

# **TESIS**

## **ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN KAPUR TOHOR (PM<sub>2.5</sub>, TSP, DAN SO<sub>2</sub>) PADA PEKERJA PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG DI PT BUKIT ASAM TBK TANJUNG ENIM SUMATERA SELATAN**



OLEH :

NAMA : DWI IRMA MAYANG SRI  
NIM : 10012682327035

**PROGRAM STUDI ILMU KESEHATAN MASYARAKAT (S2)  
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
TAHUN 2024**

# TESIS

## **ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN KAPUR TOHOR (PM<sub>2.5</sub>, TSP, DAN SO<sub>2</sub>) PADA PEKERJA PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG DI PT BUKIT ASAM TBK TANJUNG ENIM SUMATERA SELATAN**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
(S2) Magister Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat  
Universitas Sriwijaya



OLEH :

NAMA : DWI IRMA MAYANG SRI  
NIM : 10012682327035

**PROGRAM STUDI ILMU KESEHATAN MASYARAKAT (S2)  
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
TAHUN 2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN KAPUR TOHOR (PM<sub>2.5</sub>, TSP, DAN SO<sub>2</sub>) PADA PEKERJA PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG DI PT BUKIT ASAM TBK TANJUNG ENIM SUMATERA SELATAN

### TESIS

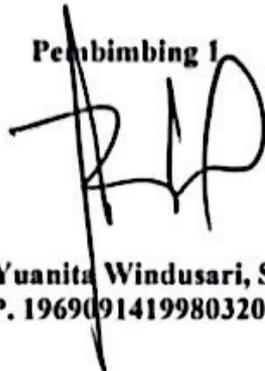
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar (S2).  
Magister Kesehatan Masyarakat pada Fakultas Kesehatan Masyarakat  
Universitas Sriwijaya

#### OLEH:

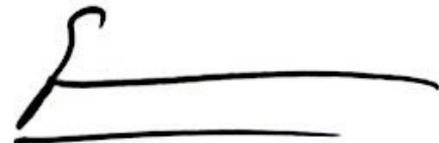
NAMA : DWI IRMA MAYANG SRI  
NIM : 10012682327035

Palembang, 11 November 2024  
Pembimbing 2

Pembimbing 1



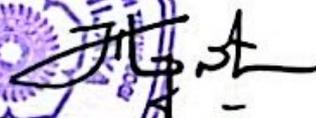
Prof. Dr. Yuanita Windusari, S.Si., M.Si  
NIP. 196909141998032002



Dr. Elvi Sunarsih, S.KM., M.Kes  
NIP. 197806282009122004

Mengetahui

Dean Fakultas Kesehatan Masyarakat  
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Misnaniarti, S.K.M., M.K.M  
NIP. 197606092002122001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa tesis dengan judul " Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Kapur Tohor (PM<sub>2.5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>) Pada Pekerja Pengelolaan Air Asam Tambang Di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan" telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang Tesis Program Studi Magister (S2) Ilmu Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 November 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan Panitia Ujian Sidang Tesis Program Studi Magister (S2) Ilmu Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya.

Palembang, 11 November 2024

Ketua :

1. Dr. Novrikasari, S.K.M., M.Kes.  
NIP. 197811212001122002

Anggota :

2. Prof. Dr. Yuanita Windusari, S.Si., M.Si.  
NIP. 196909141998032002

3. Dr. Elvi Sunarsih, S.K.M., M.Kes  
NIP. 197806282009122004

4. Prof. Dr. rer. med. H. Hamzah Hasyim, S.K.M, M.K.M  
NIP. 197312262002121001

5. Prof. Dr. dr. H. M. Zulkarnain, M,Med, Sc, PKK.  
NIP. 196109031989031002

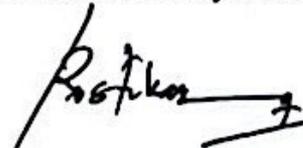
()  
()  
()  
()  
()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat  
Universitas Sriwijaya

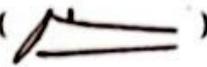
  
  
Prof. Dr. Misnaniarti, S.K.M., M.K.M  
NIP. 197606092002122001

Koordinator Program Studi S2  
Ilmu Kesehatan Masyarakat

  
Prof. Dr. Rostika Flora, S.Kep, M.Kes  
NIP. 197109271994032004



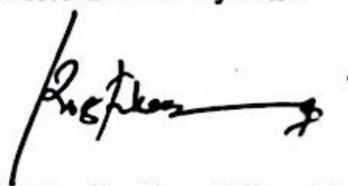
## MATRIK PERBAIKAN HASIL PENELITIAN TESIS

Nama Mahasiswa : Dwi Irma Mayang Sri  
NIM : 10012682327035  
Program Studi : S2 Ilmu Kesehatan Masyarakat (IKM)  
BKU : Kesehatan Lingkungan (KL)  
Judul Tesis : Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Kapur Tohor  
(PM<sub>2.5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>) Pada Pekerja Pengelolaan Air Asam  
Tambang Di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan  
Pembimbing : 1 Prof. Dr. Yuanita Windusari, S.Si., M.Si. (  )  
2. Dr. Elvi Sunarsih, S.K.M., M.Kes (  )

No	Dosen Penguji	Saran dan Masukan	Keterangan	Paraf
1	Dr. Novrikasari, S.K.M., M.Kes	Ditambahkn penjelasan di pembahasan terkait proyeksi umur pekerja.	Hal 59	
		Ditambahkan penjelasan terkait hirarki of control dibagian pembahasan	Hal 71	
		Perbaiki di bagian Eliminasi, substitusi, Pengendalian Administrasi, dan Alat pelindung diri (APD)	Hal 71-72	
		Perbaiki di penulisan pada kesimpulan.	Hal74	
		Diperbaiki pada penulisan saran bagian tempat penelitian.	Hal 75	

2	Prof Dr. rer. med. H. Hamzah Hasyim, SKM, MKM.	Tambahkan penjelasan tentang dampak jangka panjang dari parameter (PM <sub>2.5</sub> , TSP, dan SO <sub>2</sub> )	Hal 23	
		Tambahkan terkait efektivitas alat pelindung diri (APD) yang digunakan pekerja	Hal 29	
		Pengaruh faktor lingkungan lain, seperti kecepatan angin dan kelembapan	Hal 66	
		Hubungan antara frekuensi pajanan dan durasi kerja dengan prevalensi gejala gangguan pernapasan pada pekerja.	Hal 68	
		Tingkat kepatuhan pekerja dalam penggunaan APD dan penerapan prosedur	Hal 70	
		Manajemen risiko yang diterapkan pada tempat penelitian.	Hal 71	
3	Prof Dr. dr. H. M. Zulkarnain, M,Med, Sc, PKK	Tambahkan penjelasan dibagian debu kapur di pembahasan.	Hal 61	
		Diperjelas dibagian kesimpulan	Hal 74	
		Perjelas dibagian saran	Hal 75	

Palembang, November 2024  
 Koordinator Program Studi  
 S2 Ilmu Kesehatan Masyarakat



Prof. Dr. Rostika Flora, S.Kep., M.Kes.  
 NIP. 197109271994032004

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Dwi Irma Mayang Sri

NIM : 10012682327035

Judul : Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Kapur Tohor (PM<sub>2.5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>) Pada Pekerja Pengelolaan Air Asam Tambang Di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan

Menyatakan bahwa tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 12, November 2024



  
Dwi Irma Mayang Sri  
NIM. 10012682327035

## HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dwi Irma Mayang Sri

NIM : 10012682327035

Judul Tesis : Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Kapur Tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) Pada Pekerja Pengelolaan Air Asam Tambang Di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Coresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapapun.

Palembang, 12 November 2024



Dwi Irma Mayang Sri

NIM. 10012682327035

**ENVIRONMENTAL HEALTH  
MASTER STUDY PROGRAM (S2) OF PUBLIC HEALTH SCIENCE  
FACULTY OF PUBLIC HEALTH  
SRIWIJAYA UNIVERSITY**

*Scientific papers in the form of thesis*

***Dwi Irma Mayang Sri, Yuanita Windusari, and Elvi Sunarsih***

**ENVIRONMENTAL HEALTH RISK ANALYSIS OF QUICKLIME  
EXPOSURE (PM 2.5, TSP, AND SO<sub>2</sub>) IN WORKERS HANDLING ACID  
MINE DRAINAGE AT PT BUKIT ASAM TBK, TANJUNG ENIM,  
SOUTH SUMATRA**

*xvii + 80 Pages, 16 tabels, 6 pictures, and 19 attachments*

**ABSTRACT**

*CaO is used in the neutralization of acid mine drainage which uses CaO as a method for neutralization. The CaO application process produces fine particles such as PM 2.5, Total Suspended Particulate (TSP), and Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) gas. PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, South Sumatra uses CaO for neutralization of acid mine drainage. The study aims to analyze the health risks of CaO exposure in acid mine drainage workers. The Environmental Health Risk Analysis (EHRA) method was used to measure PM<sub>2.5</sub>, TSP, and SO<sub>2</sub> concentrations in the environment and estimate the risk of potential health impacts. A total of 14 respondents were determined based on the total sample. Primary data from the results of questionnaires and in-depth interviews, PM 2.5, TSP, and SO<sub>2</sub> measurements were carried out through reading the results of measurement analysis using the High Volume Air Sampler (HVAS). Secondary data from literature studies and other supporting documents that are in line with the research. The results show the average concentration of PM 2.5 (0.0350 µg/Nm<sup>3</sup>), TSP (0.2838 µg/Nm<sup>3</sup>), and SO<sub>2</sub> (0.0535 µg/Nm<sup>3</sup>). Intake values of PM 2.5 (0.00081950), TSP (0.00081637), and SO<sub>2</sub> (0.010224759). The Risk Quotient (RQ) value of PM 2.5, TSP, and SO<sub>2</sub> concentrations obtained an RQ value ≤ 1, but in the calculation of Exposure Duration (DT) + 30 on SO<sub>2</sub> obtained an RQ value > 1. It is concluded that SO<sub>2</sub> at (DT) + 30 is a risk to workers' health RQ > 1 so that risk management and management strategies are carried out. It is necessary to carry out risk management that can be done with a focus on concentration control with a hierarchy of control approach.*

**Keywords:** *CaO Workers, PM<sub>2.5</sub>, TSP, SO<sub>2</sub>, EHRA.*

**KESEHATAN LINGKUNGAN  
PROGRAM STUDI (S2) ILMU KESEHATAN MASYARAKAT  
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

Karya Tulis Ilmiah berupa Tesis

**Dwi Irma Mayang Sri, Yuanita Windusari, dan Elvi Sunarsih**

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN KAPUR  
TOHOR (PM<sub>2.5</sub>, TSP, DAN SO<sub>2</sub>) PADA PEKERJA PENGELOLAAN  
AIR ASAM TAMBANG DI PT BUKIT ASAM TBK TANJUNG ENIM  
SUMATERA SELATAN**

xvii + 80 halaman, 16 tabel 6 gambar, dan 19 lampiran

**ABSTRAK**

Kapur tohor (CaO) yang digunakan dalam netralisasi air asam tambang yang menggunakan CaO sebagai metode untuk penetralisasian. Proses pemberian CaO menghasilkan partikel halus seperti PM<sub>2.5</sub>, Total Suspended Particulate (TSP), dan gas Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>). PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan menggunakan CaO untuk netralisasi air asam tambang. Penelitian bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan pajanan CaO pada pekerja air asam tambang. Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) digunakan untuk mengukur konsentrasi PM<sub>2.5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub> di lingkungan dan memperkirakan risiko potensi dampaknya terhadap kesehatan. Sebanyak 14 responden ditentukan berdasarkan *total sample*. Data primer dari hasil kuesioner dan wawancara mendalam, pengukuran PM<sub>2.5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub> dilakukan melalui pembacaan hasil analisa pengukuran menggunakan High Volume Air Sampler (HVAS). Data sekunder studi literature dan dokumen pendukung lainnya yang sejalan dengan penelitian. Hasil menunjukkan rata-rata konsentrasi pada PM<sub>2.5</sub> (0,0350 µg/Nm<sup>3</sup>), TSP (0,2838 µg/Nm<sup>3</sup>), dan SO<sub>2</sub> (0,0535 µg/Nm<sup>3</sup>). Nilai intake PM<sub>2.5</sub> (0,00081950), TSP (0,00081637), dan SO<sub>2</sub> (0,010224759). Nilai Risk Quotient (RQ) konsentrasi PM<sub>2.5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub> didapatkan nilai RQ ≤ 1, tetapi pada perhitungan Durasi Pajanan (DT) + 30 pada SO<sub>2</sub> mendapatkan nilai RQ >1. Disimpulkan SO<sub>2</sub> pada (DT) + 30 berisiko terhadap kesehatan pekerja RQ >1 sehingga dilakukan manajemen dan strategi pengelolaan risiko. Perlu dilakukan manajemen risiko yang dapat dilakukan fokus pada pengendalian konsentrasi dengan pendekatan hierarchy of control.

Kata Kunci : Kapur Tohor (CaO), PM<sub>2.5</sub>, TSP, SO<sub>2</sub>, ARKL

## KATA PENGANTAR

Puji syukur tak henti-hentinya Penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunianya sehingga Penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul “Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Kapur Tohor (PM<sub>2.5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>) Pada Pekerja Pengelolaan Air Asam Tambang Di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan” hingga selesai.

Pelaksanaan penelitian, proses penulisan dan penyelesaian tesis ini dapat berjalan dengan baik karena adanya dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu perkenankan penulis untuk menyampaikan terima kasih yang tulus dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat :

1. Prof. Dr. Taufik Marwa, S.E., M.Si, Selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Misnaniarti, S.K.M., M.K.M., selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya.
3. Prof. Dr. Rostika Flora, S.Kep., M.Kes Selaku Kaprodi S2 Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakulta Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya.
4. Prof. Dr. Yuanita Windusari, S.Si., M.Si dan Ibu Dr. Elvi Sunarsih, S.KM., M.Kes selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan pengarahan dan semangat dalam penyusunan tesis ini sehingga dapat terselesaikan.
5. Prof. Dr. rer. med. H. Hamzah Hasyim, SKM, MKM, Prof Dr. dr. H. M. Zulkarnain, M,Med, Sc, PKK, dan Ibu Dr. Novrikasari, S.K.M., M.Kes selaku dosen penguji yang selalu memberikan saran serta arahan yang membangun guna terselesaikannya tesis ini.
6. Bapak Irwan Ferdian, Bapak Muhammad Iqbal, Bapak Muhammad Emir Habbie serta seluruh tim lapangan tempat penelitian tesis saya

Satuan Kerja Pengelolaan Lingkungan di PT Bukit Asam, Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan yang selalu memberikan arahan dan masukan pada tesis ini.

7. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu pelaksanaan penelitian dan penyusunan tesis ini.

Penulis sadar bahwa tesis ini tidaklah mungkin sempurna karena Penulis hanyalah manusia biasa yang luput atas kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, Penulis sangat terbuka menerima kritik dan saran dari semua pihak apabila kemudian nantinya ditemukan kekeliruan ataupun kesalahan dalam penulisan tesis ini baik dari segi teori maupun teknis. Harapannya akan ada Penulis lainnya yang dapat mengembangkan tesis ini agar jadi lebih baik lagi sehingga dapat memberikan kebermanfaatan kepada kita semua.

Palembang, 12 November 2024

Penulis

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan pada tanggal 4 Oktober 2000 di Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Penulis adalah anak Bungsu dari pasangan Bapak Toto Herman dan Ibu Rusma.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di SMA Negeri 3 Muara Enim, setelah lulus pada tahun 2019 melanjutkan Pendidikan (S1) Prodi Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya dan lulus di bulan Februari tahun 2023 dengan Predikat Lulus Tercepat dan Cumlaude (Dengan Pujian). Pada tahun 2023, penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi Magister (S2) Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya, bidang kajian utama Kesehatan Lingkungan.

Semasa kuliah Penulis sering mengikuti kegiatan perlombaan baik bidang akademik maupun non akademik beberapa pencapaian yang pernah di raih oleh penulis diantaranya adalah : Kandidat Indonesia Seol International Invention Fair (SIIF) Seol, Korea Tahun 2024, Pemuda Prestasi Provinsi Sumatera Selatan Tahun 2024, Pemuda Prestasi Kabupaten Muara Enim Tahun 2023, Putri Nusantara Sumatera Selatan Tahun 2022 , Harapan II Duta Wisata Nasional Tahun 2022, Persahabatan Gadis FKM UNSRI Tahun 2021.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS..</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Tujuan Umum.....	5
1.3.2 Tujuan Khusus.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.4.1 Bagi Peneliti .....	6
1.4.2 Bagi Fakultas Kesehatan Masyarakat.....	6
1.4.3 Bagi Pekerja .....	6
<b>BAB II TINAJAUN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).....	7
2.1.1 Pengertian ARKL.....	7
2.1.2.Paradigma Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan .....	7

2.1.3 Langkah-Langkah ARKL.....	10
2.2 Kapur Tohor .....	15
2.2.1 Definisi Kapur Tohor .....	15
2.2.2 Kandungan Kapur Tohor .....	15
2.2.3 Proses Pemberian Kapur Tohor.....	17
2.3 Paparan .....	19
2.3.1 Definisi Paparan .....	19
2.3.2 Paparan Kapur Tohor.....	19
2.3.3 Faktor- Faktor Yang Mempengaruhi Paparan Kapur Tohor .....	22
2.3.4 Dampak Paparan Kapur Tohor .....	23
2.4 Debu .....	24
2.5 Parameter PM 2,5, TSP dan SO <sub>2</sub> .....	25
2.5.1 PM <sub>2,5</sub> .....	25
2.5.2 Total Suspended Particulate (TSP).....	25
2.5.3SO <sub>2</sub> .....	26
2.6 Baku Mutu Udara Ambien .....	27
2.7 Penelitian Terdahulu.....	31
2.8 Kerangka Teori.....	33
2.9 Kerangka Konsep .....	34
2.10 Definisi Operasional.....	35
2.11 Hipotesis .....	36
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>37</b>
3.1 Desain Penelitian.....	37
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	38
3.2.1 Lokasi Penelitian .....	38
3.2.2 Waktu Penelitian .....	38
3.3 Populasi dan Sampel .....	38
3.3.1 Populasi Penelitian .....	38
3.3.2 Sampel Penelitian .....	38
3.3.2 Teknik Pengambilan Sampel.....	40
3.5 Jenis, Cara, dan Alat Pengumpulan Data .....	40

3.5.1 Jenis Pengumpulan data .....	40
2.4.1 Alat Pengumpulan Data.....	41
3.5.3 Pengelolaan Data.....	45
3.6 Analisis dan Penyajian Data.....	46
3.6.1 Analisis data .....	46
3.6.2 Penyajian Data.....	46
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>47</b>
4.1 Hasil.....	47
4.1.1 Profil Lokasi Penelitian .....	47
4.1.2 Identifikasi Bahaya.....	48
4.1.2.1 Konsentrasi Pengukuran Parameter Penelitian.....	48
4.1.3 Analisis Dosis-Respon .....	50
4.1.4 Analisis Pemajanan.....	51
4.1.6 Manajemen Risiko.....	59
4.2 Pembahasan .....	61
4.2.1 Identifikasi Bahaya.....	61
4.2.2 Analisis Dosis-Respon .....	65
4.2.2 Analisis Paparan .....	66
4.2.3 Karakteristik Antropometri.....	67
4.2.4 Pola Paparan .....	68
4.2.6 Karakteristik Risiko Non-Karsinogenik (RQ).....	70
4.2.7 Manajemen Risiko.....	71
4.2.8 Keterbatasan Penelitian .....	72
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>73</b>
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	74
5.2.1 Bagi Perusahaan Untuk Pekerja Kapur Tohor.....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>76</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>82</b>

## DAFTAR TABEL

2.1 Tabel 2.1 Konotasi Analisis Pemajanan.....	12
2.2 Tabel Baku Mutu Udara Ambien.....	28
2.3 Tabel Golden Rules Versi 4.0 PT Bukita Asam Tbk .....	29
2.4 Tabel Penelitian Terdahulu.....	31
2.5 Tabel Definisi Operasional.....	35
4.1 Tabel Hasil Pengukuran PM <sub>2,5</sub> .....	48
4.2 Tabel Hasil Pengukuran TSP.....	48
4.3 Tabel Hasil Pengukuran SO <sub>2</sub> .....	49
4.4 Tabel Hasil Analisis Konsentarsi Pengukuran Parameter.....	49
4.5 Tabel Distribusi Usia Pekerja.....	51
4.6 Tabel Berat Badan Pekerja.....	51
4.7 Tabel Lama Pajanan Pekerja.....	53
4.8 Tabel Frekuensi Pajanan Pekerja.....	54
4.9 Tabel Durasi Pajanan Pekerja.....	55
4.10 Tabel Nilai Intake PM <sub>2,5</sub> , TSP dan SO <sub>2</sub> .....	57
4.11 Tabel Perkiraan Risk Quotient.....	59

## DAFTAR GAMBAR

2.1 Gambar Paradigma Analisis Risiko.....	9
2.2 Gambar Proses Pemberian Kapur Tohor.....	17
2.3 Gambar Kerangka Teori Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.....	31
2.4 Gambar Kerangka Konsep.....	33
2.5 Gambar Peta Kolam Pengendapan Air Asam Tambang.....	33
3.1 Gambar Lokasi Pengambilan Sampel.....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Informed Consent</i> .....	85
Lampiran 2 Kuisisioner Penelitian .....	86
Lampiran 3 Hasil Analisis .....	87
Lampiran 4 Dokumentasi .....	115

## DAFTAR SINGKATAN

- ARKL : Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan
- PM : Partikulat Matter
- TSP : Total Suspended Partikulat
- SO<sub>2</sub> : Sulfur Dioksida
- RfC : *Reference Consentration*
- WHO : *World Health Organization*
- US-EPA : *United State Enviromental Protection Agency*
- LOAEL : *Lowest Observed Adverse Effect Level*
- CSF : *Cancer Slope Factor*
- CCR : *CancerUnit Risk*
- RQ : *Risk Quotient*
- IARC : *Internasional Agency for Research on Cancer*
- IRIS : *Integrated Risk Information System*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kapur Tohor (CaO) merupakan kapur non hidrolik yang di peroleh dari hasil pembakaran batu alam dan disebut juga sebagai kapur tohor. (Nasiret *et.al.*, 2019). CaO terbentuk dengan adanya reaksi kalsinasi. (Islamiyati, 2020). Kalsinasi menghasilkan suhu kurang lebih 900 °C. Akibat proses tersebut karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang terkandung dalam kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) terlepas dan yang tertinggal hanya kapurnya saja yaitu kalsium oksida (CaO) berdasarkan rumus umum CaO memiliki berat molekul 56,0774 g/mol.( Syahputra, 2023).

Kapur tohor (CaO) di Indonesia digunakan secara luas dalam proses penetralisasian air asam tambang batubara untuk masalah lingkungan yang di akibatkan oleh limbah cair dari aktivitas pertambangan batubara. Kapur tohor (CaO) pada industri pertambangann batubara digunakan sebagai metode aktif dalam proses penetralisasian air asam tambang. (Rahmi, 2023). Metode ini banyak dipakai oleh industri pertambangan batubara di Indonesia dengan cara penambahan kapur tohor dalam dosis tertentu yang di sebut sebagai proses pengolahan aktif netralisasi air asam tambang (Nurisman, 2018).

Industri pertambangan batubara dalam proses pemberian kapur tohor pada pengelolaan air asam tambang adalah tahapan penting, di mana kapur tohor digunakan untuk menetralkan keasaman air asam tambang yang dihasilkan selama proses penambangan mineral, seperti batubara. (Arisanti *et.,al.*,2021). Meskipun kapur tohor memberikan manfaat signifikan dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti menetralsir keasaman air asam tambang, proses ini juga menghadirkan risiko kesehatan bagi pekerja yang terlibat langsung, dimana dalam proses pengerjaan pemberian kapur tohor pada pekereja dapat terkena debu dan uap bahan kimia anorganik yang mungkin bersifat karsinogenik yang terjadi selama proses pemeberian kapur tohor . (Mirza *et.,al* 2021)

Proses penetralisasian air asam tambang menggunakan kapur tohor pada industri pertambangann sangat berpotensi menghasilkan debu kapur atau gamping dalam jumlah cukup besar. Hal ini terjadi karena munculnya akumulasi debu kapur dari para pekerja yang bekerja dalam waktu bersamaan, dengan Masa kerja karyawan berkisar antara 1–5 tahun dengan kerja rata-rata 8 jam perhari serta 7 hari dalam satu minggu. (Ardiansah, A.,2023). Paparan debu kapur tohor pada proses penetralisasian air asam tambang yang dapat menimbulkan risiko kesehatan salah satunya melalui inhalasi dikarenakan di dalam proses penggunaan debu kapur tohor pada saat menetralkan air asam tambang ke kapur tohor, beberapa parameter yang berkaitan dengan polusi udara dan potensi pencemaran lingkungan seperti PM<sub>2.5</sub> yang dapat muncul karena adanya selama proses penanganan kapur tohor, seperti pengangkutan atau penggilingan. Jika kapur tohor yang digunakan menghasilkan debu selama proses pengolahan air asam tambang, partikel-partikel kecil ini bisa terlepas ke udara. (Damayanti, et.al 2023).

Kandungan PM<sub>2.5</sub> dalam kapur tohor biasanya disebabkan oleh debu yang dihasilkan selama proses penanganan, penghancuran, atau pengolahan kapur tohor pada penetralisasian air asam tambang (Indriyani, *et.al* 2017). Ini bisa terjadi ketika kapur tohor digali, dihancurkan atau ditransportasikan yang dapat menghasilkan debu atau partikel kecil yang masuk ke udara. Selain itu juga karena proses penetralisasian air asam tambang menggunakan kapur tohor dilakukan secara bersamaan dengan para pekerja yang bekerja dalam waktu bersamaan pada lingkungan proses pemberian kapur tohor terpapar secara bersamaan dengan paparan pengelolaan kapur tohor, hal ini dapat juga menghasilkan debu dan gas-gas polutan (Suryatia et al., 2019). Dengan demikian dalam proses pemberian kapur tohor pada air asam tambang selama proses penanganan kapur tohor dan reaksi dengan air asam tambang, partikel yang lebih besar (debu atau serpihan kapur) dapat terlepas sebagai Total Suspended Particulate (TSP), terutama jika tidak ada pengendalian debu yang memadai. dan dalam konteks kapur tohor dan air asam tambang, jika ada senyawa sulfur dalam air asam tambang, maka reaksi kimia dapat menghasilkan SO<sub>2</sub>. Oleh karena itu keberadaan TSP dan SO<sub>2</sub> dalam debu kapur tohor tergantung pada lingkungan tempat kapur tohor tersebut

berada dan kemungkinan pajanan terhadap sumber yang memiliki karakteristik basah tergantung pada sifat individu dari partikel-partikel yang menyusunnya dan kondisi lingkungan tempat mereka berada. (Tolinggi, 2021).

