

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN AKIBAT  
PAJANAN PM<sub>2,5</sub> TERHADAP PEKERJA DI RUANGAN  
PEMELIHARAAN MESIN *RAW MILL*, *KILN COAL MILL*, DAN  
*FINISH MILL* PABRIK INDRAMUGI VI PT SEMEN PADANG**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

**FARRAS AFIF**

**1910942020**



**Dosen Pembimbing:**

**Prof. Ir. VERA SURTIA BACHTIAR, PhD., IPU**

**RESTI AYU LESTARI, M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG  
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

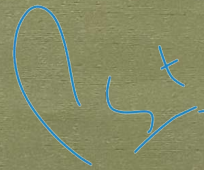
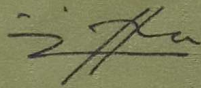
ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN KERJA  
AKIBAT PAJANAN PM<sub>2,5</sub> TERHADAP PEKERJA DI  
RUANGAN PEMELIHARAAN MESIN RAW MILL, KILN  
COAL MILL, DAN FINISH  
TUGAS AKHIR

Lulus Sidang Tugas Akhir tanggal: 17 Januari 2025

Disetujui oleh:

Pembimbing Utama,

Kopembimbing,

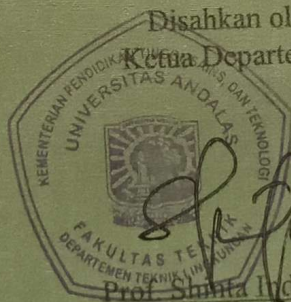


Prof. Ir. Vera Surtia Bachtiar, PhD., IPU  
NIP. 197108081999032002

Resti Ayu Lestari, M.T.  
NIP. 19880719201932005

Disahkan oleh:

Ketua Departemen,



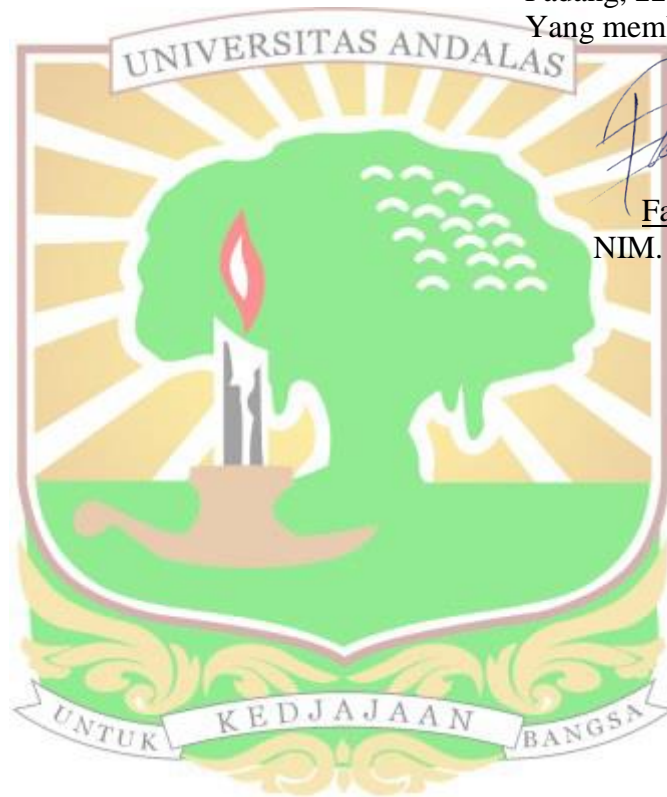
Prof. Sumita Indah, PhD  
NIP. 1973010819990320021


## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir yang ditulis dengan judul: **Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kerja Akibat Paparan PM<sub>2,5</sub> Terhadap Pekerja di Ruang Pemeliharaan Mesin Raw Mill, Kiln Coal Mill, dan Finish Mill Pabrik Indarung VI PT Semen Padang** adalah benar hasil kerja/karya saya sendiri dan bukan merupakan tiruan hasil kerja/karya orang lain, kecuali kutipan pustaka yang sumbernya dicantumkan. Jika kemudian hari pernyataan ini tidak benar, maka status kelulusan dan gelar yang saya peroleh menjadi batal dengan sendirinya.

Padang, 22 Januari 2025

Yang membuat pernyataan,



  
Farras Afif  
NIM. 1910942020

## ABSTRAK

*PT Semen Padang dalam melakukan kegiatan berupa penghancuran, penggilingan, dan pembakaran untuk menghasilkan produk semen dapat menghasilkan debu Particulate Matter kurang dari 2,5 mikron ( $PM_{2,5}$ ). Pekerja di ruangan pemeliharaan mesin raw mill, kiln coal mill, dan finish mill di Pabrik Indarung VI PT Semen Padang berpotensi mengalami risiko kesehatan lingkungan akibat paparan dari  $PM_{2,5}$ . Oleh karena itu penelitian ini melakukan analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) terhadap pekerja di ruangan pemeliharaan mesin raw mill, kiln coal mill, dan finish mill di Pabrik Indarung VI PT Semen Padang. Sampling dilakukan pada tiga tempat pada setiap ruangan pemeliharaan mesin raw mill, kiln coal mill, dan finish mill selama 3 hari dengan 8 jam tiap hari menggunakan alat Low Volume Air Sampler (LVAS) dengan metode gravimetri. Jumlah pekerja yang mengisi kuesioner yaitu sebanyak 39 pekerja, kuesioner bertujuan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan dalam ARKL berdasarkan Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan Tahun 2012. Nilai dari Konsentrasi  $PM_{2,5}$  yang didapatkan pada penelitian ini pada raw mill, kiln coal mill, dan finish mill berturut-turut sebesar  $0,161 \text{ mg/m}^3$ ,  $0,268 \text{ mg/m}^3$ , dan  $0,334 \text{ mg/m}^3$ . Tingkat risiko yang dialami pekerja dilambangkan dengan nilai RQ realtime dan lifetime. Nilai RQ realtime pada ruangan pemeliharaan mesin raw mill, kiln coal mill, dan finish mill memiliki rentang nilai berturut-turut sebesar  $0,1000 - 0,3427$ ,  $0,2477 - 0,7191$ , dan  $0,3429 - 0,9063$ . Nilai RQ lifetime pada setiap ruangan tadi berturut-turut dengan rentang nilai  $0,3665 - 1,1311$ ,  $0,7501 - 2,5076$ , dan  $1,1549 - 2,9063$ . Nilai RQ terhadap pekerja ada yang melewati ambang batas ( $RQ > 1$ ) sehingga perlu dilaksanakan pengelolaan risiko dan komunikasi risiko.*

**Kata Kunci :** Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL),  $PM_{2,5}$ , Raw Mill, Kiln Coal Mill, Finish Mill

## **ABSTRACT**

*PT Semen Padang in carrying out activities in the form of crushing, grinding, and burning to produce cement products can produce Particulate Matter dust less than 2.5 microns ( $PM_{2.5}$ ). Workers in the maintenance room of the raw mill, kiln coal mill, and finish mill machines at PT Semen Padang's Indarung VI Plant have the potential to experience environmental health risks due to exposure to  $PM_{2.5}$ . Therefore, this study conducted an environmental health risk analysis (EHR) of workers in the maintenance room of the raw mill, kiln coal mill, and finish mill machines at the Indarung VI Plant of PT Semen Padang. Sampling was carried out in three places in each maintenance room of the raw mill, kiln coal mill, and finish mill machines for 3 days with 8 hours each day using the Low Volume Air Sampler (LVAS) tool with the gravimetric method. The number of workers who filled out the questionnaire was 39 workers, the questionnaire aims to obtain the data needed in ARKL based on the Directorate General of PP and PL of the Ministry of Health in 2012. The value of  $PM_{2.5}$  concentration obtained in this study in the raw mill, kiln coal mill, and finish mill was  $0.161 \text{ mg/m}^3$ ,  $0.268 \text{ mg/m}^3$ , and  $0.334 \text{ mg/m}^3$ , respectively. The level of risk experienced by workers is denoted by realtime and lifetime RQ values. The realtime RQ value in the maintenance room of the raw mill, kiln coal mill, and finish mill machines has a range of values of 0.1000 - 0.3427, 0.2477 - 0.7191, and 0.3429 - 0.9063, respectively. The lifetime RQ value in each room was in the range of 0.3665 - 1.1311, 0.7501 - 2.5076, and 1.1549 - 2.9063, respectively. The RQ value for workers is over the threshold ( $RQ > 1$ ) so it is necessary to carry out risk management and risk communication.*

**Keywords:** *Environmental Health Risk Analysis,  $PM_{2.5}$ , Raw Mill, Kiln Coal Mill, Finish Mill*

## KATA PENGANTAR

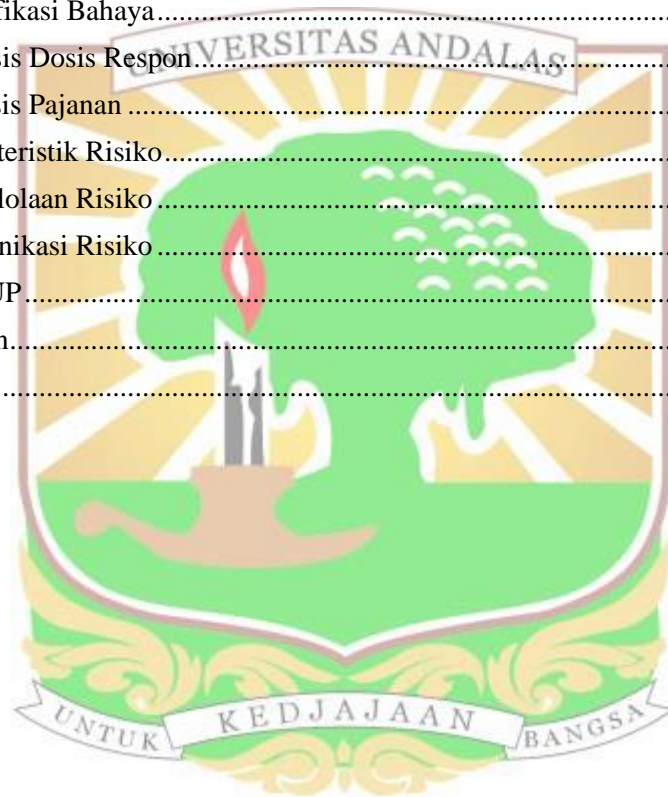
*Alhamdulillah* rabbil'alam, puji syukur pada kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kerja Akibat Paparan PM<sub>2,5</sub> Terhadap Pekerja di Ruang Peneliharaan Mesin *Raw Mill*, *Kiln Coal Mill*, dan *Finish Mill* Pabrik Indarung VI PT Semen Padang”**. Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat menyelesaikan program strata satu di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas. Penulis hendak menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir, yaitu:

1. Ibunda Asnini, Ayahanda Jaswir serta Bang Wafiq dan Bang Rian, keluarga tercinta atas bimbingan, semangat, dan dukungan baik moril maupun materil serta do'a yang tulus sehingga Penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya.
2. Ibuk Prof. Ir. Vera Surtia Bachtiar, PhD., IPU dan Ibuk Resti Ayu Lestari, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan sabar memberikan petunjuk dan arahan, bimbingan, nasehat dan dukungan yang sangat berharga bagi Penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
3. Bapak Dr. Ir. Fadjar Goembira, M.Sc dan Bapak Ridwan, M.T., selaku dosen penguji atas arahan dan saran untuk kesempurnaan tugas akhir ini;
4. Bapak Rizki Aziz, PhD, selaku dosen pembimbing akademik yang telah membantu dan membimbing Penulis selama masa perkuliahan
5. Naya dan Budhi, yang telah menemani Penulis melakukan *sampling* saat penelitian
6. Kontrakan Palimo, selaku rumah dan sahabat yang telah menemani suka dan duka selama perkuliahan dan memberikan support terhadap penulis.
7. Keluarga EBC FT UNAND yang telah mengisi kenangan indah baik di dalam kampus maupun di luar kampus selama perkuliahan
8. Teman-teman konsentrasi debu Luthfi, Agung, Deps, Tika, Razan, selaku teman tempat bertanya apabila penulis mengalami kebuntuan dalam melakukan penelitian
9. Teman-teman EQUIVALENT, yang telah dianggap saudara dan memberikan kesan berharga terhadap penulis di Teknik Lingkungan

# DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Pencemaran Udara.....	5
2.2 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Udara .....	6
2.3 Particulate Matter 2,5 (PM <sub>2,5</sub> ).....	8
2.4 Pengukuran dan Analisis .....	8
2.5 Gambaran Umum Wilayah Studi .....	10
2.5.1 Industri PT Semen Padang .....	10
2.5.2 Raw Mill .....	12
2.5.3 Kiln Coal Mill.....	12
2.5.4 Finish Mill.....	13
2.5.5 Ruang Pemeliharaan Mesin.....	13
2.6 Analisis Risiko .....	13
2.6.1 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.....	13
2.7 Analisis Data .....	18
2.7.1 Analisis Regresi.....	19
2.7.2 Analisis Korelasi .....	19
2.8 Penelitian Terkait.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Umum.....	23
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	23
3.3 Tahapan Penelitian .....	23
3.3.1 Studi Literatur.....	23
3.3.2 Data Penelitian .....	25
3.3.3 Analisis Data .....	29

3.4	Analisis Risiko .....	29
3.4.1	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.....	29
3.4.2	Pengelolaan Risiko .....	30
3.4.3	Komunikasi Risiko .....	31
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1.	Umum.....	32
4.2.	Kondisi Eksisting .....	32
4.3.	Kondisi Iklim Kerja.....	33
4.4.	Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> .....	34
4.5.	Hubungan Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> dengan Kondisi Iklim Kerja.....	35
4.6.	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.....	41
4.6.1	Identifikasi Bahaya.....	41
4.6.2.	Analisis Dosis Respon.....	47
4.6.3.	Analisis Paparan .....	47
4.6.4.	Karakteristik Risiko.....	50
4.6.5.	Pengelolaan Risiko .....	54
4.6.6.	Komunikasi Risiko .....	56
<b>BAB V PENUTUP</b> .....		<b>58</b>
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran.....	59





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pabrik Industri PT Semen Padang .....	11
Gambar 2. 2 Proses Produksi Semen PT Semen Padang .....	11
Gambar 2. 3 Proses Analisis .....	14
Gambar 2. 4 Bagan Alir Penerapan ARKL .....	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	24
Gambar 3. 2 Lokasi pabrik Indarung VI PT. Semen Padang.....	25
Gambar 3. 3 Lokasi Ruang Pemeliharaan Mesin <i>Raw Mill</i> , <i>Kiln Coal Mill</i> , dan <i>Finish Mill</i> Pabrik Indarung VI PT. Semen Padang.....	26
Gambar 3. 4 <i>Environment Meter</i> .....	27
Gambar 3. 5 <i>Low Volume Air Sampler (LVAS)</i> .....	27
Gambar 3. 6 Filter <i>Fiberglass</i> .....	28
Gambar 4. 1 Hasil Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> .....	34
Gambar 4. 2 Hubungan Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> dengan Suhu Ruang PM <i>Raw</i> .....	36
Gambar 4. 3 Hubungan Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> dengan Suhu Ruang PM <i>Kiln Coal Mill</i> .....	36
Gambar 4. 4 Hubungan Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> dengan Suhu Ruang PM <i>Finish Mill</i> .....	37
Gambar 4. 5 Hubungan Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> dengan Kelembapan Udara Ruang PM <i>Raw Mill</i> .....	37
Gambar 4. 6 Hubungan Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> dengan Kelembapan Udara Ruang PM <i>Kiln Coal Mill</i> .....	38
Gambar 4. 7 Hubungan Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> dengan Kelembapan Udara Ruang PM <i>Finish Mill</i> .....	38
Gambar 4. 8 Hubungan Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> dengan Tekanan Udara Ruang PM <i>Raw Mill</i> .....	39
Gambar 4. 9 Hubungan Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> dengan Tekanan Udara Ruang PM <i>Kiln Coal Mill</i> .....	39
Gambar 4. 10 Hubungan Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> dengan Tekanan Udara Ruang PM <i>Finish Mill</i> .....	40
Gambar 4. 11 Usia Responden.....	43
Gambar 4. 12 Lama Bekerja .....	43
Gambar 4. 13 Hari Bekerja .....	44
Gambar 4. 14 Indeks Massa Tubuh Pekerja .....	45

Gambar 4. 15 Lama Merasakan Keluhan Selama Bekerja .....	46
Gambar 4. 16 Nilai <i>Intake</i> Ruang Pemeliharaan Mesin <i>Raw Mill</i> .....	48
Gambar 4. 17 Nilai <i>Intake</i> Ruang Pemeliharaan Mesin <i>Kiln Coal Mill</i> .....	48
Gambar 4. 18 Nilai <i>Intake</i> Ruang Pemeliharaan Mesin <i>Finish Mill</i> .....	49
Gambar 4. 19 Nilai RQ Ruang Pemeliharaan Mesin <i>Raw Mill</i> .....	51
Gambar 4. 20 Nilai RQ Ruang Pemeliharaan Mesin <i>Kiln Coal Mill</i> .....	51
Gambar 4. 21 Nilai RQ Ruang Pemeliharaan Mesin <i>Finish Mill</i> .....	52



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Arti Nilai Koefisien Korelasi .....	20
Tabel 2. 2 Penelitian Terkait .....	21
Tabel 4. 1 Kondisi Iklim Kerja.....	33
Tabel 4. 2 Identifikasi Bahaya PM <sub>2,5</sub> .....	42
Tabel 4. 3 Nilai <i>Intake</i> .....	49
Tabel 4. 4 Nilai RQ.....	52
Tabel 4. 5 Rekapitan Hasil Perhitungan Nilai Aman Untuk RQ>1 dari PM <sub>2,5</sub> .....	54
Tabel 4. 6 Alternatif Pendekatan Pengelolaan Risiko .....	55
Tabel 4. 7 Alternatif Pendekatan Komunikasi Risiko .....	56



## DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A      PERATURAN
- LAMPIRAN A.1    SNI 16-7058-2004 tentang Pengukuran Kadar Debu Total di Udara Tempat Kerja
- LAMPIRAN A.2    Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan Tahun 2012 tentang Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)
- LAMPIRAN B      PERHITUNGAN DATA
- LAMPIRAN B.1    Hasil Pengukuran Kondisi Iklim Kerja
- LAMPIRAN B.2    Hasil Pengukuran Konsentrasi Debu  $PM_{2,5}$
- LAMPIRAN B.3    Hasil Nilai *Intake* dan *RQ Realtime Lifetime*  $PM_{2,5}$
- LAMPIRAN B.4    Hasil Perhitungan Nilai Aman dan Pengelolaan Risiko
- LAMPIRAN C      Uji Korelasi dan Realibel



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pencemaran udara adalah kondisi di mana udara mengandung polutan (zat pencemar) dalam jumlah yang berlebihan sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, serta merusak lingkungan. Polutan-polutan ini dapat berupa partikel padat, gas beracun, atau senyawa kimia lainnya yang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, salah satunya yaitu debu. Polutan debu memiliki sumber yang pada umumnya berasal dari kegiatan manusia seperti debu dari transportasi di jalan, sektor pertanian, lokasi konstruksi, kegiatan pertambangan dan kegiatan serupa lainnya (Kim. 2015). Paparan udara yang tercemar berdampak hampir seluruh dunia terutama pada negara miskin dan berkembang menderita akibat pencemaran udara di wilayahnya. Kualitas udara berhubungan erat dengan perubahan iklim dunia, banyak kegiatan yang menyebabkan pencemaran udara terjadi juga menjadi sumber emisi gas rumah kaca. Peraturan dan strategi untuk mengatasi masalah polusi udara merupakan suatu faktor penting yang berdampak terhadap perubahan iklim (SDGs 13) dan menimbulkan penyakit terhadap manusia (SDGs 3). (Rafaj et.al. 2018). *United Nation Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) telah menerima laporan *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC) Negara Republik Indonesia yang berisikan tentang tingkat emisi yang pada negara Indonesia yang memiliki nilai yang tinggi yaitu terdapat pada sektor industri.

Sektor industri merupakan salah satu sektor yang memberikan pendapatan yang besar terhadap pertumbuhan ekonomi nasional. Pertumbuhan sektor industri juga memberikan dampak terhadap kenaikan gas rumah kaca sehingga diperlukan upaya dan strategi untuk menciptakan *green and sustainable industry*. Sebagai upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas industri, Indonesia telah meluncurkan program industri hijau. Salah satu permasalahan utama yang menjadi fokus program ini adalah pencemaran udara akibat emisi partikel debu (PM). Hal ini sejalan dengan data Kementerian Perindustrian tahun 2015 yang menunjukkan tingginya tingkat emisi PM dari sektor industri. *Particulate Matter* adalah kumpulan dari berbagai partikel-partikel kecil yang dihasilkan dari sumber pencemar seperti kegiatan industri yang dapat mengganggu kesehatan manusia terkhusus gangguan sistem pernapasan. PM dikelompokkan atas berbagai ukuran, salah satu ukuran dari PM yang berbahaya terhadap kesehatan yaitu berukuran kecil dari 2,5 mikron atau disebut juga dengan

PM<sub>2,5</sub>. PM<sub>2,5</sub> langsung masuk jauh ke dalam paru-paru karena sulitnya disaring oleh sistem pernapasan sehingga berdampak terhadap kesehatan manusia seperti gangguan fungsi pernapasan dan dapat menimbulkan risiko kanker paru-paru (Hester dan Harrison, 2016). Dampak tersebut dapat dicegah dengan pengadaan pengendalian terhadap partikulat di udara, pengendalian dapat berupa pengendalian langsung di sumber emisi, pengendalian area yang terpapar oleh partikulat, pengadaan APD untuk mengurangi paparan partikulat, dan monitoring terhadap tingkat partikulat pada area yang terpapar. Partikulat PM<sub>2,5</sub> bersumber dari kegiatan pembakaran, penghancuran, penggilingan, dan transportasi, kegiatan ini seringkali terdapat pada sektor industri, salah satu industri yang mencakup kegiatan sumber pencemar tersebut adalah industri semen (Prabowo dan Muslim, 2018). Industri semen dijelaskan pada laporan ENDC Indonesia tentang emisi yang dihasilkan dari kegiatan *Industrial Processes and Production Use* (IPPU) merupakan salah satu faktor penyumbang emisi atau partikel pencemar udara yang besar. Salah satu industri semen besar di Indonesia adalah PT Semen Padang.

PT Semen Padang adalah salah satu industri semen di Indonesia yang terletak di Provinsi Sumatera Barat, Kota Padang. Proses produksi semen di PT Semen Padang berlangsung dengan tiga tahap meliputi, *raw mill* berfungsi sebagai tempat penggilingan dan pengeringan bahan baku, *kiln coal mill* yaitu proses pembakaran, dan *finish mill* yang merupakan proses penyelesaian sampai siap didistribusikan. Operator dan mekanik perlu ada dalam setiap tahapan prosesnya, kegiatan yang perlu dilakukan yaitu pemeliharaan salah satunya pemeliharaan mesin. Ruang pemeliharaan mesin terletak didekat unit proses sehingga memiliki risiko dari paparan yang ditimbulkan dari setiap proses produksi semen. Kegiatan dari operasi mekanis tiap proses menghasilkan partikulat berbahaya, khususnya yaitu PM<sub>2,5</sub>. Oleh karena itu tingkat paparan dari PM<sub>2,5</sub> terhadap pekerja di ruang pemeliharaan mesin-mesin memerlukan perhatian serius.

Penelitian Achmad et al (2024) mengatakan bahwa tingkat debu PM<sub>2,5</sub> di Pabrik Semen Tonasa Kabupaten Pangkep, Sulawesi Utara, Indonesia dengan konsentrasi debu PM<sub>2,5</sub> berada dalam rentang 0,0598 mg/m<sup>3</sup> -0,1985 mg/m<sup>3</sup>. Nilai konsentrasi tersebut memberikan tingkat berisiko terhadap 47 orang pekerja di ruangan *raw mill* sampai ruangan *packer* di Pabrik Semen Tonasa itu. Penelitian serupa juga dilaksanakan di PT Semen Padang yaitu di ruangan *storage* dimana didapatkan nilai konsentrasi PM<sub>2,5</sub> tertinggi pada hari ke-4 pengambilan sampel dengan nilai 0,393 mg/m<sup>3</sup> (Sari, 2023).

Nilai tinggi pada hari tersebut dipengaruhi oleh banyaknya aktivitas dan tingginya suhu. Sebanyak 11 responden tergolong berisiko dengan perhitungan ARKL *lifetime* yaitu proyeksi pekerja akan terpapar oleh pencemar selama bekerja di kondisi pekerjaan yang dialami. Ruangan pemeliharaan mesin memiliki kemiripan dengan ruangan storage yaitu memiliki dinding ditepi dan belakang, memiliki atap namun bagian depan yang terbuka. Setiap ruangan pemeliharaan mesin langsung menghadap ke mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill*. Oleh karena itu penelitian mengenai analisis risiko akibat paparan PM<sub>2,5</sub> terhadap pekerja di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* di Pabrik Indarung VI PT Semen Padang perlu dilakukan untuk menentukan berapa tingkat risiko yang dialami pekerja dan pengelolaan yang perlu dilakukan.

