027373	8	260	33,33	45	0,83	0,00013701	0,00000575	Tidak Berisiko
4	0,0027373	8	260	17,58	70	0,83	0,00004646	0,00000195	Tidak Berisiko
5	0,0027373	8	260	21,58	58	0,83	0,00006883	0,00000289	Tidak Berisiko
6	0,0027373	8	260	25,25	68	0,83	0,00006868	0,00000288	Tidak Berisiko
7	0,0027373	8	260	28,25	60	0,83	0,00008709	0,00000366	Tidak Berisiko
8	0,0027373	8	260	19,17	35	0,83	0,00010129	0,00000425	Tidak Berisiko
9	0,0027373	8	260	32,58	35	0,83	0,00017219	0,00000723	Tidak Berisiko
10	0,0027373	8	260	31,58	40	0,83	0,00014604	0,00000613	Tidak Berisiko
11	0,0027373	8	260	19,50	85	0,83	0,00004243	0,00000178	Tidak Berisiko
12	0,0027373	8	260	30,58	32	0,83	0,00017677	0,00000742	Tidak Berisiko
13	0,0027373	8	260	29,33	90	0,83	0,00006028	0,00000253	Tidak Berisiko

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap bekerja) (tahun)	Wb (berat)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	I Lifetime (mg/kg hari)	ECR	Keterangan
14	0,0027373	8	260	27,50	55	0,83	0,00009248	0,00000388	Tidak Berisiko
15	0,0027373	8	260	19,25	60	0,83	0,00005934	0,00000249	Tidak Berisiko
16	0,0027373	8	260	20,58	70	0,83	0,00005439	0,00000228	Tidak Berisiko
17	0,0027373	8	260	27,50	60	0,83	0,00008477	0,00000356	Tidak Berisiko
18	0,0027373	6	260	30,67	75	0,83	0,00005672	0,00000238	Tidak Berisiko
19	0,0027373	6	260	8,75	67	0,83	0,00001812	0,00000076	Tidak Berisiko
20	0,0027373	6	260	22,25	105	0,83	0,00002940	0,00000123	Tidak Berisiko
21	0,0027373	8	260	20,00	48	0,83	0,00007707	0,00000324	Tidak Berisiko
22	0,0027373	8	260	21,00	101	0,83	0,00003846	0,00000162	Tidak Berisiko
23	0,0027373	8	260	37,00	46	0,83	0,00014877	0,00000625	Tidak Berisiko
24	0,0027373	8	260	37,00	98	0,83	0,00006983	0,00000293	Tidak Berisiko
25	0,0027373	8	260	21,58	50	0,83	0,00007984	0,00000335	Tidak Berisiko
26	0,0027373	8	260	31,58	66	0,83	0,00008851	0,00000372	Tidak Berisiko
27	0,0027373	8	260	26,33	66	0,83	0,00007380	0,00000310	Tidak Berisiko
28	0,0027373	8	260	28,00	65	0,83	0,00007968	0,00000335	Tidak Berisiko
29	0,0027373	8	260	32,25	58	0,83	0,00010284	0,00000432	Tidak Berisiko
30	0,0027373	8	260	31,50	55	0,83	0,00010593	0,00000445	Tidak Berisiko
31	0,0027373	8	260	33,42	70	0,83	0,00008830	0,00000371	Tidak Berisiko
32	0,0027373	8	260	34,33	109	0,83	0,00005826	0,00000245	Tidak Berisiko
33	0,0027373	8	260	27,50	45	0,83	0,00011303	0,00000475	Tidak Berisiko
34	0,0027373	8	260	26,33	70	0,83	0,00006958	0,00000292	Tidak Berisiko
35	0,0027373	8	260	15,50	50	0,83	0,00005734	0,00000241	Tidak Berisiko
36	0,0027373	8	260	29,67	75	0,83	0,00007316	0,00000307	Tidak Berisiko

<p>CONTOH PERHITUNGAN Analisis pajanan Menghitung <i>intake realtime</i> karsinogenik logam Cr pada Debu <i>Respirable</i> Contoh : $I_k = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$ $I_k = \frac{0,00186 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam /Hari} \times 260 \times 0,6 \text{ Tahun}}{55 \text{ kg} \times 25.550 \text{ hari}}$ $I_k = 1,3 \times 10^{-6} \text{ mg/ kg hari}$</p>	<p>Karakteristik Risiko Kesehatan Menghitung ECR <i>realtime</i> logam Cr pada PM_{2,5} Contoh : ECR = I x SF ECR = (1,3 x 10⁻⁶) x 510 ECR = 6,8 x 10⁻⁴ (Berisiko)</p>
--	--