Kondisi lingkungan kerja di pertambangan batubara akan berpengaruh terhadap kesehatan pekerja. Debu yang terdapat pada lingkungan kerja, akan mengganggu produktivitas dan kesehatan. Pekerja yang sering terpajan debu berisiko untuk mengalami keluhan kesehatan, baik berupa penyakit infeksi maupun non infeksi. yang dapat melalui inhalasi (Rosalia, et.,al 2018). Suatu potensi bahaya di tempat kerja akan masuk dan terakumulasi di dalam tubuh dipengaruhi oleh lama paparan dan kelangsungan paparan. Semakin lama pekerja tersebut terpapar oleh pajanan salah satunya yaitu pajanan partikel debu maka akan semakin banyak partikel debu yang terakumulasi di dalam tubuh.(Agustina, 2021). Hal ini sejalan dalam penelitian (setiawan, 2020) di peroleh informasi bahwa dari 23 pekerja di industri pembuatan gamping dinyatakan mengalami gangguan kesehatan akibat paparan debu kapur tohor diantaranya 6 orang mengeluh sesak nafas dan 13 orang tidak menggunakan masker saat bekerja. Masa kerja karyawan berkisar antara 1–5 tahun dengan kerja rata-rata 8 jam perhari serta 7 hari dalam satu minggu. Hal ini dapat memberikan gambaran bahwa pekerjaan industri yang terpajan debu kapur tohor mempunyai risiko terjadinya gangguan kesehatan bagi pekerjanya.

Debu kapur tohor yang bersifat iritan apabila kontak mukosa saluran pernafasan yang dapat menyebabkan timbulnya suatu penyakit melalui inhalasi (Hayati & Junaidi, J, 2019). Dalam penelitian (Armaeni, & Widajati, 2017) penyakit yang disebabkan oleh pajanan debu kapur tohor terhadap pekerja melalui inhalasi seperti gangguan fungsi paru baik bersifat akut dan kronis misalnya iritasi saluran pernapasan, penyempitan saluran pernapasan, gangguan pernapasan lainnya seperti, batuk, sesak nafas, dan nyeri dada. Penting untuk memperhatikan kontrol debu dan pengendalian polusi udara selama proses penanganan dan penggunaan kapur tohor untuk meminimalkan pajanan debu kapur tohor pada pekerja dan mencegah pencemaran lingkungan. (Chaeruddin, *et.al*, 2021).

Seperti halnya di salah satu perusahaan tambang batubara terbesar Indonesia yaitu PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan yang menggunakan metode aktif dalam penetralisasian air asam tambang yaitu dengan menggunakan kapur tohor. Dalam penelitian (Sari,2018) untuk total jumlah kapur yang digunakan untuk menetralkan air asam tambang agar sesuai dengan baku mutu lingkungan adalah sebanyak 36 karung/hari. Secara aktual penggunaan kapur tohor dalam proses pengapuran tidak menggunakan perhitungan yang tepat hanya berdasarkan perkiraan. Kapur tohor yang digunakan di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan untuk penetralisasian air asam tambang yang berasal dari Sumatera Barat.

Mengingat pentingnya peran dan beban kerja yang harus dilaksanakan petugas pemberian kapur tohor pada penetralisasian air asam tambang maka diperlukan pengawasan terhadap kesehatan pekerja. Oleh karena itu, setiap orang yang terlibat harus memiliki kesadaran dan mengutamakan keselamatan kerja dan perlu pengawasan terhadap paparan debu di lokasi kerja agar tercipta kondisi aman, nyaman dan sehat bagi pekerja. (Armaeni & Widajati, 2017).

Dari ulasan di atas maka dibutuhkan analisis resiko kesehatan lingkungan dengan tujuan untuk mengidentifikasi berbagai macam faktor yang disebabkan oleh paparan pekerja kapur tohor. Oleh karena itu, Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Hal tersebut yang menjadi latar belakang penelitian ini dengan judul “Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Kapur Tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) Pada Pekerja Pengelolaan Air Asam Tambang di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan”

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan penjelasan latar belakang, bahwasannya paparan kapur tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) merupakan bahan pencemar yang dapat berisiko memberikan dampak negatif terhadap tubuh manusia serta dapat menyebabkan gangguan kesehatan. PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan menggunakan kapur tohor dalam proses penetralisasian air asam tambang, kegiatan yang dilakukan di lingkungan tersebut dapat berisiko terhadap gangguan kesehatan terhadap pekerja akibat menghirup paparan debu kapur tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) terus menerus

dan semakin lama pekerja tersebut terpapar oleh pajanan kapur tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) maka akan semakin banyak partikel tersebut yang terakumulasi di dalam tubuh dan mampu menyebabkann timbulnya gangguan kesehatan yang disebabkan oleh pajanan kapur tohor terhadap pekerja dengan melalui inhalasi. Maka dari itu diperlukan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan pajanan kapur tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) pada Pekerja Pengelolaan Air Asam Tambang di PT bukit Asam Tbk Tanjung Enim sumatera Selatan.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

#### **1.3.1 Tujuan Umum**

Tujuan umum dari penelilitian ini adalah untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan pajanan kapur tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) pada pekerja pengelolaan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan.

#### **1.3.2 Tujuan Khusus**

1. Identifikasi bahaya pajanan debu kapur tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) pada pekerja pengelolaan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim Sumatera Selatan.
2. Menganalisis dosis-respon/RfC pajanan debu kapur tohor (( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) pada pekerja pengelolan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim Sumatera Selatan.
3. Menghitung jumlah pajanan konsentrasi debu kapur tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) antropometri (berat badan), dan pola paparan (lama pajanan, frekuensi pajanan, durasi pajanan) pada pekerja pengelolaan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim Sumatera Selatan
4. Menghitung nilai besar/karakterisasi risiko non karsinogenik (RQ) terhadap pajanan debu kapur tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) pada pekerja pengelolaan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim Sumatera Selatan.
5. Melakukan manajemen risiko pajanan debu kapur tohor ( $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$ ) yang dapat dilakukan untuk meminimalisir risiko kesehatan terhadap pekerja pengelolan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim Sumatera Selatan

## **1.4 Manfaat Penelitian**

### **1.4.1 Bagi Peneliti**

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan dan keterampilan penelitian tentang analisis risiko kesehatan lingkungan pada pekerja kapur tohor pengelolaan Air Asam Tambang dan mampu menerapkan disiplin ilmu di bidang kesehatan lingkungan yang telah dipelajari.

### **1.4.2 Bagi Fakultas Kesehatan Masyarakat**

Hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai informasi untuk menambah bahan literatur, referensi, daftar pustaka atau studi pustaka bagi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Kapur Tohor.

### **1.4.3 Bagi Pekerja**

- A. Memberikan informasi kepada pekerja mengenai dampak dan bahaya akibat paparan kapur tohor.
- B. Menjadi bahan pertimbangan dan masukan dalam pemecahan masalah kesehatan khususnya untuk pekerja sehingga bisa dijadikan bahan monitoring dan evaluasi.
- C. Penelitian ini diharapkan agar tenaga kerja menyadari dan lebih memahami pentingnya kesehatan dan melindungi dirinya dari paparan kapur tohor.

## **BAB II**

### **TINAJAUN PUSTAKA**

#### **2.1 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)**

##### **2.1.1 Pengertian ARKL**

Metode Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) adalah metode yang bertujuan untuk memprediksikan besaran risiko yang diterima oleh suatu host atau individu atau sub populasi akibat pajanan suatu agent baik melalui chemical agent, physical agents atau biological agents dalam waktu tertentu. Penilaian risiko ini dilakukan untuk masa sekarang dan masa yang akan datang. Metode ARKL ini menggabungkan ilmu sains, teknik, probabilitas dan statistic dalam mengestimasi besaran risiko.

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan proses yang di laksanakan untuk menghitung atau memperkirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk juga identifikasi terhadap keberadaan faktor ketidakpastian, penelusuran pada paparan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang terdapat pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran yang spesifik. (IPCS,2004).

##### **2.1.2.Paradigma Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan**

Mengacu pada Risk Assessment and Management Handbook tahun 1996, analisis risikomengenal dua istilah yaitu risk analysis dan risk assessment. Risk analysis meliputi 3 komponen yaitupenelitian, asesmen risiko (risk assessment) atau ARKL dan pengelolaan risiko. Di dalam prosesnya,analisis risiko dapat diilustrasikan sebagai berikut :

###### **1. Penelitian**

Dimaksudkan untuk membangun hipotesis, mengukur, mengamati dan merumuskanefek dari suatu bahaya ataupun agen risiko di lingkungan terhadap tubuh manusia, baik yangdilakukan secara laboratorium, maupun penelitian lapangan dengan maksud untuk mengetahuiefek, respon atau perubahan pada tubuh manusia terhadap dosis, dan nilai referensi yangaman bagi tubuh dari agen risiko tersebut.

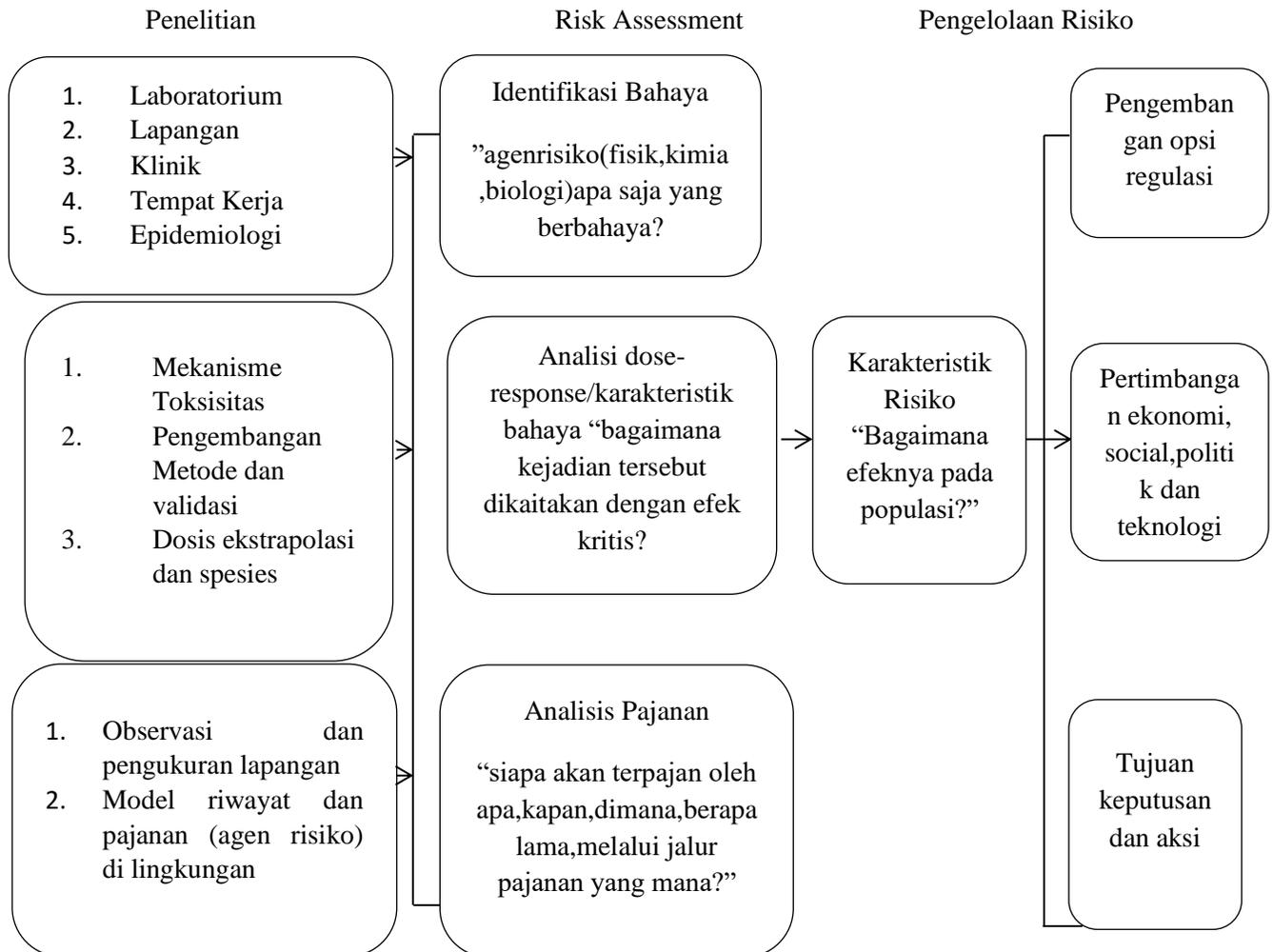
## **2. Asesmen risiko (risk assessment) atau ARKL**

Dilakukan dengan maksud untuk mengidentifikasi bahaya apa saja yang membahayakan, memahami hubungan antara dosis agen risiko dan respon tubuh yang diketahui dari berbagai penelitian, mengukur seberapa besar pajanan agen risiko tersebut, dan menetapkan tingkat risiko dan efeknya pada populasi.

## **3. Pengelolaan risiko**

Dilakukan bilamana asesmen risiko menetapkan tingkat risiko suatu agen risiko tidak aman atau tidak bisa diterima pada suatu populasi tertentu melalui langkah-langkah pengembangan opsi regulasi, pemberian rekomendasi teknis serta sosial-ekonomi-politis, dan melakukan tindak lanjut.

Ilustrasi dari paradigma dan proses analisis risiko dapat dilihat dari gambar 2.1 di bawah ini :



Gambar 2.1 Paradigma Analisis Risiko

Sumber : Dirjen PP & PL Kemenkes

### 2.1.3 Langkah-Langkah ARKL

Dalam pedoman ARKL, Analisis risiko terbagi menjadi tiga yaitu : Risk Assessment (ARKL), pengelolaan risiko dan komunikasi risiko. Lebih lanjut, dalam pedoman tersebut ARKL terbagi menjadi empat langkah yaitu : identifikasi bahaya (hazard identification), analisis dosis-respon (dose-response assesment), analisis pemajanan (exposure assesment) dan karakterisasi risiko (risk characterization). (Direktorat Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012). Langkah-langkah tersebut dapat diilustrasikan sebagai berikut :

1. Identifikasi bahaya (*hazard identification*)

Identifikasi bahaya (*hazard identification*) merupakan tahapan awal ARKL yang bertujuan untuk mengenali agen risiko yang memiliki potensi menjadi penyebab gangguan kesehatan jika tubuh terpajan. Tahap ini merupakan suatu proses yang menentukan bahan kimia yang berpotensi memiliki pengaruh terhadap manusia baik berupa karsinogenik maupun non-karsinogenik. Data identifikasi bahaya risk agent risiko dari berbagai sumber pencemaran bisa dirangkum dalam sebuah tabel ebagai pelengkap dalam identifikasi bahaya gejala-gejala gangguan kesehatan yang erat kaitannya dengan agen risiko yang akan dianalisis. (IPCS, 2021)

2. Analisis dosis respon (*dose-response assesment*)

Analisis dosis respon (dose-response assesment) merupakan tahapan lanjutan dari identifikasi bahaya. Analisis dosis-respon digunakan untuk memperkirakan efek samping dari agen risiko yang terjadi pada suatu populasi yang terpajan. Pada dasarnya analisis dosis respon digunakan untuk menentukan nilai toksisitas risk agent untuk setiap bentuk spesi kimianya. Toksisitas dinyatakan dalam nilai reference dosis (RfD), dan/atau reference concentration (RfC), dan/atau cancer slope factor (CSF) dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL. RfD berasal dari pajanan oral atau tertelan (ingesti, untuk makanan dan minuman) dan RfC berasal dari pajanan udara (inhalasi)

digunakan untuk efek-efek non-karsinogenik sementara CSF digunakan untuk efek-efek karsinogenik. (USEPA, 2019).

Karakterisasi bahaya atau dosis respon merupakan hubungan kuantitatif antara paparan atau dosis dengan respons individu, dengan tujuan untuk memperkirakan tingkat toksisitas atau potensi suatu agen. Analisis dosis-respon merupakan bagian yang paling penting dalam ARKL karena ARKL dapat digunakan jika sudah terdapat risk agent yang sudah terdapat dosis-respon. (USEPA, 2019).

### 3. Analisis pajanan (*exposure assessment*)

Analisis pemajanan merupakan tahap penting dalam analisis risiko karena pada tahap ini melakukan perhitungan dengan menggunakan intake yang masuk ke dalam tubuh seseorang. Perhitungannya menggunakan rumus yang sudah ada. Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan berupa data primer dan sekunder atau menggunakan data default yang tersedia. (IPCS, 2021). Analisis pemajanan bertujuan untuk mengenali jalur-jalur pajanan risk agent agar jumlah asupan yang diterima individu dalam populasi berisiko dapat dihitung. Intake atau asupan merupakan jumlah asupan risk agent yang diterima rata-rata sampel per berat badan dan rata-rata sampel per hari (Direktorat Jenderal PP dan PL, 2012). Adapun rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Ink} = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

Sumber: Louvar & Louvar 1998

Tabel 2.1 Konotasi Analisis Pemajanan

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai default
<b><i>Ink (Intake)</i></b>	Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya	mg/kg x hari	Tidak ada nilai default
<b><i>C (Concentration)</i></b>	Konsentrasi agen risiko pada media udara (udara ambien)	mg/m <sup>3</sup>	Tidak ada nilai default
<b><i>R (Rate)</i></b>	Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya	m <sup>3</sup> /jam	Dewasa : 0,83 m <sup>3</sup> /jam Anak-anak (6 – 12 tahun) : 0,5 m <sup>3</sup> /jam
<b><i>tE (time of exposure)</i></b>	Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya	Jam/hari	- Pajanan pada pemukiman : 24 jam/hari - Pajanan pada lingkungan kerja : 8 jam/hari - Pajanan pada sekolah dasar : 6 jam/hari
<b><i>fE (frequency of exposure)</i></b>	Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Hari/tahun	- Pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun - Pajanan pada lingkungan kerja : 250 hari/tahun
<b><i>Dt (duration time)</i></b>	Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan	Tahun	Residensial (pemukiman) / pajanan seumur hidup : 30 tahun
<b><i>Wb (weight of body)</i></b>	Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg
<b><i>tavg(nk) (time average)</i></b>	Periode waktu rata-rata untuk efek non karsinogen	Hari	30 tahun x 365 hari/tahun = 10.950 hari

Sumber: Kepmenkes No 876/Menkes/SK/VIII/2001 tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak

Kesehatan Lingkungan (ADKL)

#### 4. Karakteristik risiko (*risk characteristics*)

Karakterisasi risiko adalah tahap terakhir dalam ARKL. Karakterisasi risiko yang dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko atau dengan kata lain menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis pada ARKL berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat (dengan karakteristik seperti berat badan, laju inhalasi/konsumsi, waktu, frekuensi, durasi paparan yang tertentu) atau tidak. Karakteristik risiko dilakukan dengan membandingkan/membagi intake dengan dosis/konsentrasi agen risiko tersebut. Variabel yang digunakan untuk menghitung tingkat risiko adalah intake dengan RfC. Berikut rumus tingkat risiko jalur inhalasi: Tingkat Risiko Nonkarsinogenik (inhalasi). (EHRA, 2012).

Berikut rumus yang digunakan dalam tahapan karakteristik risiko:

$$RQ : \frac{I}{RfC}$$

Keterangan :

I (intake): Intake yang telah dihitung

RfC: Nilai referensi agen risiko pada pemajanan inhalasi

Tingkat risiko yang diperoleh pada ARKL merupakan konsumsi pakar ataupun praktisi, sehingga perlu disederhanakan atau dipilih bahasa yang lebih sederhana agar dapat diterima oleh khalayak atau publik. Tingkat risiko dinyatakan dalam angka atau bilangan desimal tanpa satuan. Tingkat risiko dinyatakan AMAN bilamana  $\leq RfC$  dan tingkat risiko dikatakan TIDAK AMAN bilamana intake  $> RfC$  atau dinyatakan dengan  $RQ > 1$ .

#### 5. Pengelolaan Risiko

Setelah melakukan keempat langkah ARKL di atas maka yang telah dapat diketahui apakah suatu agen risiko aman/dapat diterima atau tidak. Pengelolaan risiko bukan termasuk rangka ARKL melainkan tindak lanjut yang harus dilakukan apabila hasil karakterisasi risiko menunjukkan tingkat

risiko yang tidak aman. Dalam melakukan pengelolaan risiko perlu dibedakan antara strategi pengelolaan risiko dengan cara pengelolaan risiko. Strategi pengelolaan risiko meliputi penentuan batas aman yaitu :

1) Konsentrasi agen (C) inhalasi

Batas aman di sini adalah batas atau nilai terendah yang menyebabkan tingkat risiko menjadi tidak aman (tidak dapat diterima). Oleh karenanya nilai yang aman adalah nilai di bawah batas amannya sedangkan nilai yang sama dengan batas aman tersebut akan menyebabkan tingkat risiko menjadi tidak aman. Konsentrasi aman non karsinogenik:

$$C_{nk}(aman) = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{R \times tE \times fE \times Dt}$$

2). Waktu pajanan (tE), dan/atau Waktu pajanan aman non karsinogenik (inhalasi):

$$t_{Enk}(aman) = \frac{RfC \times Wb \times 70 \times 365}{R \times C \times fE \times Dt}$$

Waktu pajanan aman karsinogenik (inhalasi):

$$t_{Ek}(aman) = \frac{(0,0001 \text{ SF} /) \times Wb \times 70 \times 365}{R \times C \times fE \times Dt}$$

3) Frekuensi pajanan (fE), dan/atau Frekuensi pajanan (fE) non karsinogenik (inhalasi):

$$f_{Enk}(aman) = \frac{RfC \times Wb \times 70 \times 365}{R \times C \times tE \times Dt}$$

Frekuensi pajanan (fE) karsinogenik (inhalasi):

$$f_{Ek}(aman) = \frac{(0,0001 \text{ SF} /) \times Wb \times 70 \times 365}{R \times C \times tE \times Dt}$$

4) Durasi pajanan (Dt).

$$D_{tnk}(aman) = \frac{RfC \times Wb \times 70 \times 365}{R \times C \times tE \times fE}$$

$$D_{tk}(\text{aman}) = \frac{(0,0001 \text{ SF} /) \times W_b \times 70 \times 365}{R \times C \times tE \times fE}$$

## 2.2 Kapur Tohor

### 2.2.1 Definisi Kapur Tohor

Kapur merupakan jenis batuan yang dapat secara praktis dan aman meningkatkan pH serta mengurangi kandungan logam berat dalam air asam tambang salah satunya kapur tohor (Choirul.,2019). Kapur tohor terbentuk melalui proses pembakaran batu kapur atau kalsinasi. Proses ini mengubah kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dalam batu kapur menjadi kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) dan karbon dioksida. (Rianti *et.al.*, 2021). Kapur tohor atau dikenal pula dengan nama kimia kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) adalah hasil pembakaran kapur mentah (kalsium karbonat atau  $\text{CaCO}_3$ ) pada suhu kurang lebih  $90^\circ\text{C}$ . Beberapa variasi kapur yang dapat digunakan untuk menetralkan air asam tambang salah satunya kapur tohor ( $\text{CaO}$ ).

Kapur Tohor ( $\text{CaO}$ ) memiliki stabilitas tinggi yang cepat bereaksi dengan air dan langsung dapat menetralkan larutan yang bersifat asam. Kapur tohor sebagai suatu jenis batuan dengan sifat alkalinitas yang baik, sering digunakan dalam proses penetralan air asam tambang untuk meningkatkan pH. Penggunaan kapur tohor terbukti efektif dalam menetralkan tingkat keasaman (pH) air asam tambang. (Said,2018).

### 2.2.2 Kandungan Kapur Tohor

Kapur tohor adalah bahan kimia yang mengandung kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) sebagai komponen utama. Kalsium hidroksida ini merupakan senyawa anorganik berwarna putih yang larut dalam air, membentuk larutan alkalis yang memiliki sifat basa. Selain kalsium hidroksida, kapur tohor juga dapat mengandung sedikit impuritas seperti kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) dan magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), tergantung pada metode produksinya. Kapur tohor adalah bahan kimia yang sering digunakan dalam berbagai industri, (Herlin, 2022). Terutama dalam produksi semen,

industri pertambangan, serta industri kimia. Deskripsi kandungan kapur tohor secara umum mencakup beberapa komponen utama:

1. **Kalsium Hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ):** Ini adalah komponen utama kapur tohor. Kalsium hidroksida adalah senyawa kimia dengan rumus  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Ini merupakan padatan putih yang larut dalam air, memberikan solusi alkalis. Kalsium hidroksida digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan penambah pH tanah, pengobatan air untuk industri, dan dalam berbagai proses industri.
2. **Magnesium Hidroksida ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ):** Meskipun dalam jumlah lebih kecil daripada kalsium hidroksida, kapur tohor juga dapat mengandung sedikit magnesium hidroksida. Seperti kalsium hidroksida, magnesium hidroksida juga memiliki sifat basa dan dapat digunakan dalam aplikasi yang serupa.
3. **Senyawa Tambahan:** Selain kalsium hidroksida dan magnesium hidroksida, kapur tohor juga bisa mengandung beberapa senyawa tambahan dalam jumlah kecil, tergantung pada metode pembuatannya. Senyawa-senyawa tambahan ini mungkin termasuk oksida, karbonat, atau senyawa lainnya yang mungkin terbentuk selama proses produksi kapur tohor.
4. **Unsur Lain:** Selain komponen utama yang disebutkan di atas, kapur tohor juga dapat mengandung sejumlah kecil unsur lain tergantung pada sumber dan metode produksinya. Ini termasuk aluminium, silikon, besi, dan unsur-unsur lainnya yang dapat memengaruhi sifat dan karakteristik kapur tohor.

Kandungan-kandungan ini akan bervariasi tergantung pada sumber kapur tohor dan proses pembuatannya. Namun, kalsium hidroksida tetap menjadi komponen utama yang memberikan sifat basa pada kapur tohor dan memberikan manfaatnya dalam berbagai aplikasi. Dengan demikian, kapur tohor adalah bahan kimia yang kompleks dengan kandungan utama berupa kalsium oksida dan mungkin mengandung magnesium oksida serta unsur lainnya. Kandungan ini menentukan sifat dan kegunaan kapur tohor dalam berbagai aplikasi industri. Kalsium oksida adalah komponen utama kapur tohor yang memberikan sifat basa yang kuat padanya. Kapur

tohor dapat berada dalam bentuk serbuk atau partikel halus, dan saat terpapar udara, partikel-partikel ini dapat tersebar dengan mudah.