## **1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan debu PM<sub>2,5</sub> pada pekerja di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* Pabrik Indarung VI PT Semen Padang, sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan analisis terhadap konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada ruang pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* Pabrik Indarung VI PT. Semen Padang;
2. Menganalisis risiko kesehatan lingkungan pada pekerja di Ruang Pemeliharaan Mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* Pabrik Indarung VI PT. Semen Padang dengan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian untuk memberikan informasi tentang kualitas udara dan analisis risiko kesehatan akibat debu PM<sub>2,5</sub> pada pekerja yang terpapar debu tersebut di ruangan pemeliharaan mesin Indarung VI Semen Padang, sehingga dapat dilakukan kajian lebih lanjut tentang pengendalian kualitas udara dan pengelolaan risiko yang menjadi pertimbangan PT. Semen Padang dan Pemerintah Kota Padang.

## **1.4 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Polutan yang diteliti adalah PM<sub>2,5</sub> yang berasal dari debu hasil proses dari kegiatan pemeliharaan mesin Indarung VI Semen Padang;
2. Penelitian ini berlokasi di Pabrik Indarung VI Semen Padang. Pengambilan data dilakukan kepada pekerja di ruangan pemeliharaan mesin Indarung VI Semen Padang;

3. Metode pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan alat uji berupa *Low Volume Air Sampler* (LVAS) sesuai dengan SNI 16-7058-2004;
4. Pengambilan kondisi iklim kerja berupa suhu, kelembapan, dan tekanan udara untuk dibandingkan dengan konsentrasi  $PM_{2,5}$  yang didapatkan;
5. Dilakukan pengambilan data kuisioner yang akan diisi langsung oleh pekerja;
6. Menganalisis risiko pajanan  $PM_{2,5}$  terhadap pekerja menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) berdasarkan Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Ditjen PP dan PL Kementerian Kesehatan RI Tahun 2012;

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

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

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi literatur tentang definisi dan sumber pencemaran udara, penjelasan lokasi penelitian, dan debu  $PM_{2,5}$  mencakup definisi, karakteristik, sumber dan dampak, faktor meteorologi, alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS), Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), dan penelitian terkait.

#### **BAB III METODOLOGI**

Berisi tahapan dan metode penelitian serta waktu dan lokasi penelitian.

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi hasil penelitian yang berupa kondisi eksisting lokasi, iklim kerja, nilai konsentrasi  $PM_{2,5}$  dengan hubungan terhadap iklim kerja, dan analisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan  $PM_{2,5}$ .

#### **BAB V PENUTUP**

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



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pencemaran Udara

Pencemaran udara merupakan komponen udara yang dimasuki oleh zat-zat, energi, dan/atau komponen lain yang mencapai kualitas udara melewati baku mutu yang telah ditetapkan dalam peraturan yang berlaku, yang dapat menimbulkan bahaya terhadap manusia, tumbuhan, hewan, dan lingkungan. Penyebab terjadinya pencemaran udara dikarenakan oleh aktivitas manusia seperti industri, transportasi, pertanian, dan lain-lain (Abidin, 2019). Sumber pencemaran udara dapat dibagi menjadi 3 yaitu:

#### a. Sumber Kegiatan Manusia

Kegiatan manusia yang menghasilkan bahan-bahan pencemar diantaranya adalah: pembakaran sampah, pembakaran pada kegiatan rumah tangga, industri, kendaraan bermotor, dan lain-lain. Bahan-bahan pencemar yang dihasilkan gas CO, NO, PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2.5</sub>. Sumber dari kegiatan manusia berhubungan dengan proses pembakaran bahan bakar. Pencemaran udara dari kegiatan manusia juga dikategorikan melalui proses pembakaran bahan bakar yaitu:

1. Sumber bergerak (*mobile source*)
  - a) Sumber yang melakukan pergerakan di jalan, seperti: motor, truk, bus, mobil, dan lain-lain.
  - b) Sumber yang melakukan pergerakan bukan di jalan, seperti: pesawat terbang, kapal laut, kereta, dan lain-lain.
2. Sumber tidak bergerak (*fixed sources*)
  - a) Sumber yang keluar dari titik yang tetap, seperti cerobong asap (sumber titik)
  - b) Polutan lokal yang secara bersama-sama dapat mempengaruhi kualitas udara di suatu wilayah, seperti: pembakaran sampah halaman, tempat pengumpulan sampah, konstruksi, dan lain-lain
3. Partikel-partikel yang dihasilkan dari suatu industri dan debu yang mengandung zat kimia.

#### b. Sumber Alami

Sumber yang berasal langsung dari hasil peristiwa alam, seperti:

##### 1. Aktivitas gunung berapi

Aktivitas gunung berapi menghasilkan pencemaran udara yang cukup tinggi apabila sedang erupsi bahkan meletus. Salah satu zat pencemar yang dihasilkan

dari letusan gunung berapi yaitu sulfur dioksida.

## 2. Sumber akibat kebakaran hutan

Polutan yang bersumber akibat kebakaran hutan yang dapat mencemari udara yaitu HC, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, dan lain-lain. Polutan tersebut berbentuk asap yang halus bercampur dengan debu yang dihasilkan selama penghancuran material.

Polutan merupakan zat-zat yang jika memasuki udara akan membuat udara tersebut menjadi tercemar atau dapat disebut juga dengan zat pencemar. Polutan sangat beragam dan memiliki dampak yang berbeda-beda tergantung dari jenis polutannya dan memiliki penanganan yang berbeda. Zat yang dapat menyebabkan pencemaran udara antara lain: Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>), Hidrokarbon (HC), Chlorofluorocarbon (CFC), Timbal (Pb), PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2,5</sub>. Zat polutan di udara bebas memiliki beberapa karakteristik tergantung akan zatnya seperti ada yang memiliki bau, ada yang tidak memiliki bau, dapat dilihat, tidak dapat dilihat, dan berwarna atau tidak berwarna (Abidin, 2019).

Pencemaran udara memiliki dampak terhadap kesehatan manusia, dampak yang dapat dihasilkan dari pencemaran udara antara lain: terganggunya kesehatan makhluk hidup, kerusakan lingkungan ekosistem, dan hujan asam. Udara tercemar dapat menimbulkan penyakit seperti infeksi saluran pernapasan, paru-paru, jantung, dan juga pemicu terjadinya kanker yang paling berbahaya. Efek yang ditimbulkan terhadap ekosistem lingkungan adalah kerusakan seperti hujan asam yang disebabkan oleh belerang (*sulfur*) yang merupakan polutan yang dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar fosil dan penyakit pernapasan lainnya yang disebabkan oleh debu-debu yang bertebaran di udara dan terhirup oleh manusia (Abidin, 2019).

### 2.2 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Udara

Perubahan kualitas udara memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan, lingkungan, dan ekonomi. Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas udara dapat dilihat sebagai berikut:

#### A. Meteorologi dan Iklim

Pencemaran udara yang terjadi di permukaan bumi yang dipengaruhi oleh faktor meteorologi dan iklim diantaranya sebagai berikut (Prabowo dan Muslim, 2018):

##### 1. Suhu Udara

Pergerakan lapisan udara dingin ke suatu kawasan industri dapat menimbulkan temperatur inversi. Suhu dapat menyebabkan polutan dalam atmosfer yang lebih

rendah dan tidak menyebar. Pada musim kemarau keadaan udara lebih kering dengan suhu cenderung meningkat serta angin yang bertiup lambat dibanding dengan keadaan hujan maka polutan udara pada keadaan musim kemarau cenderung tinggi karena tidak terjadi pengenceran polutan di udara.

## 2. Kelembapan Udara

Kelembapan udara menyatakan banyaknya uap air dalam udara. Kondisi udara yang lembab membantu proses pengendapan bahan pencemar, karena keadaan udara yang lembab maka beberapa bahan pencemar berbentuk partikel (misalnya debu) berikatan dengan air yang ada dalam udara dan membentuk partikel yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap ke permukaan bumi oleh gaya tarik bumi.

## 3. Tekanan Udara

Tekanan udara bisa mempercepat atau menghambat terjadi reaksi kimia antara lokasi yang tercemar dengan zat pencemar di udara atau zat yang ada di udara, sehingga pencemar udara dapat bertambah ataupun berkurang.

## 4. Angin

Pergerakan udara dapat mengakibatkan terjadinya suatu proses penyebaran bahan pencemaran udara, sehingga kadar suatu pencemar pada jarak tertentu dari sumber mempunyai kadar yang berbeda. Demikian juga halnya dengan arah dan kecepatan angin dapat mempengaruhi kadar bahan pencemar setempat.

## 5. Sinar Matahari

Sinar matahari dapat mempercepat atau memperlambat reaksi antara pencemar di udara dengan zat-zat lain di udara, sehingga kadarnya dapat berbeda menurut banyaknya sinar matahari yang diterima bumi.

## 6. Curah Hujan

Hujan berfungsi juga dalam melarutkan hujan di dalam udara, air hujan juga disebut juga sebagai pelarut umum polutan yang terdapat diudara. Senyawa gas yang tercampur pada air hujan memperburuk kualitas baik dari udara maupun air hujan tersebut. Dampak yang dapat ditimbulkan contohnya adalah gas *sulfuroksida* jika tercampur dengan air hujan dapat menimbulkan hujan yang bersifat, istilah umum yang digunakan adalah hujan asam.

## B. Topografi

Faktor-faktor yang mempengaruhi topografi, antara lain (Kurniawati, 2017):

### 1) Dataran Rendah

Daerah dataran rendah angin cenderung membawa polutan terbang jauh ke seluruh penjuru.

## 2) Dataran Tinggi

Daerah dataran tinggi sering terjadi temperatur inversi dan udara dingin yang terperangkap menahan polutan tetap berada di lapisan permukaan bumi.

## 3) Lembah

Daerah lembah, aliran angin sangat sedikit dan tidak bertiup ke tempat lain keadaan ini cenderung menahan polutan yang terdapat dipermukaan bumi.

### 2.3 Particulate Matter 2,5 (PM<sub>2,5</sub>)

Partikulat adalah zat padat/cair yang tersuspensi di udara (TSP), misalnya kabut, debu, asap, *Particulate Matter* (PM) yang terkandung di udara sekitar dan berukuran relatif kecil. PM terdapat berbagai jenis beberapa contohnya yaitu PM<sub>10</sub> dan PM<sub>2,5</sub>. PM<sub>2,5</sub> adalah partikel 2,5 mikron. PM<sub>2,5</sub> adalah debu yang sangat halus yang sangat sulit untuk disaring, yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia (Hester dan Harrison, 2016). Sumber pencemaran partikulat akibat aktivitas manusia terutama berasal dari pembakaran batubara, proses industri, kebakaran hutan dan emisi dari kendaraan. PM<sub>2,5</sub> adalah partikel debu yang berukuran <2,5 mikrometer atau lebih kecil 1/30 bagian dari diameter rambut manusia. Debu termasuk dalam kelompok partikel. PM<sub>2,5</sub> memiliki karakteristik mudah mengambang di udara dan dapat dengan mudah berpindah lokasi sesuai dengan arah angin (Prabowo dan Muslim, 2018).

Debu PM<sub>2,5</sub> berdampak buruk terhadap kesehatan paru-paru manusia dikarenakan PM<sub>2,5</sub> langsung masuk ke dalam paru-paru pada bagian bronkiolus dan ke alveoli dimana tempat pertukaran oksigen sehingga tidak dapat tersaring oleh hidung dan tenggorokan. Dampak yang ditimbulkan oleh paparan PM<sub>2,5</sub> yang berlebih adalah penurunan fungsi paru-paru, batuk-batuk, sesak napas, dan penyakit pernapasan lainnya (Kim et al., 2015)

### 2.4 Pengukuran dan Analisis

Pengukuran PM<sub>2,5</sub> adalah metode mengukur jumlah partikel padat yang berukuran kecil dan sama dari 2,5 mikrometer ( $\leq 2,5\mu$ ). PM<sub>2,5</sub> merupakan partikel udara yang dapat berdampak buruk terhadap kesehatan yaitu seperti berkurangnya fungsi paru-paru, bronkitis kronis, peningkatan penyakit paru-paru terutama pada penderita asma, sehingga pengukuran PM<sub>2,5</sub> sangat penting dalam pemantauan kualitas udara dan perlindungan lingkungan. Metode yang digunakan dalam pengukuran partikel PM<sub>2,5</sub> yang merupakan metode yang akurat dan paling banyak dilakukan dalam penelitian.

Metode ini menggunakan prinsip gravitasi dimana partikel-partikel diambil dari udara kemudian ditimbang untuk menentukan beratnya. Berat PM<sub>2.5</sub> yang tertangkap membedakan filter. Jumlah konsentrasi yang diukur diwakili dalam satuan massa per volume (Muliane & Lestari, 2011).

Pengukuran konsentrasi PM<sub>2.5</sub> dengan metode gravimetri menggunakan alat yang bernama *Low Volume Air Sampler* (LVAS). LVAS mencari tahu konsentrasi partikulat yang ingin diteliti melalui sejauh mana cahaya tersebar oleh partikel-partikel tersebut. LVAS memiliki kemampuan pengambilan data yang mendekati waktu nyata sehingga dapat diperiksa secara kontinu. Perhitungan konsentrasi *Particulate Matter 2.5* (PM<sub>2.5</sub>) menggunakan beberapa persamaan merujuk pada SNI 16-7058-2004 dengan perhitungan sebagai berikut:

a. Volume udara yang dihisap

$$V = \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n) \times t}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$

**Keterangan:**

- V = Volume udara yang terhisap (m<sup>3</sup>)
- Q<sub>1</sub> = Kecepatan aliran udara awal (m<sup>3</sup>/mnt)
- Q<sub>n</sub> = Kecepatan aliran udara ke-n (m<sup>3</sup>/mnt)
- t = Waktu *sampling* (mnt)
- n = Jumlah data pengukuran

b. Volume STP

$$\frac{P_s \times V_s}{T_s} = \frac{P_{stp} \times V_{stp}}{T_{stp}} \dots\dots\dots (2.2)$$

**Keterangan:**

- P<sub>s</sub> = Tekanan saat *sampling* (mmHg)
- P<sub>stp</sub> = Tekanan saat kondisi standar (1 atm/ 760 mmHg)
- V<sub>s</sub> = Volume saat *sampling* (m<sup>3</sup>)
- V<sub>stp</sub> = Volume saat kondisi standar (m<sup>3</sup>)
- T<sub>s</sub> = Suhu saat *sampling* (K)
- T<sub>stp</sub> = Suhu saat kondisi standar (25oC /298 K)

c. Konsentrasi Partikel Tersuspensi

$$C = \frac{(W_s - W_o) \times 10^6}{V_{stp}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

C	= Konsentrasi partikulat ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ws	= Berat filter setelah sampling (g)
Wo	= Berat filter sebelum sampling (g)
Vstp	= Volume saat kondisi standar ( $\text{m}^3$ )
$10^6$	= Konversi dari g ke $\mu\text{g}$

## 2.5 Gambaran Umum Wilayah Studi

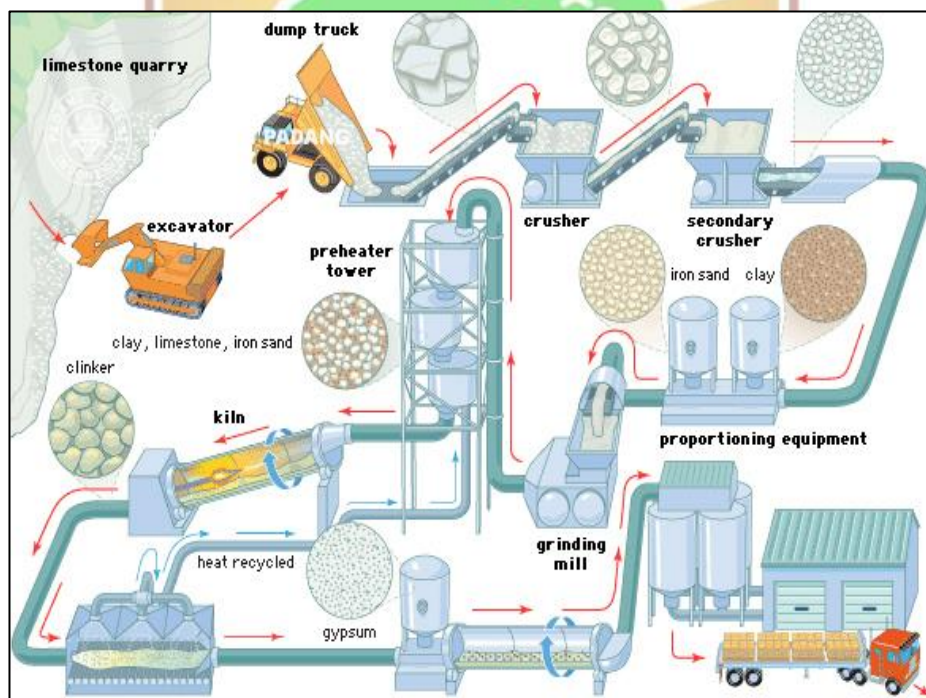
### 2.5.1 Industri PT Semen Padang

Industri semen merupakan salah satu industri yang pertumbuhannya cukup pesat, hal ini berkaitan dengan kapasitas produksi total pabrik semen yang tersebar di berbagai wilayah nusantara mencapai 27 juta ton per tahun. Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku : batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung/tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/bulk, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk clinker, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*) dalam jumlah yang sesuai.

PT Semen Padang merupakan pabrik semen yang didirikan di Indarung, Kota Padang, Kecamatan Lubuk Kilangan, Provinsi Sumatera Barat yang sudah ada dari tahun 1910 dan sebagai salah satu pabrik semen tertua di Indonesia. PT Semen Padang berada pada ketinggian kurang-lebih 200 mdpl dengan jarak 15 km dari pusat kota. PT Semen Padang memiliki enam unit pabrik Unit II, III, IV, V dan VI masing-masing berkapasitas 720.000 ton/per tahun, 860.000 ton/per tahun, 1.920.000 ton/per tahun, 3.000.000 ton/per tahun dan 1.500.000 ton/per tahun sedangkan unit *Cement Mill Dumai* berkapasitas 900.000 ton/tahun. Dan jenis semen yang diproduksi oleh PT Semen Padang seperti *Ordinary Portland Cement (OPC)* yang terdiri dari: *Portland Cement Type I*, *Portland Cement Type II*, *Portland Cement Type III*, *Portland Cement Type V*, dan *Oil Well Cement (OWC)* serta produksi *Non Ordinary Portland Cement (Non OPC)* yang terdiri dari *Portland Pozzolan Cement (PPC)* dan *Portland Composite Cement (PCC)* (PT Semen Padang, 2022). Pabrik PT Semen Padang seperti terlihat pada **Gambar 2.1**



**Gambar 2. 1 Pabrik Industri PT Semen Padang**  
*Sumber: Kumparan, 2018*



**Gambar 2. 2 Proses Produksi Semen PT Semen Padang**  
*Sumber: Annual Report, 2020*

**Gambar 2.2** merupakan proses dari pembuatan semen yang terdiri dari beberapa tahapan, tahapan dari pembuatan semen antara lain (Semen Padang, 2022):

1. Tahap penambangan bahan mentah (*quarry*). Untuk bahan mentah itu sendiri yaitu batu kapur, pasir silica, pasir besim dan tanah liat yang ditambang memakai alat berat kemudian didistribusikan ke pabrik indarung PT Semen Padang.

2. Sebelum bahan mentah dihancurkan dan di giling, terlebih dahulu diteliti di laboratorium, setelah lolos uji lab baru dilanjutkan dengan tahap penghancuran dan pengadukan.
3. Selanjutnya bahan dipanaskan awalan dengan menggunakan *preheater*.
4. Tahap pemanasan dilanjutkan menggunakan mesin *kiln* sehingga menghasilkan kristal terak atau *klinker*.
5. Proses pendinginan dilanjutkan setelah itu terhadap klinker.
6. Klinker yang dihasilkan selanjutnya dihaluskan di *finish mill* sehingga menjadi debu halus.
7. Hasil klinker yang sudah menjadi debu halus dikumpulkan pada silo.
8. Setelah terkumpul di silo dilakukan proses pengepakan dan siap untuk didistribusikan kepada konsumen.

### **2.5.2 Raw Mill**

*Raw Mill* merupakan proses penggilingan awal yang merupakan tahap selanjutnya dari proses produksi. Menggunakan alat bernama raw mill, bahan baku digiling sehingga mengalami size reduction dari ukuran sekitar 7,5 cm menjadi sekitar 90  $\mu\text{m}$ . Bahan baku *ditranspor* dari *storage* menggunakan *belt conveyer* dan melalui *feeder* terlebih dahulu sebelum masuk ke dalam *raw mill*. Selain penggilingan pada *raw mill* terdapat pula proses pengeringan dan pencampuran bahan baku yang menimbulkan debu (Riskiah, 2022).

### **2.5.3 Kiln Coal Mill**

*Kiln coal mill*, yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar, berfungsi sebagai tempat pembakaran raw mix. Alat ini bekerja dengan cara membakar material pada suhu tinggi, yaitu sekitar 1400°C, sehingga raw mix mengalami perubahan fase dari padat menjadi cair. Kiln dilengkapi dengan lapisan pelindung untuk mencegah deformasi akibat suhu yang sangat tinggi. Proses pembakaran berlangsung di dalam kiln, sebuah alat berbentuk silinder dengan diameter hingga 5 meter, panjang mencapai 80 meter, dan memiliki kemiringan sebesar 5%. Kiln berputar dengan kecepatan 3 rpm selama proses pembakaran untuk memastikan material terbakar secara merata. Bahan bakar yang digunakan berupa batubara yang telah dihaluskan menjadi serbuk (Fine Coal). Bagian dalam kiln dilapisi batu tahan api (firebrick) untuk menjaga suhu tetap stabil pada 1450°C. *Raw mix* atau *slurry* yang telah mengalami pemijaran di dalam *kiln* selanjutnya didinginkan di dalam *grate cooler*, material yang keluar dari *grate cooler*



ini disebut *klinker*. *Klinker* yang halus jatuh kedalam debu *Dee Bucket Conveyor* (DBC), karena di dalam *grate cooler* terdapat *grate plat* yang digerakkan dengan motor dan juga terdapat lubang-lubang kecil yang dapat dilalui oleh *klinker* yang kecil, sedangkan *klinker* yang kasar langsung ke *crusher* dan dihancurkan lagi baru bergabung dengan *klinker* yang halus dengan menggunakan *screw conveyor*. *Klinker* yang sudah halus ditransporasikan ke CF Silo *Klinker* atau *domesilo* (Riskiah, 2022).

#### **2.5.4 Finish Mill**

Proses penggilingan akhir dilakukan di finish mill atau cement mill. Pada tahap ini, klinker yang telah melalui pembakaran di kiln digiling hingga menjadi semen yang siap digunakan. Selain penggilingan, klinker juga dicampur dengan bahan tambahan lainnya. Klinker yang disimpan di domesilo diumpangkan bersama gypsum ke dalam cement mill, di mana material berukuran 1–40 mm<sup>3</sup> digiling menggunakan bola-bola baja sebagai media penggiling hingga mencapai tingkat kehalusan tertentu. Semen yang dihasilkan kemudian disimpan di silo semen sebelum dikemas atau didistribusikan. Pengendalian mutu dilakukan di laboratorium melalui analisis sinar X (X-ray) yang dikontrol menggunakan sistem komputer (Riskiah, 2022).

#### **2.5.5 Ruang Pemeliharaan Mesin**

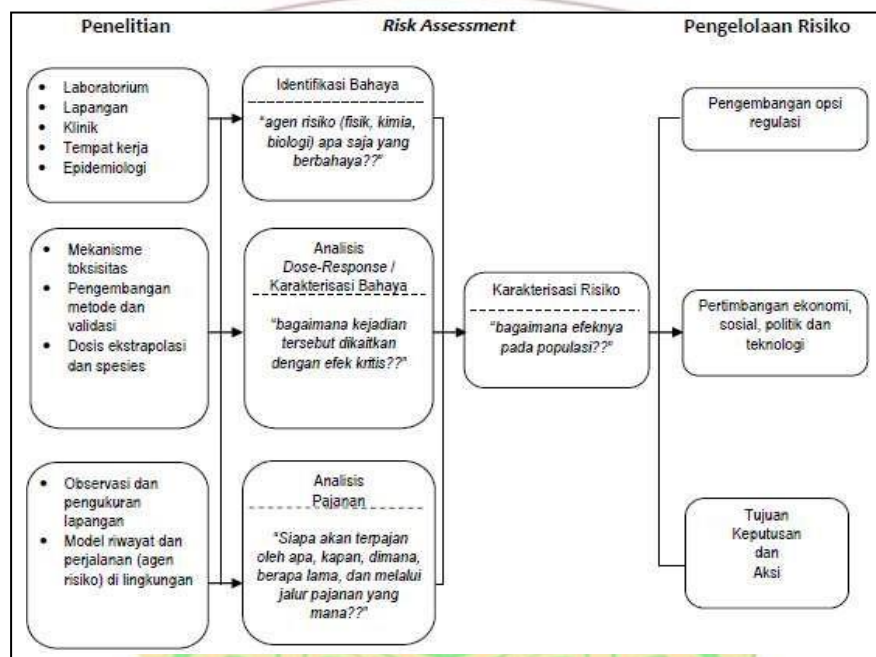
Ruangan pemeliharaan mesin adalah ruangan yang sebagai ruang yang menyimpan peralatan untuk perawatan mesin. Peralatan atau mesin tersebut biasanya digunakan untuk membantu dalam kegiatan pemeliharaan dari mesin pabrik. Ruangan ini berfungsi sebagai memantau untuk membuat umur dari suatu unit semakin lama pemakaiannya, menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang, sebagai persiapan operasional dari seluruh peralatan dan unit mesin apabila terjadi keadaan darurat pada suatu waktu, dan menjamin keselamatan pekerja pada saat pemakaian peralatan maupun mesin. Ruangan ini biasanya dilengkapi dengan berbagai fasilitas seperti ruang kerja, ruang penyimpanan suku cadang, serta ruang kontrol untuk mendukung pelaksanaan pemeliharaan dan perbaikan peralatan. Keberadaan ruangan tersebut sangat penting pada Raw Mill, Kiln Coal Mill, dan Finish Mill karena alat-alat ini memerlukan banyak mesin pendukung agar operasi dan proses produksi semen dapat berjalan lancar.