Pengolahan Risiko Logam Cr *Realtime* Debu *Respirable*

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Pajanan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Pajanan Aman (hari/tahun)
1	0,0018638	8	260	0,6	55	0,83	510	0,0002736	1	38
2	0,0018638	8	260	0,3	62	0,83	510	0,0007197	3	100
3	0,0018638	8	260	0,3	45	0,83	510	0,0003918	2	55
4	0,0018638	8	260	0,6	70	0,83	510	0,0003482	1	49
5	0,0018638	8	260	0,6	58	0,83	510	0,0002885	1	40
6	0,0018638	8	260	0,3	68	0,83	510	0,0007893	3	110
7	0,0018638	8	260	0,3	60	0,83	510	0,0006965	3	97
8	0,0018638	8	260	0,2	35	0,83	510	0,0006094	3	85
9	0,0018638	8	260	0,6	35	0,83	510	0,0001741	1	24

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Pajanan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Pajanan Aman (hari/tahun)
10	0,0018638	8	260	0,6	40	0,83	510	0,0001990	1	28
11	0,0018638	8	260	1,5	85	0,83	510	0,0001644	1	23
12	0,0018638	8	260	0,6	32	0,83	510	0,0001592	1	22
13	0,0018638	8	260	0,3	90	0,83	510	0,0007835	3	109
14	0,0018638	8	260	0,5	55	0,83	510	0,0003192	1	45
15	0,0018638	8	260	0,3	60	0,83	510	0,0006965	3	97
16	0,0018638	8	260	0,6	70	0,83	510	0,0003482	1	49
17	0,0018638	8	260	0,5	60	0,83	510	0,0003482	1	49
18	0,0018638	8	260	0,7	75	0,83	510	0,0003265	1	46
19	0,0018638	8	260	2,8	67	0,83	510	0,0000707	1	10
20	0,0018638	8	260	1,3	105	0,83	510	0,0002438	1	34
21	0,0018638	8	260	1,0	48	0,83	510	0,0001393	1	19
22	0,0018638	8	260	2,0	101	0,83	510	0,0001465	1	20
23	0,0018638	8	260	2,0	46	0,83	510	0,0000667	1	9
24	0,0018638	8	260	8,0	98	0,83	510	0,0000355	1	5
25	0,0018638	8	260	0,6	50	0,83	510	0,0002487	1	35
26	0,0018638	8	260	0,6	66	0,83	510	0,0003283	1	46
27	0,0018638	8	260	0,3	66	0,83	510	0,0005746	2	80
28	0,0018638	8	260	3,0	65	0,83	510	0,0000629	1	9
29	0,0018638	8	260	0,3	58	0,83	510	0,0006732	3	94
30	0,0018638	8	260	0,5	55	0,83	510	0,0003192	1	45
31	0,0018638	8	260	0,4	70	0,83	510	0,0004875	2	68

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Paparan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
32	0,0018638	8	260	0,3	109	0,83	510	0,0009489	4	132
33	0,0018638	8	260	0,5	45	0,83	510	0,0002612	1	36
34	0,0018638	8	260	0,3	70	0,83	510	0,0006094	3	85
35	0,0018638	8	260	0,5	50	0,83	510	0,0002902	1	40
36	0,0018638	8	260	0,7	75	0,83	510	0,0003265	1	46

Pengolahan Risiko Logam Cr *Lifetime* Debu Respirable

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Paparan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
1	0,0018638	8	260	26,58	55	0,83	510	0,0000060	1	1
2	0,0018638	8	260	26,25	62	0,83	510	0,0000069	1	1
3	0,0018638	8	260	33,33	45	0,83	510	0,0000039	1	1
4	0,0018638	8	260	17,58	70	0,83	510	0,0000116	1	2
5	0,0018638	8	260	21,58	58	0,83	510	0,0000078	1	1
6	0,0018638	8	260	25,25	68	0,83	510	0,0000078	1	1
7	0,0018638	8	260	28,25	60	0,83	510	0,0000062	1	1
8	0,0018638	8	260	19,17	35	0,83	510	0,0000053	1	1
9	0,0018638	8	260	32,58	35	0,83	510	0,0000031	1	1
10	0,0018638	8	260	31,58	40	0,83	510	0,0000037	1	1
11	0,0018638	8	260	19,50	85	0,83	510	0,0000126	1	2