Pada proses penetralan Air Asam Tambang menggunakan kapur tohor, parameter seperti  $PM_{2.5}$  dapat terbentuk akibat adanya debu yang dihasilkan dari penanganan kapur tohor, seperti selama penyimpanan, pengangkutan, atau pencampuran dengan air asam. Ketika kapur tohor dicampurkan, ada kemungkinan bahwa partikel-partikel halus dilepaskan ke udara. Dalam proses penanganan kapur tohor untuk penetralan air asam tambang, partikel Total Suspended Particulate dapat dilepaskan selama penyimpanan, dan pencampuran bahan ke air asam tambang. Ketika kapur tohor berinteraksi dengan air asam tambang, partikel-partikel debu yang lebih besar dapat terlepas dan tersebar ke udara, terutama jika tidak ada kontrol debu yang memadai. Dalam konteks penetralan air asam tambang dengan kapur tohor, begitupun dengan  $SO_2$  bisa terbentuk ketika air asam tambang mengandung konsentrasi tinggi senyawa sulfur. Reaksi kimia antara kapur tohor dan sulfur dalam air asam tambang bisa melepaskan  $SO_2$  ke atmosfer. Namun, kapur tohor juga bertindak sebagai agen penetral, yang dapat mengikat sulfur dan mengurangi potensi pelepasan gas  $SO_2$ .

Paparan udara terhadap kapur tohor dapat memiliki dampak kesehatan apabila terpapar terus menerus ke manusia. Proses ini terjadi ketika partikel-partikel kapur tohor terhirup, mereka dapat masuk ke dalam sistem pernapasan manusia. Partikel-partikel ini dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan atas, seperti tenggorokan dan hidung, serta menyebabkan batuk dan sesak napas. Paparan jangka panjang terhadap kapur tohor dapat menyebabkan gangguan pernapasan kronis, termasuk bronkitis dan asma.

### **2.2.3 Proses Pemberian Kapur Tohor**

Proses pemberian kapur tohor pada air asam tambang adalah suatu metode yang digunakan untuk menetralkan keasaman air tambang. Kapur tohor yang merupakan bahan kimia berupa kalsium oksida dicampurkan ke dalam air asam tambang untuk meningkatkan pH-nya. Dengan menambahkan kapur tohor, reaksi kimia terjadi yang menghasilkan kalsium sulfat dan air bersih, sehingga keasaman air tambang dapat

dikurangi dan air tersebut menjadi lebih netral. Proses ini membantu mengurangi dampak negatif keasaman air tambang terhadap lingkungan dan memastikan air tersebut sesuai dengan standar kualitas lingkungan yang ditetapkan. Menggunakan kapur tohor (CaO) atau batu kapur (CaCO<sub>3</sub>). Pengapuran dilakukan di inlet kolam pengendapan lumpur dengan tujuan menaikkan pH, mengurangi kekeruhan, dan mengurangi kadar logam pada air asam tambang. Proses penambahan kapur tohor secara terus-menerus dengan dosis yang tepat dapat meningkatkan pH dan mengurangi kadar logam dalam air asam tambang. (Wibowo, 2020).

Dalam penelitian (Sari, 2018). Pengelolaan air asam tambang di KPL Pit 3 Barat Banko Barat PT. Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan, dilakukan melalui penggunaan kolam pengapuran dan metode aktif dengan mencampurkan kapur tohor untuk menetralkannya. Sebelum air mengalir ke lingkungan, kadar pH-nya diukur di kolam outlet. Jika kadar pH tidak sesuai dengan standar Lingkungan yang ditetapkan (6 - 9), kapur akan ditambahkan untuk memastikan air sesuai dengan standar yang ditentukan sebelumnya. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, total jumlah kapur yang digunakan untuk menetralkan air asam tambang agar sesuai dengan baku mutu lingkungan adalah sebanyak 36 karung/hari. Setelah itu hasil penetralan dicatat pada papan di titik penataan yang terletak setelah kolam ke empat sebelum aliran sungai Kiahaan. Secara aktual penggunaan kapur tohor dalam proses pengapuran tidak menggunakan perhitungan yang tepat, hanya berdasarkan perkiraan.

Dalam penelitian (Sari, 2018). Pada KPL Pit 3 Barat Banko Barat PT. Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan, Kapur Tohor diberikan pada saluran kolam pertama, selanjutnya air pada kolam pertama dialirkan ke kolam kedua melalui saluran terbuka yang dibuat zig – zag antara kolam yang satu dengan saluran ke kolam yang lain, selanjutnya dari kolam kedua air dialirkan ke kolam ketiga. Salah satu contoh dalam proses pengapuran pada debu kapur tohor dalam penetralisasian air asam tambang pada dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 2.2 Proses Pemberian Kapur Tohor**

## **2.3 Pajanan**

### **2.3.1 Definisi Pajanan**

Pajanan atau juga sering disebut sebagai paparan adalah pengalaman yang dialami suatu populasi atau organisme ketika terpapar atau terkena agen lingkungan yang potensial. (Fuadi, M. F., et al 2021). Paparan diukur berdasarkan waktu, lokasi, dan dosis atau konsentrasi. Waktu pemaparan didefinisikan sebagai lamanya atau frekuensi seseorang terpapar pada suatu faktor potensial. Tempat paparan dapat berupa lokasi geografis atau lokasi pada tubuh. Kontak dengan bagian tubuh seperti saraf, saluran pernafasan atau kulit. Efek paparan juga bergantung pada dosis atau konsentrasi paparan yang diterima seseorang. (Dofendra, T. 2023).

Pajanan di lingkungan kerja didefinisikan sebagai interaksi antara individu dengan agen fisik, kimia, biologis, atau faktor psikososial tertentu yang ada di tempat kerja. Studi ini menyoroti pentingnya memahami paparan lingkungan kerja dalam konteks kesehatan dan keselamatan kerja. (Efendi R. 2022).

### **2.3.2 Pajanan Kapur Tohor**

Pajanan kapur tohor merujuk pada situasi di mana seseorang atau lingkungan terpapar terhadap partikel-partikel halus dari kapur tohor. Kapur tohor, juga dikenal sebagai kalsium hidroksida, adalah senyawa kimia yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri, konstruksi, pertanian, dan lainnya. Partikel-partikel halus

ini dapat tersebar di udara sebagai debu atau aerosol dan dapat terhirup atau terendapkan di permukaan. (Saswita, *et.,al* 2018).

Pajanan kapur tohor dapat terjadi di berbagai lingkungan, tergantung pada lokasi di mana kapur tohor digunakan atau diproses. Misalnya, pekerja di industri yang menggunakan kapur tohor dalam proses manufaktur atau konstruksi mungkin berisiko terpapar melalui inhalasi debu kapur. Selain itu, kapur tohor yang digunakan dalam pertanian sebagai bahan tambahan tanah atau untuk mengendalikan pH tanah juga dapat menyebabkan paparan bagi petani dan lingkungan sekitarnya.

Pajanan kapur tohor dapat memiliki dampak kesehatan yang signifikan tergantung pada tingkat dan durasi paparan, serta faktor-faktor seperti ukuran partikel dan keadaan lingkungan. Inhalasi debu kapur tohor dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, batuk, dan kesulitan bernapas pada tingkat paparan yang tinggi. Paparan jangka panjang yang berulang-ulang juga dapat berkontribusi pada masalah kesehatan seperti iritasi kronis pada saluran pernapasan, masalah kulit, atau masalah kesehatan lainnya.

Dalam penelitian (Pratiwi & Yudono 2024). hubungan antara penggunaan kapur tohor dalam industri pertambangan batu kapur dengan pembentukan debu. Industri pertambangan batu kapur sering menggunakan kapur tohor sebagai bahan kimia untuk menetralkan keasaman air tambang dan meningkatkan pH tanah. Namun, proses penggunaan kapur tohor ini dapat menyebabkan pembentukan debu yang dapat berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan masyarakat sekitar. Kapur tohor atau kapur hidrat (calcium hydroxide) adalah bahan kimia yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk industri, pertanian, dan lingkungan. Hubungan antara kapur tohor dengan debu terkait dengan penggunaannya dalam industri atau konstruksi.

1. Pengolahan dan Penggunaan: Ketika kapur tohor digunakan dalam proses industri, seperti pembuatan semen, pertanian (untuk meningkatkan pH tanah), atau pengolahan air (untuk menetralkan keasaman), proses pengolahan atau penggunaan bisa menghasilkan debu. Misalnya, saat kapur

tohor dihancurkan atau digiling, partikel-partikel kecilnya dapat terlepas ke udara dan membentuk debu.

2. Masalah Lingkungan dan Kesehatan: Debu yang dihasilkan dari pengolahan atau penggunaan kapur tohor dapat menjadi masalah lingkungan dan kesehatan jika tidak dikelola dengan baik. Partikel debu yang terhirup dapat menyebabkan masalah pernapasan dan kesehatan lainnya bagi manusia dan hewan. Selain itu, debu juga dapat mencemari lingkungan sekitarnya jika tersebar secara luas.
3. Pengendalian Debu: Untuk mengurangi masalah debu yang dihasilkan oleh kapur tohor, perusahaan atau industri biasanya menerapkan langkah-langkah pengendalian debu yang tepat. Ini dapat mencakup penggunaan sistem penyaring udara, penyedot debu, atau penggunaan teknologi yang mengurangi pembentukan debu selama proses pengolahan atau penggunaan kapur tohor.

Hubungan antara paparan kapur tohor dan debu terutama terkait dengan proses pengolahan atau penggunaannya dalam industri atau aplikasi lainnya, di mana pengolahan bahan kimia tersebut dapat menghasilkan debu yang perlu dikelola dengan baik untuk menjaga lingkungan dan pekerja di sekitarnya. Analisis data akan melibatkan pengukuran tingkat debu di sekitar area pengolahan dan penggunaan kapur tohor, serta identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan debu, seperti metode aplikasi kapur tohor, kondisi cuaca, dan aktivitas industri lainnya.

Kalsium oksida, yang juga dikenal sebagai kapur hidrat atau kapur tohor, dapat memiliki hubungan dengan debu dalam konteks tertentu. Salah satu potensi hubungan antara kalsium oksida dan debu adalah ketika kalsium oksida digunakan dalam industri atau konstruksi. Proses pengolahan atau penggunaan kalsium oksida dapat menghasilkan debu, terutama jika bahan tersebut dihancurkan, digiling, atau diolah secara mekanis.

Debu yang dihasilkan dari kalsium oksida ini dapat menjadi masalah kesehatan dan lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Partikel debu halus dapat terhirup

oleh manusia dan hewan, dan jika terhirup dalam jumlah besar atau terpapar secara terus-menerus, dapat menyebabkan gangguan pernapasan dan masalah kesehatan lainnya. Selain itu, debu yang tersebar di udara juga dapat mencemari lingkungan sekitarnya.

Oleh karena itu, dalam penggunaan kalsium oksida, penting untuk mengimplementasikan langkah-langkah pengendalian debu yang tepat, seperti menggunakan peralatan pelindung pernapasan, sistem penyaring udara, atau penggunaan teknik pengolahan yang mengurangi pembentukan debu. Ini akan membantu menjaga lingkungan kerja dan lingkungan sekitar dari pencemaran debu yang berlebihan.

### **2.3.3 Faktor- Faktor Yang Mempengaruhi Paparan Kapur Tohor**

Faktor meteorologi dapat berpengaruh terhadap paparan kapur tohor. Kapur tohor adalah partikel halus yang terdiri dari kalsium hidroksida yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan konstruksi. Beberapa faktor meteorologi yang dapat memengaruhi paparan kapur tohor meliputi:

1. Arah Angin: Kecepatan dan arah angin dapat mempengaruhi dispersi kapur tohor dalam udara. Angin yang kuat dapat membawa partikel kapur tohor jauh dari sumbernya, sedangkan angin yang lemah dapat menyebabkan penumpukan partikel di suatu wilayah tertentu.
2. Curah hujan: Curah hujan dapat mengendapkan partikel kapur tohor dari udara ke permukaan tanah atau permukaan air, mengurangi paparan manusia terhadap partikel tersebut.
3. Suhu dan kelembaban udara: Suhu dan kelembaban udara dapat memengaruhi visibilitas dan stabilitas atmosfer, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi penyebaran dan retensi kapur tohor dalam udara.
4. Inversi termal: Inversi termal adalah kondisi di mana udara hangat terjebak di atas udara dingin, yang dapat menghambat dispersi partikel udara ke atas. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi kapur tohor di permukaan tanah, meningkatkan paparan manusia terhadap partikel tersebut.

Oleh karena itu, pemahaman tentang faktor-faktor meteorologi yang mempengaruhi paparan kapur tohor sangat penting dalam mengelola risiko kesehatan dan lingkungan yang terkait dengan penggunaan zat tersebut.

#### **2.3.4 Dampak Pajana Kapur Tohor**

Dampak paparan kapur tohor sangat besar presentasinya untuk terpapar ke manusia, baik itu pekerja atau masyarakat sekitar yang terpapar. Khususnya dalam industri di mana kapur tohor digunakan secara luas, seperti industri semen, pertambangan, atau produksi kertas, pekerja sering terpapar paparan udara kapur tohor. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan langkah-langkah pengendalian paparan yang efektif, seperti penggunaan peralatan pelindung diri (seperti masker respirator), ventilasi yang baik di tempat kerja, dan pelatihan pekerja tentang cara-cara menghindari paparan kapur tohor.

Ketika merencanakan proses kerja atau mengevaluasi risiko kesehatan di tempat kerja, penting untuk mempertimbangkan potensi paparan udara kapur tohor dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang diperlukan untuk melindungi kesehatan pekerja. Dalam penelitian (Daulay, 2022). Penelitian ini bertujuan untuk melihat dampak pajanan kapur tohor terhadap kesehatan pekerja di industri pertambangan dengan menggunakan kapur tohor untuk menetralkan air asam tambang. Dengan menggunakan metode observasi langsung, survei kesehatan, dan analisis data. Melakukan penelitian dari pajanan debu kapur tohor melalui inhalasi seperti pada sistem pernapasan dan iritasi kulit dan mata pada efek jangka panjang dan jangka pendek.

Hasil penelitian (Hayati & Junaidi, 2019) menunjukkan bahwa paparan kapur tohor memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan pekerja, pekerja yang terpapar kapur tohor secara kronis cenderung mengalami gangguan pernapasan seperti bronkitis, asma, dan iritasi pada saluran pernapasan atas. Selain itu, kulit pekerja juga rentan mengalami iritasi, dermatitis, dan kondisi lainnya sebagai akibat dari kontak langsung dengan kapur tohor. Dalam penelitian (Yovita, 2019). menegaskan perlunya tindakan preventif yang efektif untuk melindungi kesehatan pekerja dari paparan kapur tohor. Langkah-langkah seperti penggunaan peralatan pelindung pribadi

(PPE) untuk masyarakat dan menggunakan alat pelindung diri (APD) untuk pekerja, ventilasi yang baik di tempat kerja, serta edukasi pekerja tentang bahaya paparan kapur tohor dapat membantu mengurangi risiko dampak kesehatan yang merugikan.

## **2.4 Debu**

### **2.4.1 Pengertian Debu**

Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara (Suspended Particulate Matter/SPM) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Dalam kasus pencemaran udara baik dalam maupun di ruang gedung (Indoor and Out Door Pollution) debu sering dijadikan salah satu indikator pencemaran yang digunakan untuk menunjukkan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap keselamatan dan kesehatan kerja. Debu industri yang terdapat di udara dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Deposit Particulate Matter yaitu partikel debu yang hanya sementara di udara. Partikel ini akan segera mengendap karena daya tarik bumi.
2. Suspended Particulate Matter adalah debu yang tetap berada di udara dan tidak mudah mengendap (Pudjiastuti, 2002).

Debu adalah partikel padat yang terbentuk dari bahan organik dan anorganik baik oleh kekuatan alam maupun mekanis (misalnya pengolahan, penghancuran, pelunakan, pengepakan cepat, peniupan, dan lain-lain). Secara fisik, debu tergolong polusi. Debu terdiri dari dua kelompok yaitu padat dan cair. Debu partikulat dapat terdiri dari tiga jenis:

1. Dust terdiri dari berbagai ukuran mulai dari yang submikroskopik sampai yang besar. Debu yang berbahaya adalah ukuran yang bisa terhirup ke dalam sistem pernafasan, umumnya lebih kecil dari 100 mikron dan bersifat dapat terhirup ke dalam paru-paru.
2. Fumes Fumes adalah partikel-partikel zat padat yang terjadi oleh karena kondensasi dari bentuk gas, biasanya sesudah penguapan benda padat yang dipijarkan dan lain-lain dan biasanya disertai dengan oksidasi kimiawi sehingga terjadi zat-zat seperti logam (Cadmium) dan timbal (Plumbum).

3. Smoke atau asap adalah produk dari pembakaran bahan organik yang tidak sempurna dan berukuran sekitar 0,5 mikron.

#### **2.4.2 Klasifikasi Debu**

Debu dapat diklasifikasikan ke dalam empat golongan, yaitu:

1. Debu yang menyebabkan fibrosis di dalam paru-paru seperti debu silika, asbestos, dan lain-lain.
2. Debu karon yang merupakan debu inert
3. Debu yang menimbulkan alergi, seperti debu kayu, debu gamping, organik
4. Debu yang bersifat iritan seperti asam, alkali

### **2.5 Parameter PM 2,5, TSP dan SO<sub>2</sub>**

#### **2.5.1 PM<sub>2,5</sub>**

PM 2,5 adalah partikulat yang memiliki ukuran diameter <2,5 µm. Hal ini mengakibatkan PM<sub>2,5</sub> sangat sulit untuk disaring oleh sistem pernafasan sehingga partikel ini akan langsung masuk ke bagian terkecil paru-paru manusia. PM<sub>2,5</sub> mengandung berbagai jenis logam di dalamnya yang dapat membahayakan kesehatan manusia baik secara karsinogenik maupun non karsinogenik (Lestari et al., 2021). PM<sub>2,5</sub> ini memiliki tingkat toksisitas tinggi. Ketika masuk ke dalam tubuh, PM<sub>2,5</sub> akan mampu melakukan penetrasi hingga ke dalam sistem paru-paru. Berbagai penelitian menemukan korelasi antara pencemaran udara dengan penyakit-penyakit tertentu. Salah satunya yaitu terbukti bahwa pajanan PM<sub>2,5</sub> memengaruhi kejadian Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) (Riski & Haryanto, 2020).

#### **2.5.2 Total Suspended Particulate (TSP)**

Total Suspended Particulate (TSP) adalah partikel udara yang berukuran kecil seperti debu, asap, dan uap dengan diameter kurang dari 100 mikrometer. TSP dapat berasal dari beberapa sumber termasuk pembangkit tenaga listrik, insinerator, kendaraan dan aktivitas konstruksi (Rochimawati, 2014). IARC atau Internasional Agency for Research on Cancer (2013) menyatakan bahwa partikulat merupakan salah satu komponen utama dari polusi udara dan telah dievaluasi dan diklasifikasi

bisa bersifat karsinogenik ataupun non karsinogenik. IARC menemukan risiko yang tinggi terhadap kanker paru-paru mengikuti tingginya paparan dari partikulat dan polusi udara (Prilila et al., 2016).

### 2.5.3 SO<sub>2</sub>

SO<sub>2</sub> (sulfur dioksida) dalam bentuk yang terikat secara kimia dengan partikel-partikel kapur. Hal ini terjadi karena sulfur dioksida yang merupakan sumber dari polutan dalam proses industri atau pertambangan, bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) yang ada dalam kapur tohor. (Yani, 2018). Berikut penjelasan mengenai SO<sub>2</sub> pada debu kapur tohor:

1. Penyebab Kandungan SO<sub>2</sub>: Sumber utama sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dalam debu kapur tohor adalah aktivitas industri atau pertambangan yang menghasilkan SO<sub>2</sub> sebagai produk sampingan. Ketika proses pembakaran bahan bakar fosil, seperti batubara atau minyak, atau ketika proses pengolahan bijih sulfida terjadi, SO<sub>2</sub> dapat dilepaskan ke udara.
2. Reaksi dengan Kapur Tohor: Ketika SO<sub>2</sub> bertemu dengan kapur tohor, yang mengandung kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) dan kadang-kadang kalsium oksida (CaO), terjadi serangkaian reaksi kimia. Salah satu reaksi yang terjadi adalah reaksi antara SO<sub>2</sub> dengan kalsium hidroksida:
 
$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 + \text{H}_2\text{O}.$$
 Dalam reaksi ini, sulfur dioksida bereaksi dengan kalsium hidroksida untuk membentuk senyawa kalsium sulfida (CaSO<sub>3</sub>) dan air.
3. Penangkapan SO<sub>2</sub>: SO<sub>2</sub> yang terikat dalam debu kapur tohor pada dasarnya ditangkap dan terperangkap dalam matriks partikel-partikel kapur. Ini mengurangi konsentrasi SO<sub>2</sub> di udara sekitarnya, sehingga membantu mengurangi dampak negatif SO<sub>2</sub> pada lingkungan dan kesehatan manusia.
4. Pentingnya Pengendalian: Debu kapur tohor yang terdapat pada SO<sub>2</sub> harus dikelola dengan hati-hati karena dapat menjadi sumber pencemaran udara yang signifikan jika dilepaskan ke lingkungan secara tidak terkendali. Oleh karena itu, penting untuk mengendalikan penyebaran debu kapur tohor

dan memastikan bahwa proses pengendapan debu dilakukan dengan benar untuk mencegah pelepasan  $\text{SO}_2$  ke udara.

Dalam konteks debu kapur tohor,  $\text{SO}_2$  diikat dalam matriks partikel-partikel kapur dan yang terlepas ke udara dengan bebas. Namun, perawatan yang tepat diperlukan untuk memastikan bahwa debu kapur tohor dielola secara efektif sehingga  $\text{SO}_2$  tidak menyebabkan pencemaran udara yang tidak diinginkan. (Armaeni, 2017).

## **2.6 Baku Mutu Udara Ambien**

Partikulat Debu  $< 100 \mu\text{m}$ , Partikulat Debu  $< 2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ), TSP dan  $\text{SO}_2$  merupakan salah satu parameter yang masuk kedalam Baku Mutu Udara Ambien, Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 menyebutkan bahwa baku mutu udara merupakan kadar batas suatu parameter udara yang diperbolehkan ada sebagai penentu kualitas udara, yang jika melebihi nilai tersebut dapat menyebabkan risiko baik bagi lingkungan sebagai tercemarnya udara sekitar maupun kesehatan manusia (Permenkes, 2023). Dalam pengukuran udara ambien di PT Bukit asam Tbk Tanjung Enim Sumatera selatan untuk regulasi internal dalam perusahaan menggunakan Golden Rules Versi 4.0 serta untuk eksternal menggunakan regulasi PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang pemantauan udara ambien yang menyebutkan bahwa udara bebas di permukaan bumi yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. Berikut adalah tabel parameter pada udara ambien:

**Tabel 2. 2**  
**Baku Mutu Udara Ambien**

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Sistem Pengukuran
1.	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	1 Jam	150 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
		24 Jam	75 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
		1 Tahun	45 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
2.	Karbon Monoksida (CO)	1 Jam	10.000 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
		8 Jam	4000 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
3.	Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> )	1 Jam	200 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
		24 Jam	65 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
		1 Tahun	50 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
4.	Oksidan Fotokimia (O <sub>3</sub> )	1 Jam	150 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
		8 Jam	100 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
		1 Tahun	35 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
5.	Partikulat Debu < 100 µm (TSP)	24 Jam	230 µg/m <sup>3</sup>	Aktif manual
6.	Partikulat Debu < 10 µGm (PM <sub>10</sub> )	24 Jam	75 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
		1 Tahun	40 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
7.	Partikulat Debu < 2,5 µgm (PM <sub>2,5</sub> )	24 Jam	55 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
		1 Tahun	15 µg/m <sup>3</sup>	Aktif kontinu
8.	Timbal (Pb)	24 Jam	2 µg/m <sup>3</sup>	Aktif manual

*Sumber : Permenkes No 2 Tahun 2023*

**Tabel 2.3**  
**Golden Rules Versi 4.0 PT Bukit Asam Tbk**

<b>Item</b>	<b>No</b>	<b>Ketentuan</b>	<b>Jenis Pelanggaran</b>	<b>Sanki</b>	<b>Denda Finansial</b>
Prosedur Kerja	6	Setiap Pekerja wajib melaksanakan pekerja sesuai dengan prosedur kerja/ tat laksana kerja/tata cara kerja/JSA	Melanggar prosedur kerja/tat laksana kerja/tata cara kerja/ JSA sehingga menyebabkan terjadinya kecelakaan	3 Poin 3 Lubang	Rp. 2.000.000
Helm Keselamatan	1	a.Wajib digunakan oleh setiap orang pada saat memasuki area tambang dan selama berada di area tambang  b.Untuk pekerja di ketinggian dilengkapi dengan helm	a. Tidak menggunakan helm keselamatan saat memasuki pintu masuk area tambang b.Tidak menggunakan helm keselamatan selama berada di area tambang kecuali pada area atau pekerjaan yang telah di tentukan  c.Tidak di lengkapi tali helm saat melakukan pekerjaan pada ketinggian	3 Poin 3Lubang	Rp. 1.000.000
Sepatu Keselamatan	2	a. Wajib digunakan oleh setiap orang pada saat memasuki area tambang dan selama berada di area tambang, kecuali pada area atau pekerjaan yang telah di tentukan b. Wajib digunakan saat mengemudikan/mengoprasikan kendaraan	Tidak menggunakan sepatu keselamatan saat memasuki area tambang atau selama berada di area tambang kecuali pada area atau pekerjaan yang telah di tentukan	3 Poin 3Lobang	Rp. 1.000.000
Rompi Pantul	3	Wajib digunakan oleh setiap orang pada saat memasuki pintu masuk area tambang kecuali pada area atau pekerjaan yang telah di tentukan	Tidak menggunakan rompi pantul saat memasuki pintu masuk area tambang atau selama berada di area tambang kecuali pada area atau pekerjaan yang telah di tentukan.	3 Poin 3 Lubang	Rp.1000.000
Masker	5, 6	a.Wajib menggunakan masker debu pada area yang terdapat rambu wajib masker debu	Tidak menggunakan masker debu pada lokasi yang terdapat rambu wajib masker debu dan	2 Poin 2 Lobang	Rp. 1.000.000

		b. Wajib menggunakan masker gas pada lokasi atau pekerjaan yang mempersyaratkan penggunaan masker gas	masker gas.		
Kacamata, Keselamatan Perlindungan Muka	7	Wajib menggunakan Kacamata keselamatan pada lokasi yang terdapat rambu wajib kacamata keselamatan.	Tidak menggunakan kacamata keselamatan pada lokasi yang terdapat rambu wajib kacamata keselamatan	1 Poin 1 Lubang	Rp.500.000
Sarung Tangan	10	a. Wajib menggunakan sarung tangan pengikat barang/benda tajam yang dapat membahayakan tangan b. Wajib menggunakan sarung tangan khusus untuk pekerjaan yang dapat mencederai tangan, seperti mekanik, listrik, kimia, dan pekerjaan lainnya.	Tidak menggunakan sarung tangan pengangkat barang/benda tajam yang dapat membahayakan tangan Tidak menggunakan sarung tangan saat melakukan pekerjaan mekanik/listrik/kimia/pekerjaan lainnya yang dapat membahayakan tangan.	1 Poin 1 Lubang	Rp.500.000
Baku Mutu Lingkungan	3	Wajib melakukan pengelolaan lingkungan : kualitas air, kualitas udara, ambient, kebisingan, dan emisi tidak melebihi Baku Mutu Lingkungan (BML) yang telah ditentukan masing-masing dari parameter yang diukur.	a. Perusahaan tidak memiliki tenaga kerja yang mempunyai sertifikat kompetensi di bidang Pengelolaan Lingkungan b. Tidak melakukan program pengelolaan lingkungan Kualitas Air, Kualitas Udara, Ambient, Kebisingan, dan Emisi. c. Melakukan tindakan yang menyebabkan pencemaran lingkungan yang berdampak besar terhadap kerusakan lingkungan dan menyebabkan BML terlewat	2 Poin 2 Lubang	Rp.2000.000