### **2.6 Analisis Risiko**

#### **2.6.1 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan**

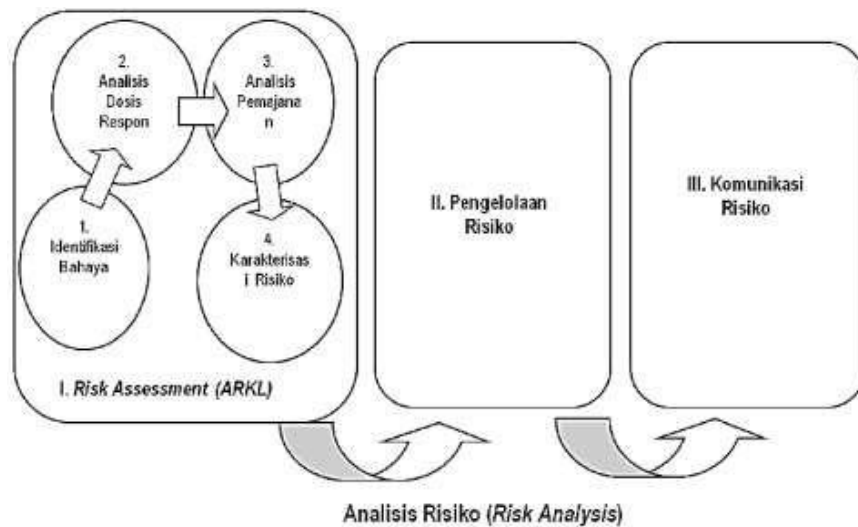
Analisis risiko adalah proses identifikasi, evaluasi, dan mitigasi potensi bahaya atau risiko yang dapat mempengaruhi kesehatan dan keselamatan pekerja di lingkungan kerja. Tujuan dari analisis risiko ini adalah untuk mengidentifikasi potensi masalah

atau situasi berbahaya yang dapat menyebabkan cedera atau penyakit pada pekerja dan kemudian mengambil langkah-langkah untuk mengurangi atau mengendalikan risiko tersebut. Analisis risiko kesehatan lingkungan kerja merupakan bagian penting dari manajemen keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan kerja dan membantu organisasi untuk meminimalkan risiko cedera, penyakit, dan potensi dampak negatif lainnya pada kesehatan pekerja. Oleh karena itu manajemen risiko ini dapat digunakan untuk mengendalikan masalah kesehatan yang mungkin muncul akibat risiko yang diterima dari pekerja. Analisis risiko memiliki proses pelaksanaannya yang dibagi menjadi 3 komponen yaitu penilaian risiko, pengelolaan risiko, dan komunikasi risiko yang tertuang pada **Gambar 2.3** dan **Gambar 2.4** di bawah.



**Gambar 2.3 Proses Analisis**

Sumber: (Ditjen PP dan PL Kemenkes, 2012)



**Gambar 2. 4 Bagan Alir Penerapan ARKL**

*Sumber: (Ditjen PP dan PL Kemenkes, 2012)*

### 2.6.1.1 Identifikasi Bahaya

Identifikasi semua potensi bahaya atau faktor risiko yang dapat mempengaruhi kesehatan dan keselamatan pekerja di lingkungan kerja. Ini termasuk faktor-faktor seperti zat kimia berbahaya, alat berat, proses kerja yang berisiko, lingkungan fisik, dan faktor manusia. Suatu organisme dapat terpajan oleh agen risiko melalui tiga jalur, yaitu jalur inhalasi, jalur oral, dan jalur kontak kulit. Tiga jalur ini menimbulkan dampak buruk terhadap kesehatan jika adanya pemajanan dengan dosis dan waktu yang tepat (Nurfadillah, 2021).

### 2.6.1.2 Analisis Dosis Respon

Analisis dosis respon adalah pendekatan statistik yang digunakan untuk memahami hubungan antara jumlah paparan (dosis) terhadap suatu agen atau faktor dengan respon atau dampak kesehatan yang dihasilkan. Analisis dosis-respon digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana paparan terhadap zat berbahaya atau lingkungan tertentu dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Data paparan yang bervariasi dalam dosis atau tingkat keparahan biasanya dikumpulkan dan kemudian dianalisis untuk menentukan bagaimana tingkat paparan tersebut berkorelasi dengan risiko atau dampak kesehatan yang terjadi.

Analisis dosis-respon dapat digunakan untuk menentukan sejauh mana peningkatan paparan terhadap polusi udara, seperti partikulat atau senyawa kimia berbahaya, dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan atau penyakit lainnya pada populasi yang terpapar. Penilaian dosis respon bertujuan untuk mengidentifikasi toksisitas suatu

bahan atau menjelaskan kondisi pemajanan (cara, dosis, frekuensi, dan durasi) serta dampak kesehatan yang mungkin disebabkan oleh pemajanan bahan tersebut. Analisis dosis respon merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui hubungan antara jumlah agen yang diterima oleh organisme dan perubahan yang terjadi pada organisme tersebut. Analisis dosis respon dilakukan dengan studi literatur dari berbagai *toxicological reviews*, jurnal ilmiah, artikel, buku dan lain sebagainya. Hasil analisis ini dapat digunakan untuk menginformasikan kebijakan lingkungan dan regulasi untuk mengurangi paparan dan melindungi kesehatan masyarakat (Zuhra, 2019)

### 2.6.1.3 Analisis Paparan

Analisis paparan adalah proses yang digunakan untuk mengevaluasi dan mengukur tingkat paparan manusia terhadap berbagai agen atau faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Analisis paparan adalah langkah penting dalam menentukan sejauh mana paparan terhadap agen lingkungan tertentu dapat berpotensi mempengaruhi kesehatan masyarakat atau individu menilai paparan dari agen risiko dan turunannya terhadap organisme, sistem dan populasi. Ini dilakukan dengan menghitung jumlah asupan yang diterima atau asupan dari agen risiko. Adapun perhitungan intake non karsinogenik yaitu (Ditjen PP dan PL Kemenkes, 2012):

Perhitungan *Intake* non karsinogenik ( $I_{nk}$ )

Intake pada jalur pemajanan inhalasi (terhirup)

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

**Keterangan:**

- Ink = Jumlah konsentrasi agen risiko yang masuk ke tubuh (mg/kg.hari)
- C = Konsentrasi agen risiko (mg/m<sup>3</sup>)
- R = Laju inhalasi (m<sup>3</sup>/jam) (Dewasa 0,83 m<sup>3</sup>/jam dan Anak-anak 0,5 m<sup>3</sup>/jam)
- t<sub>E</sub> = Jumlah jam paparan (jam/hari)
- f<sub>E</sub> = Jumlah hari paparan (hari/tahun)
- D<sub>t</sub> = Jumlah tahun paparan (Tahun)
- W<sub>b</sub> = Berat badan (kg)
- t<sub>avg</sub> = Periode rata-rata hari untuk non karsinogenik (Hari)

### 2.6.1.4 Karakteristik Risiko

Menurut Ditjen PP dan PL Kementerian Kesehatan (2012) karakteristik risiko adalah merupakan suatu pendekatan guna mengkaji, dan/atau menelaah secara mendalam untuk mengenal, memahami, dan memprediksi kondisi dan karakteristik lingkungan yang berpotensi terhadap timbulnya risiko kesehatan dengan mengembangkan tatalaksana sumber perubahan media lingkungan, masyarakat terpajan dan dampak yang terjadi. Karakterisasi risiko adalah penghubung antara analisis risiko dengan

manajemen risiko. Asupan pada manusia (*Intake*) dibandingkan dengan dosis acuan (RfC). Karakteristik risiko kesehatan dinyatakan dengan bilangan risiko (Risk Quotient) (RQ). Perhitungan RQ dilakukan dengan membandingkan nilai yang diperoleh dari analisis pajanan dengan dosis respon. Tingkat kemungkinan efek non karsinogenik dinilai dengan nilai RQ. Tingkat risiko dikatakan aman jika  $RQ \leq 1$  dan tidak aman jika  $RQ > 1$ . Tingkat risiko dikatakan aman apabila  $ECR \leq E-4$  ( $10^{-4}$ ) atau  $ECR \leq 1/10.000$ . Tingkat risiko dikatakan tidak aman apabila  $ECR > E-4$  ( $10^{-4}$ ) atau  $ECR > 1/10.000$ . Agar dapat diterima oleh masyarakat, tingkat risiko harus diinterpretasikan secara sederhana dengan menggabungkan pernyataan risiko, jalur pajanan, konsentrasi agen risiko, populasi yang berisiko, kelompok umur, berat badan, frekuensi, dan durasi pajanan.

Intake dan dosis referensi (RfD)/konsentrasi referensi (RfC) adalah variabel yang digunakan untuk menentukan tingkat risiko. Adapun kategori risiko efek non karsinogenik yaitu (Ditjen PP dan PL Kemenkes, 2012):

Karakteristik efek non karsinogenik

$$RQ = \frac{I}{RfC} \dots\dots\dots (2.5)$$

**Keterangan:**

- RQ = Tingkat risiko efek non karsinogenik
- I = Intake (mg/kg.hari)
- RfC = Referensi agen risiko

**2.6.1.5 Pengelolaan Risiko**

Pengelolaan risiko merupakan serangkaian langkah dan proses yang digunakan untuk mengidentifikasi, menilai, mengelola, dan mengurangi risiko yang terkait dengan faktor-faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia. adalah alat atau metodologi yang digunakan untuk menilai dampak lingkungan terhadap kesehatan masyarakat. Pengelolaan risiko dilakukan jika hasil dari karakteristik risiko tergolong tidak aman ( $RQ > 1$  dan/atau  $ECR > 1/10000$ ). Agen dalam pengelolaan risiko dihasilkan pada akhirnya dikendalikan dengan penentuan batas aman konsentrasi agen risiko (C), waktu pajanan (tE), dan frekuensi pajanan (fE) sehingga nilai yang aman dari risiko tersebut terdapat di bawah batas aman. Pengendalian risiko dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

1. Penentuan konsentrasi aman

Konsentrasi aman non karsinogenik jalur pajanan inhalasi

$$C_{nk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots (2.6)$$

**Keterangan:**

- fE = Frekuensi pajanan untuk nilai aman
- R = Laju asupan (m<sup>3</sup>/jam, L/hari, gr/hari)
- tE = Jumlah jam pajanan (hari/tahun)
- Dt = Jumlah tahun pajanan (Tahun)
- Wb = Berat badan (kg)
- tavg = Periode rata-rata hari (Hari)

2. Penentuan waktu pajanan aman (t<sub>E</sub>)

Konsentrasi aman non karsinogenik jalur pajanan inhalasi

$$t_{Enk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots (2.7)$$

**Keterangan:**

- fE = Frekuensi pajanan untuk nilai aman
- C = Konsentrasi agen risiko (mg/m<sup>3</sup>)
- R = Laju asupan (m<sup>3</sup>/jam, L/hari, gr/hari)
- Dt = Jumlah tahun pajanan (Tahun)
- Wb = Berat badan (kg)
- tavg = Periode rata-rata hari (Hari)

3. Penentuan frekuensi pajanan aman (f<sub>enk</sub>)

Frekuensi pajanan aman non karsinogenik dengan jalur pajanan inhalasi

$$f_{Enk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times D_t} \dots\dots\dots (2.8)$$

- fE = Frekuensi pajanan untuk nilai aman
- C = Konsentrasi agen risiko (mg/m<sup>3</sup>)
- R = Laju asupan (m<sup>3</sup>/jam, L/hari, gr/hari)
- Dt = Jumlah tahun pajanan (Tahun)
- Wb = Berat badan (kg)
- tavg = Periode rata-rata hari (Hari)

**2.6.1.6 Komunikasi Risiko**

Komunikasi risiko merupakan proses penyampaian informasi mengenai risiko kepada masyarakat yang terpapar atau berpotensi terpapar. Tujuannya adalah agar masyarakat memahami risiko yang ada dan dapat mengambil langkah yang tepat untuk mengurangi atau mengelola risiko tersebut. Proses ini harus dilakukan dengan cara yang bertanggung jawab dan transparan agar masyarakat dapat mempercayai sumber informasi yang diberikan. Sumber informasi yang dapat dipercaya sangat penting untuk membantu masyarakat dalam memahami risiko dan mengambil tindakan yang tepat. Selain itu, komunikasi risiko juga harus disampaikan tepat waktu agar masyarakat dapat segera bertindak. Keterlambatan dalam komunikasi dapat menyebabkan masyarakat merasa ditipu dan kehilangan kepercayaan terhadap pihak yang memberikan informasi (Alfi, 2021).

**2.7 Analisis Data**

Analisis data berfungsi sebagai pengartian data yang telah didapatkan dan mengambil kesimpulan berdasarkan kumpulan data yang telah ditafsirkan. Pelaksanaan analisis data dilaksanakan untuk memastikan kebenaran data yang relevan sehingga hasil kesimpulan analisis berhubungan dengan kumpulan data yang didapatkan. Berikut merupakan beberapa cara untuk analisis data:

### 2.7.1 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan analisis yang berfungsi untuk menyelidiki dan mengukur dua atau lebih variabel, analisis regresi terdapat dua jenis yaitu majemuk yang mengolah lebih dari dua variabel dan sederhana yang hanya mengolah 2 variabel. Variabel yang ditarik dari sumbu y (vertikal) sebagai variabel terikat dan pada sumbu x (horizontal) terdapat variabel bebas. Persamaan umum yang digunakan pada regresi linier sederhana sebagai berikut (Harinaldi, 2005):

$$\hat{y} = a + bx \dots \dots \dots (2.9)$$

**Keterangan:**

- $\hat{y}$  = Nilai estimate variabel terikat
- a = Titik potong garis regresi pada sumbu y dan nilai estimate bila x=0
- b = Gradien garis regresi (perubahan nilai estimate per satuan perubahan nilai x)
- x = Nilai variabel bebas

### 2.7.2 Analisis Korelasi

Analisis korelasi merupakan analisis dalam statistik yang mengukur seberapa dekat hubungan variabel yang diperlukan dengan kekuatan relasi. Analisis ini menggunakan 2 ukuran yaitu determinasi ( $r^2$ ) dan korelasi (r) yang membandingkan variasi total (jumlah variasi terjelaskan) dengan variasi terjelaskan (penyimpangan dari variabel terikat). Analisis korelasi dibutuhkan karena analisis regresi tidak mampu menguji hanya nilai variabel independen saja (Harinaldi, 2005).

$$r^2 = \frac{a(\sum y) + b(\sum xy) - n(\bar{y})^2}{\sum (y)^2 - n(\bar{y})^2} \dots \dots \dots (2.10)$$

**Keterangan:**

- $r^2$  = Koefisien Determinasi
- a = Titik potong garis regresi pada sumbu y dan nilai estimate bila x=0
- y = Variabel terikat
- b = Gradien garis regresi (perubahan nilai estimate per satuan perubahan nilai x)
- x = Variabel bebas
- n = Jumlah data
- $\bar{y}$  = Mean dari variabel y

Koefisien determinasi berkaitan dengan koefisien korelasi (r). Nilai dari koefisien korelasi memiliki ketentuan disajikan pada **Persamaan 2.11**. Definisi dari nilai koefisien korelasi ditampilkan pada **Tabel 2.2** (Jonathan, 2006).

$$r = \pm\sqrt{r^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

**Keterangan:**

$r^2$  = Koefisien Determinasi

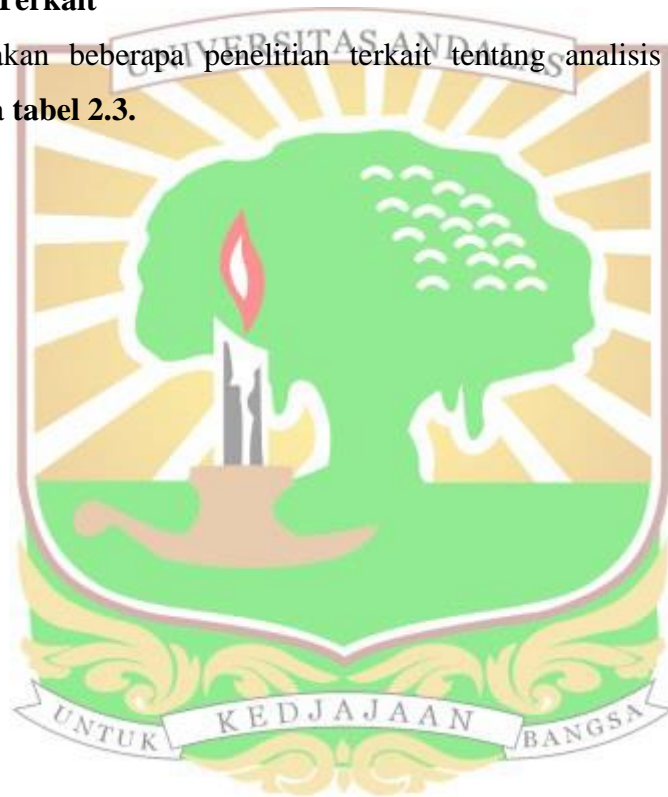
$r$  = Koefisien Korelasi

**Tabel 2. 1 Arti Nilai Koefisien Korelasi**

Koefisien Korelasi	Interpretasi
$r = 0$	Tidak ada korelasi
$0 < r \leq 0,25$	Sangat lemah
$0,25 < r \leq 0,5$	Cukup
$0,5 < r \leq 0,75$	Kuat
$0,75 < r \leq 0,99$	Sangat kuat
$r = 1$	Sempurna

**2.8 Penelitian Terkait**

Berikut merupakan beberapa penelitian terkait tentang analisis risiko kesehatan lingkungan pada **tabel 2.3.**





**Tabel 2. 2 Penelitian Terkait**

No	Penulis/Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
1	Achmad et,al, (2024)	<i>Environmental health risk assessment of particulate matter (PM<sub>2,5</sub>) and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) exposure at workers in production unit of a cement plant in Indonesia</i>	Penelitian ini menunjukkan tingkat risiko dari paparan debu PM <sub>2,5</sub> dan SO <sub>2</sub> di pabrik semen tonasa terhadap pekerja di ruangan kiln coal mill sampai ke ruangan pengepakan. Sebanyak 47 responden memiliki nilai RQ > 1 sehingga dapat dikatakan sebanyak 47 orang pekerja berisiko akibat paparan dari debu PM <sub>2,5</sub> . Nilai konsentrasi yang dipatkan berada dalam rentang 0,0598 mg/m <sup>3</sup> sampai 0,1985 mg/m <sup>3</sup> .
2	Sari, (2023)	Analisis Konsentrasi Particulate Matter 2,5 dan Debu Respirable Sera Risiko Kesehatan Lingkungan Terhadap Pekerja Storage Indarung IV PT Semen Padang	Penelitian ini mengukur konsentrasi PM <sub>2,5</sub> pada ruangan storage Unit AFR Indarung IV di PT Semen Padang. Konsentrasi partikulat PM <sub>2,5</sub> dan debu respirable pada melebihi baku mutu pada hari ke empat senilai 0,393 mg/m <sup>3</sup> dan 3,43 mg/m <sup>3</sup> , sehingga diperlukan pengontrolan rutin terhadap safety pekerja. Nilai RQ realtime dan lifetime dari agen risiko PM <sub>2,5</sub> menghasilkan RQ<1. Nilai RQ realtime untuk agen risiko debu respirable menghasilkan RQ<1 sedangkan nilai untuk RQ lifetime debu respirable >1. Hal tersebut dipengaruhi oleh masa kerja rentang 3-24 bulan dan berat badan pekerja sebesar 32-58 kg. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan risiko dari berbagai pendekatan teknologi, sosial ekonomi, dan institusional.
3	Bachtiar dan Rani, (2017)	Analisis Debu Respirable Terhadap Masyarakat Di Kawasan Perumahan Sekitar Lokasi Pabrik Pt. Semen Padang	Penelitian ini mengukur konsentrasi debu respirable, dengan konsentrasi debu pada pada kompleks perumahan RT.3 RW.1 Kelurahan Batu Gadang sebesar 0,33 mg/m <sup>3</sup> , pada Perumnas Indarung RW.VII sebesar 0,55 mg/m <sup>3</sup> serta pada Perumahan UNAND Blok D Gadut sebesar 0,44 mg/m <sup>3</sup> . Masyarakat yang tinggal di sekitar pabrik PT. Semen Padang mengeluhkan penyakit iritasi mata sebagai akibat dari aktivitas pabrik tersebut, serta terdapat dampak pada kondisi material yang dimiliki oleh masyarakat di kawasan tersebut.
4	Silvia, dkk (2020)	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Logam dalam PM 2,5 pada Masyarakat di Perumahan Blok D Ulu Gadut Kota Padang	Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi debu PM <sub>2,5</sub> didapatkan sebesar 37,19 µg/Nm <sup>3</sup> dengan nilai RQ>1 artinya konsentrasi PM <sub>2,5</sub> di alam rumah secara inhalasi tidak aman bagi responden dewasa dan anak-anak dan sangat berpotensi menyebabkan penyakit pernapasan
5	Shadiq, dkk (2021)	Analisis Risiko Paparan Partikulat Matter (PM <sub>2,5</sub> ) Beserta logam Al, Cd, dan Pb Pada Pekerja Tambang di Kawasan Penambang Batu Kapur	Hasil penelitian tersebut menunjukkan konsentrasi PM <sub>2,5</sub> yang didapatkan sebesar 0,1151 yang masih terdapat pada bawah baku mutu sehingga memenuhi standar baku mutu pada Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2021, dengan nilai RQ <i>lifetime</i> PM <sub>2,5</sub> besar dari 1 sehingga pada area penambangan untuk inhalasi tidak aman bagi responden

		PT. X Kabupaten 50 Kota	
6	Ridayanti, (2022)	Risiko Paparan Debu / <i>Particulate Matter</i> (PM <sub>2,5</sub> ) Terhadap kesehatan masyarakat dan pekerja (Studi Kasus: Tempat Pembuatan Batu Bata di Desa Kaloran, Kecamatan Ngronggot, Nganjuk)	Penelitian ini mendapatkan nilai dari PM <sub>2,5</sub> yang tinggi dikarenakan faktor kelembapan, tekanan udara, dan suhu sehingga udara di sekitar daerah dapat berdampak menimbulkan iritasi mata merah, fungsi paru-paru menurun, alergi, dan gangguan sistem pernapasan. Perhitungan risiko (RQ) mendapatkan nilai 2,976847, lebih besar dari 1 sehingga Desa Kaloran, Kecamatan Ngronggot, Kabupaten Nganjuk sudah tidak aman lagi, dengan nilai PM <sub>2,5</sub> maksimum sebesar 0,15 mg/m <sup>3</sup>



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Umum**

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis konsentrasi partikulat PM<sub>2,5</sub> di Ruang Pemeliharaan Mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* terbentuk oleh kegiatan produksi semen. Konsentrasi partikel PM<sub>2,5</sub> yang didapatkan digunakan untuk memprediksi kesehatan yang diterima pekerja pabrik dengan menggunakan metode ARKL (Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan).