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Pajanan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Pajanan Aman (hari/tahun)
12	0,0018638	8	260	30,58	32	0,83	510	0,0000030	1	1
13	0,0018638	8	260	29,33	90	0,83	510	0,0000089	1	1
14	0,0018638	8	260	27,50	55	0,83	510	0,0000058	1	1
15	0,0018638	8	260	19,25	60	0,83	510	0,0000090	1	1
16	0,0018638	8	260	20,58	70	0,83	510	0,0000099	1	1
17	0,0018638	8	260	27,50	60	0,83	510	0,0000063	1	1
18	0,0018638	6	260	30,67	75	0,83	510	0,0000095	1	1
19	0,0018638	6	260	8,75	67	0,83	510	0,0000296	1	4
20	0,0018638	6	260	22,25	105	0,83	510	0,0000183	1	3
21	0,0018638	8	260	20,00	48	0,83	510	0,0000070	1	1
22	0,0018638	8	260	21,00	101	0,83	510	0,0000140	1	2
23	0,0018638	8	260	37,00	46	0,83	510	0,0000036	1	1
24	0,0018638	8	260	37,00	98	0,83	510	0,0000077	1	1
25	0,0018638	8	260	21,58	50	0,83	510	0,0000067	1	1
26	0,0018638	8	260	31,58	66	0,83	510	0,0000061	1	1
27	0,0018638	8	260	26,33	66	0,83	510	0,0000073	1	1
28	0,0018638	8	260	28,00	65	0,83	510	0,0000067	1	1
29	0,0018638	8	260	32,25	58	0,83	510	0,0000052	1	1
30	0,0018638	8	260	31,50	55	0,83	510	0,0000051	1	1
31	0,0018638	8	260	33,42	70	0,83	510	0,0000061	1	1
32	0,0018638	8	260	34,33	109	0,83	510	0,0000092	1	1
33	0,0018638	8	260	27,50	45	0,83	510	0,0000047	1	1

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Paparan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
34	0,0018638	8	260	26,33	70	0,83	510	0,0000077	1	1
35	0,0018638	8	260	15,50	50	0,83	510	0,0000094	1	1
36	0,0018638	8	260	29,67	75	0,83	510	0,0000073	1	1

Pengolahan Risiko Logam Ni *Lifetime Debu Respirable*

Responden	Konsentrasi (mg/m ³)	tE (jam/hari)	fE (lama tidak dirumah) (hari/tahun)	Dt (lama menetap di lokasi) (tahun)	Wb (kg)	R (laju inhalasi) (m ³ /jam)	SF	Konsentrasi Aman (mg/m ³)	tE Waktu Paparan Aman (jam/hari)	fE Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
3	0,0026218	8	260	33,33	45	0,83	0,91	0,0021955	6,69923	0,38849
9	0,0026218	8	260	32,58	35	0,83	0,91	0,0017470	5,33045	0,30911
10	0,0026218	8	260	31,58	40	0,83	0,91	0,0020597	6,28483	0,36446
12	0,0026218	8	260	30,58	32	0,83	0,91	0,0017017	5,19226	0,30110
23	0,0026218	8	260	37,00	46	0,83	0,91	0,0020219	6,16946	0,35777

CONTOH PERHITUNGAN**Pengelolaan Risiko**

a) Konsentrasi aman logam Cr pada PM_{2,5}

Contoh :

$$C_{k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/\text{SF}) \times W_b \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{R \times t_E \times f_E \times D_t}$$

$$C_{k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/510) \times 55 \text{ Kg} \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 260 \text{ hari.tahun} \times 0,6 \text{ tahun}}$$

$$C_{k(\text{aman})} = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mg/m}^3$$

b) Waktu pajanan aman logam Cr pada PM_{2,5}

Contoh :

$$t_{E_k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/\text{SF}) \times W_b \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{C \times R \times f_E \times D_t}$$

$$t_{E_k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/510) \times 55 \text{ Kg} \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{0,00186 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 260 \text{ hari.tahun} \times 0,6 \text{ tahun}}$$

$$t_{E_k(\text{aman})} = 2 \text{ jam/hari}$$

c) Frekuensi pajanan aman logam Cr pada PM_{2,5}

$$f_{E_k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/\text{SF}) \times W_b \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{C \times R \times t_E \times D_t}$$

$$f_{E_k(\text{aman})} = \frac{(0,0001/510) \times 55 \text{ Kg} \times 70 \text{ hari} \times 365 \text{ hari/ tahun}}{0,00186 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 0,6 \text{ tahun}}$$

$$f_{E_k(\text{aman})} = 38 \text{ hari/tahun}$$

LAMPIRAN C

(Dokumentasi)

DOKUMENTASI



Gambar D.1 Proses Destruksi Logam



Gambar D.2 Penimbangan Filter



Gambar D.3 Pemasangan Alat PDS pada Pekerja



Gambar D.4 Pengambilan $PM_{2.5}$ Menggunakan LVAS