Sumber: *Goldern Rules PT Bukit Asam Tbk Versi 4.0*

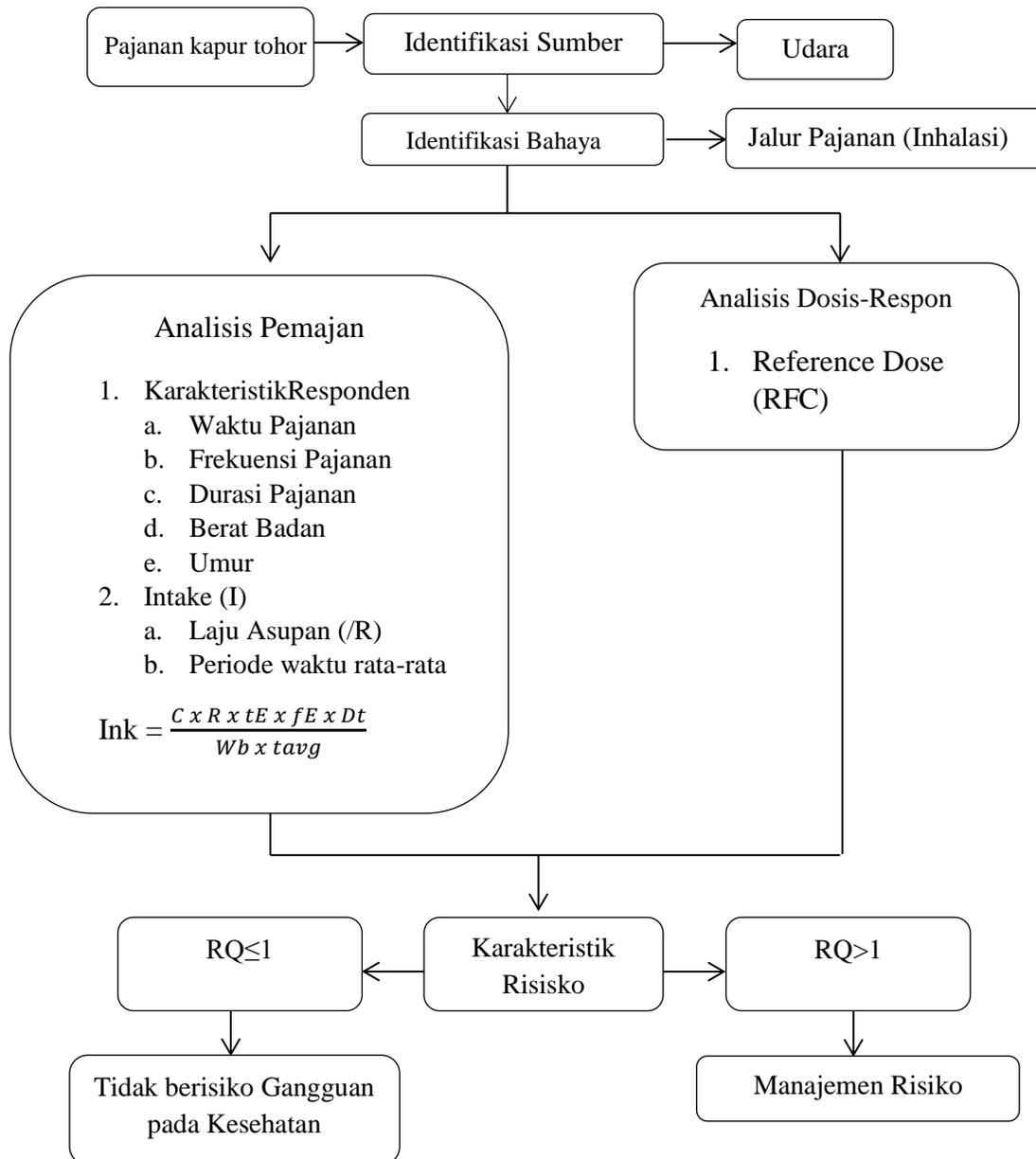
## 2.7 Penelitian Terdahulu

**Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu**

No	Nama Penelitian	Judul Penelitian	Tahun Penelitian	Variabel	Desain Penelitian	Hasil dan Kesimpulan Penelitian
1	(Mallongi <i>et al.</i> , 2018)	Risk Assessment due to the exposure of Copper and Nitrogen Dioxide in the Goldsmith in Malimongan Makassar	2018	Variabel dalam penelitiannya diantaranya: Waktu, frekuensi dan durasi pajanan, Berat badan	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)	Hasil perhitungan risiko akibat pajanan NO2 seluruhnya tidak beresiko dengan RQ < 1
2	(Handika <i>et al.</i> , 2019)	Analisis Risiko Non Karsinogenik Pajanan PM <sub>10</sub> Di Kawasan Komersial Kota Jambi	2019	Variabel dalam penelitian ini diantaranya : Waktu, frekuensi, durasi pajanan, dan berat badan	Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL)	Hasil penelitian menunjukkan konsentrasinya diamati telah melampaui baku mutu udara ambien sebesar 196,9 µg/m <sup>3</sup> pada akhir pekan dan 2,094 µg/m <sup>3</sup> pada hari kerja. Yang dikategorikan (yaitu RQ > 1),
3	Nurfadillah, A. R. (2023).	Penilaian Risiko Pajanan Total Suspended Particulate pada Masyarakat	2023	Variabel dalam penelitian diantaranya: usia perilaku merokok, riwayat penyakit, jarak lokasi tempat tinggal	Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL)	Hasil perhitungan Intake Realtime pada konsentrasi TSP diperoleh nilai Intake Realtime tertinggi berada pada lokasi 2 yaitu 0.0180 – 0.2210 mg/kg/hari dengan rata-rata 0.013307 mg/kg/hari dan intake lifetime yaitu 0.0675 – 0.1980 mg/kg/hari dengan rata-rata 0.123200 mg/kg/hari. Berdasarkan tingkat risiko (RQ) pada konsentrasi TSP realtime dan lifetime didapatkan RQ ≤ 1 artinya tidak ada risiko atau masih aman bagi masyarakat yang tinggal di daerah pertambangan kapur Buliide.

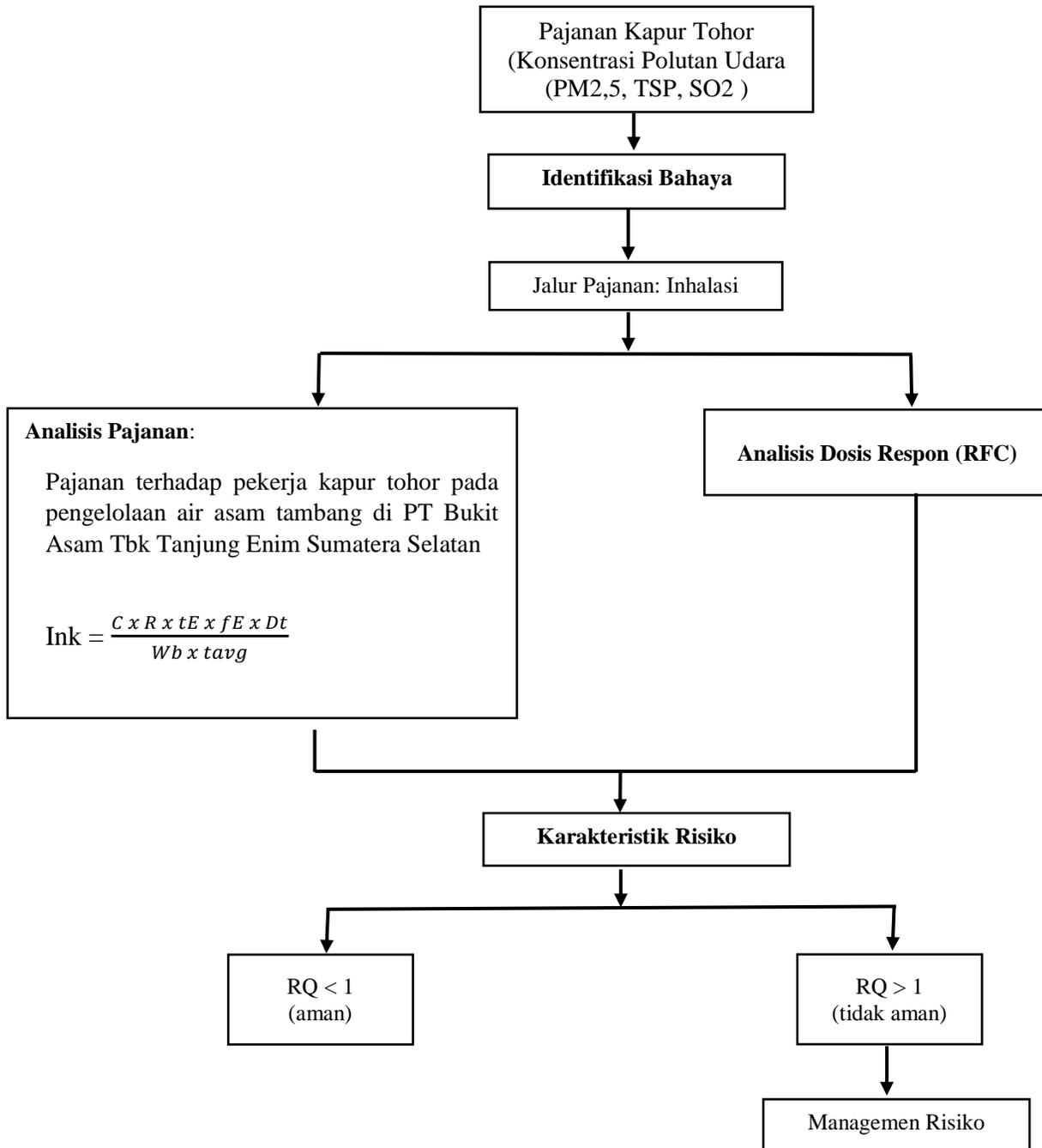
4	Muhamad Yunus, Widi Raharjo, dan Agus Fitriangga (2020)	Analisis Risiko kesehatan lingkungan pada faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian ISPA di PT.X	2020	Variabel penelitian diantaranya: umur, jenis kelamin, masa kerja, penggunaan APD dan peran petugas kesehatan	Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL)	Determinan kejadian ISPA adalah usia ( $p=0,001$ ), jenis kelamin ( $p=1,000$ ), pengetahuan ( $p=0,004$ ), pendidikan ( $p=0,023$ ), masa kerja ( $p=0,745$ ), fasilitas kesehatan ( $p=0,535$ ), penggunaan APD ( $p=0,032$ ), peran petugas kesehatan ( $p=0,116$ ), peran petugas K3 ( $p=1,000$ ).
5	Ahmad Zaenal Arifin, Kresna Oktafianto, Ridho Awanda, dan Nazilatul Fatihah (2019)	Untuk mengetahui sebaran debu kapur pada pabrik kapur di daerah Tuban	2019	Variabel penelitian yaitu polutan udara yang berada di area pabrik kapur	Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL)	Hasil penelitian menunjukkan pengukuran faal paru terhadap 23 pekerja menunjukkan bahwa sebanyak 13% responden mengalami gangguan fungsi paru dengan kategori obstruksi ringan.
6	Lestari, Shadiq, Regia, R. A., Goembira, dan Akbar, F. (2021).	Potensi risiko pajanan PM <sub>2,5</sub> pada pekerja tambang batu kapur di PT.X Kab. 50 Kota	2021	Variabel penelitian diantaranya: status gizi, umur, masa kerja, lama paparan dan penggunaan APD.	Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa Nilai RQ PM <sub>2,5</sub> < 1 dan ECR Cd < 1E-04 (realtime) mengindikasikan bahwa pajanan PM <sub>2,5</sub> dan Cd belum memberikan risiko bagi pekerja. Nilai RQ AI mengindikasikan bahwa pajanan polutan sudah berisiko terhadap kesehatan pekerja.
7	Aris Widodo (2017)	Untuk mengetahui hubungan antara lamanya bekerja sebagai penambang batu kapur dengan di daerah Gunungkidul	2017	Varibel dalam penelitian diantaranya: masa kerja, lama kerja dan riwayat penyakit	Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL)	Hasil penelitian menunjukkan ada pengaruh hubungan antara lamanya bekerja sebagai penambang kapur dengan nilai VO <sub>2</sub> Maks, didapatkan nilai $p=0,036$

## 2.8 Kerangka Teori



Gambar 2.3 Kerangka Teori Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan  
 Sumber : Modifikasi WHO IPCS (2021), Dalam Raharnata (2021), Amalia (2023)

## 2.9 Kerangka Konsep



**Gambar 2. 4 Kerangka Konsep**

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan Kapur Tohor (PM 2.5, TSP, dan SO<sub>2</sub>) Pada Pekerja Pengelolaan Air Asam Tambang di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan

## 2.10 Definisi Operasional

Definisi operasional dalam penelitian ini terdapat dalam tabel berikut:

**Tabel 2.5 Definisi Operasional**

Variabel	Definisi	Alat Ukur	Cara Ukur	Hasil Ukur	Skala Ukur
Konsentrasi PM <sub>2,5</sub>	Konsentrasi paparan Partikulat Matter 2,5µm (PM <sub>2,5</sub> ) di area proses pemberian kapur tohor	Hight Volume Air Sampler (HVAS)	Pengukuran Langsung	µg/Nm <sup>3</sup>	Rasio
Konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP)	Konsentrasi paparan Total Suspended Particulate (TSP) di area proses pemberian kapur tohor	Hight Volume Air Sampler (HVAS)	Pengukuran Langsung	µg/Nm <sup>3</sup>	Rasio
Konsentrasi SO <sub>2</sub>	Konsentrasi paparan Total SO <sub>2</sub> di area proses pemberian kapur tohor	Hight Volume Air Sampler (HVAS)	Pengukuran Langsung	µg/Nm <sup>3</sup>	Rasio
Intake (I)	Jumlah konsentrasi agen risiko yang masuk ke dalam tubuh	Rumus perhitungan (Ink)	$Ink = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$	Mg/kg/hari	Rasio
Inhalation Rate (R)	Banyaknya udara yang dihirup dalam bentuk volume setiap jam nya.	Kalkulator	Inhalation Rate orang dewasa yaitu sebesar 0,83 m <sup>3</sup> /jam	M <sup>3</sup> /jam	Rasio
Lamanya paparan (tE)	Periode waktu populasi berisiko paparan Konsentrasi PM 2,5, PM10 dan TSP dihitung berdasarkan jumlah jam kerja kapur tohor dalam satu hari (Jam/Hari)	Kuesioner	Wawancara	Jam/Hari	Rasio
Frekuensi Paparan (fE)	Keterpaparan populasi terpajan konsentrasi PM <sub>2,5</sub> , TSP, SO <sub>2</sub> berdasarkan jumlah hari pekerja kapur tohor dalam satu tahun (Hari/Tahun)	Kuesioner	Wawancara	Hari/Tahun	Rasio
Durasi Paparan (Dt)	Lamanya waktu terpajan konsentrasi PM <sub>2,5</sub> , TSP, dan SO <sub>2</sub> terhadap pekerja kapur tohor berdasarkan pajanan sebenarnya dan pajanan sepanjang hidup (Tahun).	Kuesioner	Wawancara	Tahun	Rasio
Berat Badan (Wb)	Berat Badan Manusia (Kg)	Timbangan Digital	Penimbangan Langsung	Kg	Rasio
Umur	Lamanya hidup seseorang terhitung sejak tanggal lahir	Kuesioner	Wawancara	1. ≥ 30 tahun 2. < 30 tahun	Rasio

	sampai penelitian dilaksanakan dinyatakan dalam tahun			(Amerta and Wirawan, 2020)	
Periode Waktu Rata-Rata ( <i>tavg</i> )	Hasil perkalian antara durasi pajanan, waktu pajanan, dan frekuensi pajanan berdasarkan nilai default US-EPA	Kalkulator	Menggunakan nilai default US-EPA untuk Nonkarsinogenik. Hari Ratio 31 (Hari/Tahun) 30 tahun x 365 hari/tahun.	Hari	Rasio
Konsentrasi Referensi/ <i>Reference Concentration (RFC)</i>	Perkiraan dosis/ konsentrasi paparan harian terhadap agen risiko non karsinogenik tidak menyebabkan konsekuensi yang merugikan	Kepustakaan RfC PM 2,5 = 0,01 mg/m <sup>3</sup> TSP = 0,26 mg/m <sup>3</sup> SO2 = 0,075 mg/m <sup>3</sup>	Studi Literatur	µg/Nm <sup>3</sup>	Rasio
Risiko Non karsinogenik/ <i>Risk Quotient (RQ)</i>	Besarnya risiko yang diterima responden yang diperoleh dari hasil pembagian nilai intake dan RFC, yang dikategorikan aman atau tidaknya suatu pajanan tersebut (EHRA, 2012)	Rumus perhitungan (RQ)	RQ: <i>I R f C</i>	RQ ≤ 1: Tidak berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan RQ > 1:berpoten I menyebabk an gangguan kesehatan	Rasio

## 2.11 Hipotesis

Hipotesis Penelitian Hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian, dimana rumusan masalah penelitian telah dinyatakan dalam bentuk kalimat pernyataan (Sugiyono, 2014). Berdasarkan kerangka konseptual di atas, maka hipotesis dalam penelitian ini adalah:

1. Ada risiko pajanan (PM<sub>2,5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>) terhadap kesehatan Pekerja Kapur Tohor di PT Bukit Asam Tbk.
2. Tidak Ada risiko pajanan (PM<sub>2,5</sub>, TSP dan SO<sub>2</sub>) terhadap kesehatan Pekerja Kapur Tohor di PT Bukit Asam.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi yang digunakan analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) yang bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan debu kapur tohor (PM 2,5, TSP, dan SO<sub>2</sub>) dalam proses pemberian kapur tohor pada proses penetralisasian air asam tambang. Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan penilaian atau penaksiran risiko kesehatan yang bisa terjadi di suatu waktu pada populasi berisiko. Metode sangat cocok dipakai untuk kajian dampak lingkungan terhadap kesehatan masyarakat. Secara garis besarnya analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) menurut National Research Council (NRC) terdiri dari empat tahap kajian, yaitu: Identifikasi bahaya, Analisis paparan, Analisis dosis-respon, dan Karakterisasi risiko (NRC 1983).

Adapun langkah-langkah penelitian dengan menggunakan metode analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) sebagai berikut:

1. Identifikasi bahaya (*hazard identification*), Identifikasi Bahaya Pertama penelitian ini dimulai dengan melakukan analisis risiko paparan kapur tohor (PM<sub>2,5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>) terhadap pekerja pengelolaan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan dengan cara mengidentifikasi sumber bahaya yang menimbulkan gangguan kesehatan dapat berupa agen kimia, biologi, fisik dan potensi bahaya lainnya.
2. Analisis Dosis - Respon Kemudian pada langkah ini dilakukan kajian literatur terhadap besarnya konsentrasi paparan kapur tohor (PM<sub>2,5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>) terhadap pekerja kapur tohor pengelolaan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan.
3. Analisis Paparan Selanjutnya yaitu dilakukannya analisis paparan dengan mengestimasi jumlah intake inhalasi setiap harinya dengan menghitung

besarnya risiko paparan debu kapur tohor (PM<sub>2,5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>), laju inhalasi, durasi pajanan, lama pajanan, frekuensi pajanan dan berat badan responden.

4. Karakteristik Risiko Langkah terakhir yaitu dilakukannya karakteristik risiko dengan mengestimasi risiko secara numerik dimana perhitungan RQ didapatkan dari hasil pembagian antara nilai intake dengan RfD. Apabila nilai  $RQ > 1$  berarti ada potensi risiko kesehatan sehingga perlu dilakukan pengendalian, sebaliknya jika besaran  $RQ \leq 1$  maka tidak perlu melakukan pengendalian risiko namun kondisi yang demikian perlu dikendalikan agar tetap di batas aman.
5. Manajemen risiko (dilakukan apabila  $RQ > 1$ )

### **3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian**

#### **3.2.1 Lokasi Penelitian**

Tempat penelitian akan dilaksanakan di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim, Sumatera Selatan.

#### **3.2.2 Waktu Penelitian**

Penelitian dilaksanakan pada bulan April- September 2024.

### **3.3 Populasi dan Sampel**

#### **3.3.1 Populasi Penelitian**

Populasi adalah wilayah yang disederhanakan yang terdiri dari objek atau subjek dengan kualitas dan ciri tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya. (Sugiyono, 2011) Populasi responden dalam penelitian ini adalah seluruh pekerja bagian pemberian kapur tohor yang berada di lingkungan satuan kerja pengelolaan lingkungan, dengan jumlah pekerja sebanyak 14 orang.

#### **3.3.2 Sampel Penelitian**

Sampel adalah bagian dari populasi penelitian yang diharapkan dapat menjadi acuan menjadi representasi yang akurat dari objek penelitian yang akan diamati.

Proses pengambilan sampel melibatkan beberapa aspek seperti perhitungan sampel, alokasi waktu, biaya, dan tenaga dengan tingkat keakuratan yang diinginkan. (Hermawan, 2019).

#### 1. Sampel Manusia

Sampel responden dalam penelitian ini berjumlah 14 orang pekerja kapur tohor pada pengelolaan air asam tambang, yang menggunakan total sampling/sampling jenuh sebagai teknik pengambilan sampel. Total sampling adalah suatu teknik dimana semua populasi dijadikan sampel penelitian dengan pertimbangan jumlah populasi yang relatif kecil (Andarini et al., 2021).

#### 2. Sampel Parameter

Sampel parameter dalam penelitian ini diambil dari hasil analisa pengukuran udara pada dengan parameter ( $PM_{2.5}$  TSP dan  $SO_2$ ). Untuk pengukuran udara di tempat penelitian melibatkan pihak ketiga dan pengukuran dilakukan rutin setiap bulannya, dengan bekerjasama pada pihak ketiga dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Selatan. Dengan lokasi pengambilan sampel di Banko Barat, Titik tersebut sudah mewakili daerah yang sedang dipantau.



**Gambar 2.5** Peta Kolam Pengendapan Air Asam Tambang

*Sumber: Satuan Kerja Perencanaan Lingkungan PT. Bukit Asam, Tbk*

### 3.3.2 Teknik Pengambilan Sampel

#### 1. Responden

Sampel adalah sebagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut (Suriani, N., & Jailani, M. S, 2023). Sampel yang pilih dari populasi harus betul-betul representatif atau mewakili (Sugiyono, 2018). Adapun penelitian yang akan dilaksanakan adalah penelitian sampel dimana hasilnya akan digeneralisasikan pada populasi sebagai hasil penelitian. Teknik pemilihan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *total sampling*, yaitu pemilihan sampel secara total yang dilakukan dengan cara menetapkan jumlah anggota secara total (Soekidjo Notoatmodjo, 2017). Kemudian jumlah dari populasi sebesar 14 orang secara total dipilih sebagai jumlah total sampel yaitu 14 orang.

Kriteria inklusi :

1. Pekerja Pemberian Kapur Tohor
2. Menghirup udara di lokasi penelitian

Kriteria eksklusi :

1. Pekerja sementara/pengganti yang bukan semestinya
2. Parameter (PM<sub>2,5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>)

Pengambilan sampel di lapangan menggunakan Alat Hight Volume Air Sampler (HVAS) SNI 7119.14:2016. Pengambilan sampel pada Pengoperasian Hight Volume Air Sampler dilakukan pada 3 titik sample pada pengukuran tersebut dilakukannya kerja sama antara perusahaan dengan pihak ketiga yaitu Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Selatan.

## 3.5 Jenis, Cara, dan Alat Pengumpulan Data

### 3.5.1 Jenis Pengumpulan data

#### A. Data Primer

Penelitian ini menggunakan data primer. Data primer adalah data yang diperoleh dari sumber langsung objek penelitian atau pengukuran secara

langsung. Data primer dalam penelitian ini diperoleh langsung setelah peneliti menandatangani *informed consent*. Data primer yang digunakan ialah karakteristik responden, hasil wawancara menggunakan kuesioner yang dilakukan secara langsung.

#### B. Data Sekunder

Data sekunder didapat dari berbagai literatur seperti buku, penelitian, jurnal penelitian, skripsi, website internet, dokumen atau file yang berkaitan dengan penelitian dari perusahaan, serta bacaan lain yang erat kaitannya dengan penelitian ini.

### 2.4.1 Alat Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini melalui teknik pendekatan penelitian kuantitatif dilakukan untuk membantu mengungkap data yang digunakan dari penelitian yang akan dilakukan. Alat pengumpulan data sebagai berikut :

#### 1. Kuesioner

Kuesioner digunakan sebagai alat pengumpulan data dalam suatu penelitian yang berisikan pertanyaan-pertanyaan untuk mendapatkan informasi atau jawaban (Notoatmodjo, 2018). Kuesioner dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui karakteristik responden seperti Frekuensi pekerja, lama paparan, lama bekerja, Penggunaan Alat pelindung Diri, Umur, dan Kebiasaan Merokok.