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

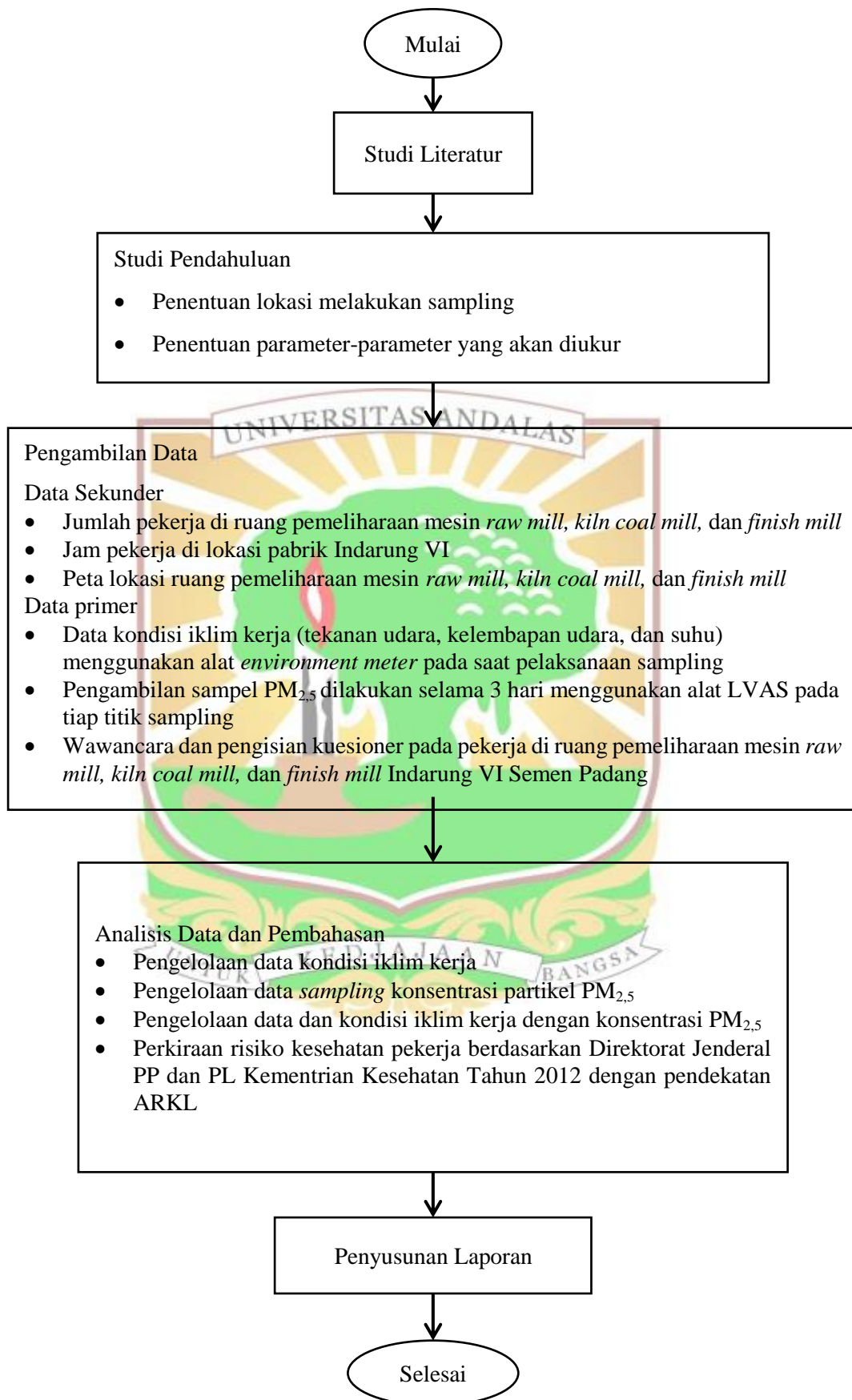
Pelaksanaan Penelitian ini dimulai dari bulan Desember - November 2024. Pengambilan sampel partikel PM<sub>2,5</sub> terdapat pada tiga titik pada ruang pemeliharaan mesin di *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* selama 8 jam setiap 3 hari pada tiap unit. Ruang pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* memiliki dinding samping berupa kontainer bekas dan beratap, dan bagian depan yang terbuka langsung menghadap ke arah setiap mesin. Jarak ruang pemeliharaan mesin pada *raw mill* berjarak 84 m, pada *kiln coal mill* berjarak 10 m, dan pada *finish mill* berjarak 53 m. Analisis dilakukan terhadap sampel di Laboratorium Kualitas Udara Departemen Teknik Lingkungan. Wawancara dan pengisian kuesioner dengan responden pekerja di ruang pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill*.

#### **3.3 Tahapan Penelitian**

Dalam melakukan penelitian perlu adanya dilakukan persiapan sebelumnya dengan merancang tahap-tahapan. Tahapan tersebut terdiri atas studi literatur, pengumpulan data, pengelolaan dan analisis data serta penyusunan laporan tugas akhir. Diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**

##### **3.3.1 Studi Literatur**

Studi literatur suatu tahap yang berfungsi untuk mempelajari dasar teori yang berkaitan dan berhubungan langsung dengan pelaksanaan tugas akhir ini. Studi literatur berisikan dengan kegiatan pengumpulan sumber acuan sebagai bentuk dasar melakukan penelitian. Literatur diperoleh dari buku, jurnal dan penelitian terdahulu. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari tentang teori yang berkaitan dengan pencemaran udara, debu PM<sub>2,5</sub> mencakup definisi, karakteristik, sumber dan dampak, faktor meteorologi, Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), dan penelitian terkait.



### 3.3.2 Data Penelitian

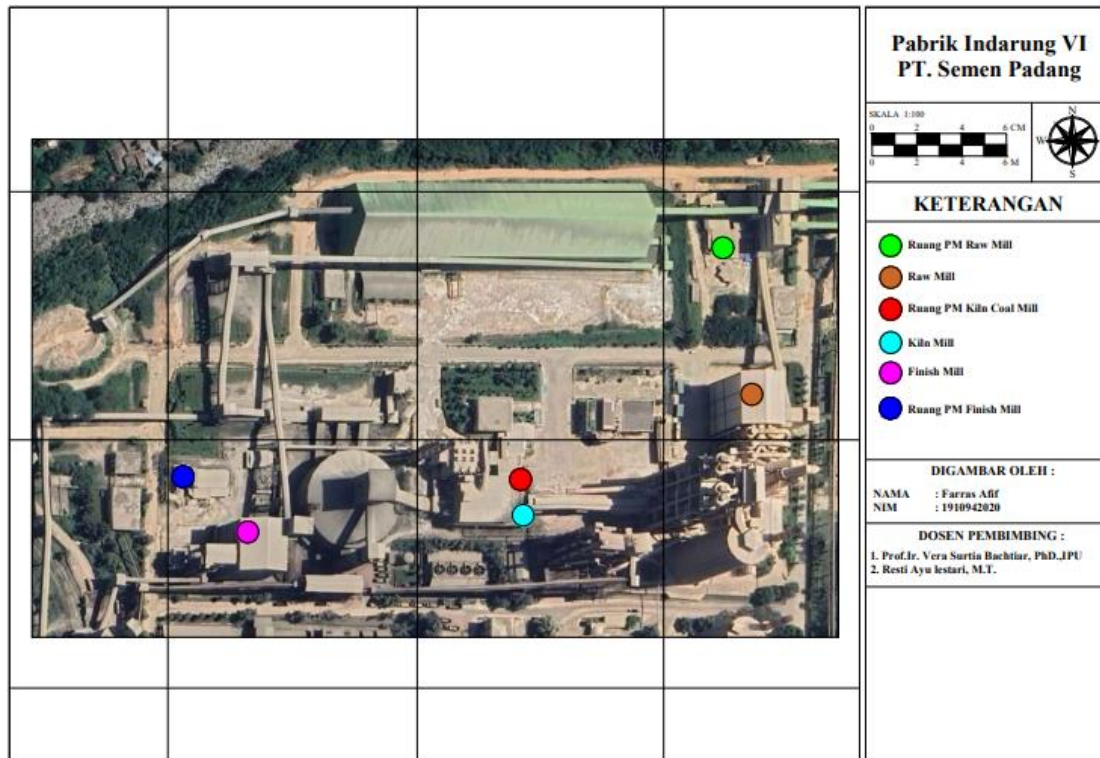
#### 3.3.2.1 Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari data penelitian terdahulu, instansi pemerintah maupun organisasi atau badan lain yang relevan. Data sekunder yang diambil meliputi:

1. Jumlah pekerja pada Ruang Pemeliharaan Mesin *Raw Mill*, *Kiln Coal Mill*, dan *Finish Mill* pabrik Indarung VI PT. Semen Padang yaitu sebanyak 39 orang;
2. Jam kerja di lokasi pabrik Indarung VI PT. Semen Padang adalah dari jam 08.00 WIB – 17.00 WIB;
3. Peta lokasi pabrik Indarung VI PT. Semen Padang dapat dilihat pada **Gambar 3.2**, dan **Gambar 3.3**.



**Gambar 3. 2** Lokasi pabrik Indarung VI PT. Semen Padang



**Gambar 3. 3** *Layout Ruang Pemeliharaan Mesin Raw Mill, Kiln Coal Mill, dan Finish Mill Pabrik Indarung VI PT. Semen Padang*

### 3.3.2.2 Data Primer

Data primer diambil melalui proses pengukuran dan pemantauan pada lokasi penelitian yang diamati secara langsung, data primer yang diambil meliputi:

#### A. Pengukuran Kondisi Meteorologi

Data primer yang perlu didapatkan dalam pengukuran kondisi meteorologi yaitu konsentrasi partikel  $PM_{2.5}$ , suhu, tekanan udara, dan kelembapan. *Low Volume Air Sampler* (LVAS) merupakan alat untuk mendapatkan nilai  $PM_{2.5}$  sedangkan untuk mendapatkan data suhu udara, tekanan udara, dan kelembapan udara menggunakan alat *Environment Meter*. Waktu pengukuran data meteorologis tersebut dilaksanakan dari pukul 08.00 WIB sampai pukul 17.00 WIB dan diukur setiap 10 menit sekali. Berikut ditampilkan alat pengukur data meteorologis pada **Gambar 3.4**.



**Gambar 3. 4 Environment Meter**

#### B. Pengukuran Partikel PM<sub>2,5</sub>

Metode yang digunakan dalam pengukuran partikel PM<sub>2,5</sub> adalah *gravimetri* yang merupakan metode yang akurat dan paling banyak dilakukan dalam penelitian. Pengukuran dilakukan dengan memposisikan alat setinggi dengan titik pernapasan manusia, lebih tepatnya pada pekerja di ruangan pemeliharaan mesin pada tiga titik yaitu pada ruangan pemeliharaan mesin di *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* yang dilibatkan pada **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3** selama 3 hari pada tiap titik sampling. Pengambilan sampel tiap titik dilakukan diantara Pengambilan sampel diambil sesuai dengan tujuan dan kebutuhan pengukuran dengan menggunakan alat LVAS. Berikut ditampilkan gambar dari alat LVAS pada **Gambar 3.5** dan prosedur kerja alat tersebut terhadap partikel PM<sub>2,5</sub>:



**Gambar 3. 5 Low Volume Air Sampler (LVAS)**

##### 1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahapan perencanaan dan persiapan segala sesuatu yang diperlukan dalam penelitian, berikut hal-hal yang perlu dipersiapkan dalam penelitian ini

- a. Filter ditampilkan pada **Gambar 3.6** disimpan pada tempat dengan kelembapan yang tetap selama 24 jam;



**Gambar 3. 6 Filter *Fiberglass***

- b. Filter kosong ditimbang sehingga didapatkan berat konstan, selanjutnya berat filter minimal dicatat sebanyak tiga kali penimbangan;
  - c. Filter sampel dimasukkan ke alat LVAS dengan menggunakan pinset lalu ditutup pada bagian atas holder;
  - d. Pompa penghisap udara dikalibrasi dengan kecepatan laju alir 3,5 l/menit menggunakan alat *flowmeter*.
2. Tahap Pengambilan Sampel
- a. Filter yang telah disimpan pada desikator selama 24 jam dihubungkan menggunakan pompa penghisap udara yang memiliki selang silikon;
  - b. LVAS diletakkan di titik pengukuran menggunakan tripod setinggi hidung rata-rata pekerja;
  - c. Pompa penghisap udara dihidupkan dan dilakukan pengambilan sampel selama 8 jam (tergantung pada kebutuhan, tujuan dan kondisi di lokasi pengukuran);
  - d. Setelah selesai pengambilan sampel, debu pada bagian luar holder dibersihkan untuk menghindari kontaminasi;
  - e. Filter sampel dipindahkan dengan pinset ke kaset filter, lalu dimasukkan ke desikator minimal selama 24 jam.

### C. Wawancara dan Kuesioner

Pengambilan data kuesioner diambil dengan jumlah responden untuk memperoleh data kuesioner. Pertanyaan yang diberikan kepada responden berisi tentang pertanyaan yang mencakup data umum, pola kegiatan yang dilakukan responden, riwayat kesehatan seperti aktivitas sehari-hari, jenis kelamin, berat dan tinggi badan, gejala penyakit yang sedang dirasakan, dan lain-lain. Lembar kuesioner diisi oleh peneliti saat kegiatan wawancara secara langsung dengan responden yang bekerja di ruang pemeliharaan mesin tersebut.



### 3.3.3 Analisis Data

Setelah sampel didapatkan maka perlu adanya pengelolaan data, pengelolaan data dilaksanakan sebagai berikut:

1. Filter ditimbang dengan penimbangan 5 kali penimbangan kemudian dirata-ratakan.
2. Volume udara yang dihisap dihitung untuk mendapatkan nilai dari nilai volume udara saat sampling. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan volume udara sampling adalah **Persamaan 2.1.**
3. Volume dalam keadaan standar (STP) diukur pada suhu 25<sup>0</sup>C atau 298 K dengan tekanan udara 1 atm. Persamaan untuk konversi volume STP adalah **Persamaan 2.2.**
4. Konsentrasi partikulat dapat dengan menghitung selisih berat filter udara setelah sampling dengan sebelumnya. Persamaan untuk menghitung konsentrasi partikulat adalah **Persamaan 2.3.**

### 3.4 Analisis Risiko

Analisis risiko dilakukan dengan menganalisis hasil kuesioner yang diisi dari responden yang hasil analisisnya menggunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Dasar dari pengambilan ini mengikuti pedoman dari ARKL yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan Kementerian Kesehatan Tahun 2012 (DitJen PP PL KemenKes, 2012). Tahapan analisis risiko yang menggunakan pendekatan ARKL terhadap suatu paparan sebagai berikut.

#### 3.4.1 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) adalah pendekatan yang digunakan untuk menghitung atau memperkirakan dampak risiko terhadap kesehatan manusia. Pendekatan ini mencakup identifikasi faktor ketidakpastian, pemantauan paparan tertentu, serta mempertimbangkan karakteristik agen yang menjadi fokus dan karakteristik sasaran yang spesifik. Berikut adalah langkah-langkah dalam metode ARKL:

1. Identifikasi bahaya (*hazard identification*) Identifikasi bahaya PM<sub>2,5</sub> untuk mengetahui secara spesifik apa sifat dan kemampuan yang terdapat pada PM<sub>2,5</sub> yang dapat mengakibatkan dampak buruk pada kesehatan pekerja. Tahap identifikasi bahaya perlu mengetahui tentang agen risiko yaitu bahaya dari agen risiko, media lingkungan dimana agen risiko berada, nilai konsentrasi agen risiko di media lingkungan, gejala kesehatan pada manusia akibat agen risiko.

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

Analisis hubungan antara jumlah total polutan pada PM<sub>2,5</sub> yang terpapar, diterima, atau diserap oleh pekerja di ruang pemeliharaan mesin raw mill, kiln coal mill, dan finish mill dengan perubahan yang terjadi pada penerima akan dilakukan. Dalam penelitian ini, tahap analisis dosis-respon terhadap nilai RfC akan merujuk pada data dari Integrated Risk Information System (IRIS) EPA atau California Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA).

3. Analisis pajanan (*exposure assessment*)

Analisis pajanan dilakukan dengan cara mengukur atau menghitung asupan PM<sub>2,5</sub>. Untuk perhitungan asupan ini, digunakan persamaan intake non-karsinogenik. Data yang digunakan dalam perhitungan ini adalah data primer, yaitu hasil pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan secara langsung. Rumus yang digunakan untuk menghitung intake non-karsinogenik dapat dihitung dengan **Persamaan 2.4**.

4. Karakterisasi risiko (*risk characterization*)

Karakteristik risiko adalah langkah terakhir dalam ARKL yang dilakukan untuk menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada pekerja, berdasarkan karakteristik seperti berat badan, laju inhalasi/konsumsi, serta waktu, frekuensi, dan durasi pajanan tertentu. Perhitungan yang digunakan adalah perhitungan karakteristik risiko non-karsinogenik. Tingkat risiko untuk efek non-karsinogenik dinyatakan dalam notasi Risk Quotient (RQ). Untuk karakterisasi risiko efek non-karsinogenik, perhitungan dilakukan dengan membandingkan atau membagi intake dengan RfC. Rumus untuk menentukan RQ merujuk pada **Persamaan 2.5**

### 3.4.2 Pengelolaan Risiko

RQ merupakan faktor penting yang akan menentukan perlu atau tidaknya dalam pengelolaan risiko, nilai RQ yang membuat pengelolaan risiko perlu dilakukan yaitu  $RQ > 1$  (RQ besar dari 1). Pengelolaan risiko selanjutnya melakukan perhitungan dengan mencari konsentrasi aman, waktu pajanan aman, dan frekuensi pajanan aman menggunakan **Persamaan 2.6**, **Persamaan 2.7**, dan **Persamaan 2.8**. Pendekatan yang dipakai dalam pengelolaan risiko yaitu sosial ekonomi, Institusional, dan teknologi yang akan berhubungan dengan hasil yang diperhitungkan

### 3.4.3 Komunikasi Risiko

Tahap selanjutnya adalah komunikasi risiko, komunikasi risiko merupakan penyampaian informasi kepada pekerja di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* Pabrik Indarung VI PT Semen Padang. Penyampaian informasi dilakukan melalui pihak HSE PT Semen Padang yang bertanggung jawab dalam pemantauan keselamatan dan kesehatan lingkungan kerja. Komunikasi risiko bertujuan untuk menyampaikan informasi terkait dampak yang dapat ditimbulkan oleh PM<sub>2,5</sub> dan solusi untuk menanggulangi atau mengurangi risiko yang dapat diterima pekerja.



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Umum**

Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan sampel pada bulan Maret 2023. Bab ini menjelaskan kondisi eksisting serta analisis iklim kerja, termasuk suhu, tekanan, dan kelembapan udara. Selain itu, konsentrasi Particulate Matter 2,5 (PM<sub>2,5</sub>) dianalisis dan kemudian dibandingkan dengan Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Lingkungan Kerja. Peraturan tersebut mencantumkan untuk nilai ambang batas (NAB) debu *respirable* yang langsung mengatur untuk NAB debu yang lebih kecil dari debu tersebut. Debu *respirable* memiliki ukuran di ukuran diameter dibawah 4 mikron yang mana untuk PM<sub>2,5</sub> yang memiliki diameter partikel lebih kecil dari 2,5 mikron memiliki NAB yang sama yaitu 3mg/m<sup>3</sup>. Selanjutnya dilakukan analisis risiko kesehatan lingkungan terhadap pekerja dari hasil konsentrasi PM<sub>2,5</sub> yang didapatkan dengan pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan Tahun 2012 (DitJen PP dan PL KemenKes Tahun 2012).

#### **4.2. Kondisi Eksisting**

Lokasi penelitian dilaksanakan di PT Semen Padang di ruang pemeliharaan mesin pabrik Indarung VI yang terletak di Kota Padang, Provinsi Sumatra Barat. Pelaksanaan *sampling* terdapat pada tiga titik yaitu di ruang pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill*. Ruangan pemeliharaan mesin tersusun atas kontainer-kontainer bekas dengan kondisi ruangan terbuka. Titik ini dipilih dikarenakan dekat dengan alat *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill*, sehingga hasil dari proses alat tersebut yang berupa debu akan memapar ke area tersebut sehingga membuat pekerja di ruang pemeliharaan mesin (PM) tersebut terpapar. Pekerja sering berada di ruangan tersebut daripada mereka ke tempat produksi semen di mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill*. Pekerjaan yang dilakukan berupa mengawasi apakah mesin produksi semen di unit tersebut berjalan dengan baik dengan waktu kelapangan rata-rata selama 1-2 jam dalam satu hari, selanjutnya yaitu jika ada komponen mesin yang bermasalah maka akan diperbaiki di ruangan pemeliharaan mesin seperti pengelasan, pembubutan, dan lain-lain.

### 4.3. Kondisi Iklim Kerja

Konsentrasi  $PM_{2,5}$  sangat dipengaruhi oleh faktor kondisi iklim kerja. Kondisi iklim kerja yang mempengaruhi antara lain kelembapan udara (%), tekanan udara (mmHg), dan suhu udara ( $^{\circ}C$ ). Pengukuran iklim kerja dilaksanakan setiap 10 menit pada waktu *sampling* selama 8 jam tiap hari, pengukuran dilaksanakan 3 hari pada tiap titik *sampling*. Berikut rekapitulasi kondisi iklim kerja  $PM_{2,5}$  pada **Tabel 4.1**.

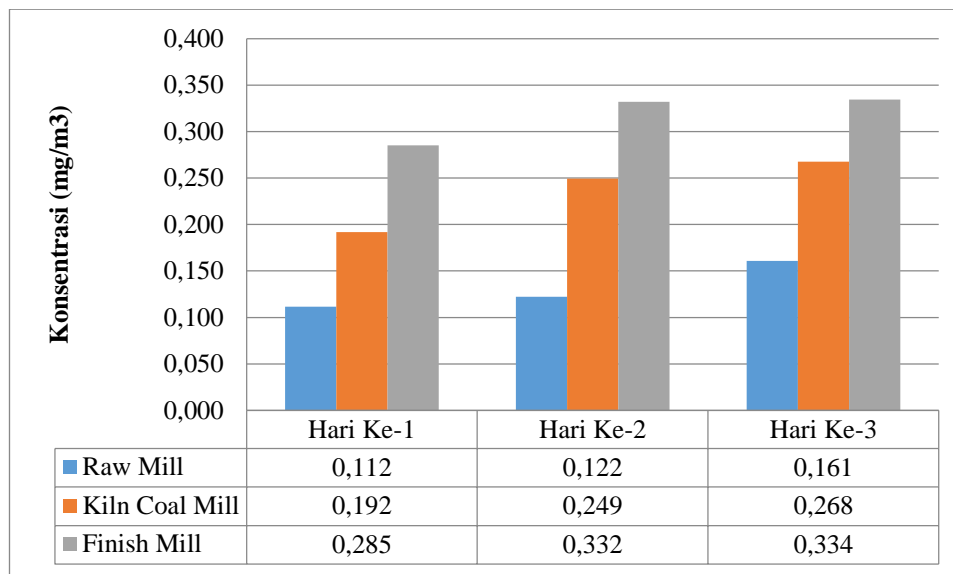
**Tabel 4. 1 Kondisi Iklim Kerja**

Hari ke-	Nomor Sampel	Lokasi Kerja	Lokasi <i>sampling</i>	Kondisi Iklim Kerja		
				Suhu ( $^{\circ}C$ )	Kelembapan Relatif (%)	Tekanan Udara (mmHg)
1	RM1	Ruangan	Raw Mill	33,4	63,2	740,8
2	RM2	PM Raw		34,2	56,7	740,4
3	RM3	Mill		35,0	56,0	740,1
4	KC1	Ruangan	Kiln Coal Mill	34,9	63,6	740,9
5	KC2	PM Kiln		35,4	53,6	740,8
6	KC3	Coal Mill		36,2	53,6	740,7
7	FM1	Ruangan	Finish Mill	32,2	71,5	742,0
8	FM2	PM		32,9	70,6	741,6
9	FM3	Finish Mill		33,3	68,9	741,0

Berdasarkan **Tabel 4.1** suhu tertinggi terdapat pada ruangan pemeliharaan mesin *kiln coal mill* dengan rentang nilai  $34,9 - 36,2^{\circ}C$ , nilai yang tinggi disebabkan ruangan pemeliharaan mesin terletak di dekat mesin *kiln* yang melakukan kegiatan pembakaran. Untuk nilai kelembapan tertinggi terletak pada ruangan pemeliharaan mesin *finish mill* dengan rentang nilai  $68,9 - 71,5\%$ , nilai kelembapan di ruangan tersebut lebih rendah dari ruangan lain disebabkan oleh suhu yang dimiliki ruangan tersebut lebih rendah. Penelitian Melanie (2020) menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai suhu maka udara akan menjadi semakin kering sehingga menyebabkan nilai kelembapan semakin rendah. Pada nilai tekanan udara nilai tertinggi terdapat pada ruangan pemeliharaan mesin *finish mill* dikarenakan letak dari ruang ini lebih rendah dari ruangan yang lain. Semakin tinggi daratan semakin rendah nilai dari tekanan udara yang didapatkan (Liu et al., 2020). Kondisi iklim kerja seperti suhu, kelembapan, dan tekanan udara mempengaruhi tingkat konsentrasi  $PM_{2,5}$ , terutama untuk suhu dan tekanan udara yang diperlukan untuk menghitung nilai dari konsentrasi  $PM_{2,5}$ .