#### 2. Observasi

Observasi lapangan dalam penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah hasil data yang ada sesuai dengan kejadian di lapangan.

#### 3. Pengukuran

Untuk mengetahui paparan debu di lingkungan kerja maka dilakukan pengukuran secara langsung di lapangan. Konsentrasi paparan debu diukur menggunakan metode Alat High Volume Air Sampler (HVAS) adalah alat pengambil sampel partikulat di udara yang memiliki prinsip kerja dengan sistem vakum dengan menarik udara lingkungan sekitar melalui inlet

dengan ukuran-selektif dan melalui filter berukuran 20,3 x 25,4 cm (8" x 10") pada laju alir 1.132 liter/menit. HVAS memiliki prinsip atau cara kerja yaitu udara yang memiliki kandungan partikel debu dapat dihisap dan mengalir ke dalam kertas filter dengan menggunakan motor dengan putaran kecepatan yang tinggi. Debu akan menempel.

1) Proses Kalibrasi alat Hight Volume Air Sampler (HVAS)

Proses Kalibrasi alat Hight Volume Air Sampler (HVAS) adalah proses penting untuk memastikan akurasi alat dengan tujuan untuk memastikan akurasi dan keandalan data pengukuran polusi udara. Alat Hight Volume Air Sampler yang digunakan pihak ke tiga yaitu Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Selatan untuk melakukan pengukuran di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan sebelum digunakan alat terlebih dahulu sudah dilakukan kalibrasi untuk memastikan hasil yang didapatkan konsisten dan valid. Berikut adalah langkah-langkah umum untuk melakukan kalibrasi HVAS:

**A. Persiapan**

- 1) Periksa Manual: Selalu periksa manual pengguna HVAS untuk petunjuk khusus mengenai kalibrasi yang mungkin berbeda antar model.
- 2) Kondisi Lingkungan: Pastikan alat berada dalam kondisi lingkungan yang sesuai (temperatur dan kelembaban) seperti yang direkomendasikan oleh pabrikan.
- 3) Bersihkan Alat: Bersihkan semua bagian alat untuk memastikan tidak ada debu atau kotoran yang dapat mempengaruhi kalibrasi.

**B. Alat dan Bahan**

- 1) Manometer atau Alat Pengukur Aliran Kalibrasi: Digunakan untuk mengukur laju aliran udara yang akurat.
- 2) Termometer dan Barometer: Untuk mengukur suhu dan tekanan udara di sekitar alat.

- 3) Stopwatch: Untuk mengukur waktu pengambilan sampel.
- 4) Filter Kertas atau Media Pengumpul: Digunakan untuk menangkap partikel selama kalibrasi.

### **C. Langkah-langkah Kalibrasi**

- 1) Pasang Media Pengumpul: Pasang filter kertas atau media pengumpul pada HVAS sesuai dengan instruksi manual.

- 2) Pengaturan Awal:

- A. Hidupkan HVAS dan biarkan alat berjalan beberapa menit untuk mencapai kondisi operasional stabil.
- B. Catat suhu dan tekanan udara menggunakan termometer dan barometer.

- 3). Pengukuran Awal:

- A. Sambungkan manometer atau alat pengukur aliran kalibrasi ke HVAS pada titik yang sesuai (biasanya di jalur aliran udara keluar).
- B. Catat pembacaan awal laju aliran udara dari alat pengukur kalibrasi.

- 4). Pengaturan Laju Aliran:

- A. Sesuaikan laju aliran udara HVAS menggunakan kontrol yang tersedia pada alat hingga sesuai dengan laju aliran yang diinginkan. Laju aliran standar untuk HVAS biasanya sekitar 1.13 hingga 1.70 meter kubik per menit (40 hingga 60 kaki kubik per menit).

### **D. Verifikasi:**

- 1) Setelah pengaturan, catat pembacaan dari manometer atau alat pengukur aliran kalibrasi.
- 2) Ulangi pengukuran beberapa kali untuk memastikan konsistensi dan akurasi.

### **E. Kalibrasi Ulang:**

Jika pembacaan tidak konsisten atau tidak sesuai dengan laju aliran yang diinginkan, lakukan penyesuaian ulang dan verifikasi kembali hingga mendapatkan hasil yang akurat.

**F. Dokumentasi:**

- 1) Catat semua data kalibrasi termasuk suhu, tekanan, laju aliran awal dan akhir, serta waktu pengukuran.
- 2) Simpan data ini untuk referensi dan sebagai bukti kalibrasi.

**G. Pasca Kalibrasi**

- 1) Pemeliharaan Rutin:

Lakukan pemeliharaan rutin pada HVAS sesuai dengan rekomendasi pabrikan untuk memastikan kinerja alat tetap optimal.

**H. Kalibrasi Berkala:**

Lakukan kalibrasi secara berkala (misalnya setiap bulan atau sesuai jadwal yang ditetapkan) untuk memastikan alat tetap dalam kondisi kalibrasi yang baik.

**B. Proses Kerja alat Hight Volume Air Sampler (HVAS)**

Prinsip Kerja : HVAS bekerja dengan menarik volume udara besar melalui penyaringan khusus untuk menangkap partikulat tertentu, sehingga memungkinkan pengumpulan sampel yang representatif untuk analisis kualitas udara.

Bahan :

1. Bahan : Anodized Alumunium
- 2) Laju Alir : Max. 2000 L/menit
- 3) Penunjuk aliran udara : Skala 5 m<sup>3</sup>/menit
- 4) Motor/Blower : 6800 RPM, 1200 watt, 5 HP,6A
- 5) Stainless steel filter holder
- 6) Filter Holder: 8" x 10"
- 7) Power : 7W
- 8) LCD Display 2×16
- 9) Timer 24 jam (adjustable)

## 10) Sensor Temperatur dan kelembaban

### 3.5.3 Pengelolaan Data

#### 1. Pengolahan Data (*Editing*)

Pemeriksaan data adalah pemeriksaan semua data pada kegiatan, baik hasil data kuesioner maupun hasil data pengukuran di lapangan. Setelah pengambilan data di lapangan, kuesioner diperiksa kembali untuk melihat data yang diperoleh semuanya terisi dan jelas. Kuisisioner yang telah dikumpulkan pada saat pengambilan data di lapangan sebelumnya diperiksa kembali untuk memastikan bahwa data yang diperoleh terisi semua dan dapat dibaca dengan jelas.

#### 2. Pengkodean data (*Coding*)

Pengkodean data adalah langkah penyusunan sistematis dari data mentah menjadi bentuk yang mudah dibaca melalui alat computer. Jawaban kuisisioner diubah kedalam bentuk kode angka. Tujuan *coding* yaitu agar mempermudah saat *entry* data dan analisis data.

#### 3. Processing

Setelah kuisisioner terisi dengan benar dan sampai selesai, dan sudah dilakukan pengkodean data maka proses lebih lanjut yaitu dilakukan pemrosesan data yang sudah di entry ke Microsoft excel dapat dianalisis menggunakan software *Statistical Product and Service Solution* (SPSS).

#### 4. Pembersihan Data (*Cleaning*)

Kegiatan apabila terjadi reaktivitas data yang diinput memungkinkan untuk memeriksa kembali distribusi frekuensi setiap variabel yang diteliti berdasarkan logikanya dan bermanfaat untuk memeriksa ulang kelengkapan data dan meminimalkan kesalahan analitis. Cara membersihkan data antara lain :

1. Mengetahui missing data
2. Mengetahui variasi data
3. Mengetahui konsistensi data

### **3.6 Analisis dan Penyajian Data**

#### **3.6.1 Analisis data**

##### **a. Analisis Univariat**

Tabel dalam analisis univariat adalah analisis suatu tabel menggambarkan penyajian data karakteristik masing-masing variable penelitian. (Notoatmodjo, 2010). Dalam penelitian ini Data akan diolah terlebih dahulu kemudian dianalisis menggunakan metode analisis deskriptif untuk mengidentifikasi pola sebaran datanya, apakah sesuai dengan distribusi normal atau tidak. (Andarini et al., 2021). Uji normalitas akan dilakukan sebelum proses analisis data berdasarkan kerangka penelitian yang telah disusun. Tujuan dari uji normalitas ini adalah untuk mengetahui sebaran data dalam satu variabel yang akan digunakan dalam studi tersebut.

Uji normalitas akan menggunakan metode Shapiro Wilk. Dalam analisis univariat, data kategorikal akan disajikan dalam bentuk tabel dengan jumlah dan persentase sebagai informasi yang ditampilkan. Sementara untuk data numerik, akan disajikan nilai rata-rata, median, rentang nilai (minimum-maksimum), deviasi standar, serta kecenderungan distribusinya. Variabel numerik yang akan dipresentasikan termasuk konsentrasi debu dan beberapa variabel lain seperti Berat Badan, Laju Inhalasi, Lama Paparan, Frekuensi Paparan, dan analisis data akan dilakukan melalui perhitungan menggunakan perangkatdurasi paparan. untuk analisi data dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan SPSS dan Microsoft Excel.

#### **3.6.2 Penyajian Data**

Pengumpulan data primer dari lapangan akan diolah dengan menggunakan aplikasi atau software SPSS yang kemudian data tersebut disajikan dalam bentuk tabel dari hasil univariat dan analisis risiko yang telah dilakukan.

## BAB IV

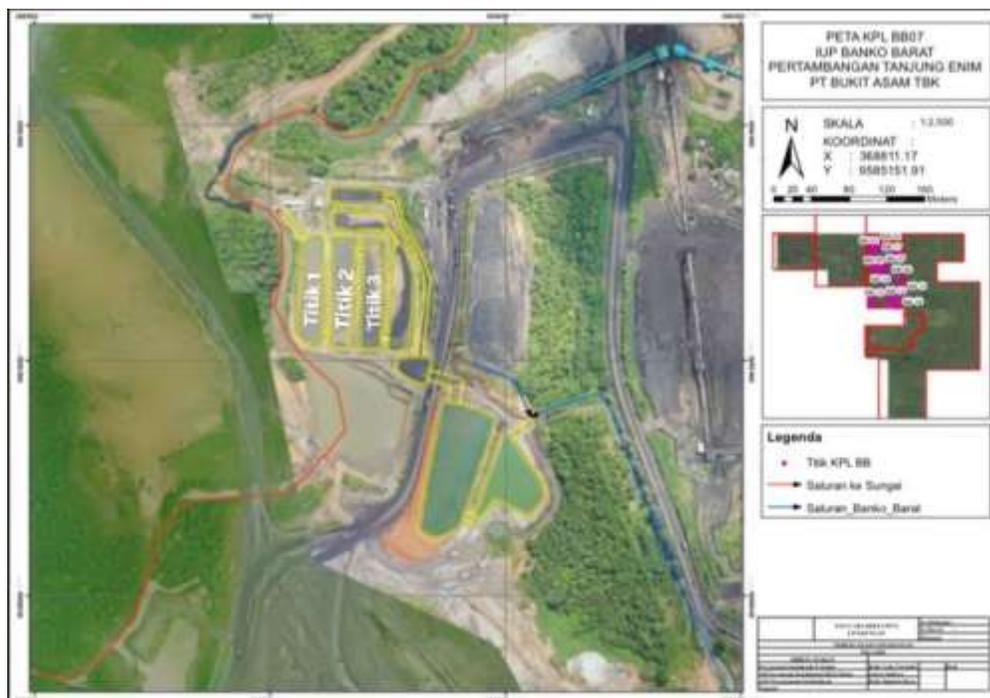
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil

##### 4.1.1 Profil Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Bukit Asam, Tbk Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim. Pada titik lokasi pengambilan sample penelitian ini dilakukan di lokasi IUP Banko Barat PT. Bukit Asam, Tbk tepatnya di Banko Barat (BB). Dengan 3 sampel pengukuran yaitu :

1. Titik 1 ( area Timbunana PIT 3 Barat)
2. Titik 2 (area Timbunan PIT 3 Dekat KPL)
3. Titik 3 (area PIT BB).



Gambar 4.1 Lokasi Pengambilan Sampel KPL BB

*Sumber : Satuan Kerja Perencanaan Lingkungan*

Secara geografis yang telah di tentukan oleh satuan kerja perencanaan lingkungan (Renling) pada PT Bukit Asam dinyatakan bahwa 3 titik sampel tersebut telah mewakili daerah IUP Banko Barat pada Kolam Pengendapan Lumpur (KPL) penentuan titik lokasi pemantauan pemberian kapur tohor di KPL BB.

#### 4.1.2 Identifikasi Bahaya

##### 4.1.2.1 Konsentrasi Pengukuran Parameter Penelitian

Konsentrasi pada penelitian ini dibagi menjadi 3 lokasi sampling. Adapun gambaran konsentrasi pengukuran sampel penelitian dapat dilihat pada tabel berikut:

1. Parameter PM 2,5

**Tabel 4.1**  
**Hasil Pengukuran Konsentrasi Parameter (PM<sub>2,5</sub>)**

<b>Titik Sampling</b>	<b>Konsentrasi PM<sub>2,5</sub></b>	<b>Konsentrasi Rata-rata</b>
Titik I	0,0361 mg/m <sup>3</sup>	0,0350 mg/m <sup>3</sup>
Titik II	0,0320 mg/m <sup>3</sup>	
Titik III	0,0370 mg/m <sup>3</sup>	

Berdasarkan tabel diatas, menunjukkan bahwa pengukuran konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dilakukan pada tiga titik pengambilan sampel. Yang mana, konsentrasi tertinggi dari ketiga titik pengukuran yaitu sebesar 0,0370 mg/m<sup>3</sup> dan konsentrasi terendah yaitu sebesar 0,0320 mg/m<sup>3</sup> dengan konsentrasi rata-rata dari ketiga titik pengambilan sampel yaitu sebesar 0,0350 mg/m<sup>3</sup>

2. Parameter Total Suspended Particulate

**Tabel 4.2**  
**Hasil Pengukuran Konsentrasi Parameter (Total Suspended Particulate)**

<b>Titik Sampling</b>	<b>Konsentrasi TSP</b>	<b>Konsentrasi Rata-rata</b>
Titik I	0,1962 mg/m <sup>3</sup>	0,2838 mg/m <sup>3</sup>
Titik II	0,4669 mg/m <sup>3</sup>	
Titik III	0,1885 mg/m <sup>3</sup>	

Berdasarkan tabel diatas, menunjukkan bahwa pengukuran konsentrasi TSP dilakukan pada tiga titik pengambilan sampel. Yang mana, konsentrasi tertinggi dari ketiga titik pengukuran yaitu sebesar 0,4669 mg/m<sup>3</sup> dan konsentrasi terendah yaitu sebesar 0,1885 mg/m<sup>3</sup> dengan konsentrasi rata-rata dari ketiga titik pengambilan sampel yaitu sebesar 0,2838 mg/m<sup>3</sup>.

### 3. Parameter SO<sub>2</sub>

**Tabel 4.3**

**Hasil Pengukuran Konsentrasi Parameter (SO<sub>2</sub>)**

<b>Titik Sampling</b>	<b>Konsentrasi SO<sub>2</sub></b>	<b>Konsentrasi Rata-rata</b>
Titik I	0,0582 mg/m <sup>3</sup>	0,0535 mg/m <sup>3</sup>
Titik II	0,0558 mg/m <sup>3</sup>	
Titik III	0,0467 mg/m <sup>3</sup>	

Berdasarkan tabel diatas, menunjukkan bahwa pengukuran konsentrasi SO<sub>2</sub> dilakukan pada tiga titik pengambilan sampel. Yang mana, konsentrasi tertinggi dari ketiga titik pengukuran yaitu sebesar 0,0467 mg/m<sup>3</sup> dan konsentrasi terendah yaitu sebesar 0,0582 mg/m<sup>3</sup> dengan konsentrasi rata-rata dari ketiga titik pengambilan sampel yaitu sebesar 0,0535 mg/m<sup>3</sup>

**Tabel 4.4**

**Hasil Analisis Statistik Konsentrasi Pengukuran  
Parameter( PM<sub>2,5</sub> ,TSP, dan SO<sub>2</sub>)**

<b>Jenis Polutan</b>	<b>Mean</b>	<b>Median</b>	<b>SD</b>	<b>Min-Max</b>	<b>P-Value</b>
PM <sub>2,5</sub>	0,0350	0,0361	0,0026	0,0320- 0,0370	0,324
TSP	0,2838	0,1962	0,1585	0,1885- 0,4669	0,046
SO <sub>2</sub>	0,0535	0,0558	0,006	0,0467- 0,0582	0,380

Hasil nilai dari tiga konsentrasi pengukuran parameter polutan udara di lokasi penelitian. Berdasarkan uji normalitas *Shapiro Wilk* diperoleh hasil bahwa nilai konsentrasi yang digunakan untuk *cut of point* pada jenis polutan PM<sub>2,5</sub> dan SO<sub>2</sub> adalah nilai *mean* karena memiliki nilai *p-value* > 0,05 maka data konsentrasi polutan tersebut berdistribusi normal. Sementara, nilai konsentrasi yang digunakan untuk *cut*

*of point* pada jenis polutan TSP adalah nilai *median* karena memiliki nilai *p-value* < 0,05 maka data konsentrasi tersebut tidak berdistribusi normal.

#### 4.1.3 Analisis Dosis-Respon

Penilaian dosis respon digunakan untuk memperkirakan efek samping dari agen risiko yang terjadi pada populasi yang terpajan. Dosis respon dinyatakan dalam *Reference Concentration* (RfC). Angka RfC pada penelitian ini memakai dosis referensi inhalasi berdasarkan literatur dari database *Integrated Risk Information System* (IRIS) US EPA. Tingkat risiko dinyatakan dalam angka atau bilangan desimal tanpa satuan. Tingkat risiko dikatakan Aman bilamana intake RfC nya atau dinyatakan dengan  $RQ \leq 1$ . Tingkat risiko dikatakan Tidak Aman bilamana intake RfC nya atau dinyatakan dengan  $RQ > 1$ . Berikut dibawah ini nilai RfC konsentrasi dan perhitungannya:

- A. PM<sub>2.5</sub> = 0,01 mg/m<sup>3</sup>
- B. TSP = 0,26 mg/m<sup>3</sup>
- C. SO<sub>2</sub> = 0,075 mg/m<sup>3</sup>

Konversi satuan RfC ke mg/kg/hari menggunakan formula sebagai berikut :

$$RfC = \frac{RfC \left( \frac{mg}{m^3} \right) \times \text{laju inhalasi} \left( \frac{m^3}{\text{hari}} \right)}{Wb \text{ (kg)}}$$

Rumus perhitungan untuk konversi RfC pajanan polusi udara partikulat :

Laju inhalasi : 20 m<sup>3</sup>/jam (*default* US-EPA)

Wb : 69,71 kg

RfC PM<sub>2,5</sub>: 0,01 mg/m<sup>3</sup>

RfC TSP : 0,26 mg/m<sup>3</sup>

RfC SO<sub>2</sub> : 0,075 mg/m<sup>3</sup>

1. RfC PM<sub>2,5</sub>

$$RfC = \frac{RfC \left( \frac{mg}{m^3} \right) \times \text{laju inhalasi} \left( \frac{m^3}{\text{hari}} \right)}{Wb \text{ (kg)}}$$

$$RfC = \frac{0,01 \left(\frac{mg}{m^3}\right) \times 20 \left(\frac{m^3}{hari}\right)}{69,71 \text{ (kg)}} \quad RfC = 0,0028$$

## 2. RfC TSP

$$RfC = \frac{RfC \left(\frac{mg}{m^3}\right) \times \text{laju inhalasi} \left(\frac{m^3}{hari}\right)}{Wb \text{ (kg)}}$$

$$RfC = \frac{0,26 \left(\frac{mg}{m^3}\right) \times 20 \left(\frac{m^3}{hari}\right)}{69,71 \text{ (kg)}} \quad RfC = 0,074$$

### 4.1.4 Analisis Pemajanan

#### 4.1.4.1 Karakteristik Responden

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada responden yaitu 14 pekerja kapur tohor pada air asam tambang melalui kuesioner dengan wawancara untuk mengetahui karakteristik responden seperti usia, jenis kelamin dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD). Adapun hasil penelitiannya sebagai berikut :

**Tabel 4.5 Distribusi Usia Pekerja Kapur Tohor**

Variabel	Mean	Median	SD	Min-Max	95% CI	P-Value
Usia	34,86	34,00	5,628	27 – 45	31,61 – 38,11	0,570

Berdasarkan tabel distribusi diatas, didapatkan bahwa rata-rata usia pekerja kapur tohor di pengelolaan air asam tambang adalah pada yaitu 34,86 tahun, dengan nilai tengah (median) yaitu 34 tahun dan usia termuda yaitu 27 tahun sedangkan usia tertua yaitu 45 tahun. standar deviasi sebesar 5,628. Berdasarkan uji normalitas yang dilakukan untuk variabel usia dengan menggunakan uji *Shapiro wilk* didapatkan nilai *p-value*  $0,570 > 0,05$  maka data tersebut berdistribusi normal.

#### 4.1.4.2 Karakteristik Antropometri

**Tabel 4. 6 Hasil Statistik Berat Badan Pekerja Kapur Tohor**

Variabel	Mean	Median	SD	Min-Max	95% CI	P-Value
Berat Badan (Kg)	69,71	69,00	9,008	55 – 85	64,51 – 74,92	0,727

Berdasarkan tabel distribusi diatas, maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata berat badan pekerja kapur tohor pada pengelolaan air asam tambang seberat 69,71 kg dengan nilai tengah (median) yaitu 69,00 dengan standar deviasi sebesar 9,008. Pekerja yang memiliki berat badan paling ringan yaitu 55 Kg sedangkan pekerja kapur tohor yang memiliki berat paling tinggi yaitu 85 kg. Dari hasil uji normalitas data untuk variabel berat badan ini menggunakan uji *Shapiro Wilk* yang memperoleh nilai *p-value* sebesar  $0,727 > 0,05$  dan yang menunjukkan bahwa data dikatakan berdistribusi normal, sehingga nilai yang digunakan adalah 69,71 kg untuk berat badan.

#### **4.1.4.3 Pola Paparan**

Pada penelitian ini memiliki pola paparan responden terdiri dari Lama paparan (tE) pada analisis risiko kesehatan lingkungan adalah lamanya atau jumlah jam terjadinya paparan setiap harinya dengan satuan jam/hari, pada penelitian ini lama paparan dihitung berdasarkan berapa lama pekerja pemberian kapur tohor terpapar dihitung dari responden mulai melakukan pekerjaan pemberian kapur tohor ke air asam tambang sampai responden selesai. Frekuensi paparan (fe) dalam analisis risiko kesehatan lingkungan adalah jumlah hari paparan yang terjadi setiap tahunnya dengan satuan hari/minggu dan minggu/tahun . Durasi paparan (Dt) dalam analisis risiko kesehatan lingkungan mengacu pada total jumlah hari paparan yang terjadi setiap tahunnya, durasi paparan dihitung atau diperoleh dari berapa lama pekerja pemberin kapur tohor air asam tambang bekerja di dalam satuan tahun dengan satuan tahun.

##### **a. Lama Paparan**

Nilai tE (*time Exposure*) atau waktu paparan diperoleh langsung dari hasil wawancara melalui *kuisisioner* dengan menghitung berapa lama pekerja berada di lokasi terpapar polutan udara setiap harinya. Adapun data waktu paparan akan disajikan pada tabel berikut ini:

**Tabel 4.7**  
**Lama Pajanan Pekerja Kapur Tohor**

Karakteristik	Mean	Median	Std. Deviasi	Min-Max	p-value
Lama Pajanan (Jam/Hari)	2,89	3	1,133	1-5	0,013

Nilai rata-rata lama pajanan yaitu sebesar 2,89 jam/hari dengan nilai tengah yaitu sebesar 3 jam/hari dan lama pajanan minimal yaitu sebesar 1 jam/hari serta lama pajanan maksimal yaitu sebesar 5 jam/hari. Hasil uji normalitas *ShapiroWilk* di peroleh hasil bahwa karakteristik lama pajanan yang digunakan untuk *cut of point* adalah nilai *median* yaitu sebesar 3 jam/hari karena memiliki nilai *p-value* < 0,05 maka data tersebut tidak berdistribusi normal.

Rata-rata waktu pajanan terhadap kapur berlangsung selama 3 jam. Artinya, selama jam kerja penuh, sekitar 37,5% (3 dari 8 jam) dihabiskan untuk terpapar kapur dari total waktu kerja 8 jam per hari. Hasil penelitian yang telah didapatkan yaitu 8 jam kerja yang sesuai dengan angka dianjurkan EPA dan Permenakertrans No.13 Tahun 2011 yang menyatakan bahwa 8 jam perhari waktu yang diperbolehkan dalam bekerja. Waktu paparan selama 8 jam/hari merupakan waktu paparan maksimal pada pekerja di daerah berisiko dalam satuan jam/hari, sehingga jika terpapar dalam waktu maksimal maka akan semakin besar pula peluang responden memiliki besar risiko yang tidak aman.

#### b. Frekuensi Pajanan

Nilai fE (frekuensi paparan) diperoleh dari jumlah hari dalam setahun (365 hari) dikurangi jumlah hari pekerja tidak berada di tempat kerja dalam setahun (termasuk hari libur dan cuti). Untuk data mengenai frekuensi paparan (fE) dijelaskan pada tabel berikut ini :

**Tabel 4.8**  
**Frekuensi Paparan Pekerja Kapur Tohor**

Karakteristik	Mean	Median	Std. Deviasi	Min-Max	p-value
Frekuensi Paparan (Hari/Tahun)	162,54	219,00	52,422	126 - 269	0,043

Hasil statistik dari frekuensi paparan (fE) atau hari kerja dalam setahun. Dari tabel diatas di dapatakan bahwa nilai rata-rata frekuensi paparan yaitu sebesar 206 hari/tahun, dengan nilai tengah yaitu sebesar 162 hari/tahun. Frekuensi paparan (hari/tahun) minimal yaitu sebesar 126 hari/tahun serta frekuensi paparan (hari/tahun) maksimal yaitu 269 hari/tahun. Hasil uji normalitas *Shapiro Wilk* diperoleh hasil bahwa frekuensi paparan (minggu/tahun) yang digunakan untuk *cut of point* adalah nilai *median* karena memiliki nilai *p-value* < 0,05 maka data tersebut tidak berdistribusi normal.

c. Durasi Paparan

Nilai Dt (Durasi paparan) diperoleh dari perhitungan berapa tahun responden terpapar oleh debu kapur di lokasi penelitian. Durasi paparan terbagi menjadi dua, yaitu durasi paparan *realtime* dan durasi paparan *lifetime*. Durasi sebenarnya (*realtime*) merupakan lama pekerja dalam tahun berada di lokasi terpapar dan durasi paparan *lifetime* merupakan proyeksi 30 tahun untuk durasi paparan sepanjang hayat (*lifetime*) di lokasi berisiko berdasarkan US-EPA. Untuk mengetahui perbedaan hasil *intake* dan besar risiko pada buruh angkut setiap 5 tahun, maka durasi paparan per 5 tahun juga dihitung dalam penelitian ini yaitu 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 tahun. Adapun durasi paparan *realtime* pekerja kapur tohor pengelolaan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan disajikan pada tabel di berikut ini:

**Tabel 4.9**  
**Durasi Paparan Pekerja Kapur Tohor**

Karakteristik	Mean	Median	Std. Deviasi	Min-Max	p-value
Durasi Paparan (Tahun)	4,36	4,00	1,499	2-7	0,0153

Hasil statistik pola aktivitas yaitu durasi paparan (Dt) menunjukkan bahwa hasil perhitungan durasi paparan responden pekerja kapur tohor di didapatkan nilai durasi paparan (Dt) rata-rata yaitu 4,36 tahun dengan dengan nilai tengah 4 tahun dan durasi paparan terendah yaitu 2 tahun dan tertinggi yaitu 7 tahun. Responden yang telah bekerja hingga 7 tahun merupakan angka yang cukup tinggi dan dapat memperbesar risiko paparan polutan udara pada responden tersebut. 25 tahun merupakan durasi paparan yang sudah mendekati angka paparan *lifetime* bagi seorang pekerja yaitu 30 tahun. Dari 14 responden yang paling banyak memiliki durasi paparan yang sama yaitu 5 pekerja dengan durasi paparan sebesar 4 tahun. Berdasarkan hasil uji normalitas data dengan uji *Shapiro Wilk* menghasilkan p-value sebesar 0,0153 sehingga  $p\text{-value} < 0,05$ . Artinya nilai durasi paparan (Dt) berdistribusi tidak normal sehingga nilai median digunakan sebagai cut of point yakni 4 tahun.

d. Analisa Intake Konsentrasi PM<sub>2,5</sub>, TSP dan SO<sub>2</sub>

Rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Ink} = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

Sumber: Louvar & Louvar 1998

Keterangan:

Ink : Intake (mg/kg/hari)

C : Konsentrasi (PM<sub>2,5</sub>, SO<sub>2</sub>, dan TSP) mg/m<sup>3</sup>

R : Besaran Udara Yang Dhirup (0,83 m<sup>3</sup>/jam)

tE : Waktu Paparan (jam/hari)

fE : Frekuensi Paparan (hari/tahun)

dE : Durasi Paparan (tahun)

Wb : Berat Badan (Kg)

Tavg : Periode Waktu Rata-Rata

1. Nilai Intake Konsentrasi PM<sub>2,5</sub>

$$\text{Ink} = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

$$\text{Ink} = \frac{0,0350 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 2,89 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 162 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 4,36 \text{ tahun}}{69,771 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ tahun}}$$

$$\begin{aligned} \text{Ink} &= \frac{59,4964049}{763,9925} \\ &= 0,00081950 \end{aligned}$$

2. Nilai Intake Total Suspended Particulate (TSP)

$$\text{Ink} = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

$$\text{Ink} = \frac{0,2838 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 2,89 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 162 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 4,36 \text{ tahun}}{69,771 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ tahun}}$$

$$\begin{aligned} \text{Ink} &= \frac{480,828089}{763,992} \\ &= 0,00081637 \end{aligned}$$

3. Nilai Inatek SO<sub>2</sub>

$$\text{Ink} = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

$$\text{Ink} = \frac{0,0535 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 2,89 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 162 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 4,36 \text{ tahun}}{69,771 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ tahun}}$$

$$\begin{aligned} \text{Ink} &= \frac{480,828089}{763,992} \\ &= 0,010224759 \end{aligned}$$

**Tabel 4.10**  
**Nilai Intake PM<sub>2,5</sub>, dan TSP, SO<sub>2</sub>,**

Polutan	Nilai Intake
PM <sub>2,5</sub>	0,00081950
TSP	0,00081637
Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	0,010224759

Pada tabel di atas, berdasarkan hasil perhitungan Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> untuk penggunaan waktu nyata adalah 0,00081950 mg/kg/hari. Konsentrasi TSP untuk konsumsi waktu nyata adalah 0,00081637 mg/kg/hari. Konsentrasi SO<sub>2</sub> untuk nilai asupan waktu nyata adalah 0,010224759 mg/kg/hari.

#### 4.1.5 Karakteristik Risiko Non-Karsinogenik

Langkah selanjutnya dari ARKL yaitu Karakteristik risiko, setelah nilai konsumsi diperoleh, nilai karakteristik risiko selanjutnya ditentukan. profil paparan ditentukan untuk menentukan tingkat risiko atau untuk menentukan apakah mungkin ada faktor risiko pada konsentrasi dalam ARKL, menyebabkan masalah kesehatan masyarakat atau tidak, melalui jalur inhalasi sehingga didapatkan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$RQ: \frac{I}{RfC}$$

Berikut dibawah ini perhitungan nilai Reference Concentration (RfC) dari 3 konsentrasi (PM<sub>2,5</sub>, TSP dan SO<sub>2</sub>):

##### A. Nilai RQ Realtime Konsentrasi PM<sub>2,5</sub>

$$RQ: \frac{I}{RfC}$$

$$RQ: \frac{0,00081950}{0,0028}$$

$$RQ: 0,2926$$

Nilai Risk Quotient (RQ) dari  $PM_{2,5}$  sebesar 0,2926 ( $RQ < 1$ ) menunjukkan bahwa secara inhalasi pekerja kapur tohor dengan berat badan rata-rata 69,71 Kg, masih berada dalam batas aman untuk frekuensi pajanan 322 hari/tahun hingga 30 tahun mendatang.

#### B. Nilai RQ Realtime Konsentrasi TSP

$$RQ: \frac{I}{RfC}$$

$$RQ: \frac{0,00081637}{0,074}$$

$$RQ: 0,01103203$$

Nilai Risk Quotient (RQ) dari TSP sebesar 0,01103203 ( $RQ < 1$ ), menunjukkan bahwa secara inhalasi, pekerja kapur tohor dengan berat badan rata-rata 69,71 kg masih berada dalam batas aman untuk frekuensi paparan sebesar 322 hari per tahun hingga 30 tahun mendatang.

#### C. Nilai RQ Realtime Konsentrasi Sulfur Dioksida ( $SO_2$ )

$$RQ: \frac{I}{RfC}$$

$$RQ: \frac{0,010224759}{0,075}$$

$$RQ: 0,13632933$$

Nilai Risk Quotient (RQ) dari  $SO_2$  sebesar 0,136 ( $RQ < 1$ ) menunjukkan bahwa secara inhalasi, pekerja kapur tohor dengan berat badan rata-rata 69,71 kg masih dalam batas aman untuk frekuensi paparan sebesar 322 hari per tahun hingga 30 tahun mendatang.

Hasil perhitungan nilai Risk Quotient (RQ) untuk parameter  $PM_{2,5}$ , TSP, dan  $SO_2$  menunjukkan bahwa nilai  $RQ \leq 1$ , yang berarti masih dalam batas aman dan tidak berisiko menyebabkan gangguan kesehatan. Jika nilai dari  $RQ > 1$  yang berarti tidak dalam batas aman hal ini dapat menunjukkan bahwa semakin lama pekerja kapur tohor kerja maka semakin tinggi risiko tidak aman bagi kesehatan pekerja kapur tohor.

#### 4.1.6 Manajemen Risiko

##### 1. Perkiraan besar risiko (RQ)

Perkiraan besaran risiko (RQ) non karsinogenik paparan konsentrasi polusi udara PM<sub>2,5</sub>, TSP Dan SO<sub>2</sub> di sekitar pekerja kapur tohor pengelolaan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk, tanjung Enim Sumatera Selatan disajikan dalam tabel di bawah ini untuk proyeksi paparan 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 tahun mendatang. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui peningkatan besar risiko per durasi paparan 5 tahun hingga 30 tahun mendatang. Berikut dibawah ini nilai perkiraan besar risiko PM<sub>2,5</sub>, TSP dan SO<sub>2</sub>.

**Tabel 4.11**

**Perkiraan nilai Risk Quotient (RQ) sekarang dan Dt + 5, 10, 15, 20, 25, 30 tahun mendatang pada pekerja kapur tohor.**

Parameter	Dt (Durasi Pajanan)						
	Sekarang (Tahun 2024)	Dt+5	Dt+10	Dt+15	Dt+20	Dt+25	Dt+30
PM <sub>2,5</sub>	0,0292	0,0628	0,0963	0,1299	0,1635	0,197	0,230
SO <sub>2</sub>	0,1363	0,2926	0,4490	0,6053	0,7616	0,918	<b>1,074</b>
TSP	0,0011	0,0023	0,0036	0,0048	0,0061	0,0074	0,0086

Nilai estimasi besaran risiko Risk Quotient (RQ) untuk perkiraan Dt+5 sampai Dt+30 tahun mendatang pada konsentrasi PM<sub>2,5</sub> TSP RQ <1 dan masih dalam kategori aman, sedangkan pada parameter SO<sub>2</sub> memiliki nilai RQ>1 pada Dt + 30 yang berarti bahwa pada 30 tahun yang akan mendatang dianggap tidak aman dan

dapat menimbulkan risiko kesehatan, sehingga akan dilanjutkan pada tahap manajemen risiko.

## 2. Strategi Pengelolaan Risiko

Strategi manajemen risiko adalah langkah yang diambil ketika skor risiko (RQ) >1. Manajemen risiko yang dapat dilakukan dengan jalur paparan inhalasi dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Mengelola material kapur tohor dengan cara yang meminimalkan paparan debu secara langsung debu dengan menggunakan alat yang bisa membantu penuangan otomatis pada saat pemberian kapur tohor atau
- 2) Pelatihan Pekerja Edukasi: Memberikan pelatihan kepada pekerja tentang bahaya kapur tohor, cara-cara menghindari paparan, dan langkah-langkah penanganan darurat jika terjadi paparan secara berlebihan .

Pelatihan pentingnya menggunakan APD: Pekerja harus dilatih untuk menggunakan alat pelindung diri secara benar dan mematuhi terhadap penggunaan APD.

- 3) Pengurangan waktu kontak, diperoleh dengan mengurangi waktu pemaparan (tE), mengurangi frekuensi pemaparan (fE) dan mengurangi waktu pemaparan (Dt) yang terpapar langsung terhadap debu kapur tohor melalui rotasi kerja..

### 4) . Prosedur Darurat

Tanggap darurat: Mempersiapkan prosedur tanggap darurat jika terjadi paparan yang berlebihan, termasuk tindakan pertolongan pertama jika terjadi kontak langsung dengan kapur tohor di mata, kulit, atau jika terhirup.

Tahap manajemen risiko dalam penelitian ini diperlukan karena pada tahap interpretasi penilaian risiko dari ketiga konsentrasi (PM<sub>2,5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>) untuk Konsentrasi SO<sub>2</sub> dinyatakan tidak aman dan berisiko.

## 4.2 Pembahasan

Penelitian ini menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) untuk mengevaluasi potensi risiko kesehatan yang dihadapi oleh pekerja di lokasi tambang yang menggunakan kapur tohor dalam pengelolaan air asam. Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) diterapkan melalui serangkaian langkah sistematis yang memberikan wawasan mendalam tentang dampak paparan kapur tohor terhadap kesehatan pekerja. Hasil dari Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dapat digunakan untuk merumuskan kebijakan mengurangi risiko kesehatan yang dialami oleh populasi terpajan.

Berikut pembahasan hasil dari penelitian dengan menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) :

### 4.2.1 Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya Hazard Identification atau adalah langkah awal dalam analisis risiko kesehatan lingkungan yang bertujuan mengidentifikasi risiko. Proses ini bertujuan untuk mengenali bahan kimia yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Parameter PM<sub>2,5</sub>, TSP, SO<sub>2</sub> memiliki efek non-karsinogenik yang terutama dapat menyebabkan gangguan pernapasan pada individu yang terpajan pada konsentrasi tersebut. Risiko terpajan debu sangat berpotensi terhadap pekerja setiap harinya dalam proses pemberian kapur tohor pada penetralisasian air asam tambang hal ini dikarenakan sumber pencemar utama yaitu berasal dari paparan debu. Berikut parameter yang diukur :

#### 1. Konsentrasi PM<sub>2,5</sub>

Pengukuran PM<sub>2,5</sub> pada penelitian ini dilakukan di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan dengan 3 titik sampling udara yaitu 1 ( area Timbunana PIT 3 Barat), titik 2 (area Timbunan PIT 3 Dekat KPL), dan titik 3 (area PIT BB). Pengukuran PM<sub>2,5</sub> mengacu pada SNI 7119.14:2016 dengan menggunakan alat High Volume Air Sampler (HVAS). Pengukuran parameter dilakukan oleh pihak ketiga dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Selatan. Sebelum melakukan pengukuran, alat harus terkalibrasi terlebih dahulu, yang terkalibrasi secara eksternal tiap 1 tahun sekali tujuannya agar hasil yang

diperoleh dapat konsisten dan valid. Hasil penelitian variabel konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada penelitian yang dilakukan menghasilkan rata-rata konsentrasi yaitu 0,0350 mg/m<sup>3</sup> pada ke 3 titik sample. Dengan nilai intake sebesar 0,00081950 mg/kg/hari pengukuran ini masih dalam batas aman sesuai dengan World Health Organization (WHO) menetapkan rata-rata nilai partikel berukuran 2,5 mikrogram (PM<sub>2,5</sub>) per 24 jam yakni 15 mikrogram per meter kubik (ug/m<sup>3</sup>). Dan mendapatkan nilai RQ 0,2926 yang di kategorikan RQ <1 masih dalam kategori aman serta nilai DT + 5tahun sampai DT +30 tahun masih dalam kategori aman.

Pemantauan PM<sub>2,5</sub> harus tetap dilakukan secara rutin untuk mengurangi risiko kesehatan yang dialami oleh populasi terpajan. PM<sub>2,5</sub> merupakan partikel halus dengan diameter 2,5 mikrometer atau lebih kecil yang dapat dengan mudah terhirup ke dalam sistem pernapasan manusia. Debu kapur tohor yang digunakan dalam pengelolaan air asam tambang, dapat mengandung senyawa kimia berbahaya yang ketika hadir sebagai PM<sub>2,5</sub>, dapat memperburuk dampak kesehatan tersebut, hal ini sejalan dengan penelitian (Lestari, *et.,al* 2021) yang menyatakan berbagai material yang terkandung dalam PM<sub>2,5</sub> dapat menyebabkan berbagai gangguan saluran pernafasan seperti infeksi saluran pernafasan atas (ISPA), kanker paru-paru, kardiovaskular, kematian dini, dan penyakit paru-paru obstruktif kronis.

Pemantauan PM<sub>2,5</sub> menjadi krusial untuk melindungi kesehatan pekerja di lingkungan kerja tambang, pemantauan ini penting untuk memastikan bahwa kualitas udara di tempat kerja memenuhi standar kesehatan yang telah ditetapkan oleh peraturan lingkungan. Melakukan pemantau PM<sub>2,5</sub> secara rutin, dapat diidentifikasi potensi bahaya yang mungkin tidak terlihat pada partikel yang lebih besar, sehingga memungkinkan diambilnya tindakan preventif atau korektif yang tepat untuk mengurangi risiko kesehatan yang dihadapi oleh pekerja.

Pajanan PM<sub>2,5</sub> dapat berdampak kepekerja seperti dapat menyebabkan berbagai gangguan pernapasan pada pekerja kapur tohor. Partikel-partikel kecil ini dapat masuk jauh ke dalam saluran pernapasan dan mencapai alveoli di paru-

paru. Akibatnya, pekerja dapat mengalami gejala seperti batuk, sesak napas, bronkitis, dan peningkatan risiko infeksi saluran pernapasan. (Anjelicha, et.,al 2022). Dalam jangka panjang, pajanan terus-menerus dapat menyebabkan penyakit paru obstruktif kronik (PPOK) dan penurunan fungsi paru-paru. Selain itu juga PM<sub>2,5</sub> juga dapat menyebabkan iritasi pada mata dan kulit. Sejalan dengan penelitian (Muhammad Razan, 2024) yang menyatakan bahwa pekerja yang terpajan debu halus sering kali mengalami mata merah, gatal, dan berair. Selain itu, pajanan PM<sub>2,5</sub> terhadap kulit dapat menyebabkan dermatitis kontak, yang ditandai dengan kulit kering, gatal, dan kemerahan untuk mengurangi risiko terjadinya hal tersebut untuk pekerja bisa mengupayakan dengan penggunaan Alat pelindung Diri (APD) yang lengkap yang telah di SNI sesuai standar perusahaan seperti menggunakan (*Masker, Helm Safety, Safety glasses, safety shoes, safety vest, dan sarung tangan*) serta menerapkan Tata Cara Kerja (TCK) *Job Safety Analysis* Pengapuran untuk Penanganan Air Asam Tambang (JSA/UPTE/03/042) yang telah di tetapkan perusahaan, akan tetapi terkadang kejadian di lapangan masih adanya di temukan pekerja yang tidak menggunakan Alat Pelindung Diri yang lengkap sehingga hal tersebut dapat meningkatkan timbulnya risiko dari pajanan.

## 2. Konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP)

Pertambangan batubara yang menggukan batu kapur untuk menetralisasi air asam tambang merupakan sumber terjadinya pencemaran udara karena dapat menimbulkan partikel debu salah satunya adalah Total Suspended Particulate (TSP). Apabila konsentrasi TSP melampaui baku mutu maka akan menyebabkan beragam efek negatif baik untuk kesehatan makhluk hidup serta lingkungan (Nurfadillah, 2023). Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) pada pekerja kapur tohor dengan 3 titik sampling udara yaitu 1 ( area Timbunana PIT 3 Barat), titik 2 (area Timbunan PIT 3 Dekat KPL), dan titik 3 (area PIT BB), pengukuran dengan menggunakan alat high volume air sampler (HVAS) dengan SNI 19-7119.3-2005, hasil penelitian konsetrasi TSP menghasilkan konsetrasi yaitu 0,2838. mg/m<sup>3</sup> . Dari hasil

pengukuran intake sebesar 0,00081637 mg/kg/hari. Dengan nilai RQ 0,01103203 dan di kategorikan  $RQ < 1$ . Serta untuk DT +5 Tahun sampai DT +30 Tahun masih dalam kategori aman.

Hasil dilapangan menyatakan  $RQ < 1$  dan dinyatakan tidak berisiko tetapi pemantauan harus tetap dilakukan secara rutin serta pekerja harus tetap mematuhi prosedur tata cara kerja dan penggunaan alat pelindung diri yang lengkap sebagai upaca memeperkecil risiko dari pajanan parameter debu tersebut, apabila pencegahan tidak dilakukan akan berpotensi menimbulkan dampak kesehatan seperti pajanan pada total suspended particulate yaitu Iritasi saluran pernapasan, seperti tenggorokan gatal, perih, dan kering Iritasi mata dan kulit, san hal ini juga sejalan dengan penelitian (Rinanti et., al 2023) yang menyatakan bahwa dampak lain dar total suspended particulate seperti mata merah dan terasa perih, serta kulit terasa panas dan gatal-gatal.

### 3. Sulfur Dioksida ( $SO_2$ )

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis konsentrasi Sulfur Dioksida ( $SO_2$ ) pada pekerja kapur tohor pengelolaan air asam tambang dengan 3 titik sampling udara yaitu 1 ( area Timbunana PIT 3 Barat), titik 2 (area Timbunan PIT 3 Dekat KPL), dan titik 3 (area PIT BB). Pengukuran dengan menggunakan alat hight volume air sampler, hasil penelitian konsetrasi Sulfur Dioksida ( $SO_2$ ) menghasilkan rata-rata konsentrasi yaitu 0,0535 mg/m<sup>3</sup>. Dan untuk hasil pengukuran intake sebesar 0,010224759 mg/kg/hari, dengan nilai RQ sebesar 0,13632933 dikategorikan  $RQ < 1$ . Perkiraan nilai Risk Quotient pada Durasi Pajanan DT+ 30 menunjukkan hasil  $RQ > 1$  yang dikategorikan tidak aman dinyatakan bahwa pada 30 tahun mendatang dianggap dapat menimbulkan risiko kesehatan. Hasil penelitian menunjukkan pada  $SO_2$  pada Duratasi Terpajan (Dt) +30 tahun memilki risiko kesehatan dibandingkan parameter PM 2,5 dan TSP hal dikarenakan di lokasi penelitian dekat dengan PIT 1 Pompa galian penambangan yang memungkinkan tingginya  $SO_2$  dilokasi tersebut, sehingga perlunya dilakukan strategi pengelolaan risiko sehingga dapat memperkecil risiko pajanan,

SO<sub>2</sub> dalam bentuk gas maupun asam yang terjadi karena larutnya SO<sub>2</sub> dalam air yang terkandung di udara dapat menyebabkan gangguan sistem respirasi manusia.<sup>29</sup> Keluhan yang muncul adalah batuk dan iritasi saluran napas karena sifat gas yang merangsang syaraf di hidung, tenggorok dan jalan napas. dampak kesehatan terhadap pekerja seperti gangguan saluran pernapasan, seperti batuk, iritasi tenggorokan, dan nyeri saat menarik napas dalam, Iritasi mata, dan kulit (Putrakoranto 2021).

#### 4.2.2 Analisis Dosis-Respon

Analisis dosis-respons digunakan untuk menentukan nilai RfD, RfC, dan SF dari zat-zat berisiko yang menjadi fokus ARKL dan untuk memahami efek yang mungkin ditimbulkan oleh zat-zat berisiko ini pada tubuh manusia. Analisis ini tidak perlu dilakukan melalui studi langsung, tetapi dapat dilakukan dengan mengkaji literatur penelitian yang ada: (Basri et al., 2014).

1. Pengetahuan mengenai cara patogen masuk ke dalam tubuh manusia.
2. Memahami perubahan gejala atau dampak kesehatan akibat peningkatan kadar atau dosis zat berbahaya yang masuk ke dalam tubuh.
3. Pengetahuan mengenai dosis referensi, konsentrasi referensi, atau faktor kemiringan dari zat-zat berisiko.

Dosis referensi dan konsentrasi referensi adalah nilai aman untuk efek non-karsinogenik dari zat berisiko. Dosis referensi (RfD) dinyatakan dalam miligram per kilogram berat badan per hari (mg/kg/hari). Konsentrasi referensi (RfC) dinyatakan sebagai miligram zat per meter kubik udara (mg/m<sup>3</sup>). Konsentrasi referensi dinormalisasi menjadi mg/kg/hari dengan memasukkan laju inhalasi dan berat badan.

Dosis-respons adalah nilai kuantitatif yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor risiko. Memahami jalur-jalur masuk patogen seperti inhalasi, ingestsi, dan penyerapan kulit sangat penting untuk menentukan paparan dan dampak kesehatan. Pengetahuan ini membantu dalam mengidentifikasi titik kritis di mana intervensi dapat dilakukan untuk mencegah paparan. Analisis dosis-respons sangat penting, karena Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) hanya dapat diterapkan pada zat berisiko yang telah menjalani analisis dosis-respons. (US EPA 1997).

## 4.2.2 Analisis Paparan

### 4.2.3.1 Karakteristik Responden

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan pengisian kuesioner melalui wawancara dengan responden penelitian yaitu pekerja kapur tohor pada pengelolaan air asam tambang memiliki rata-rata usia 34,86 tahun dengan usia paling muda yaitu 27 tahun dan paling tua 45 tahun. Usia adalah salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kesehatan seseorang, didukung oleh penelitian Basri, *et.,al* (2014) yang menunjukkan adanya hubungan signifikan antara usia dengan kejadian penyakit gangguan pernapasan karena terjadinya penurunan kapasitas fungsi paru, ventilasi paru dan ambilan oksigen kapasitas paru seiring dengan penambahan usia.

Hal inilah yang menjadi usia lanjut lebih rentan untuk terkena penyakit ISPA dibandingkan dengan usia muda. Paparan jangka panjang terhadap polutan udara dan zat berbahaya dapat menyebabkan kerusakan akumulatif pada paru-paru dan saluran pernapasan. Sementara itu, pada lansia, fungsi sistem kekebalan tubuh dan kemampuan regenerasi jaringan menurun, sehingga lebih rentan terhadap penyakit kronis dan infeksi pernafasan. (Wijiarti, *et.,al* 2016).

Kelompok usia tua lebih berisiko tinggi terkena penyakit dibandingkan dengan usia muda, dan hal ini didukung oleh berbagai studi yang menunjukkan hubungan antara usia dan kesehatan. Sistem kekebalan tubuh cenderung menurun seiring bertambahnya usia, sehingga orang yang lebih tua lebih rentan terhadap penyakit infeksi dan kronis.

Penelitian menunjukkan bahwa prevalensi kondisi kronis meningkat seiring dengan bertambahnya usia. Data dari National Health Interview Survey 2018 mengindikasikan bahwa orang berusia di atas 45 tahun memiliki prevalensi lebih tinggi terhadap kondisi kronis dibandingkan dengan kelompok usia yang lebih muda (CDC). Hal ini menunjukkan bahwa orang tua lebih rentan terhadap penyakit pernapasan dan memerlukan intervensi yang lebih spesifik untuk melindungi mereka (BioMed Central). Secara umum, penelitian ini mendukung pandangan bahwa kelompok usia tua, khususnya di atas 40 tahun, memiliki risiko lebih tinggi untuk mengalami gangguan kesehatan, seperti penurunan fungsi paru-paru dan peningkatan

tekanan darah, dibandingkan dengan kelompok usia yang lebih muda (CDC) (BioMed Central).