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

Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> diukur dengan menggunakan alat *Low Volume Air Sampler* (LVAS) selama 8 jam. Nilai konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada ruangan pemeliharaan mesin *Raw Mill*, *Kiln Coal Mill*, dan *Finish Mill* sebesar 0,162 mg/m<sup>3</sup>, 0,270 mg/m<sup>3</sup>, dan 0,334 mg/m<sup>3</sup>. Hasil konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4. 1 Hasil Konsentrasi PM<sub>2,5</sub>**

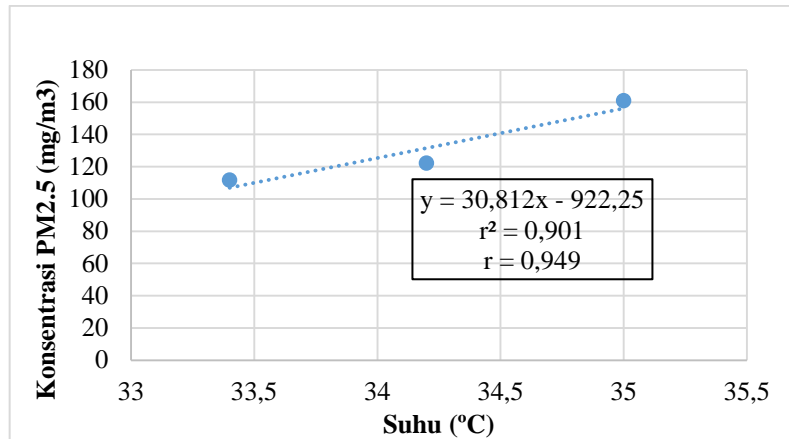
Berdasarkan **Gambar 4.1** terlihat perbedaan nilai konsentrasi pada setiap titik sampling. Perbedaan nilai konsentrasi PM<sub>2,5</sub> disebabkan oleh bahan dan kegiatan pengoperasian yang terdapat pada masing-masing proses produksi dan kegiatan di setiap titik sampling. Nilai tertinggi terletak pada titik ruang pemeliharaan mesin *finish mill*, karena ruangan ini berdekatan dengan unit produksi di *finish mill* yang memproses debu semen dan ruangan ini berdekatan dengan jalan sehingga debu akan meningkat di udara akibat alur transportasi kendaraan. Penelitian Kim (2015) menunjukkan bahwa dengan menggunakan pengukuran visibilitas dan konsentrasi yang dilakukan pada jarak yang lebih jauh dari sumber debu (10-100 km), terlihat pengaruh ukuran partikel terhadap konsentrasi debu. Dalam hal ini, ukuran partikel debu yang lebih kecil dihasilkan karena jarak regional dari sumbernya. Hal ini memperlihatkan bahwa seiring dengan meningkatnya jarak dari sumber, konsentrasi debu menurun karena partikel debu cenderung mengendap lebih dekat ke sumbernya.

Ruang pemeliharaan mesin *raw mill* memiliki konsentrasi yang paling sedikit di tiga titik sampling dikarenakan terletak lebih jauh dari alat produksi *raw mill* itu sendiri dan terletak agak jauh juga dengan jalan utama sehingga debu yang dihasilkan dari jalur transportasi tidak sebanyak titik yang lain. Ruang pemeliharaan mesin *kiln coal mill* memiliki nilai konsentrasi lebih besar dari pada di *raw mill* dan lebih kecil dari *finish mill*. Penyebab timbulnya  $PM_{2,5}$  di sekitar ruang ini dikarenakan titik ini sangat berdekatan dengan mesin produksi pada *kiln coal mill* dan mesin ini menghasilkan suhu yang tinggi sehingga konsentrasi debu yang dimana berbanding lurus dengan suhu semakin tinggi.

Konsentrasi  $PM_{2,5}$  tertinggi pada *sampling* terdapat pada nilai  $0,334 \text{ mg/m}^3$ . Nilai konsentrasi pada pengambilan ketiga pada tiap titik jauh berbeda dikarenakan pada *sampling* pertama mesin mengalami kerusakan berupa kebocoran pipa *preheater* di *kiln* yang membuat mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* berhenti beroperasi dan menghasilkan debu dari alat produksi lebih rendah dari *sampling* pada saat mesin beroperasi. Penelitian dari Achmad et al., (2024) diperoleh nilai konsentrasi  $PM_{2,5}$  dengan rentang  $0,00679-0,1762 \text{ mg/m}^3$ . Perbedaan data penelitian ini dikarenakan adanya perbedaan sifat dinamis dari kondisi iklim kerja dan ketinggian lokasi.

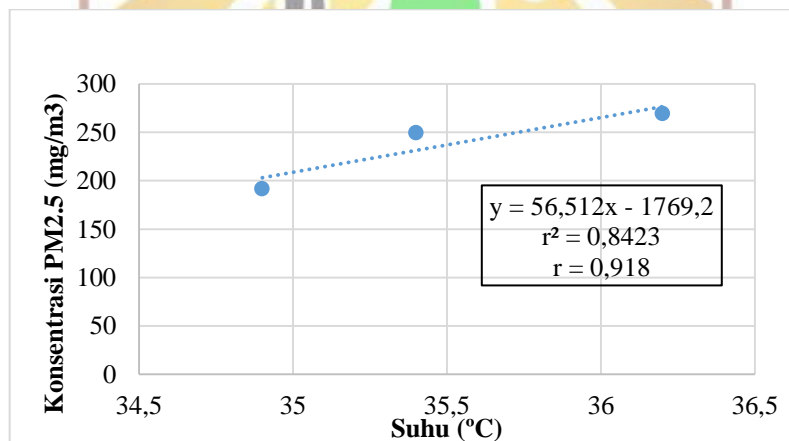
#### **4.5. Hubungan Konsentrasi $PM_{2,5}$ dengan Kondisi Iklim Kerja**

*Sampling* untuk mendapatkan konsentrasi debu  $PM_{2,5}$  dan kondisi iklim kerja dilaksanakan pada ruang pemeliharaan mesin di *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill*. *Sampling* dilaksanakan 3 hari setiap titik dimana setiap titiknya diukur selama 8 jam menggunakan alat LVAS. Nilai konsentrasi debu  $PM_{2,5}$  yang didapatkan dibandingkan dengan kondisi iklim kerja. Kondisi iklim kerja yang dibandingkan yaitu suhu udara, kelembapan udara, dan tekanan udara. Berikut hubungan dari suhu dengan konsentrasi  $PM_{2,5}$  terdapat pada **Gambar 4.5**, **Gambar 4.6**, dan **Gambar 4.7**.



**Gambar 4.2 Hubungan Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dengan Suhu Ruang PM Raw**

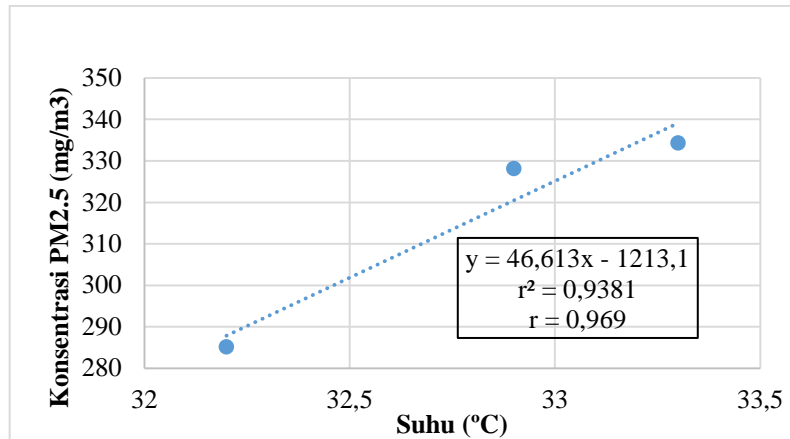
Pada **Gambar 4.2** dapat dilihat nilai dari korelasi antara suhu dengan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill* dengan nilai koefisien determinasi ( $r^2$ ) yaitu 0,901 dan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,949. Nilai  $r$  positif menunjukkan hubungan antara suhu dan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill* berbanding lurus. Menurut Usman (2006), jika nilai  $r^2$  bernilai 0,801 – 1,000 dapat diartikan memiliki interpretasi yang sangat kuat. Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dengan temperatur udara sangat kuat.



**Gambar 4.3 Hubungan Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dengan Suhu Ruang PM Kiln Coal Mill**

Pada **Gambar 4.3** dapat dilihat untuk nilai  $r^2$  yaitu 0,8423 dan nilai  $r$  sebesar 0,918. Nilai  $R$  positif menunjukkan hubungan antara suhu dan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di ruangan PM *kiln coal mill* berbanding lurus. Menurut Usman (2006), nilai  $r^2$  yang berada pada rentang 0,801 – 1,000 memiliki hubungan yang sangat kuat. Hubungan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dengan temperatur udara sangat kuat berdasarkan penjelasan tersebut dengan nilai  $r^2$  sebesar 0,8423.

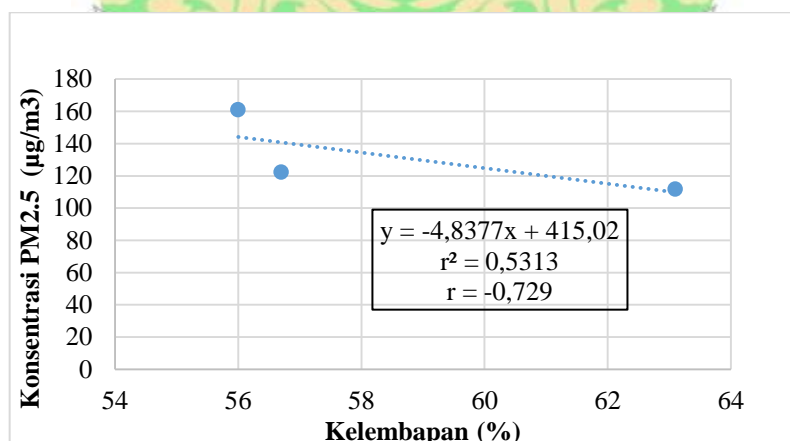




**Gambar 4. 4 Hubungan Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dengan Suhu Ruang PM *Finish Mill***

Pada **Gambar 4.4** dapat dilihat untuk nilai  $r^2$  yaitu 0,9381 dan nilai  $r$  sebesar 0,969. Nilai  $R$  positif menunjukkan hubungan antara suhu dan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di ruangan PM *finish mill* berbanding lurus. Nilai  $r^2$  yang memiliki nilai pada rentang 0,801-1,000 memiliki makna bahwa memiliki interpretasi yang kuat (Usman, 2006). Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dengan temperatur udara sangat kuat.

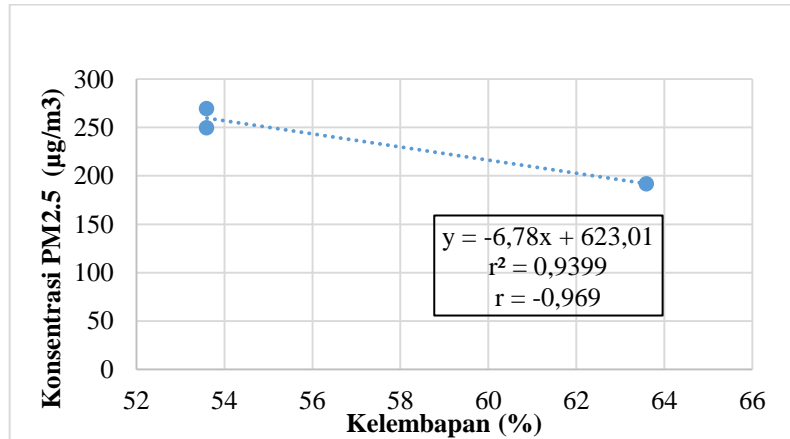
Berdasarkan analisis hubungan suhu dengan konsentrasi PM<sub>2,5</sub>, dapat ditarik kesimpulan bahwa suhu berhubungan yang sangat kuat dengan konsentrasi PM<sub>2,5</sub>. Peningkatan suhu menyebabkan ketidakstabilan di udara sehingga banyak menimbulkan gerakan ke atas sehingga meningkatkan nilai konsentrasi debu di udara (Zhou, et.al. 2023). Selanjutnya ditampilkan hubungan antara kelembapan dengan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada **Gambar 4.5**, **Gambar 4.6**, dan **Gambar 4.7**.



**Gambar 4. 5 Hubungan Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dengan Kelembapan Udara Ruang PM *Raw Mill***

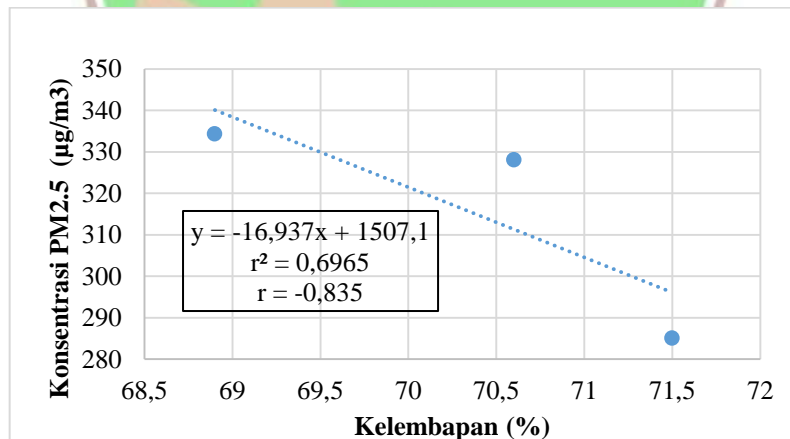
Pada **Gambar 4.5** dapat dilihat nilai  $r^2$  yaitu 0,5313 dan nilai  $r$  sebesar -0,729. Nilai  $r$  negatif berarti hubungan antara kelembapan dengan adalah berbanding terbalik.

Menurut Usman (2006), jika nilai  $r^2$  berkisar 0,500 – 0,750 dapat diartikan memiliki interpretasi yang kuat. Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan konsentrasi  $PM_{2,5}$  dengan kelembapan udara tergolong kuat.



**Gambar 4. 6 Hubungan Konsentrasi  $PM_{2,5}$  dengan Kelembapan Udara Ruang PM Kiln Coal Mill**

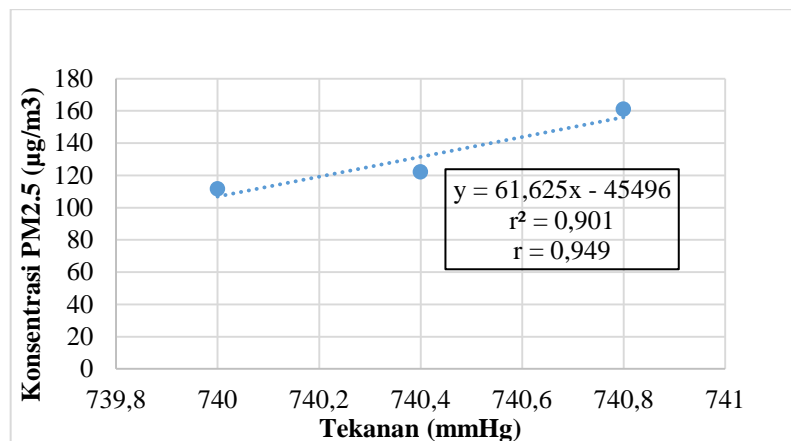
Pada **Gambar 4.6** dapat dilihat nilai untuk nilai dari  $r^2$  yaitu 0,9399 dan nilai  $r$  sebesar -0,969. Nilai  $r$  negatif berarti hubungan antara kelembapan dengan adalah berbanding terbalik. Menurut Usman (2006), koefisien korelasi yang bernilai 0,801 – 1,000 memiliki interpretasi yang sangat kuat, sehingga dapat disimpulkan bahwa hubungan antara konsentrasi  $PM_{2,5}$  dengan kelembapan udara di ruangan PM *kiln coal mill* sangat kuat.



**Gambar 4. 7 Hubungan Konsentrasi  $PM_{2,5}$  dengan Kelembapan Udara Ruang PM Finish Mill**

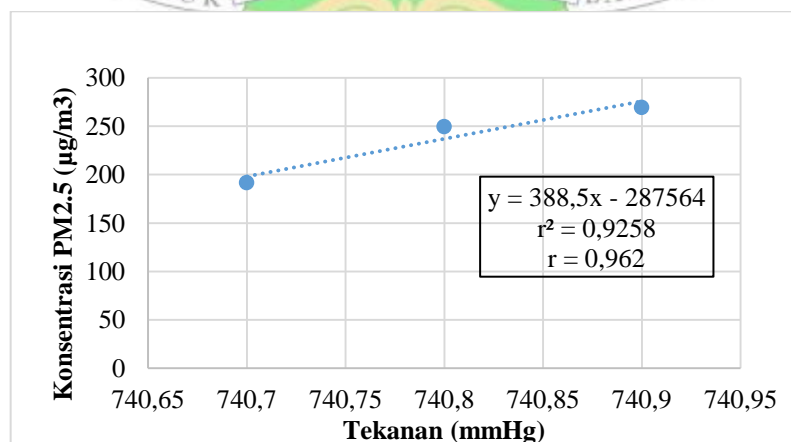
Pada **Gambar 4.7** dapat dilihat nilai  $r^2$  yaitu 0,6965 dan nilai  $r$  sebesar -0,835. Nilai  $r$  negatif berarti hubungan antara kelembapan dengan adalah berbanding terbalik. Menurut Usman (2006), jika nilai dari  $r^2$  berkisar 0,500 – 0,750 dapat diartikan memiliki interpretasi yang kuat. Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara konsentrasi  $PM_{2,5}$  dan kelembapan udara tergolong kuat.

Berdasarkan gambar di atas hubungan antara kelembapan dengan konsentrasi  $PM_{2.5}$  berbanding terbalik. Tingginya nilai kelembapan udara disebabkan kandungan air di udara yang banyak sehingga membuat debu di udara mengendap ke tanah akibat kandungan air tersebut (Anjelicha, dkk. 2022). Selanjutnya hubungan kondisi iklim kerja yaitu tekanan udara dengan  $PM_{2.5}$  ditampilkan pada **Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10.**



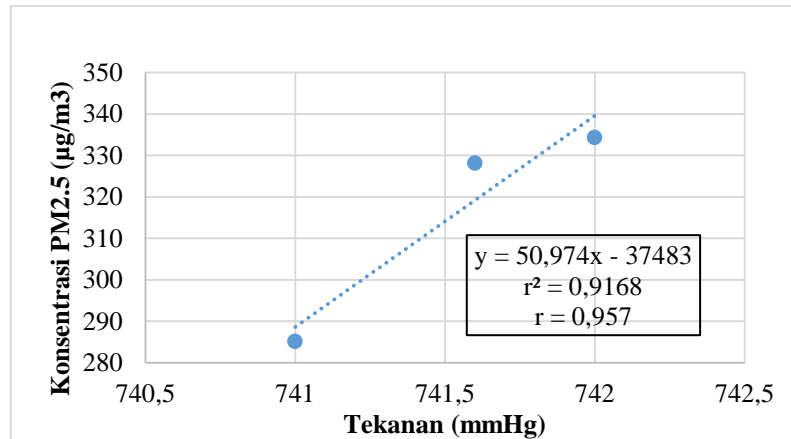
**Gambar 4. 8 Hubungan Konsentrasi  $PM_{2.5}$  dengan Tekanan Udara Ruangan PM Raw Mill**

Pada **Gambar 4.8** dapat dilihat untuk nilai  $r$  dan  $r^2$  sebesar 0,949 dan 0,901. Nilai  $r$  menunjukkan nilai positif yang berarti tekanan udara dengan konsentrasi  $PM_{2.5}$  berbanding lurus. Menurut Usman (2006),  $r^2$  yang bernilai dengan kisaran 0,801 – 1,000 memiliki interpretasi yang sangat kuat. Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara konsentrasi  $PM_{2.5}$  dan tekanan udara di ruangan PM raw mill kuat.



**Gambar 4. 9 Hubungan Konsentrasi  $PM_{2.5}$  dengan Tekanan Udara Ruangan PM Kiln Coal Mill**

Pada **Gambar 4.9** dapat dilihat untuk nilai  $r$  dan  $r^2$  sebesar 0,9258 dan 0,962. Nilai  $R$  menunjukkan nilai positif yang berarti tekanan udara dengan konsentrasi  $PM_{2,5}$  berbanding lurus. Menurut Usman (2006),  $r^2$  yang bernilai 0,801 – 1,000 memiliki interpretasi yang sangat kuat. Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara konsentrasi  $PM_{2,5}$  dan tekanan udara di ruangan *PM kiln coal mill* sangat kuat.



**Gambar 4. 10 Hubungan Konsentrasi  $PM_{2,5}$  dengan Tekanan Udara Ruangannya *PM Finish Mill***

Pada **Gambar 4.10** dapat dilihat untuk nilai  $r$  dan  $r^2$  sebesar 0,9168 dan 0,957. Nilai  $R$  menunjukkan nilai positif yang berarti tekanan udara dengan konsentrasi  $PM_{2,5}$  berbanding lurus. Menurut Usman (2006),  $r^2$  yang kisaran nilai 0,801 – 1,000 memiliki interpretasi yang sangat kuat. Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara konsentrasi  $PM_{2,5}$  dan tekanan udara di ruangan *PM kiln coal mill* yang sangat kuat.

Berdasarkan analisis pada tiga ruangan di atas menunjukkan tekanan udara berbanding lurus dengan konsentrasi  $PM_{2,5}$ . Semakin tinggi tekanan udara di suatu tempat maka semakin tinggi nilai konsentrasi dari  $PM_{2,5}$  di tempat tersebut. Kesimpulan yang dapat diambil yaitu kandungan debu  $PM_{2,5}$  di udara pada ruang pemeliharaan mesin sangat dipengaruhi oleh tekanan, suhu, dan kelembapan udara. Penelitian Fadholi (2013) menjelaskan bahwa tekanan udara di daerah suhu yang tinggi mengakibatkan rendahnya kelembapan udara. Hal tersebut dapat berpengaruh terhadap polutan.

#### **4.6. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan**

Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) diperlukan untuk melihat risiko diterima pekerja yang berada di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* pabrik Indarung VI PT. Semen Padang. Ruangan ini terpapar akan debu yang bersumber dari kegiatan penghancuran, pembakaran, penggilingan, dan transportasi bahan baku. Jumlah responden yang bekerja di ruangan ini sebanyak 39 orang. Data-data yang diperlukan untuk analisis risiko kesehatan lingkungan berupa konsentrasi  $PM_{2,5}$ , dan data-data pendukung seperti umur, lama bekerja, berat badan, perokok, dan keluhan penyakit kesehatan. Tahapan dalam analisis risiko kesehatan lingkungan yaitu identifikasi bahaya, analisis dosis respon, dan karakteristik risiko, pengelolaan risiko, dan komunikasi risiko yang akan dijelaskan sebagai berikut:

##### **4.6.1 Identifikasi Bahaya**

Konsentrasi  $PM_{2,5}$  dihitung pada penelitian ini untuk mengetahui tingkat risiko yang akan diterima oleh pekerja di ruang pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill*. Tahapan pertama pada ARKL adalah identifikasi bahaya. Identifikasi bahaya pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apa bahaya dari  $PM_{2,5}$  terhadap pekerja, media lingkungan penyebar  $PM_{2,5}$ , berapa konsentrasi dari  $PM_{2,5}$ , apa gejala kesehatan potensial dialami pekerja. Penelitian Achmad et al. (2024)  $PM_{2,5}$  dapat menembus langsung ke alveoli di sistem pernapasan paru-paru, dampak yang ditimbulkan dapat menurunkan fungsi paru-paru, kerusakan pada alveoli, dan menimbulkan penyakit kronis paru-paru lainnya. Identifikasi risiko selanjutnya membahas mengenai sumber pencemar, media penyebar, penerima risiko, usia pekerja, lama bekerja, waktu bekerja dalam jam per hari, jumlah hari bekerja dalam hari per tahun, gizi tubuh sebagai berikut.

##### **4.6.1.1 Sumber Pencemar**

Sumber pencemar yaitu  $PM_{2,5}$  pada penelitian ini berasal dari debu hasil pemrosesan bahan baku semen di *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill*. Kegiatan pemrosesan yaitu berupa penggilingan, penghancuran, pembakaran, dan transportasi. Transportasi alat berat dan kendaraan juga menambah konsentrasi debu di udara. Debu  $PM_{2,5}$  yang dihasilkan berbahaya terhadap manusia karena berdampak kepada kesehatan paru-paru. Berikut ditampilkan sumber pencemar dan

nilai konsentrasi dari pencemar pada **Tabel 4.2**.

**Tabel 4. 2 Identifikasi Bahaya PM<sub>2,5</sub>**

Nama Ruangan	Sumber	Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
Ruang PM <i>Raw Mill</i>	<i>Raw mill, storage limestone,</i> dan kendaraan transportasi	0,161
Ruang PM <i>Kiln Coal Mill</i>	<i>Kiln, coal mill,</i> dan kendaraan transportasi	0,270
Ruang PM <i>Finish Mill</i>	<i>Finish mill, silo,</i> dan kendaraan transportasi	0,334

#### 4.6.1.2 Media Penyebar

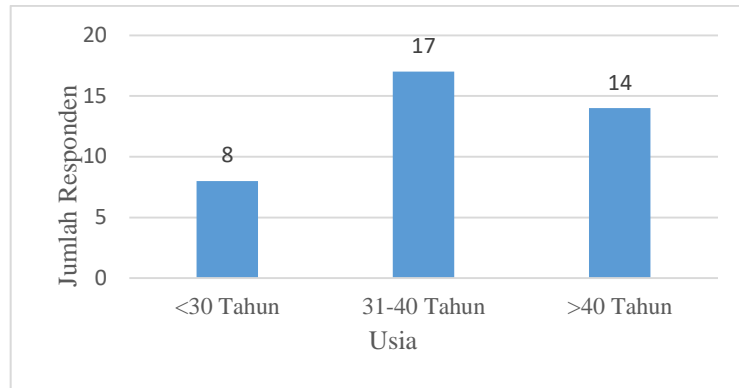
Faktor yang membuat konsentrasi PM<sub>2,5</sub> di udara menyebar dari sumber adalah udara yang masuk ke ruang pemeliharaan mesin. Ruang pemeliharaan mesin memiliki bagian yang terbuka di arah depan ruangan yang mengarah ke mesin *raw mill, kiln coal mill, dan finish mill*. Debu PM<sub>2,5</sub> masuk ke ruangan pemeliharaan mesin akibat udara ambien yang membawa pencemar tersebut dari sumbernya. Udara yang merupakan media penyebar dipengaruhi oleh tekanan udara, kelembapan udara, dan suhu yang merupakan kondisi meteorologi yang ada pada tempat kerja tersebut.