#### **4.2.3 Karakteristik Antropometri**

Berat badan adalah salah satu faktor antropometri dari responden yang diambil dari responden dengan melakukan pengukuran berat badan secara langsung yang memengaruhi konsentrasi polusi udara dalam tubuh, dan pada akhirnya memengaruhi estimasi pajanan. Dalam perhitungan estimasi pajanan, berat badan berhubungan terbalik dengan jumlah asupan yang diterima, yang juga dikenal sebagai nilai denominator. Dengan kata lain, semakin besar berat badan seseorang, semakin kecil nilai estimasi pajanan atau asupan yang diterima. Sebaliknya, individu dengan berat badan lebih kecil berisiko menerima asupan yang lebih besar (Ambarwati dan Ardillah, 2021). Seseorang dengan berat badan yang lebih besar akan menyerap zat kimia dalam jumlah yang lebih kecil karena sistem pernapasan yang lebih berat dan kapasitas paru-paru yang lebih terbatas, yang mengakibatkan konsentrasi udara yang masuk juga lebih sedikit. Selain itu, jaringan lemak yang lebih banyak berfungsi untuk melarutkan zat toksik, sehingga risiko pajanan menjadi lebih rendah (Hidayatullah et al., 2021).

Berat badan pekerja kapur tohor pada penelitian ini memiliki rata-rata sebesar 69,71 kg dengan berat terendah 55 kg dan berat tertinggi 85 kg. Penelitian ini menggunakan nilai berat badan dalam perhitungan rumus intake. Nilai berat badan merupakan nilai denominator dalam perhitungan rumus, sehingga hasilnya akan berbanding terbalik dengan asupan. Responden yang memiliki berat badan yang besar akan memiliki risiko yang kecil begitupun sebaliknya, semakin ringan maka akan semakin besar nilai perhitungan intake. Pada orang yang memiliki berat badan yang besar kerja sistem pernafasannya cenderung lebih berat dan kapasitas parunya relatif lebih kecil dengan orang yang memiliki berat badan ringan. Sesuai dengan teori Syaifuddin (1997) semakin besar volume paru-paru seseorang yang dimasuki udara yang mengandung polutan udara, kemungkinan semakin besar risiko seseorang tersebut memiliki dampak yang tidak aman terhadap kesehatan. Selain itu, berat

badan setiap individu tentu memiliki nilai yang berbeda dikarenakan berbagai faktor seperti gizi, pola konsumsi, budaya, hormon dan lingkungan.

#### 4.2.4 Pola Paparan

Pola Paparan responden pada penelitian ini meliputi lama paparan, frekuensi paparan dan durasi paparan yang diperoleh oleh peneliti dari pengisian kuesioner penelitian dengan melakukan wawancara kepada seluruh responden kemudian dihitung nilai rata-rata masing-masing dari tiap variabelnya. Berikut merupakan penjelasan mengenai pola paparan pekerja kapur tohor pengelolaan air asam tambang :

##### 1. Lama Paparan (tE)

Berdasarkan hasil pengukuran tabel 4.6 diperoleh hasil *exposure time survey* yang merupakan hasil pengisian kuesioner dari wawancara langsung dengan responden. Waktu paparan minimum adalah 1jam per hari, waktu paparan maksimum adalah 5 jam per hari, dan rata-rata adalah 2,89 jam per hari.

Hasil penelitian yang telah didapatkan yaitu 8 jam sesuai dengan angka yang dianjurkan EPA dan Permenakertrans No.13 Tahun 2011 yaitu hanya 8 jam kerja perhari. Waktu paparan dalam penelitian ini masih terkategori aman apabila konsentrasi  $PM_{2,5}$  TSP, dan  $SO_2$  masih dibawah baku mutu udara. Tidak jauh berbeda dengan waktu paparan pada penelitian yang dilakukan (Ma'rufi,2018) memiliki nilai median waktu paparan 24 jam/hari. Selaras juga dengan penelitian (Novirsa and Achmadi 2012) memiliki karakteristik wilayah penelitian dan responden yang sama yaitu sumber pencemar udara tidak bergerak dan karakteristik responden yaitu pekerja atau masyarakat usia dewasa. Semakin lama berkerja semakin besar pula intake gas yang di hirup kedalam tubuh pekerja dan apabila terpapar dalam waktu maksimal maka akan semakin besar pula peluang responden memiliki besar risiko yang tidak aman (Nukman et al., 2019).

Penilaian peneliti terkait jam kerja tersebut dikarenakan responden merupakan pekerja tetap yang bekerja di lokasi sesuai dengan jam kerja yang sudah ditetapkan. Waktu paparan selama 8 jam/hari merupakan waktu paparan maksimal pada pekerja di daerah berisiko dalam satuan jam/hari, sehingga jika terpapar dalam waktu maksimal maka akan semakin besar pula peluang responden memiliki besar risiko yang tidak aman, seperti penelitian Ramadhona (2014) yang menunjukkan semakin lama seseorang terpapar amonia semakin besar risiko kesehatan yang dapat diterima.

## 2. Frekuensi Paparan

Frekuensi paparan adalah jumlah hari pemajanan yang diterima responden dalam satu tahun dikurangi lama responden meninggalkan lokasi penelitian dalam satuan hari. Nilai rata-rata frekuensi paparan terletak antara 162 hari/tahun dan nilai minimum 126 hari/tahun sampai maksimum 269 hari/tahun. Frekuensi paparan yang diterima responden pada penelitian ini tidak cukup tinggi karena 269 hari/tahun belum mendekati jumlah keseluruhan hari dalam satu tahun. Meskipun demikian hal tersebut dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan pada responden disebabkan karena responden terus menerus terpajan yang mengandung  $PM_{2,5}$ , TSP, dan  $SO_2$ .

Sejalan dengan penelitian Wardani (2012). yang menunjukkan semakin besar frekuensi seseorang dalam satu tahun terpapar zat berbahaya di udara ambien maka semakin besar risiko kesehatan yang diterima. Semakin lama dan sering terpapar, semakin tinggi risiko mengalami gangguan pernapasan, namun responden tetap tidak mengakui mengalami gangguan pernapasan. Seperti yang ditunjukkan oleh penelitian (Harjanti et al., 2016) semakin sering terpapar racun atmosfer selama setahun, semakin tinggi risiko kesehatannya.

## 3. Durasi Paparan

Berdasarkan Tabel 4.7 waktu pajanan terpendek adalah 2 tahun, waktu pejanan terlama adalah 7 tahun, dan rata-rata waktu pajanan adalah 4,36 tahun. Durasi eksposur yang dihitung dibagi menjadi dua: real-time (real-time exposure) dan seumur hidup (30-year lifetime risk). Durasi aktual paparan diperoleh dari wawancara langsung dengan responden, dan pajanan seumur hidup (30 tahun) diperoleh dengan menggunakan nilai default US-EPA. Durasi pajanan adalah jumlah waktu responden menghirup  $PM_{2.5}$ , TSP, dan  $SO_2$  di lokasi penelitian selama bertahun-tahun. Durasi pajanan mempengaruhi nilai konsumsi seseorang. Jumlah atau konsumsi berbanding lurus dengan durasi pajanan. Lama kerja menunjukkan berapa lama responden berisiko, dan konsentrasi menunjukkan bahwa semakin lama terpajan, semakin besar kemungkinan responden berisiko terhadap kesehatan. Pajanan terus menerus terhadap debu kapur dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Bagian tubuh yang paling mungkin terkena kontak adalah saluran pernapasan, mata, kulit, mulut, dan saluran pernapasan. Jam kerja dapat sangat mempengaruhi tingkat pajanan dan asupan serta menimbulkan risiko kesehatan. Menurut Sunti et al. (2012) durasi paparan berpengaruh terhadap risiko kesehatan yang dialami responden.

#### **4.2.6 Karakteristik Risiko Non-Karsinogenik (RQ)**

Karakteristik atau tingkat risiko kesehatan merupakan hasil akhir yang digunakan untuk menentukan apakah diperlukan tindakan manajemen risiko. Risiko kesehatan dibedakan menjadi karsinogenik dan nonkarsinogenik. Setelah risiko kesehatan dihitung, perlu ditentukan apakah risiko tersebut masuk dalam kategori aman atau tidak aman. Pengelompokan ini didasarkan pada nilai akhir, yaitu apakah  $RQ > 1$  atau  $RQ < 1$ . Jika  $RQ < 1$ , maka risiko masih berada dalam kategori aman. Namun, jika  $RQ > 1$ , maka risiko tersebut masuk dalam kategori tidak aman dan memerlukan tindakan manajemen risiko. Perhitungan nilai lifetime RQ menggunakan nilai default untuk lifetime exposure ini yaitu 30 tahun yang diproyeksikan selama 10

tahun, berkisar antara 20 sampai 30 tahun berdasarkan konsentrasi. Hasil konsentrasi polusi udara digunakan untuk menghitung asupan dan RQ, sedangkan variabel seperti berat badan dan pola paparan (durasi paparan dan frekuensi paparan) menggunakan nilai rata-rata. Laju hisap yang digunakan adalah 0,83 m<sup>3</sup>/jam menurut US-EPA. Penentuan risiko dihitung dengan membandingkan asumsi masing-masing responden dengan nilai konsentrasi referensi.

Dari hasil perhitungan pada penelitian ini, kemungkinan besar nilai RQ konsentrasi PM<sub>2,5</sub> TSP, memiliki nilai  $RQ \leq 1$  (masih aman), sedangkan SO<sub>2</sub> DT+30 memiliki  $RQ > 1$  (tidak aman). Perbedaan nilai risiko untuk real-time exposure dan lifetime exposure disebabkan oleh perbedaan durasi pajanan. Hal ini disebabkan pada real-time exposure, dimana durasi pajanan mengikuti jumlah tahun responden telah terkena, sedangkan lifetime exposure menggunakan nilai default 30 tahun.

#### **4.2.7 Manajemen Risiko**

Manajemen risiko adalah langkah yang diambil untuk mengurangi dampak pencemaran udara. Dalam metode ARKL, manajemen menjadi langkah penting ketika hasil  $RQ > 1$ , yang menunjukkan adanya risiko bagi populasi rentan. Namun, tindakan manajemen juga bisa diterapkan di area yang berpotensi mengalami peningkatan risiko akibat gas polutan. Pada penelitian ini, ditemukan bahwa polutan, PM<sub>2,5</sub> Total Suspended Particulate (TSP) memiliki nilai  $RQ < 1$  dan SO<sub>2</sub> memiliki nilai  $RQ > 1$  pada Durasi Terpajan (Dt) + 30 tahun mendatang, yang berarti menunjukkan tidak adanya risiko bagi populasi rentan. Tetapi manajemen risiko dalam penelitian ini bisa dilakukan fokus pada pengendalian konsentrasi dengan pendekatan hierarchy of control sebagai berikut:

1. Eliminasi

Melakukan pemantauan parameter satu bulan sekali secara rutin terhadap konsentrasi pajanan upaya pemantauan di bawah Baku Mutu Lingkungan.

2. Substitusi

Mengaplikasikan kapur tohor dalam bentuk cair untuk mengurangi debu yang dihasilkan selama proses penyebaran, menggunakan pH Adjuster yang sudah terapkan dari perusahaan lainnya .

3. Rekayasa Teknik

Modifikasi proses pengolahan kapur tohor untuk mengurangi interaksi langsung dengan pekerja. Melakukan penggunaan peralatan otomatis atau semi-otomatis yang dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja manual dalam proses pencampuran atau aplikasi kapur tohor pada air asam.

4. Pengendalian Administrasi

Melakukan safety talk secara rutin setiap minggunya upaya untuk memantau dan mengevaluasi tata cara kerja (TCK) pekerja kapur tohor.

5. Alat Pelindung Diri (APD)

Melakukan pengecekan rutin Alat Pelindung diri (APD) pada pekerja kapur guna menunjang kelengkapan dan kelayakan APD pekerja sebelum melakukan proses pemberian kapur tohor dilapangan.

#### **4.2.8 Keterbatasan Penelitian**

1. Pada penelitian tidak dilakukan pengukuran kecepatan angin, curah hujan, dan suhu (temperature) pada lokasi penelitian.
2. Pada penelitian tidak dilakukan pengelolaan hasil medical checkup pekerja.
3. Pada penelitian terdapat Faktor Lingkungan Lain di lokasi tambang, seperti debu, gas, atau kontaminan lain, dapat mempengaruhi kesehatan pekerj.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Hasil analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) Paparan PM<sub>2,5</sub>, TSP dan SO<sub>2</sub> Pada Pekerja Kapur Tohor Pengelolaan Air Asam Tambang di PT Bukit Asam Tbk Tanung Enim Sumatera Selatan, disimpulkan sebagai berikut :

1. Identifikasi bahaya nilai rata-rata dari konsentrasi PM<sub>2,5</sub> sebesar 0,0350 mg/m<sup>3</sup>, konsentrasi TSP sebesar 0,2838 mg/m<sup>3</sup>, konsentrasi SO<sub>2</sub> sebesar 0,0535 mg/m<sup>3</sup>.
2. Dosis referensi/RfC konsentrasi PM<sub>2,5</sub>, sebesar 0,0028 mg/kg/hari, TSP sebesar 0,026 mg/kg/hari SO<sub>2</sub> sebesar 0,075 mg/kg/hari,.
3. Intake konsentrasi PM<sub>2,5</sub> sebesar 0,00081950 mg/kg/hari, konsentrasi TSP waktu nyata yaitu sebesar 0,00081637 mg/kg/hari, konsentrasi SO<sub>2</sub> sebesar 0,010224759 mg/kg/hari. Rata-rata lama paparan selama 3 jam/hari. Rata-rata frekuensi paparan 219 hari/tahun dan Rata-rata durasi paparan yaitu selama 4 tahun. Nilai rata-rata berat badan responden pekerja kapur adalah 69,71 kg dan memiliki rentang umur dari yang paling muda yaitu 27 tahun hingga yang paling tua yaitu 45 tahun. Rata-rata usia pekerja kapur tohor di pengelolaan air asam tambang yaitu 34,86 tahun, dengan usia termuda yaitu 27 tahun sedangkan usia tertua yaitu 45 tahun
4. Risk Quotient (RQ) konsentrasi PM<sub>2,5</sub>, sebesar 0,2926 , TSP 0,01103203, dan SO<sub>2</sub> 0,136322933. Hasil dari RQ<1 maka di kategorikan aman dan tidak menimbulkan resiko. Akan tetapi pada saat perhitungan RQ pada DT +5, 10, 15, 20,25,, dan 30 tahun, dan pada hasil perhitungan SO<sub>2</sub> didapatkan nilai RQ >1 pada 30 tahun mendatang. maka di kategorikan dapat menimbulkan resiko
5. Manajemen risiko ditujukan untuk konsentrasi SO<sub>2</sub> Durasi Paparan (Dt)+30 Tahun RQ>1 yang berarti bahwa pada 30 tahun yang akan mendatang dianggap tidak aman dan dapat menimbulkan risiko kesehatan, manajemen risiko dilakukan dengan hierarchy of control.

## **5.2 Saran**

### **5.2.1 Bagi Perusahaan Untuk Pekerja Kapur Tohor**

1. Modifikasi proses pengolahan kapur tohor untuk mengurangi interaksi langsung dengan pekerja. Dialihkan penggunaan peralatan otomatis atau semi-otomatis yang dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja manual dalam proses pencampuran atau aplikasi kapur tohor pada air asam tambang.
2. Melakukan pelatihan tentang bahaya kapur tohor terhadap pekerja pengelolaan air asam tambang, langkah-langkah keselamatan, dan prosedur darurat, memahami risiko dan langkah-langkah pencegahan akan membantu mengurangi kemungkinan kecelakaan kerja dan paparan kapur tohor.
3. Siapkan dan sosialisasikan prosedur darurat yang jelas jika terjadi kontak langsung dengan kapur tohor. Hal ini termasuk penyediaan stasiun pencuci mata, shower darurat, dan bahan penetralisir di lokasi kerja.
4. Monitoring dan Evaluasi: Lakukan monitoring rutin terhadap kondisi kerja dan efektivitas tindakan keselamatan yang telah diterapkan. Evaluasi ini penting untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan lebih lanjut.

### **5.2.2. Bagi Peneliti Selanjutnya**

1. Studi Jangka Panjang terhadap Dampak Kesehatan: Penelitian yang lebih mendalam dan berkelanjutan diperlukan untuk mengevaluasi dampak jangka panjang paparan kapur tohor pada kesehatan pekerja. Fokus pada penyakit pernapasan, iritasi kulit, dan gangguan kesehatan lainnya yang mungkin berkembang seiring waktu.
2. Evaluasi Efektivitas Alat Pelindung Diri (APD): Penelitian bisa diarahkan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai jenis APD yang digunakan oleh pekerja kapur tohor. Tujuannya adalah untuk menentukan APD mana

yang paling efektif dalam melindungi pekerja dari paparan berbahaya dan bagaimana penggunaan APD dapat ditingkatkan.

3. Pengaruh Paparan Ganda: Pertimbangkan untuk mengeksplorasi dampak paparan kapur tohor yang dikombinasikan dengan faktor lingkungan lainnya, seperti debu, gas berbahaya, atau bahan kimia lain yang mungkin terdapat di lokasi tambang. Penelitian ini dapat memberikan wawasan tentang interaksi antara berbagai agen berbahaya dan risiko kesehatan yang mungkin timbul.
4. Pengembangan dan Implementasi Teknologi Pengendalian Paparan: Fokus penelitian bisa diarahkan pada pengembangan teknologi baru atau peningkatan teknologi yang ada untuk pemberian kapur tohor untuk mengurangi paparan kapur tohor pada pekerja.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, Titin, and Fakultas Teknik. 2014. "Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan." *Teknobuga* 1(1): 53–65.
- Andarini, D., et al. 2021. Menulis Itu Mudah (Teori Dan Aplikasi Penulisan Karya Ilmiah Untuk Mahasiswa Kesehatan Masyarakat). In: *Mirsawati, R. (ed.). PT.RajaGrafindo Persada: Rajawali Pers.*
- Anjelicha, D., Riviwanto, M., & Wijayantono, W. (2022). Analisis Risiko Penyakit Paru Obstruksi Kronis Akibat Paparan Debu Pm<sub>2.5</sub> pada Pekerja Mebel Kayu CV Mekar Baru Kota Padang. *Jurnal Sehat Mandiri*, 17(1), 115-125.
- Ardiansah, A. (2023). Utilization of Fly Ash and Bottom Ash as Acid Mine Water Neutralization Media: Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash Sebagai Media Netralisasi Air Asam Tambang. *Jurnal Sains dan Teknik Terapan*, 1(1), 1-10.
- Arisanti, R., Assyakiri, M. R. A. F., Rahmi, H., & Neris, A. (2021). Analisis Biaya Penggunaan Kapur Tohor Dalam Penetralan Air Asam Tambang KPL PIT 1 PT XYZ di Sumatera Selatan. *Media STIE Prabumulih*, 5(2), 95-101.
- Armaeni, E. D., & Widajati, N. (2017). Hubungan Paparan Debu Kapur Dengan Status Faal Paru Pada Pekerja Gamping. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 5(1), 61.
- Arifin, U. R., Jadid, M. M., & Widiono, B. (2019). Pengolahan Limbah Air Asam Tambang Emas dengan Proses Netralisasi Koagulasi Flokulasi. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 5(2), 112-120.
- Assyakiri, M. R. A. F., Rahmi, H., & Neris, A. (2022). Kebutuhan dosis kapur tohor dalam penetralan air asam tambang KPL pit 1 timur banko barat PT Bukit Asam. *Humantech: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 2(Spesial Issues 1), 292-301.
- Faisal, Ahmad, and A Syarifudin. 2014. "Dosis Optimum Larutan Kapur Tohor Untuk Netralisasi pH Air." *Jurnal Kesehatan Lingkungan* 11(1): 184–89.
- Chaeruddin, A. D. R. D., Abbas, H. H., & Gafur, A. (2021). Analisis risiko kesehatan lingkungan pajanan debu kayu pada pekerja mebel informal di Kelurahan Antang Kecamatan Manggala Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, 2(2), 322-335.
- Choirul, A. (2019). Granul kapur tohor sebagai filter penyerap cemaran asam pada fume hood portabel.
- Damayanti, A. S., Kalista, A., Nuruddin, A. W., & Anggraini, S. D. (2023). Desain Eksperimen Komposisi Pembuatan Cat Tembok Emulsi dengan Limbah Kapur Tohor (CaO) PT Petro Jubung Abadi dengan Menggunakan Metode

- Taguchi. *IMEJ (Industrial Management and Engineering Journal)*, 2(2), 56-66.
- Daulay, N. S. (2022). LKP Evaluasi Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Pabrik Gula Kwala Madu (PGKM) PTPN II Sumatera Utara.
- Direktorat Jendral PP dan PL Kementrian Kesehatan. (2012). *Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan*.
- Dofendra, T. (2023). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (Arkl) Paparan Gas Karbon Monoksida (Co) pada Pekerja Sol Sepatu di Simpang Tugu Juang Sipin Kota Jambi Tahun 2022* (Doctoral dissertation, Universitas Jambi).
- Effendi, H., Mursalin, M., & Sonaji, R. (2021). Dinamika persetujuan lingkungan dalam perspektif Peraturan Pemerintah nomor 22 tahun 2021 dan peraturan turunannya. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*, 759-787.
- Efendi, R. (2022). *Pengaruh Paparan Debu Terhadap Kadar Transforming Growth Factor B-1 (Tgf B-1) dan Interleukin-8 (Il-8) Serum pada Pekerja Parkir di Purwokerto* (Doctoral dissertation, Universitas Jenderal Soedirman).
- Faisya, A. F., Putri, D. A., & Ardillah, Y. (2019). Analisis risiko kesehatan lingkungan paparan hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) dan ammonia (NH<sub>3</sub>) pada masyarakat wilayah TPA Sukawinatan Kota Palembang Tahun 2018. *J Kesehatan Lingkung Indones*, 18(2), 126-137.
- Febri V. Analisis Gangguan Infeksi Saluran Pernafasan Akut Dan Hubungannya Dengan Lokasi Pertambangan di Gunung Kapur Puger Kabupaten Jember Sebagai Sumber Belajar Biologi. *J Muhammadiyah Malang*. 2020;
- Fuadi, M. F., Setiani, O., & Darundiati, Y. H. (2021). Paparan Partikulat Debu Kapur dan Faktor Risiko Pekerja dengan Kejadian ISPA: Sebuah Literature Review. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(1), 8-15.
- Fuqoha I, Suwondo A, Jayanti S. Hubungan Paparan Debu Kayu Dengan Kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (Ispa) Pada Pekerja Mebel Di Pt. X Jepara. *J Kesehat Masy*. 2017;5(1):378–86.
- Hastono 2017. Analisis Data pada Bidang Kesehatan/Dr. Drs. Sutanto Priyo Hastono, M. Kes. *Depok: Rajawali Pers; Rajagrafindo Persada*, 2018
- Hayati, R. A., As, Z. A., & Junaidi, J. (2019). Paparan Debu Respirabel Terhadap Kapasitas Vital Paru Pada Pekerja Di Industri Kapur Tohor. *Jurnal Kesehatan Lingkungan : Jurnal dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 16(2), 797-802.
- Herlin, Y., Meiyasa, F., & Henggu, K. U. (2022). Evaluasi Konsentrasi Kapur Tohor (CaO) Terhadap Mutu Semi Refined Carrageenan Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii*. *Marinade*, 5(01), 19-27.

- Indriyani, D., Darundiati, Y. H., & Dewanti, N. A. Y. (2017). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Debu Kayu Pada Pekerja Di Industri Mebel Cv. Citra Jepara Kabupaten Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*, 5(5), 571-580.
- IPCS, W. 2021. *Who Human Health Risk Assessment Toolkit: Chemical Hazards, Second Edition (Ipcs Harmonization Project Document, No. 8)*.
- Irviansyah, Alfian, Saibun Sitorus, and Aman Sentosa Panggabean. 2020. "Identifikasi Batuan PAF, NAF Dan Uncertain Dengan Menggunakan Metode NTAPP Pada Area PT. Trubaindo Coal Mining, Melak-Kalimantan Timur." *Indo. J. Chem. Res.* 7(2): 120–26
- Islamiyati, A. D., & Abram, P. H. (2020). Analisis Kadar Kalsium Oksida (CaO) pada Batu Karang di Daerah Pesisir Bayang Dampelas Donggala. *Media Eksakta*, 16(1), 57-62.
- KLHK 2020. Laporan Kinerja Tahun 2020-Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara
- Leni W. Infeksi Saluran Pernafasan Akut Pada Pekerja Penambang Kapur. *J Stikes Karya Mitra Husada Kediri*. 2018;
- Lestari, R. A., Shadiq, F. A., Regia, R. A., Goembira, F., & Akbar, F. (2021). Potensi risiko paparan PM<sub>2.5</sub> pada pekerja tambang batu kapur di PT. X Kab. 50 Kota. *Riset Informasi Kesehatan*, 10(2), 123-133.
- Mirza Fathan Fuadi., 2021. 'Paparan Partikulat Debu Kapur dan Faktor Risiko Pekerja dengan Kejadian ISPA: Sebuah Literature Review. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*.
- Muhammad Razan, M. (2024). Analisis Risiko kesehatan Lingkungan Paparan Particulate Matter 2, 5 Terhadap Pekerja Packing Plant PT Semen Padang (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).
- Notoatmodjo, S., 2017. *Metodologi Penelitian Kesehatan*. Edisi Revisi, Jakarta :Rineka Cipta.
- Nurfadillah, A. R. (2023). Penilaian Risiko Paparan total Suspended Particulate Pada Masyarakat. *Jambura Health and Sport Journal*, 5(2), 104-113.
- Permenkes 2023. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan.
- Pranata, Lufthi Agustian. 2018. "Analisis Penetralan Air Asam Tambang Batubara Dengan Menggunakan Kapur Tohor Di Kolam Pengendapan Lumpur the Analysis of Coal Acid Mine Drainage Using Calcium Oxide in Settling Pond." *Jurnal Teknik Patra Akademika* 9(1): 4–14.
- Pratiwi, D., Asrifah, R. D., Utami, A., & Yudono, A. R. A. (2024, January). Efektivitas Penyisihan Mangan (Mn) Dengan Kombinasi Pengolahan Secara

- Aktif Dan Pasif Pada Air Asam Tambang. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan SATU BUMI* (Vol. 5, No. 1).
- Putrakoranto, L. (2021). *Analisis Sulfur Dioksida (So<sub>2</sub>) Pada Udara Ambien Dan Risiko Terhadap Kesehatan Masyarakat Di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta*.
- Rachmadya, B., Trigunasih, N.M., & Supadma., A. N. (2021). Evaluasi Status Kesuburan Tanah Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) pada Lahan Subak di Kecamatan Denpasar Barat, Kota Denpasar, Provinsi Bali. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika ISSN, 2301*, 6515.
- Rahmi, H., Nelvi, A., & Situmorang, B. (2023). Pengaruh Fly Ash Dan Kapur Tohor Terhadap Kualitas Air Asam Tambang (pH dan TSS) Di PT. Bara Prima Pratama. *Jurnal Teknologi Infrastruktur, 2(1)*, 35-43.
- Riski, M., & Haryanto, B. (2020). Hubungan pajanan PM<sub>2.5</sub> terhadap Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK) pada pekerja di pintu gerbang pelabuhan tanjung priok tahun 2018. *Jurnal Nasional Kesehatan Lingkungan Global, 1(3)*, 222–232.
- Rinanti, S. W., Sugriarta, E., Afridon, A., Adriyanti, S. L., & Riviwanto, M. (2023). Analisis Risiko Gangguan Saluran Pernapasan Pada Pedagang Akibat Paparan Debu Total Suspended Particulate Udara Ambien. *Jurnal Sehat Mandiri, 18(2)*, 280-292.
- Rianti, L., Maryana, M., & Aprianti, A. (2021). Analisis Efektivitas Penetralkan Air Asam Tambang Menggunakan Kapur Tohor Dan Soda ASH Dari Kolam Pengendapan Lumpur Tambang Batubara Dalam Skala Laboratorium. *Jurnal Teknik Patra Akademika, 12(01)*, 13-21.
- Rosalia, O., Wispriyono, B., & Kusnoputranto, H. (2018). *Karakteristik Risiko Kesehatan Non Karsinogen pada Remaja Siswa Akibat Paparan Inhalasi Debu Particulate Matter*. Hasanuddin University.
- Said, Nusa Idaman. 2018. “Teknologi Pengelolaan Air Asam Tambang Batubara ‘Alternatif Pemilihan Teknologi.’” *Jurnal Air Indonesia 7(2)*.
- Saswita, N., Sulistyani, S., & Setiani, O. (2018). Penggunaan Kapur Tohor (CaO) dalam Penurunan Kadar Logam Fe dan Mn Pada Limbah Cair Pewarnaan Ulang Jeans Kabupaten Magelang Tahun 2017. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip), 6(1)*, 662-669.
- Sari, E. I. (2018). *Studi penggunaan kapur tohor dalam proses penetralkan air asam tambang di KPL PIT 3 Barat IUP Tambang Banko Barat PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan* (Doctoral dissertation, Universitas Bangka Belitung).
- Sayoga, R. 2012. “Pengelolaan Air Asam Tambang.” *Jurnal Indonesian Network for Acid Drainage: 3*.