#### 4.6.1.3 Penerima

Agen risiko penelitian atau penerima paparan dari PM<sub>2,5</sub> yaitu pekerja di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill, kiln coal mill, dan finish mill* Pabrik Indarung VI PT. Semen Padang. Hasil ARKL dari setiap responden besar berbeda-beda akibat pola pajanan, pola aktivitas, riwayat penyakit, dan karakteristik dari setiap responden atau pekerja.

##### A. Usia Pekerja

Usia responden didapatkan untuk menentukan nilai laju inhalasi (R) yang diperlukan untuk menghitung ARKL. Pedoman ARKL mengatakan laju inhalasi untuk orang dewasa berada pada nilai 0,83 m<sup>3</sup>/jam. Berikut ditampilkan rekapitulasi dari data usia responden pada **Gambar 4.11**

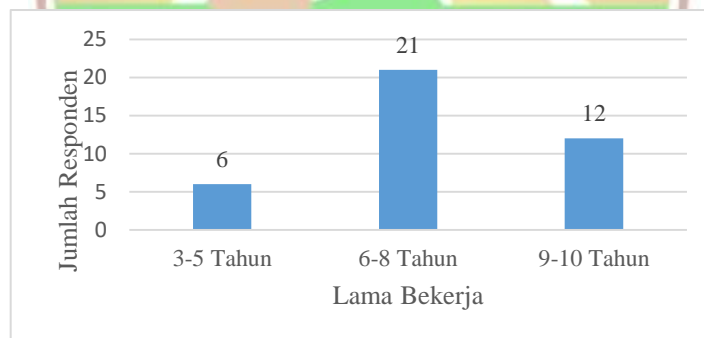


**Gambar 4. 11 Usia Responden**

Pada **Gambar 4.11** dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat variasi umur responden dengan yang termuda pada umur 27 tahun dan yang tertua adalah 51 tahun. Kelompok usia yang paling banyak terdapat pada rentang 31-40 tahun sebanyak 17 responden.

**B. Lama Bekerja**

Durasi pajakan atau lama bekerja responden merujuk pada waktu yang dihabiskan oleh responden selama bekerja di Pabrik Indarung VI PT Semen Padang. Data durasi pajakan ini digunakan untuk menghitung nilai intake yang diperlukan dalam ARKL untuk setiap responden. Berikut ini adalah rekapitulasi data durasi pajakan atau lama bekerja yang dapat dilihat pada **Gambar 4.12**



**Gambar 4. 12 Lama Bekerja**

**Gambar 4.12** menunjukkan nilai dari lama bekerja atau durasi pajakan beragam. Pekerja paling sedikit lama bekerja yaitu 3 tahun dan yang paling lama 10 tahun. Durasi pajakan paling banyak yaitu pada 6-8 tahun lama bekerja sebanyak 21 orang. Data dari durasi pajakan ini diperlukan untuk perhitungan intake untuk setiap responden.

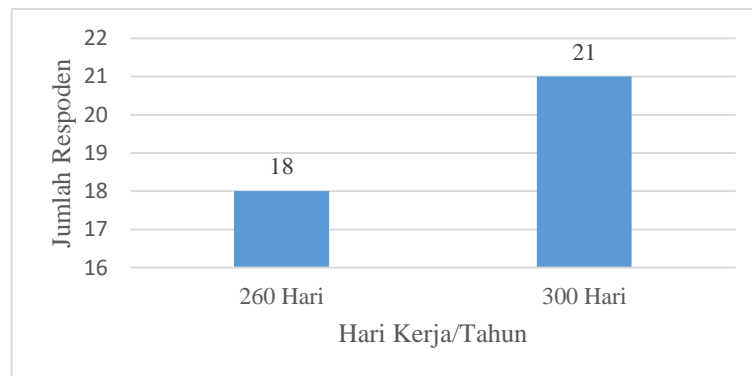
**C. Waktu Bekerja/Hari**

Pada sehat peneliti melakukan penelitian, pekerja masuk pada saat jam 08.00 WIB dan pulang kerja pada jam 17.00 WIB. Oleh karena itu waktu responden bekerja

dalam 1 hari yang dimulai dari pukul 08.00 – 17.00 WIB selama 8 jam. Data jam kerja dalam 1 hari digunakan untuk menghitung *intake* pada ARKL setiap responden.

#### D. Jumlah Hari Kerja/Tahun

Data jumlah hari bekerja dalam 1 tahun dibutuhkan untuk menghitung nilai *intake* pada ARKL setiap responden. Jumlah hari kerja dalam satu tahun yaitu banyak hari responden bekerja dalam 1 tahun. Berikut rekapitulasi data dari jumlah hari kerja responden dalam satu tahun yang dapat dilihat pada **Gambar 4.13**.



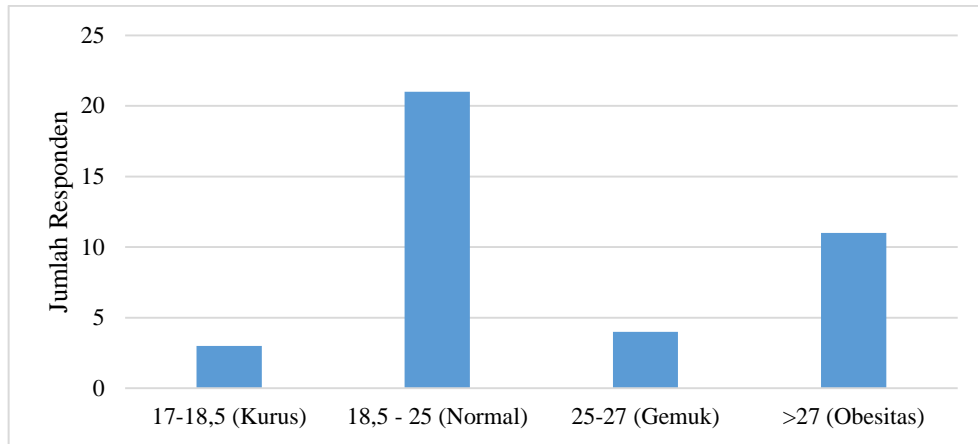
**Gambar 4. 13 Hari Bekerja**

Berdasarkan **Gambar 4.13** dapat dilihat pekerja paling banyak bekerja pada 300 hari dengan jumlah 21 orang. Data ini dibutuhkan untuk perhitungan *intake* pada setiap pekerja dalam ARKL.

#### E. Status Gizi Responden

Kesehatan dan efektivitas pekerja dalam menjalankan tugas dipengaruhi oleh status gizi yang ada dalam tubuh mereka. Pekerja dengan status gizi normal cenderung memiliki kinerja yang lebih efisien dan optimal. Indeks Massa Tubuh (IMT) digunakan untuk mengetahui status gizi dengan mengukur berat badan dalam kilogram (kg), yang kemudian dikuadratkan dan dibagi dengan tinggi badan orang tersebut. Nilai IMT yang normal berada dalam rentang 18,5 – 25. Jika IMT berada di luar rentang tersebut, maka pekerja dapat mengalami kekurangan atau kelebihan gizi. Berikut ini adalah rekapitulasi IMT setiap pekerja pada **Gambar 4.11**



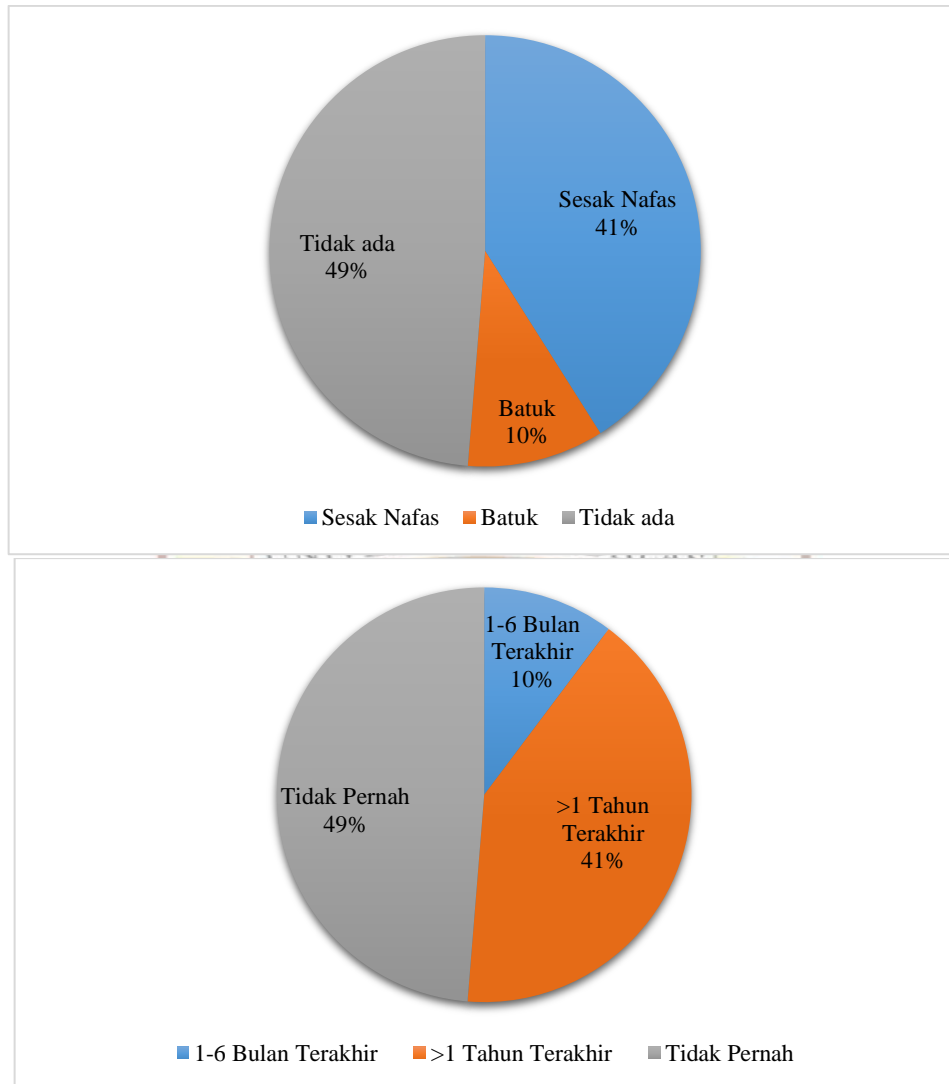


**Gambar 4. 14 Indeks Massa Tubuh Pekerja**

Dilihat dari **Gambar 4.14**, dapat dijelaskan bahwa jumlah pekerja sesuai dengan nilai IMT paling banyak terdapat pada kategori normal yaitu 21 orang. Pekerja yang memiliki masalah dengan gizi mereka atau kategori IMT yang tidak normal terdapat sebanyak 18 orang. Kesimpulan yang dapat diambil yaitu sebanyak 46% pekerja mengalami masalah gizi baik itu kelebihan maupun kekurangan. Peningkatan IMT dapat terjadi pada pekerja diakibatkan oleh asupan energi yang berlebih atau kurang. Jika energi yang masuk berlebih dan tidak diiringi oleh aktivitas fisik yang seimbang akan membuat seseorang mudah menjadi gemuk atau obesitas. Kelebihan dan kekurangan status gizi dipengaruhi oleh asupan yang dimasukan ke tubuh pekerja seperti kelebihan gizi diakibatkan karena terlalu banyak kalori yang dimasukan ke dalam tubuh sehingga melebihi kebutuhan yang berdampak terhadap pekerjaan (Maulana, 2019).

#### **F. Keluhan Pekerja**

Pekerja yang merasa tidak nyaman atau penyakit yang dialami selama bekerja disebut juga dengan keluhan. Keluhan pekerja di ruang pemeliharaan mesin Pabrik Indarung VI PT Semen Padang didapatkan dari kuesioner. Keluhan yang dirasakan pekerja berupa sesak nafas dan batuk-batuk. Berikut ditampilkan keluhan yang dirasakan oleh pekerja pada **Gambar 15**.



**Gambar 4. 15 Lama Merasakan Keluhan Selama Bekerja**

Berdasarkan **Gambar 4.15** dapat dilihat bahwa sebanyak 41% mengalami keluhan sesak nafas diikuti oleh 10% yang merasakan batuk-batuk, sementara sebanyak 49% tidak ada keluhan pada saat bekerja. Pekerja mengalami keluhan tersebut sebanyak 41% selama lebih dari 1 tahun terakhir dan 10% selama 1-6 bulan terakhir, sementara sebanyak 49% pekerja tidak ada keluhan yang dialami. Keluhan yang dialami oleh pekerja seperti batuk-batuk, sesak nafas, dan kelelahan merupakan salah satu gejala dan penyakit yang timbul dikarenakan oleh paparan debu  $PM_{2.5}$ . Pada penelitian Achmad et.al (2024) pekerja yang terpapar debu  $PM_{2.5}$  di area *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* pabrik semen PT Semen Tonasa berisiko mengalami penurunan fungsi paru-paru, timbulnya penyakit asma, jantung, dan berbagai penyakit yang lain.

#### 4.6.2. Analisis Dosis Respon

Data dari identifikasi bahaya selanjutnya dalam proses ARKL akan dipakai untuk perhitungan intake. Sebelum perhitungan intake untuk mendapatkan nilai *Risk Quetion* (RQ) diperlukan nilai dari dosis respon untuk pajanan dari zat pencemar yaitu PM<sub>2,5</sub> terhadap pekerja di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* Pabrik Indarung VI PT Semen Padang. Analisis dosis respon merupakan jumlah dosis harian yang dapat diterima. Dosis terspon untuk konsentrasi referensi (RfC) belum ada diatur dalam *Integrate Risk Information System* (IRIS). Penentuan nilai RfC untuk PM<sub>2,5</sub> didapatkan melalui penurunan nilai baku pada *National Ambient Air Quality Standard* (NAAQS) sebesar 0,035 mg/m<sup>3</sup>. Hasil nilai RfC untuk didapatkan dari hasil penurunan nilai baku ditampilkan seperti berikut (Maksum, T.S dan Tarigan, Sylva. 2022):

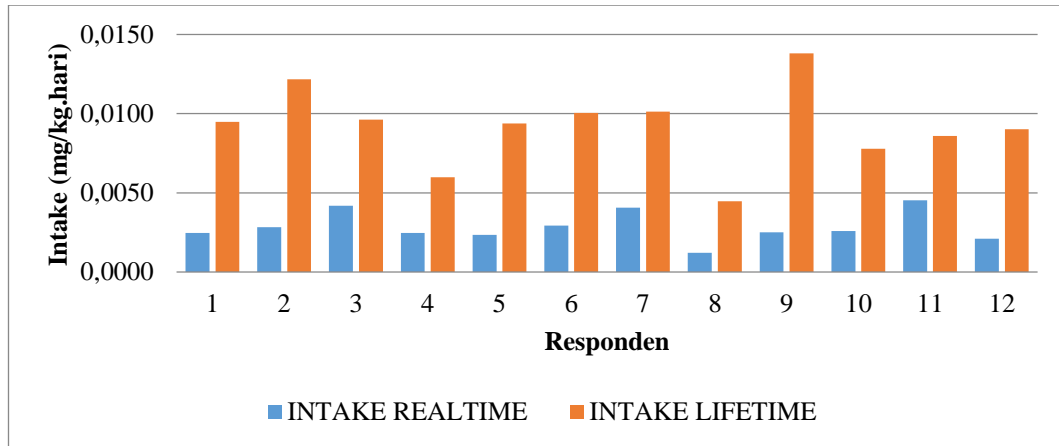
$$RfC = \frac{C_{nk} \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{svg}}$$
$$RfC = \frac{0,035 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 24 \frac{jam}{hari} \times 350 \frac{hari}{tahun} \times 30 tahun}{55 kg \times (30 \times 365 \frac{hari}{tahun})}$$
$$RfC = \frac{7,320.6}{602,250} = 0,0122 \frac{mg}{kg.hari}$$

Jadi untuk nilai RfC PM<sub>2,5</sub> untuk penentuan nilai pajanan sebesar 0,0122 mg/kg.hari

#### 4.6.3. Analisis Pajanan

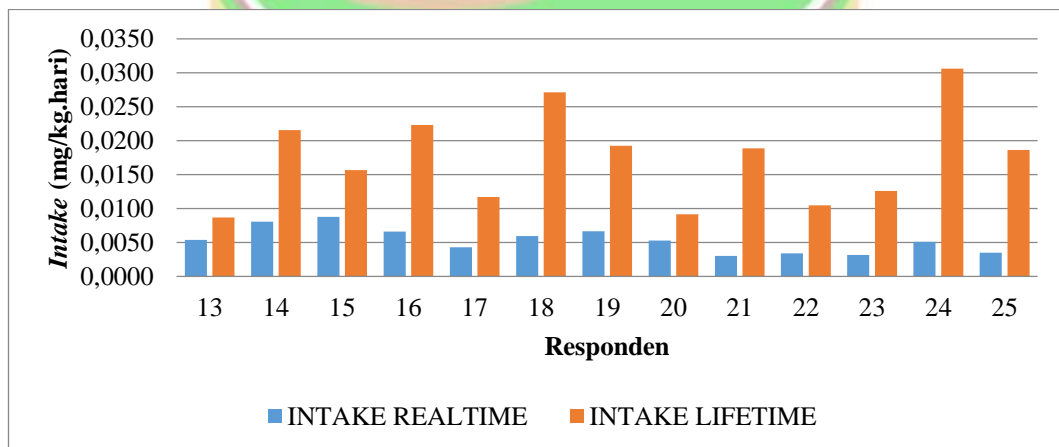
Langkah selanjutnya yaitu menghitung banyaknya debu PM<sub>2,5</sub> yang masuk ke tubuh manusia (*intake*). Nilai *intake* dalam ARKL terbagi atas dua yaitu, *intake realtime* dan *intake lifetime*. *Intake realtime* merupakan banyaknya PM<sub>2,5</sub> yang masuk ke dalam tubuh pekerja selama durasi kerja di ruang pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* pabrik Indarung VI PT Semen Padang sampai waktu penelitian, lalu *intake lifetime* adalah jumlah PM<sub>2,5</sub> yang masuk ke dalam tubuh pekerja waktu yang diproyeksikan sebagai durasi pajanan dari PM<sub>2,5</sub> pada umur pensiun pekerja yang diasumsikan pada usia 55 tahun. Berikut ditampilkan hasil nilai *intake realtime* dan *intake lifetime* pada pekerja ruang pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* pada **Gambar 4.16**,

Gambar 4.17, dan Gambar 4.18.



Gambar 4. 16 Nilai *Intake* Ruangn Pemeliharaan Mesin *Raw Mill*

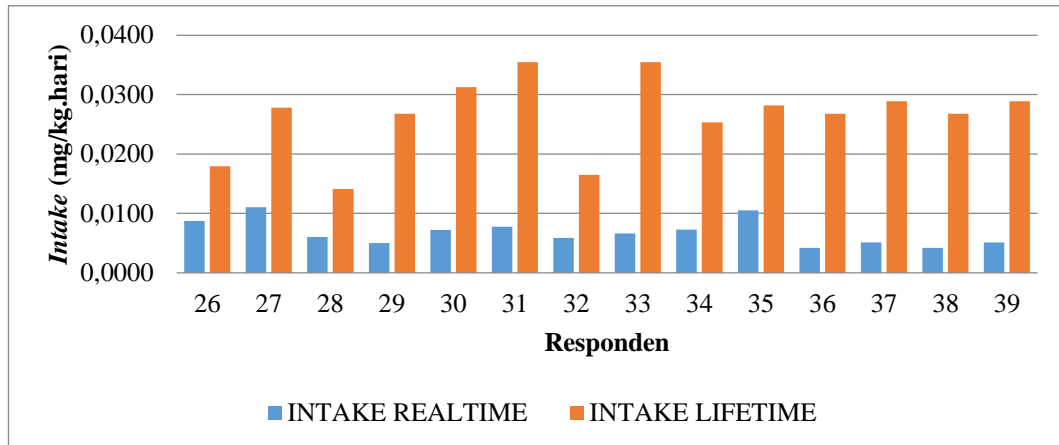
Pada Gambar 4.16 dapat dilihat nilai *intake realtime* dan *lifetime* terhadap 12 orang pekerja di ruang pemeliharaan mesin *raw mill*. Responden 11 memiliki nilai *intake realtime* tertinggi namun yang memiliki nilai *intake lifetime* paling tinggi terdapat pada responden 9. Hal tersebut karena responden nomor 11 memiliki jumlah hari bekerja dalam setahun tergolong yang paling banyak dan berat badan paling ringan diantara pekerja di ruangan ini, namun pada responden 9 mendapatkan nilai *intake lifetime* tertinggi karena paparan dari  $PM_{2,5}$  kepadanya lebih lama dari yang lain dikarenakan asumsi responden 9 akan pensiun adalah yang paling lama diantara pekerja yaitu selama 33 tahun.



Gambar 4. 17 Nilai *Intake* Ruangn Pemeliharaan Mesin *Kiln Coal Mill*

Pada Gambar 4.17 dapat dilihat nilai *intake realtime* pada responden 15, dan nilai *intake lifetime* pada responden 24 tertinggi diantara pekerja lainnya di ruangan pemeliharaan mesin *kiln coal mill*. Nilai yang tinggi pada responden nomor 15 disebabkan waktu bekerja dalam tahun dan hari paling tinggi dari pekerja lain,

sedangkan responden 24 memiliki nilai *intake ilfetime* tertinggi dari pekerja lain disebabkan waktu responden akan terpapar oleh debu  $PM_{2,5}$  jauh lebih lama sesuai dengan waktu pensiun yang diasumsikan. Faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi nilai dari *intake realtime* dan *lifetime*.



**Gambar 4. 18 Nilai Intake Ruangannya Pemeliharaan Mesin *Finish Mill***

Pada **Gambar 4.18** dapat dilihat nilai *intake realtime* tertinggi terdapat pada responden 27, sedangkan untuk nilai *intake lifetime* tertinggi terdapat pada responden 33. Responden 27 memiliki waktu paparan saat bekerja tergolong paling lama dan berat badan paling ringan diantara pekerja yang lain di ruangan pemeliharaan mesin *finish mill*, sedangkan responden 33 memiliki berat badan yang juga ringan dan waktu paparan dari debu  $PM_{2,5}$  paling lama dari asumsi pekerja untuk pensiun. Faktor tersebut dapat mempengaruhi nilai dari *intake*.

Berdasarkan penjelasan dan gambar di atas dapat disimpulkan bahwa *intake* yang paling tinggi terdapat pada ruangan pemeliharaan mesin *finish mill*, hal tersebut terjadi karena nilai konsentrasi di ruangan ini lebih tinggi dibandingkan dua ruangan lainnya. Rekapitulasi dari data *intake realtime* dan *lifetime* disajikan pada **Tabel 4.3** sebagai berikut.

**Tabel 4. 3 Nilai Intake**

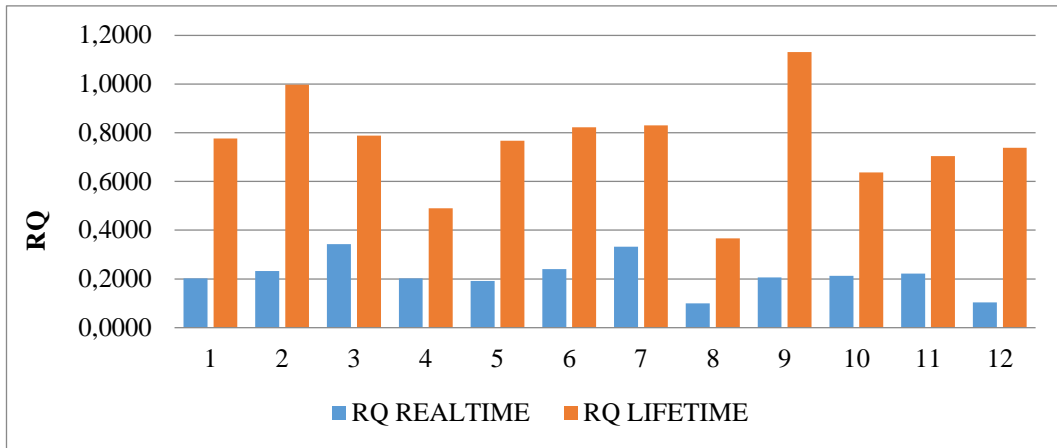
Lokasi	Konsentrasi $PM_{2,5}$	<i>Intake realtime</i> (mg/kg.hari)			<i>Intake Lifetime</i> (mg/kg.hari)		
		Maks	Min	Rata-rata	Maks	Min	Rata-rata
<i>Raw Mill</i>	0,161	0,0045	0,0012	0,0026	0,0138	0,0029	0,0092
<i>Kiln Coal Mill</i>	0,270	0,0088	0,0030	0,0053	0,0306	0,0052	0,0179

<i>Finish Mill</i>	0,334	0,0111	0,0042	0,0068	0,0355	0,0141	0,0264
--------------------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Pada **Tabel 4.3** terlihat data nilai *intake realtime* dan *lifetime* untuk ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill*. Berdasarkan data tersebut nilai *intake realtime* dan *lifetime* tertinggi terdapat pada ruang PM *finish mill* dan yang terkecil terdapat pada ruangan PM *raw mill*. Nilai *intake* dipengaruhi oleh konsentrasi dari pencemar yaitu PM<sub>2,5</sub> yang dimana untuk konsentrasi tertinggi yaitu di titik *finish mill* dan yang terendah di titik *raw mill*, faktor-faktor lain yang mempengaruhi nilai *intake* yaitu lama pajanan dari PM<sub>2,5</sub>, laju inhalasi, frekuensi bekerja dalam 1 tahun, faktor tersebut semakin tinggi nilainya maka semakin tinggi juga nilai *intake* yang didapatkan. Berbeda dengan berat badan pekerja, semakin tinggi nilai berat badan maka akan semakin rendah nilai dari *intake* yang didapatkan. Faktor yang mempengaruhi nilai *intake* terutama waktu paparan yang telah terjadi selama bekerja untuk *realtime* dan waktu paparan dari PM<sub>2,5</sub> yang akan terjadi sampai waktu asumsi pensiun untuk *lifetime*. Semakin lama terpapar oleh debu PM<sub>2,5</sub> maka akan semakin tinggi nilai *intake* yang didapatkan (Achmad et.al, 2024).

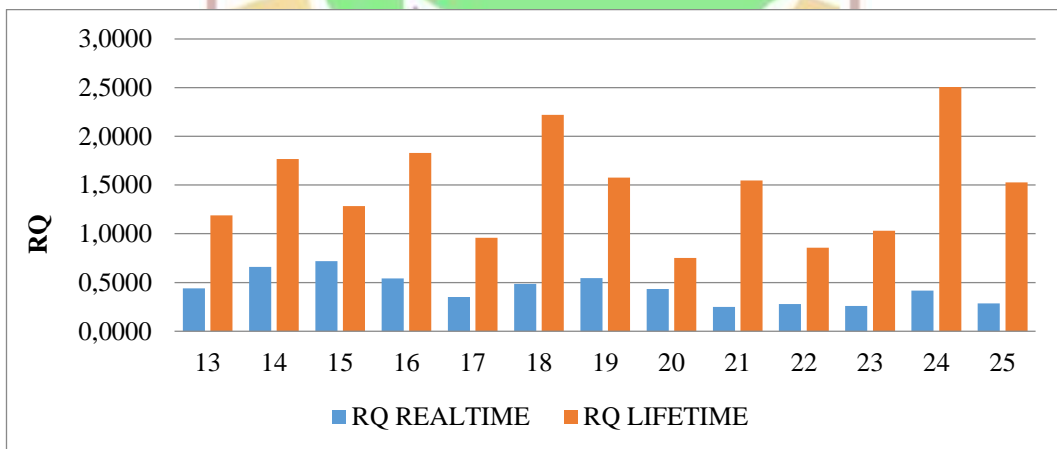
#### 4.6.4. Karakteristik Risiko

Setelah mendapatkan nilai *intake* tahapan selanjutnya dalam ARKL yaitu mengetahui karakteristik risiko. Karakteristik risiko bertujuan untuk mengetahui apakah paparan dari pencemar PM<sub>2,5</sub> pada ruangan pemeliharaan mesin berisiko terhadap pekerja di ruangan tersebut. PM<sub>2,5</sub> merupakan pencemar yang bersifat non karsinogenik yang dimana tingkat risiko dinyatakan dalam notasi *Risk Quetion* (RQ). Nilai RQ didapatkan dengan perbandingan antara nilai *intake* dengan R<sub>fc</sub> yang jika nilainya lebih dari 1 (RQ>1) maka pekerja berisiko akibat paparan pencemar, sebaliknya jika nilai RQ kurang dari 1 (RQ<1) artinya paparan dari pencemar tidak berisiko terhadap pekerja (Achmad et. al, 2024). Berikut ditampilkan nilai dari RQ *realtime* dan *lifetime* pada penelitian ini pada ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* yang ditampilkan pada **Gambar 4.19**, **Gambar 4.20**, dan **Gambar 4.21**



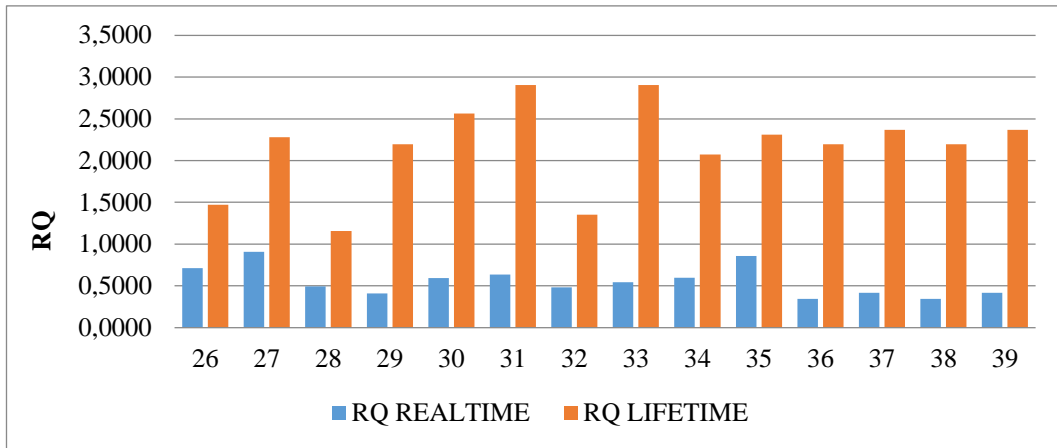
**Gambar 4. 19 Nilai RQ Ruang Pemeliharaan Mesin Raw Mill**

Pada **Gambar 4.19** dapat dilihat nilai RQ *realtime* dan *lifetime* untuk 12 orang pekerja. Nilai RQ *realtime* seluruh pekerja di ruangan ini terdapat dalam kategori aman dengan nilai RQ tertinggi yaitu pada responden 11. Berbeda dengan RQ *realtime* pada *lifetime* terdapat 1 orang dalam kategori berisiko yaitu 9. Responden 9 memiliki nilai *intake* terbesar disebabkan oleh tingkat paparan yang diasumsikan dengan waktu pensiun lebih lama dan berat badan yang lebih kecil.



**Gambar 4. 20 Nilai RQ Ruang Pemeliharaan Mesin Kiln Coal Mill**

Pada **Gambar 4.20** dapat dilihat untuk nilai RQ *realtime* untuk 13 orang pekerja memiliki nilai aman dengan nilai tertinggi yaitu terdapat pada responden 15 yang disebabkan waktu paparan terhadap pencemar paling lama dari pekerja yang lain. Selain dari responden 17, 20 dan 22 semuanya memiliki risiko para RQ *lifetime* dengan nilai RQ lebih dari 1. Nilai dari responden berisiko disebabkan nilai konsentrasi PM<sub>2,5</sub> yang tinggi dan waktu paparan yang masih lama dalam waktu asumsi pensiun paling lama diantara 3 pekerja yang lain.



**Gambar 4. 21 Nilai RQ Ruang Pemeliharaan Mesin *Finish Mill***

Pada **Gambar 4.21** dapat dilihat nilai RQ *realtime* dan *lifetime* untuk 14 orang pekerja. Nilai RQ *realtime* tergolong aman dengan nilai RQ *realtime* tertinggi pada responden 27. Nilai yang tinggi dari responden ini diakibatkan waktu paparan yang telah lama dialami selama bekerja dan memiliki berat badan yang lebih ringan dari pekerja lain.. Pada RQ *lifetime* seluruh pekerja di ruangan ini tergolong berisiko akibat paparan dari PM<sub>2,5</sub> dengan nilai yang tertinggi terdapat pada responden 31 dan 33. Nilai RQ yang didapatkan 2 pekerja tersebut diakibatkan konsentrasi pencemar di ruangan ini terdapat pada nilai yang tinggi dan memiliki berat badan paling kecil serta waktu paparan yang masih lama sesuai waktu yang diasumsikan sampai pensiun dari pekerja yang lain di ruangan ini.

Berdasarkan **Gambar 4.19**, **Gambar 4.20**, dan **Gambar 4.21** untuk nilai RQ *realtime* hanya ada 2 pekerja di *finish mill* yang berisiko akibat paparan PM<sub>2,5</sub> dan untuk RQ *lifetime* paparan dari debu PM<sub>2,5</sub> terdapat beberapa pekerja di titik *raw mill*, lebih banyak di titik *kiln coal mill*, dan untuk di titik *finish mill* semua pekerja tergolong berisiko dengan nilai RQ lebih dari 1. Berikut ditampilkan rekapan dari nilai RQ pada ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* pada **Tabel 4.4**.

**Tabel 4. 4 Nilai RQ**

Lokasi	Konsent rasi PM <sub>2,5</sub>	RQ <i>realtime</i>			RQ <i>Lifetime</i>		
		Maks	Min	Rata-rata	Maks	Min	Rata-rata
<i>Raw Mill</i>	0,161	0,3427	0,1000	0,2155	1,1311	0,3665	0,7540
<i>Kiln Coal Mill</i>	0,270	0,7191	0,2477	0,4358	2,5076	0,7501	1,4649
<i>Finish Mill</i>	0,334	0,9063	0,3429	0,5537	2,9063	1,1549	2,1671



Pada **Tabel 4.4** dapat dilihat nilai RQ terbesar terletak pada ruang PM *finish mill* dengan nilai RQ *realtime* sebesar 0,9063 dan RQ *lifetime* sebesar 2,9063. Untuk nilai RQ seluruh pekerja di ruangan pemeliharaan mesin terdapat dalam rentang 0,1000 – 0,9063 untuk RQ *realtime* dan rentang 0,3665 – 2,9063 untuk RQ *lifetime*. Responden yang memiliki nilai *realtime* tertinggi terdapat pada responden 27 dan untuk nilai RQ *lifetime* tertinggi terdapat pada responden 31 dan responden 33. Nilai tinggi pada responden 27 disebabkan oleh waktu paparan saat bekerja yang lebih lama dan berat badan yang lebih ringan dari pekerja lain. Responden 31 dan 33 memiliki nilai RQ *lifetime* paling tinggi disebabkan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> yang tinggi dari ruangan di titik lain, waktu paparan dari pencemar yang masih lama pada asumsi masa pensiun yang masih lama dari pekerja lain, dan memiliki berat badan yang ringan.

Data-data kuesioner dan hasil penelitian yang ditemukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa pekerja yang berusia lebih tua memiliki nilai untuk RQ *realtime* yang tinggi, sedangkan untuk pekerja yang berusia lebih muda mendapatkan nilai RQ *lifetime* yang tinggi. Penyebab tingginya nilai RQ *realtime* yang tinggi di usia tua dan RQ *lifetime* yang tinggi di usia muda dikarenakan untuk lama paparan yang dialami oleh pekerja selama bekerja lebih lama dari pada pekerja yang masih muda, oleh sebab itu pekerja dengan usia lebih tua memiliki nilai RQ *realtime* yang tinggi. Pekerja yang masih muda masih memiliki waktu bekerja yang lebih lama dari pekerja yang berumur tua sampai pensiun, hal tersebut menyebabkan paparan terhadap pekerja yang masih muda lebih lama dan membuat tingkat risiko atau RQ *lifetime* menjadi lebih tinggi. Kesimpulannya semakin lama sisa mereka bekerja maka akan semakin tinggi nilai RQ *lifetime* yang didapatkan namun memiliki nilai RQ *realtime* yang rendah.

Penelitian Achmad et al., (2024), mendapatkan hasil RQ dengan rentang nilai 0,0557 – 2,7408. Nilai RQ yang tertinggi terletak pada ruangan pengepakan. Tingginya nilai RQ di ruangan pengepakan dikarenakan paparan dari debu PM<sub>2,5</sub> terhadap pekerja lebih lama dari ruangan yang lain. Kesimpulan yang didapatkan dari karakteristik risiko semakin lama paparan dari pencemar yang pada penelitian ini debu PM<sub>2,5</sub> semakin tinggi risiko yang dimiliki pekerja dengan nilai RQ mendekati bahkan melebihi angka 1.

#### 4.6.5. Pengelolaan Risiko

Pekerja di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* terdapat 30 orang yang dikategorikan berisiko akibat paparan dari debu  $PM_{2,5}$ , yaitu sebanyak 30 orang pekerja memiliki nilai  $RQ > 1$ . Pekerja yang memiliki nilai  $RQ$  lebih dari 1 selanjutnya dilakukan pengelolaan risiko dengan menghitung berapa kategori aman yang dapat diterima oleh pekerja tersebut agar tidak terdampak risiko. Pengelolaan risiko dilakukan jika agen risiko memiliki tingkat risiko sudah berada dalam kategori tidak aman terhadap pekerja, dalam pengelolaannya didapatkan nilai konsentrasi aman, waktu paparan aman, dan frekuensi paparan aman yang selanjutnya akan diatasi dengan memberikan opsi regulasi serta alternatif teknis dalam meminimalkan risiko yang akan terjadi terhadap pekerja (DitJen PP dan PL KemenKes. 2014). Pada penelitian ini tingkat risiko dipengaruhi oleh konsentrasi  $PM_{2,5}$ , waktu paparan, dan frekuensi lama bekerja. Oleh karena itu perlu diketahui untuk nilai aman pada faktor yang mempengaruhi risiko tersebut. Perhitungan nilai untuk konsentrasi aman, waktu paparan aman, dan frekuensi paparan aman dihitung dengan menggunakan **Persamaan 2.6**, **Persamaan 2.7**, dan **Persamaan 2.8**. Hasil perhitungan dari batas aman ditampilkan pada **Tabel 4.5** di bawah.

**Tabel 4. 5 Rekapitan Hasil Perhitungan Nilai Aman Untuk  $RQ > 1$  dari  $PM_{2,5}$**

Responden	Konsentrasi Aman ( $mg/m^3$ )	Waktu Paparan Aman (jam/hari)	Frekuensi Paparan (hari/tahun)
9	0,1423	7	265
13	0,2266	7	219
14	0,1525	5	147
15	0,2162	6	209
16	0,1517	5	176
18	0,1213	4	117
19	0,1709	5	165
21	0,1743	5	202
23	0,2612	8	252
24	0,1075	3	104
25	0,1765	5	170
26	0,2270	5	177
27	0,1468	4	114
28	0,2895	7	225
29	0,1523	4	118
30	0,1304	3	101
31	0,1150	3	89

32	0,2470	6	192
33	0,1150	3	89
34	0,1612	4	125
35	0,1448	3	113
36	0,1523	4	118
37	0,1411	3	110
38	0,1523	4	118
39	0,1411	3	110

Pada **Tabel 4.5** dapat dilihat untuk nilai konsentrasi aman, waktu pajanan aman, dan frekuensi pajanan aman pada 25 orang pekerja yang berisiko. Nilai konsentrasi aman berada dalam rentang nilai 0,1075 – 0,28985 mg/m<sup>3</sup>, jika sudah berada dalam konsentrasi ini maka pekerja akan aman selama waktu yang tersisa. Nilai waktu pajanan aman berada dalam rentang 3 – 8 jam dalam 1 hari, jika kondisi ini sudah terpenuhi pekerja akan aman dari pajanan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> yang saat ini terpapar selama waktu yang tersisa. Untuk nilai dari frekuensi pajanan aman berada dalam rentang 89 – 265 hari dalam 1 tahun, jika pekerja memiliki nilai waktu frekuensi pajanan aman tersebut, dengan konsentrasi agen risiko sekarang masih tergolong aman. Kesimpulan yang dapat diambil untuk setiap salah satu kategori aman sudah terpenuhi oleh responden maka responden aman dari paparan PM<sub>2,5</sub>. Pendekatan yang dibutuhkan untuk meningkatkan pekerja dalam kondisi aman terhadap paparan debu PM<sub>2,5</sub> perlu dilakukan. Pendekatan yang dapat diterapkan yaitu pendekatan teknologi, sosial ekonomi, dan institusional dan pemerintah. Berikut ditampilkan pendekatan-pendekatan yang bisa dilakukan pada **Tabel 4.6** di bawah.

**Tabel 4. 6 Alternatif Pendekatan Pengelolaan Risiko**

Pendekatan	Alternatif Pendekatan
Teknologi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengadaan teknologi yang menyerap debu di ruangan pemeliharaan mesin</li> <li>2. Selalu menggunakan APD di tempat yang berpotensi terpapar debu seperti pemakaian masker khusus pada area yang terpapar debu</li> </ol>
Sosial – Ekonomi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengadakan pengawasan dan pertemuan rutin kepada pekerja pemeliharaan mesin untuk penyampaian tentang penggunaan APD</li> <li>2. Pemberian nutrisi kepada pekerja seperti mengkonsumsi makanan dan minuman yang berfungsi untuk mengoptimalkan daya tahan tubuh seperti vitamin A untuk mata, vitamin C untuk memproteksi</li> </ol>

	tubuh dari benda asing, dan vitamin E untuk menjaga kesehatan paru-paru
Institusional	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inspeksi rutin yang oleh pihak PT Semen Padang pada sumber PM<sub>2,5</sub> dan sekitarnya</li> <li>2. Memantau dan mengevaluasi nilai tingkat pencemaran dari hasil kegiatan produksi di <i>raw mill</i>, <i>kiln coal mill</i>, dan <i>finish mill</i> dan sekitar unit tersebut.</li> </ol>

#### 4.6.6. Komunikasi Risiko

Nilai aman untuk menurunkan risiko terhadap pekerja dan pendekatan yang dapat dilakukan telah didapatkan pada pengelolaan risiko yang dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu komunikasi risiko. Komunikasi risiko dilakukan untuk memberitahukan informasi risiko terhadap penerima risiko dimana pada penelitian ini pekerja di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* dan juga kepada PT Semen Padang terutama pada bidang SHE yang bertanggung jawab atas kesehatan dan keselamatan pekerja di lingkungan pabrik (DitJen PP dan PL KemenKes. 2014). Penelitian ini informasi yang disampaikan berupa nilai dari konsentrasi PM<sub>2,5</sub> aman, waktu pajanan aman jam kerja perhari, dan frekuensi pajanan aman dalam hari per tahun. Berikut ditampilkan alternatif komunikasi risiko untuk industri dan pekerja pada **Tabel 4.7**

**Tabel 4. 7 Alternatif Pendekatan Komunikasi Risiko**

Komunikasi Risiko	Alternatif
Pekerja	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selalu memakai APD seperti masker pada area yang terpapar oleh debu</li> <li>2. Mengonsumsi makanan yang bergizi dan vitamin untuk meningkatkan daya tahan tubuh</li> <li>3. Mengoptimalkan asupan kalori pada tubuh pekerja, bertujuan untuk mengurangi tingkat risiko yang diterima karena tingkat risiko berkaitan erat dengan berat badan</li> </ol>
Industri	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lebih sering melakukan pemantauan terhadap <i>raw mill</i>, <i>kiln coal mill</i>, dan <i>finish mill</i> serta kondisi kualitas udara pada area tersebut</li> <li>2. Selalu memantau pekerja dalam pemakaian APD dan memberikan arahan tentang risiko yang akan dialami jika tidak memakai APD</li> <li>3. Mengadakan teknologi yang dapat menurunkan nilai konsentrasi</li> </ol>

PM <sub>2.5</sub> yang terpapar terhadap pekerja
--

Alternatif pendekatan dikomunikasikan kepada pihak PT Semen Padang terutama pada pihak HSE yang langsung berkaitan dengan keselamatan dan kesehatan pekerja di ruangan pemeliharaan mesin *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill* agar lingkungan pekerjaan di ruangan tersebut menjadi sehat dan tingkat risiko dari paparan PM<sub>2.5</sub> berkurang sehingga pekerja tingkat risiko pekerja oleh pencemar tersebut tidak melewati batas



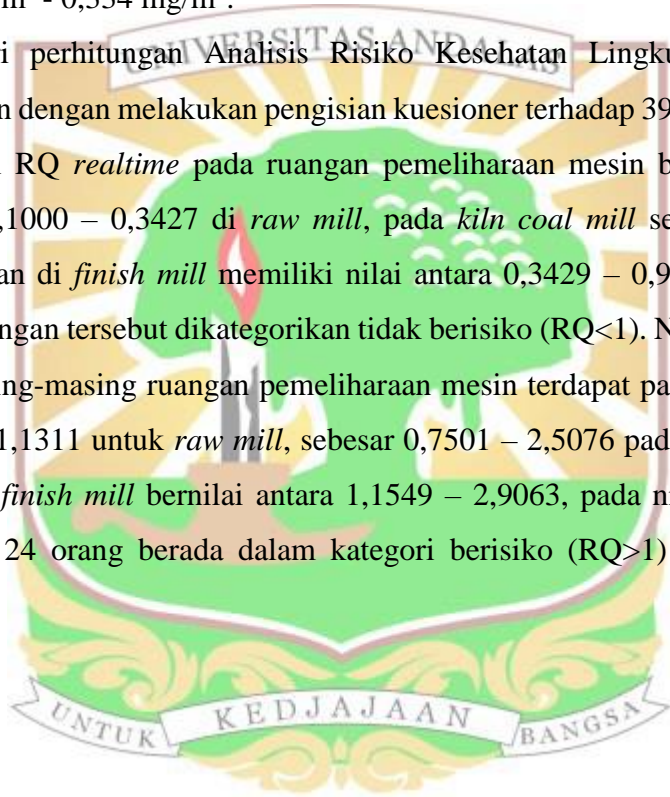
## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah

1. Konsentrasi  $PM_{2,5}$  memiliki nilai yang berbeda-beda pada *raw mill*, *kiln coal mill*, dan *finish mill*. Nilai konsentrasi  $PM_{2,5}$  pada ruangan pemeliharaan mesin berada dalam rentang  $0,112 \text{ mg/m}^3 - 0,161 \text{ mg/m}^3$  di *raw mill*,  $0,192 \text{ mg/m}^3 - 0,268 \text{ mg/m}^3$  pada *kiln coal mill*, dan pada *finish mill* berada dalam rentang  $0,285 \text{ mg/m}^3 - 0,334 \text{ mg/m}^3$ .
2. Hasil dari perhitungan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) didapatkan dengan melakukan pengisian kuesioner terhadap 39 pekerja dengan hasil nilai RQ *realtime* pada ruangan pemeliharaan mesin berada di dalam rentang  $0,1000 - 0,3427$  di *raw mill*, pada *kiln coal mill* sebesar  $0,2477 - 0,7191$ , dan di *finish mill* memiliki nilai antara  $0,3429 - 0,9063$ , yang pada ketiga ruangan tersebut dikategorikan tidak berisiko ( $RQ < 1$ ). Nilai RQ *lifetime* pada masing-masing ruangan pemeliharaan mesin terdapat pada rentang nilai  $0,3665 - 1,1311$  untuk *raw mill*, sebesar  $0,7501 - 2,5076$  pada *kiln coal mill*, dan pada *finish mill* bernilai antara  $1,1549 - 2,9063$ , pada nilai RQ *lifetime* sebanyak 24 orang berada dalam kategori berisiko ( $RQ > 1$ ) akibat pajanan  $PM_{2,5}$ .



## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan terkait analisis risiko PM<sub>2,5</sub>, khususnya mengenai gangguan fatal pada paru-paru yang dialami oleh pekerja, serta respon tubuh seperti analisis gizi pada pekerja yang memiliki nilai RQ>1
2. Penelitian selanjutnya dapat mengukur konsentrasi udara pada pekerja di unit lainnya untuk dibandingkan dengan penelitian ini.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Jainal. (2019). Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya Dari Polusi Udara. Pekanbaru: Universitas Graha Nusantara. ISBN: 978-979-792-691-5
- Achmad, et.al. (2024). *Environmental Risk Assessment of Particulate Matter (PM<sub>2,5</sub>) and Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Exposure at Workers in Production Unit of a Cement Plant in Indonesia*. *International Journal of Chemical and Biochemical Science(IJCBS)* 25(15). Makasar: Hasanuddin University. ISSN: 2226-9614
- Alfi TD. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) pada Masyarakat di Perumnas Indarung Sekitar PT. Semen Padang Tahun 2021 [Skripsi] [Internet]. Universitas Andalas; 2021. Tersedia pada: <http://scholar.unand.ac.id/78185/>
- Dirjen PP dan PL Kemenkes. (2012). Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) . Jakarta: Kementerian Kesehatan.
- Ki-Hyun Kim, Ehsanul Kabir, Shamin Kabir, A review on the human health impact of airborne particulate matter, *Environment International*, Volume 74, 2015, Pages 136-143, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>.
- Liu, Y., Zhou, Y. & Lu, J. Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance. *Sci Rep* 10, 14518 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71338-7>
- Melanie S. Hammer, Aaron van Donkelaar, Chi Li, Alexei Lyapustin, Andrew M. Sayer, N. Christina Hsu, Robert C. Levy, Michael J. Garay, Olga V. Kalashnikova, Ralph A. Kahn, Michael Brauer, Joshua S. Apte, Daven K. Henze, Li Zhang, Qiang Zhang, Bonne Ford, Jeffrey R. Pierce, and Randall V. Martin. *Environmental Science & Technology* 2020 54 (13), 7879-7890. DOI: 10.1021/acs.est.0c01764
- Harinaldi. (2005). Prinsip-Prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains. Jakarta: PT Gelora Aksara Pratama.
- Hester, R. E., dan Harrison, R. M. (2016). Airborne Particulate Matter Sources, Atmospheric Processes and Health. Cambridge, Royal Society of Chemistry.