- Selatan, P. G. S. (2019). Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 08 Tahun 2019 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batubara. Palembang (ID): *Sekretaris Daerah Provinsi Sumatera Selatan*
- Setiawan, B. (2020). Pengaruh Penambahan Kapur Tohor Terhadap Nilai CBR *Sub Grade Dengan Menggunakan Metode ASTM D 2017* (Doctoral dissertation, Universitas Bhayangkara).
- Sugiyono. (2018). *Pengertian Teknik Pengumpulan Data menurut Para Ahli*. 11(3), 296–300
- Sugiyono. (2018). *Pengertian Populasi dan Sampel Menurut Para Ahli*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta.
- Susilawati, S. (2021). Dampak perubahan iklim terhadap kesehatan. *Electronic Journal Scientific of Environmental Health And Disease*, 2(1), 25-31.
- Suriani, N., & Jailani, M. S. (2023). Konsep Populasi dan Sampling Serta Pemilihan Partisipan Ditinjau Dari Penelitian Ilmiah Pendidikan. *IHSAN: Jurnal Pendidikan Islam*, 1(2), 24-36.
- Suryatia, I., Akbara, M. N., & Latifah, N. (2019). Studi Kandungan Logam Berat (As, Cd, Cr, Pb Dan Hg) dalam Particulate Matter 10 Mikron (PM10) di Beberapa Ruas Jalan Kota Medan. *Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas*, 16(2), 77–85
- Syahputra, K. Y., Hidayah, M., & Bahiyah, W. (2023). Utilization of Nylon-Based Eggshell Waste in the Making of Microfiltration Membranes for Reducing Metal Fe<sup>3+</sup>. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 12(2), 112-118.
- Tolinggi, S. (2021). *Kesehatan Lingkungan Industri: Pendekatan Biologi Molekuler Dalam Menganalisis Penurunan Fungsi Paru Para Pekerja Dari Aktivitas Serum Interleukin-8*. Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia.
- USEPA. 2019. Guidelines for Human Exposure Assessment.
- Wibowo, D. H. (2020). Kajian potensi karbon aktif berbahan baku batubara dari PT Bukit Asam (Persero) Tbk. *dalam pengelolaan air asam tambang. SKRIPSI-2017*.
- Widodo A. Hubungan Antara Lamanya Bekerja Sebagai Penambang Batu Kapur Dengan Nilai Vo<sub>2</sub> Maks di Pertambangan Daerah Gunungkidul. *J Univ Muhammadiyah Surakarta*. 2017;
- Wustqa, Listyani, Subekti, Kusumawati, Susanti & Kismiantini 2018. Analisis data multivariat dengan program r. *Jurnal Pengabdian Masyarakat MIPA Dan Pendidikan MIPA*, 2, 83-86.
- Yani, M. (2012). Life cycle assessment of sugar at cane sugar industry. *E-jurnal Agro-Industri Indonesia*, 1(1).

- Yovita, S. (2009). Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) pada Pertambangan Batubara di *PT. Marunda Grahamineral, Job Site Laung Tuhup Kalimantan Tengah*.
- Yunus M, Raharjo W, Fitriangga A. *Faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian infeksi saluran pernapasan akut ( ISPA ) pada pekerja PT . X Factors related to acute respiratory infection ( ARI ) incidence among workers at PT . X*. Kesehatan. 2020;6(1):21–30.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Informed Consent



**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN  
PAJANAN KAPUR TOHOR (PM<sub>2.5</sub>, TSP, DAN SO<sub>2</sub>)  
PADA PEKERJA PENGELOLAAN AIR ASAM  
TAMBANG DI PT BUKIT ASAM TBK TANJUNG  
ENIM SUMATERA SELATAN**

---



---

### INFORMED CONSENT

Bapak/ibu/Sdra/Sdri perkenalkan saya Dwi Irma Mayang Sri. Saya berasal dari Universitas Sriwijaya. Dalam rangka menyelesaikan studi saya di Universitas Sriwijaya, saat ini saya sedang melakukan penelitian mengenai **“Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Kapur Tohor Paparan Polutan Udara (PM<sub>2.5</sub>, TSP, dan SO<sub>2</sub>) Pada Pekerja Pengelollan Air Asam Tmabng Di PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan”**. Terkait dengan hal tersebut, saya ingin melakukan wawancara dengan Bapak/ibu/Sdra/Sdri, untuk menjadi responden dalam penelitian saya. Wawancara ini bersifat tidak wajib, namun jika Bapak/ibu/Sdra/Sdri bersedia saya wawancarai maka Bapak/ibu/Sdra/Sdri wajib menjawab seluruh pertanyaan yang ada. Saya menjamin data yang Bapak/ibu/Sdra/Sdri berikan hanya akan digunakan dalam penelitian ini dan tidak akan diberikan kepada pihak manapun. Wawancara akan berlangsung selama kurang lebih 30 menit.

Apakah Bapak/ibu/Sdra/Sdri beresdia untuk menjadi responden dalam penelitian saya.

- a. Ya → Lanjut
- b. Tidak → Stop

Indralaya,

2024

Responden

Universitas Sriwijaya

## Lampiran 2 Kuesioner Penelitian



### ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN KAPUR TOHOR (PM<sub>2.5</sub>, TSP, DAN SO<sub>2</sub>) PADA PEKERJA PENGELOLAAN AIR ASAM TAMBANG DI PT BUKIT ASAM TBK TANJUNG ENIM SUMATERA SELATAN

<b>No. Urut Responden</b>	=	
<b>I. Identitas Responden</b>		
1. Nama Responden	=	
2. Jenis Kelamin	=	
3. Umur	=	
<b>II. Data Antropometri</b>		
1. Berat Badan	=	Kg
<b>III. Data Paparan</b>		
1. (Durasi Paparan)		
A. Sudah berapa lama anda bekerja sebagai pekerja kapur tohor pengelolaan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk tanjung Enim Sumatera Selatan ?	=	Tahun
2. (Frekuensi Paparan)		
A. Berapa hari anda bekerja dalam satu minggu pada pemberian kapur tohor pengelolaan air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk tanjung Enim Sumatera Selatan ?	=	Hari/minggu
B. Berapa lama anda meninggalkan pekerjaan dalam waktu satu bulan (cuti, mudik, libur nasional dan lainnya)?	=	Hari
3. (Lama Paparan)		
A. Pukul berapa anda mulai bekerja untuk pemberian kapur tohor pengelolaan air asam tambang?	Pukul =	
B. Pukul berapa anda selesai bekerja untuk pemberian kapur tohor pengelolaan air asam tambang?	Pukul =	

**IV. Perhitungan Intake dan RQ**  
**Intake**

$$\text{Ink} = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

**Mg/Kg/hari**

**RQ** :  $\frac{I}{RfC}$

**Konsentrasi PM<sub>2,5</sub>**

.....µg/Nm<sup>3</sup>

**Konsentrasi TSP**

.....µg/Nm<sup>3</sup>

**Konsentrasi Gas SO<sub>2</sub>**

.....µg/Nm<sup>3</sup>

Lampiran 3  
Dokumentasi



**KEMENTERIAN KESEHATAN RI  
SRIWIJAYA RESEARCH FELLOWS COMMITTEE  
FACULTY OF PUBLIC HEALTH SRIWIJAYA UNIVERSITY  
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**KEPASTIHAN LOKUS RAS PTM  
DESCRIPTION OF ETHICAL APPROVAL  
"ETHICAL APPROVAL"**

No. SK-124/UN/PPH/TK/KEK/2024

Diberikan persetujuan yang dimaksud oleh:  
The research protocol proposed by:

Nama: Dwi Inna Mayang Sri  
NIM: 10012682527032  
Jabatan: Asisten Manajer Satuan Kerja Pengelolaan Lingkungan  
PT. Bakti Asam Tbk

Instansi: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya

Dengan judul:  
Tema:  
"ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PELANAN KAPUR TUMBUH (PM, TSP, DAN SO<sub>2</sub>) PADA PERUSAHA PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG DI PT BAKTI ASAM Tbk, TANGUNG SELATAN"

"ENVIRONMENTAL HEALTH RISK ANALYSIS OF QUINOLONE EXPOSURE (PM<sub>10</sub>, TSP, AND SO<sub>2</sub>) FOR WORKERS IN ACID MINE WATER MANAGEMENT AT PT BAKTI ASAM Tbk, TANGUNG ENH, SOUTH SUMATRA"

Menyatakan telah baik sesuai 7 (tujuh) Standar WHO 2013, pasal 1) Nilai Batas, 2) Nilai Batas, 3) Peringatan Bahaya dan Bahaya, 4) Bahaya, 5) Bahaya/Gejala, 6) Kerusakan dan Penyakit, dan 7) Pencegahan. Semua Parameter yang termasuk pada Parameter (GMD, PM<sub>10</sub>, HAP dan SO<sub>2</sub>) yang dipaparkan oleh terdapatnya indikator setiap standar.

Declared to be ethically appropriate in accordance to 7 (seven) WHO 2013 standards, 1) Limit Values, 2) Limit Values of Equivalency Assessment and Results, 3) Hazard/Significance, 4) Hazard and Disease, 5) Hazard/Significance, 6) Environmental and Primary, and 7) Control/Prevent, referring to the WHO 2013 standard. This is as indicated by the fulfillment of the indicators of each standard.

Perijinan LOKUS RAS ini berlaku selama tahun berlaku tanggal 08 Juli 2024 sampai dengan tanggal 08 Juli 2025.

This declaration of ethics applies during the period July 08, 2024 until July 08, 2025.



Indragiri, 10 Juli 2024  
Head of the Committee  
Dwi Inna Mayang Sri, S.Kep., M.Kes.  
NIP. 1971492310910012004



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,  
RISET DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT**

Gedung Fakultas Kesehatan Masyarakat, Kampus Ulu Indralaya, Ogan Ilir 30562  
Telepon: (0711) 590048 Faxsimile: (0711) 590089  
Website: <http://www.fkm.unsri.ac.id/Email: fkm@fkm.unsri.ac.id>

No. SK: 072/UN/PPH/TK/KEK/2024  
Lampiran: 1 (satu) Berkas Proposal Penelitian  
Perihal: Iain Penelitian

Indragiri, 1 Agustus 2024

Yth. 1. Manajer K3L, Korporasi  
2. Asisten Manajer Satuan Kerja Pengelolaan Lingkungan  
PT. Bakti Asam Tbk  
di  
Tanjung

Dengan ini, selubung dengan pernyataan izin mahasiswa Program Studi Magister (S2) Ilmu Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya dengan ini disampaikan bahwa mahasiswa berikut ini:

Nama: Dwi Inna Mayang Sri  
NIM: 10012682527032  
BKK: Kesehatan Lingkungan (KL)  
Jabatan: Asisten Risiko Kesehatan Lingkungan Pelanran Kapur Tumbuh (PM, TSP, dan SO<sub>2</sub>) pada Perusa Pengolahan Air Asam Tambang di PT. Bakti Asam Tbk, Tanjung Enam, Sumatera Selatan  
Pendidikan: 1. Prof. Dr. Yusefa Widiastuti, S.Sc., M.Sc.  
2. Dr. Dwi Susanti, S.K.M., M.Kes.  
Tempat Penelitian: PT. Bakti Asam Tbk, Tanjung Enam, Sumatera Selatan

Bersama ini melampirkan penelitian di wilayah kerja Bakti Asam. Berkas ini dengan ini surat, mohon kiranya Bakti Asam tidak keberatan untuk membolehkan izin kepada mahasiswa tersebut. Adapun waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana tertera dalam surat permohonan Bakti Asam.

Segala bentuk dan keterangan yang diperlukan akan dipaparkan secara-mata-mata terkait perkembangan dari penelitian.

Demikianlah, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terimakasih.



Dwi Inna Mayang Sri, S.Kep., M.Kes.  
NIP. 1971492310910012004

Tembusan:  
1. Wakil Dekan Bidang Akademik  
2. Wakil Rektu  
3. Departemen Pendidikan  
FKM Universitas Sriwijaya



**NOTA DINAS**  
NOMOR : 0314/B/14132/HM.03/VIII/2024

Yang : AVP Satuan Kerja Pembimbing  
Terhormat  
Dari : AM Pelatihan dan Sarana  
Tanggal : 19 Agustus 2024  
Sifat : Biasa  
Lampiran : 3 (tiga) lembar  
Hal : Surat Pengantar Pelaksanaan Kegiatan Kerja Praktik, Penelitian dan Tugas Akhir

Sehubungan dengan adanya Mahasiswa / Mahasiswi dan Siswa/Siswi yang akan melaksanakan kegiatan Kerja Praktik, Penelitian dan Tugas Akhir di satuan kerja Bapak/Ibu, bersama ini kami sampaikan Daftar Nama Mahasiswa/Mahasiswi dan Siswa/Siswi dimaksud sebagaimana terlampir.

Sebagai informasi Peserta Kegiatan Kerja Praktik, Penelitian dan Tugas Akhir ini sudah mengikuti Safety Induction yang dilaksanakan di Gedung Learning Center Bukit Asam,Tbk pada tanggal 19 Agustus 2024.

Untuk Konsumsi makan siang peserta selama kegiatan berlangsung dapat menggunakan Cost Center Satuan Kerja Learning and Development 2113630094008023.

Kegiatan Kerja Praktik, Penelitian dan Tugas Akhir dilaksanakan sesuai jadwal terlampir, dengan ketentuan PT Bukit Asam,Tbk tidak menyediakan alat tulis kantor, tanpa fasilitas.

Demikian disampaikan, Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

AM Pelatihan dan Sarana,

Evi Permana Sari Lase  
NP- 9216231229

**Tembusan:**

1. AVP Learning and Development
2. AVP SOM Umum dan Keuangan
3. Kepala Bidang Penunjang Medis
4. AM, Layanan Kesehatan Pegawai
5. Klinik Pratama Bukit Asam

**PT BUKIT ASAM TBK**

Kantor Pusat: J. Terapi No.1, Tanjung Enim, Muara Enim, Sumatera Selatan 3076, T (0754) 491 086, (0754) 452 302, F (0754) 451 096, (0754) 452 302  
Kantor Jakarta: Menara Radian 11/15, J. HR, Rasuna Said, Blok X-5 Raw 2-3, Jakarta 02950, T (021) 525 4034, F (021) 525 4002  
Pelabuhan Tarahan: J. Soekarno Hatta Km. 15, Tarahan, Bandar Lampung 35242, T (0720) 31 545, (0720) 31 686, F (0720) 31 577  
Demaga Kartapati: J. Stasiun Kertala Api Palembang, Sumatera Selatan 30142, T (0711) 512 612, F (0711) 511 388  
Pantabangan Ombilin: J. Hutan Jatin No.1 Sarangan SawahLuhur, Sumatera Barat 27421, T (0754) 61 021, F (0754) 61402

NO	Tempat Pelaksanaan	PERJHAL	NAMA	NIM/NIS	LEMBAGA
7	Pengelolaan Lingkungan	Penelitian	Dwi Irma Mayang Sari	10012682327035	Universitas Sriwijaya







## Lampiran 4

### Hasil Output Analisis Data dengan SPSS

#### ANALISIS UNIVARIAT

#### Konsentrasi Polutan

##### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
SO2	3	.0467	.0582	.053567	.0060666
TSP	3	.1885	.4669	.283867	.1585583
PM2.5	3	.0320	.0370	.035033	.0026652
Valid N (listwise)	3				

##### Descriptives

		Statistic	Std. Error	
SO2	Mean	.053567	.0035025	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.038496	
		Upper Bound	.068637	
	5% Trimmed Mean	.		
	Median	.055800		
	Variance	.000		
	Std. Deviation	.0060666		
	Minimum	.0467		
	Maximum	.0582		
	Range	.0115		
	Interquartile Range	.		
	Skewness	-1.432	1.225	
	Kurtosis	.	.	

#### Uji Normalitas Polutan SO<sub>2</sub>

##### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
SO2	.310	3	.	.898	3	.380

a. Lilliefors Significance Correction

### Descriptives

		Statistic	Std. Error
TSP	Mean	.283867	.0915437
	95% Confidence Interval for		
	Lower Bound	-.110014	
	Upper Bound	.677747	
	5% Trimmed Mean	.	
	Median	.196200	
	Variance	.025	
	Std. Deviation	.1585583	
	Minimum	.1885	
	Maximum	.4669	
	Range	.2784	
	Interquartile Range	.	
	Skewness	1.727	1.225
	Kurtosis	.	.

### Uji Normalitas Polutan TSP Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
TSP	.377	3	.	.771	3	.046

a. Lilliefors Significance Correction

### Descriptives

		Statistic	Std. Error	
PM2.5	Mean	.035033	.0015388	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.028413	
		Upper Bound	.041654	
	5% Trimmed Mean	.		
	Median	.036100		
	Variance	.000		
	Std. Deviation	.0026652		
	Minimum	.0320		
	Maximum	.0370		
	Range	.0050		
	Interquartile Range	.		
	Skewness	-1.513	1.225	
	Kurtosis	.	.	

### Uji Normalitas Polutan PM<sub>2.5</sub>

#### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
PM2.5	.322	3	.	.880	3	.324

a. Lilliefors Significance Correction

#### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
JenisKelamin	14	1	1	1.00	.000
Umur	14	27	45	34.86	5.628
BB	14	55	85	69.71	9.008
DurasiPaparannya	14	2	7	4.36	1.499
FrekuensiA	14	6	6	6.00	.000
FrekuensiB	14	305	305	305.00	.000
LamaPaparannyaA	14	3	3	3.00	.000
LamaPaparannyaB	14	2	2	2.00	.000
Valid N (listwise)	14				

## Umur Responden

### Descriptives

		Statistic	Std. Error	
Umur	Mean	34.86	1.504	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	31.61	
		Upper Bound	38.11	
	5% Trimmed Mean	34.73		
	Median	34.00		
	Variance	31.670		
	Std. Deviation	5.628		
	Minimum	27		
	Maximum	45		
	Range	18		
	Interquartile Range	9		
	Skewness	.447	.597	
	Kurtosis	-.782	1.154	

## Uji Normalitas Variabel Umur

### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
Umur	.132	14	.200*	.951	14	.570

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

## Berat Badan Responden

### Descriptives

		Statistic	Std. Error	
BB	Mean	69.71	2.407	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	64.51	
		Upper Bound	74.92	
	5% Trimmed Mean	69.68		
	Median	69.00		
	Variance	81.143		
	Std. Deviation	9.008		
	Minimum	55		
	Maximum	85		
	Range	30		
	Interquartile Range	15		
	Skewness	.123	.597	
	Kurtosis	-1.019	1.154	

## Uji Normalitas Variabel Berat Badan

### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
BB	.161	14	.200 <sup>*</sup>	.960	14	.727

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

### Durasi Pajanan Responden Descriptives

		Statistic	Std. Error	
DurasiPajanan	Mean	4.36	.401	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	3.49	
		Upper Bound	5.22	
	5% Trimmed Mean	4.34		
	Median	4.00		
	Variance	2.247		
	Std. Deviation	1.499		
	Minimum	2		
	Maximum	7		
	Range	5		
	Interquartile Range	1		
	Skewness	.241	.597	
	Kurtosis	.120	1.154	

### Uji Normalitas Variabel Durasi Pajanan Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
DurasiPajanan	.192	14	.175	.909	14	.153

a. Lilliefors Significance Correction

### Lama Pajanan Responden Descriptives

		Statistic	Std. Error	
LamaPajanan	Mean	2.89	.214	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	2.45	
		Upper Bound	3.33	
	5% Trimmed Mean	2.88		
	Median	3.00		
	Variance	1.284		
	Std. Deviation	1.133		
	Minimum	1		
	Maximum	5		

Range	4	
Interquartile Range	2	
Skewness	.389	.441
Kurtosis	-.597	.858

### Uji Normalitas Variabel Lama Pajanan

#### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
LamaPajanan	.213	28	.002	.903	28	.013

a. Lilliefors Significance Correction

### Frekuensi Pajanan Respoden

#### Descriptives

		Statistic	Std. Error
FrekuensiPaja	Mean	162.54	31.318
nan	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	98.28
		Upper Bound	206.79
	5% Trimmed Mean	156.59	
	Median	219.00	
	Variance	27462.110	
	Std. Deviation	52.442	
	Minimum	126	
	Maximum	269	
	Range	143	
	Interquartile Range	97	
	Skewness	.394	.597
	Kurtosis	-1.537	1.154

## Uji Normalitas Variabel Frekuensi Pajanan

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
FrekuensiPajanan	.326	14	.024	.877	14	.043

a. Lilliefors Significance Correction

## NILAI INTAKE

### Descriptive {Dataset}

Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
SO2	15	.0040067	.0174769	.0010224759	.0035884710
PM2.5	15	.0000347	.0001450	.000081950	.0000335319
TSP	15	.0000300	.0001450	.000081637	.0000340220
Valid N (listwise)	15				

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
SO2	.155	14	.200 <sup>*</sup>	.951	14	.569
PM2.5	.163	14	.200 <sup>*</sup>	.941	14	.430
TSP	.157	14	.200 <sup>*</sup>	.952	14	.591

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

## ANALISIS RISIKO PAPARAN PARAMETER PM 2,5

No.	C (consentration)	R (Rate)	tE (time of exposure)	fE	Dt	Wb	tavg	Ink	RfC	RQ
1	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	62	10950	0.000133959	0.0035	0.0383
2	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	75	10950	0.000110739	0.0035	0.0316
3	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	78	10950	0.000106480	0.0035	0.0304
4	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	62	10950	0.000133959	0.0035	0.0383
5	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	66	10950	0.000125840	0.0035	0.0360
6	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	55	10950	0.000151008	0.0035	0.0431
7	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	60	10950	0.000138424	0.0035	0.0395
8	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	82	10950	0.000101286	0.0035	0.0289
9	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	70	10950	0.000118649	0.0035	0.0339
10	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	85	10950	0.000097711	0.0035	0.0279
11	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	76	10950	0.000109282	0.0035	0.0312
12	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	75	10950	0.000110739	0.0035	0.0316
13	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	68	10950	0.000122139	0.0035	0.0349
14	0.0535	0.83	2.89	162.54	4.36	62	10950	0.000133959	0.0035	0.0383

**ANALISIS RISIKO PPARAN TOTAL SUSPINDED PARTICULATE (TSP)**

<b>No.</b>	<b>C (consentration)</b>	<b>R (Rate)</b>	<b>tE (time of exposure)</b>	<b>fE</b>	<b>Dt</b>	<b>Wb</b>	<b>tavg</b>	<b>Ink</b>	<b>RfC</b>	<b>RQ</b>
1	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	62	10950	0.000710607	0.092	0.0077
2	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	75	10950	0.000587435	0.092	0.0064
3	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	78	10950	0.000564841	0.092	0.0061
4	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	62	10950	0.000710607	0.092	0.0077
5	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	66	10950	0.000667540	0.092	0.0073
6	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	55	10950	0.000801047	0.092	0.0087
7	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	60	10950	0.000734294	0.092	0.0080
8	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	82	10950	0.000537288	0.092	0.0058
9	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	70	10950	0.000629394	0.092	0.0068
10	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	85	10950	0.000518325	0.092	0.0056
11	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	76	10950	0.000579705	0.092	0.0063
12	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	75	10950	0.000587435	0.092	0.0064
13	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	68	10950	0.000647906	0.092	0.0070
14	0.2838	0.83	2.89	162.54	4.36	62	10950	0.000710607	0.092	0.0077

**ANALISIS RISIKO PAPARAN GAS SULFUR DIOKSIDA (SO<sub>2</sub>)**

<b>No.</b>	<b>C (consentration)</b>	<b>R (Rate)</b>	<b>tE (time of exposure)</b>	<b>fE</b>	<b>Dt</b>	<b>Wb</b>	<b>tavg</b>	<b>Ink</b>	<b>RfC</b>	<b>RQ</b>
1	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.003767014	0.075	0.0502
2	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.004407890	0.075	0.0588
3	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.005667288	0.075	0.0756
4	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.005164274	0.075	0.0689
5	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.001950575	0.075	0.0260
6	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.002511342	0.075	0.0335
7	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.008299726	0.075	0.1107
8	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.007377534	0.075	0.0984
9	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.009544685	0.075	0.1273
10	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.007377534	0.075	0.0984
11	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.008714712	0.075	0.1162
12	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.006639781	0.075	0.0885
13	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.004979836	0.075	0.0664
14	0.0017	1	2.89	162.54	4.36	1	10950	0.006639781	0.075	0.0885