- Jonathan, S. (2006). *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Kumparan.com. (2018, 18 Agustus). Mengenal Pabrik Semen Indarung VI yang Canggih dan Ramah Lingkungan. Diakses pada [29 September 2024]. Dari <https://kumparan.com/kumparanbisnis/mengenal-pabrik-semen-indarung-vi-yang-canggih-dan-ramah-lingkungan>
- Kurniawati, I. D. (2017). Indikator pencemaran udara berdasarkan jumlah kendaraan dan kondisi iklim (Studi di wilayah Terminal Mangkang dan terminal Penggaron Semarang. *Jurnal Universitas Muhamadiyah Semarang*
- Maulana, I., Mulyasari, I. dan Pontang, G. S. (2019). The Correlation Between Woekload and Energy Intake with Body Mass Index on Males Workers at CV Karoseri Laksana. *Jurnal Gizi dan Kesehatan*, 11(26), 111-112
- Maksum, T. S., & Tarigan, S. F. N. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Partikel Debu (PM2,5) Dari Aktivitas Transportasi. *Jambura Health and Sport Journal*, 4(1), 19-28.
- Menteri Kesehatan. (2016). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 70 Tahun 2016 tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. Jakarta: Peraturan Menteri Kesehatan.
- Muliane, U., & Lestari, P. (2011). Pemantauan Kualitas Udara Ambien Daerah Padat Lalu Lintas dan Komersial DKI Jakarta: Analisis Konsentrasi PM2.5 dan Black Carbon. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 17(2), 178-187.
- Nurfadillah, A. (2021). Penilaian Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Merkuri pada Ikan Kakak Merah terhadap Gangguan Fungsi Kognitif. *Journal of Health Sciences and Research*, 181-194.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (2016).
- Prabowo, K., & Muslim, B. (2018). *Penyehatan Udara*. Jakarta: Poltekkes Kemenkes Jakarta II.
- Rafaj, P., Kiesewetter, G., Gul, T., Schopp, W., Cofala, J., Klimont, Z., Purohit, P., Heyes, C., Amann, M., Broken-Kleefeld, J., Cozzi, L. 2018. *Outlook for clean*

*air in the context of sustainable development goals. Journal Global Environmental Change.* 53. 1-11

Riskiah, D. A. (2022). PROSES PRODUKSI SEMEN PORTLAND PT. SEMEN BATURAJA. *Jurnal Multidisipliner Bharasumba*, 1(03 October), 430-444

Sari, Dwi P. (2023). Analisis Konsentrasi *Particulate Matter 2,5* dan Debu *Respirable* Serta Risiko Kesehatan Lingkungan Terhadap Pekerja *Storage* Indarung IV PT Semen Padang. Padang: Universitas Andalas

Semen Padang. (2022). Laporan Tahunan PT Semen Padang Tahun 2021. Padang: PT Semen Padang.

Tanatachalert, T., Jumlongkul, A. Correlation Between Relative Humidity and Particulate Matter During the Ongoing of Pandemic: A Systematic Review. *Aerosol Sci Eng* 7, 295–302 (2023). <https://doi.org/10.1007/s41810-023-00186-5>

Usman, H. (2006). Pengantar Statistik

Zuhra, H. (2019). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Boraks pada Siswa yang Mengonsumsi Bakso di SDN Cirendeui 02 Ciputat Tahun 2019. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

Zhou, Y., Wu, T., Zhou, Y. et al. Can global warming bring more dust?. *Clim Dyn* 61, 2693–2715 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06706-w>

# LAMPIRAN



# LAMPIRAN A

(PERATURAN)



## Pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja

## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Prakata .....	ii
Pendahuluan .....	iii
1.. Ruang lingkup .....	1
2.. Istilah dan definisi .....	1
3.. Cara pengukuran .....	1
Lampiran A Formulir penimbangan berat filter .....	4
Lampiran B Formulir pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja.....	5
Lampiran C Peralatan untuk mengukur kadar debu total .....	6
Bibliografi .....	7
Gambar C.1 Alat untuk mengukur kadar debu total .....	6
Tabel A.1 Data hasil penimbangan berat debu total .....	4
Tabel B.1 Data pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja .....	5

## Prakata

Standar pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja dimaksudkan untuk mewujudkan keseragaman dalam melakukan pengukuran secara nasional dan dalam rangka upaya melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja.

Standar ini disusun oleh Subpanitia Teknis Kesehatan dan Keselamatan Kerja pada Panitia Teknis 94S, Keselamatan dan Kesehatan Kerja.

Standar ini telah dikonsensuskan di Jakarta pada tanggal 11 Nopemper 2003 yang dihadiri oleh wakil-wakil dari instansi pemerintah, serikat pekerja, perusahaan, asosiasi profesi dan universitas.



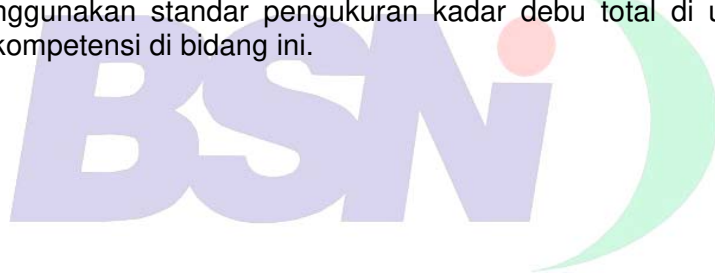
## Pendahuluan

Perkembangan industri yang makin pesat di samping berefek positif pada kehidupan juga menimbulkan problema terhadap keselamatan dan kesehatan tenaga kerja yang salah satu penyebabnya adalah debu yang timbul pada pekerjaan-pekerjaan di tempat kerja sebagai akibat proses produksi.

Efek yang timbul akibat terpapar debu total di tempat kerja dapat mengurangi kenyamanan ketika bekerja dan debu-debu jenis tertentu dapat menyebabkan efek negatif pada kesehatan tenaga kerja.

Berdasarkan kenyataan di atas perlu upaya penanggulangan dengan melakukan pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja menggunakan pengukuran kadar debu yang di bakukan sebagai SNI.

Pengukuran kadar debu total yang digunakan adalah cara gravimetri. Lingkup standar ini mencakup prinsip pengukuran, penentuan titik pengambilan contoh uji, peralatan, bahan yang digunakan, cara pengambilan contoh dan perhitungan kadar debu total di udara tempat kerja. Teknisi yang menggunakan standar pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja harus mempunyai kompetensi di bidang ini.





## Pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja

### 1 Ruang lingkup

Standar ini menguraikan pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja secara gravimetri yang meliputi tahap persiapan, pengambilan contoh, penimbangan dan perhitungan kadar debu total.

### 2 Istilah dan definisi

#### 2.1

##### **debu**

partikel padat yang terbentuk karena adanya kekuatan alami atau mekanik seperti penghalusan (*grinding*), penghancuran (*crushing*), peledakan (*blasting*), pengayakan (*shaking*) dan atau pengeboran (*drilling*)

#### 2.2

##### **debu total**

debu di udara tempat kerja pada semua ukuran

#### 2.3

##### **desikator**

alat untuk mempertahankan kelembaban di kertas filter pada skala tertentu

#### 2.4

##### **hidrofobik**

sifat yang tidak menyerap uap air

#### 2.5

##### **zona pernapasan**

area setengah lingkaran dari lubang hidung tenaga kerja dengan diameter 0,6 m di sekitar kepala dan bahu

#### 2.6

##### **flowmeter**

alat yang digunakan untuk mengukur laju kecepatan aliran udara

### 3 Cara pengukuran

#### 3.1 Prinsip

Alat diletakkan pada titik pengukuran setinggi zona pernafasan, pengambilan contoh dilakukan selama beberapa menit hingga satu jam (sesuai kebutuhan dan tujuan pengukuran) dan kadar debu total yang diukur ditentukan secara gravimetri.

#### 3.2 Peralatan

- low volume dust sampler* (LVS) dilengkapi dengan pompa pengisap udara dengan kapasitas 5 l/menit – 15 l/menit dan selang silikon atau selang teflon;
- timbangan analitik dengan sensitivitas 0,01 mg;
- pinset;

- d) desikator, suhu ( $20 \pm 1$ )°C dan kelembaban udara ( $50 \pm 5$ )%;
- e) *flowmeter*;
- f) tripod;
- g) termometer;
- h) higrometer.

### **3.3 Bahan**

Filter hidrofobik (misal: PVC, *fiberglass*) dengan ukuran pori 0,5 µm.

### **3.4 Prosedur kerja**

#### **3.4.1 Persiapan**

- a) Filter yang diperlukan disimpan di dalam desikator selama 24 jam agar mendapatkan kondisi stabil.
- b) Filter kosong pada 3.4.1 a) ditimbang sampai diperoleh berat konstan, minimal tiga kali penimbangan, sehingga diketahui berat filter sebelum pengambilan contoh, catat berat filter blanko dan filter contoh masing-masing dengan berat  $B_1$  (mg) dan  $W_1$  (mg). Masing-masing filter tersebut ditaruh di dalam *holder* setelah diberi nomor (kode).
- c) Filter contoh dimasukkan ke dalam *low volume dust sampler holder* dengan menggunakan pinset dan tutup bagian atas *holder*.
- d) Pompa pengisap udara dikalibrasi dengan kecepatan laju aliran udara 10 l/menit dengan menggunakan *flowmeter* (*flowmeter* harus dikalibrasi oleh laboratorium kalibrasi yang terakreditasi).

#### **3.4.2 Pengambilan contoh**

- a) LVS pada point 3.4.1 c) di atas dihubungkan dengan pompa pengisap udara dengan menggunakan selang silikon atau teflon.
- b) LVS diletakkan pada titik pengukuran (di dekat tenaga kerja terpapar debu) dengan menggunakan tripod kira-kira setinggi zona pernafasan tenaga kerja (seperti Gambar C.1).
- c) Pompa pengisap udara dihidupkan dan lakukan pengambilan contoh dengan kecepatan laju aliran udara (*flowrate*) 10 l/menit.
- d) Lama pengambilan contoh dapat dilakukan selama beberapa menit hingga satu jam (tergantung pada kebutuhan, tujuan dan kondisi di lokasi pengukuran).
- e) Pengambilan contoh dilakukan minimal 3 kali dalam 8 jam kerja yaitu pada awal, pertengahan dan akhir *shift* kerja.
- f) Setelah selesai pengambilan contoh, debu pada bagian luar *holder* dibersihkan untuk menghindari kontaminasi.
- g) Filter dipindahkan dengan menggunakan pinset ke kaset filter dan dimasukkan ke dalam desikator selama 24 jam.

### 3.4.3 Penimbangan

- Filter blanko sebagai pembanding dan filter contoh ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik yang sama sehingga diperoleh berat filter blanko dan filter contoh masing-masing  $B_2$  (mg) dan  $W_2$  (mg).
- Catat hasil penimbangan berat filter blanko dan filter contoh sebelum pengukuran (lihat 3.4.1.b) dan sesudah pengukuran pada formulir seperti pada Lampiran A.

### 3.4.4 Perhitungan

Kadar debu total di udara dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut dan hasilnya dicatat pada formulir seperti pada Lampiran B.

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V} \text{ (mg/l)}$$

atau

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V} \times 10^3 \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

dengan:

- C adalah kadar debu total (mg/l) atau (mg/m<sup>3</sup>);
- $W_2$  adalah berat filter contoh setelah pengambilan contoh (mg);
- $W_1$  adalah berat filter contoh sebelum pengambilan contoh (mg);
- $B_2$  adalah berat filter blanko setelah pengambilan contoh (mg);
- $B_1$  adalah berat filter blanko sebelum pengambilan contoh (mg);
- V adalah volume udara pada waktu pengambilan contoh (l).

**Lampiran A**  
(normatif)

**Formulir penimbangan berat filter**

Nama perusahaan : .....  
Alamat perusahaan : .....  
Jenis perusahaan : .....  
Tanggal pengukuran : .....

**Tabel A.1 Data hasil penimbangan berat debu total**

No.	Nomor filter	Berat filter		Berat debu total (mg)	Keterangan
		Sebelum pengukuran (mg)	Setelah pengukuran (mg)		

Analisis laboratorium

(.....)

**Lampiran B**  
(normatif)

**Formulir pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja**

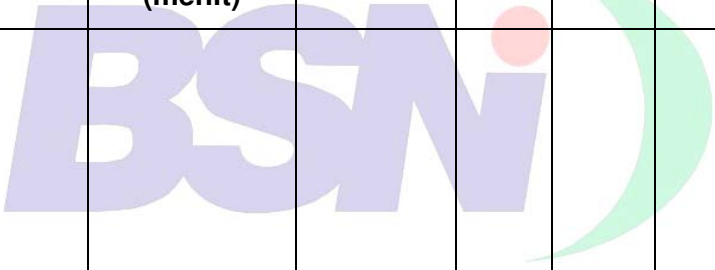
Nama perusahaan : .....

Alamat perusahaan : .....

Jenis perusahaan : .....

Tanggal pengukuran : .....

**Tabel B.1 Data pengukuran kadar debu total di udara tempat kerja**

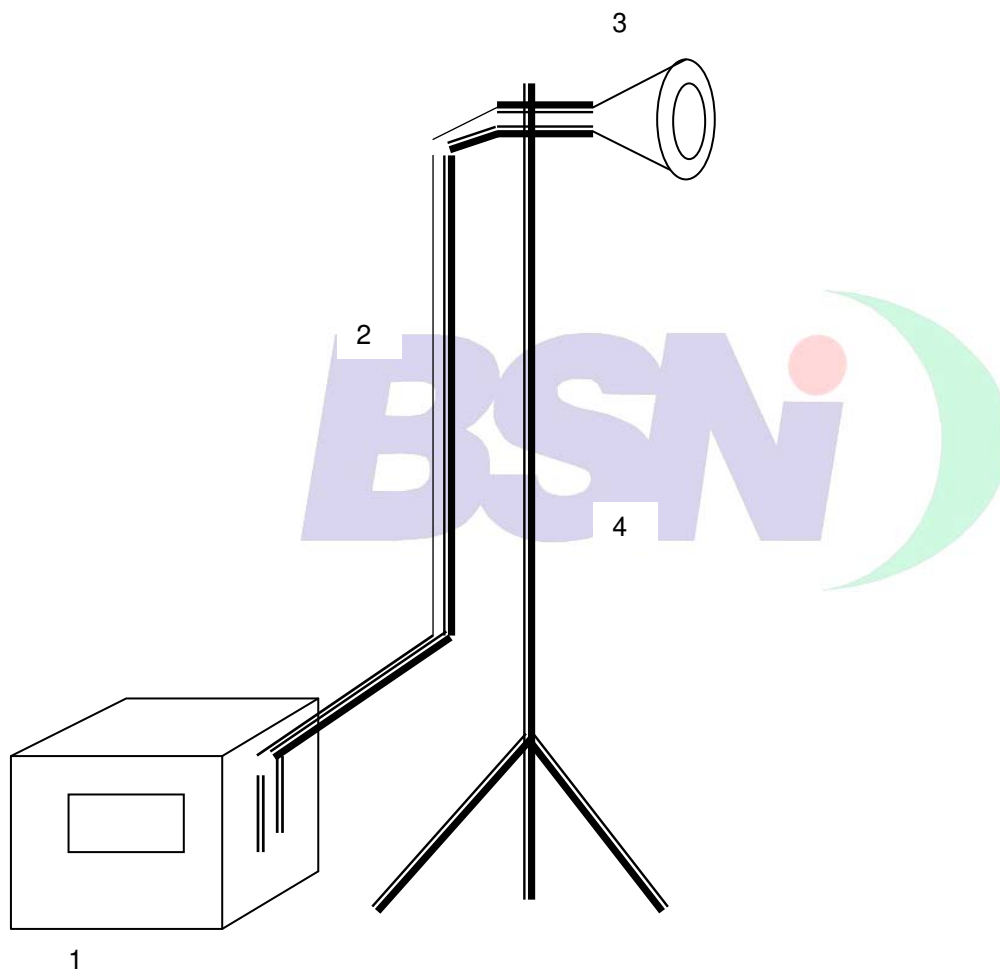
No.	Lokasi pengukuran	Nomor filter	Waktu pengukuran (menit)	Flowrate (l/menit)	SK (°C)	RH (%)	Keterangan
							
CATATAN Pengukuran suhu dan kelembaban adalah untuk mengetahui kondisi lingkungan saat pengambilan contoh.							

Petugas pengambil contoh

(.....)

Lampiran C  
(normatif)

Peralatan untuk mengukur kadar debu total



Keterangan gambar:

- 1 Pompa isap
- 2 Selang silicon
- 3 Filter holder
- 4 Tripod

Gambar C.1 Alat untuk mengukur kadar debu total

## Bibliografi

Confer, Robert G; Confer, Thomas R, Occupational Health and Safety Terms, Definition and Abbreviations, Lewis Publishers, 1994.

Debra K. Nims, Basic of Industrial Hygiene, John Wiley & Sons, Inc, 1999.

NIOSH Manual of Analytical Methods, Particulates not otherwise regulated, classified total methods 0500, 1995.

Standar Pengukuran Kadar Debu Total di Lingkungan Kerja, Pusat Hiperkes dan Keselamatan Kerja, Badan Perencanaan dan Pengembangan Departemen Tenaga Kerja, 1995.





# LAMPIRAN B

(PERHITUNGAN DATA)



**Lampiran B.1-Hasil Pengukuran Kondisi Iklim Kerja**

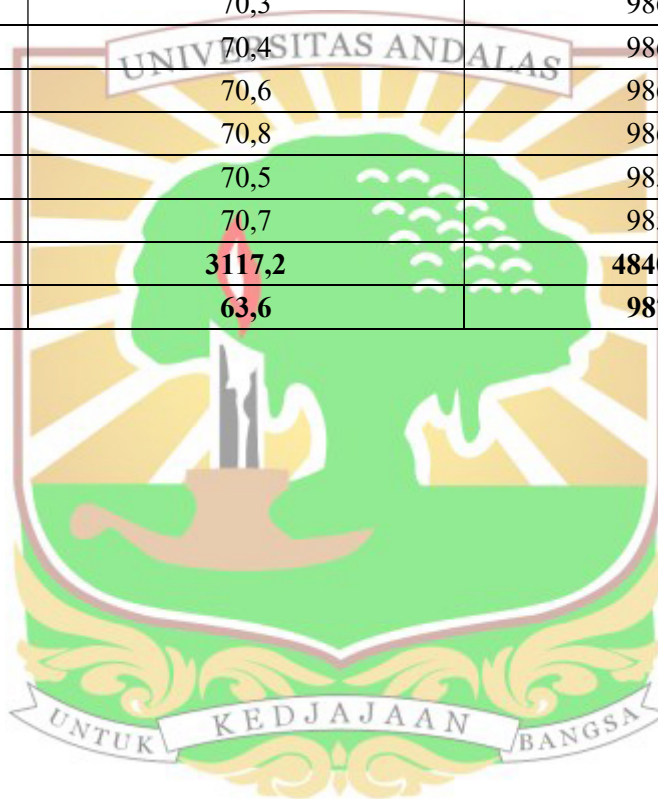
• **Tempat** : *Kiln Coal Mill (1)*

**Hari/Tanggal** : *Senin / 11 Maret 2024*

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
1	08.30	31,3	70,1	989,4	742,1
2	08.40	32,1	67,3	989,4	742,1
3	08.50	32,6	66,5	989,4	742,1
4	09.00	33,3	64,0	989,4	742,1
5	09.10	34,1	64,3	989,4	742,1
6	09.20	34,9	63,2	989,4	742,1
7	09.30	35,2	60,2	989,3	742,0
8	09.40	36,1	60,8	989,4	742,1
9	09.50	37,1	59,7	989,3	742,0
10	10.00	37,0	59,4	989,3	742,0
11	10.10	37,2	58,1	989,3	742,0
12	10.20	36,8	57,5	989,3	742,0
13	10.30	36,1	56,8	989,3	742,0
14	10.40	35,2	56,9	989,2	741,9
15	10.50	33,7	56,0	989,0	741,8
16	11.00	32,9	57,3	988,9	741,7
17	11.10	32,8	51,3	988,8	741,6
18	11.20	32,5	53,5	988,7	741,5
19	11.30	32,1	55,2	988,6	741,5
20	11.40	31,9	55,8	988,5	741,4

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
21	11.50	32,3	60,9	988,4	741,3
22	12.00	31,4	59,9	988,3	741,2
23	12.10	32,7	57,8	988,2	741,2
24	12.20	33,9	58,7	988,1	741,1
25	12.30	39,9	67,8	988,0	741,0
26	12.40	40,1	67,8	987,9	740,9
27	12.50	40,0	66,7	987,6	740,7
28	13.00	40,3	66,2	987,5	740,6
29	13.10	39,3	66,2	987,4	740,6
30	13.20	36,2	66,1	987,3	740,5
31	13.30	36,1	66,4	987,2	740,4
32	13.40	35,5	66,2	987,1	740,3
33	13.50	35,3	66,3	987,0	740,3
34	14.00	34,9	66,1	986,9	740,2
35	14.10	34,3	65,7	986,9	740,2
36	14.20	34,1	65,0	986,8	740,1
37	14.30	34,1	64,2	986,7	740,0
38	14.40	33,9	64,9	986,6	740,0
39	14.50	33,8	65,5	986,5	739,9
40	15.00	33,8	66,4	986,4	739,8
41	15.10	33,9	66,9	986,3	739,7
42	15.20	34,3	68,2	986,3	739,7
43	15.30	34,5	70,1	986,2	739,7

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
44	15.40	34,4	70,3	986,1	739,6
45	15.50	34,6	70,4	986,1	739,6
46	16.00	34,7	70,6	986,1	739,6
47	16.10	35,1	70,8	986,0	739,5
48	16.20	34,9	70,5	985,9	739,4
49	16.30	34,7	70,7	985,8	739,4
<b>Jumlah</b>		<b>1707,9</b>	<b>3117,2</b>	<b>48404,9</b>	<b>36303,7</b>
<b>Rata-rata</b>		<b>34,9</b>	<b>63,6</b>	<b>987,9</b>	<b>740,9</b>

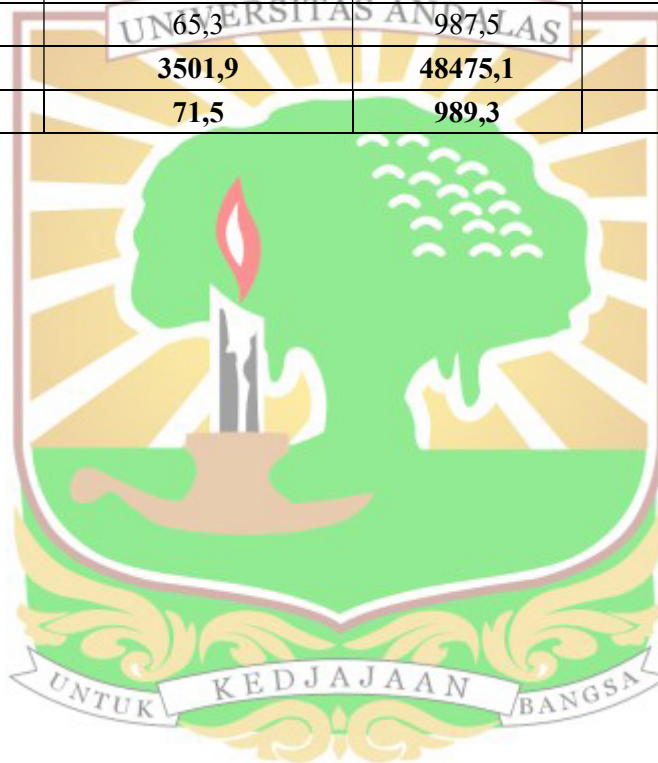


- **Tempat** : *Finish Mill (1)*
- Hari/Tanggal** : *Selasa / 12 Maret 2024*

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
1	08.30	28,9	80,7	991,1	743,3
2	08.40	29,3	80,5	991,0	743,3
3	08.50	29,8	80,1	991,0	743,3
4	09.00	32,3	79,7	991,0	743,3
5	09.10	32,4	79,3	990,9	743,2
6	09.20	32,6	78,9	990,8	743,1
7	09.32	32,6	78,9	990,9	743,2
8	09.40	33,1	78,1	990,8	743,1
9	09.50	33,7	77,8	990,7	743,0
10	10.00	33,9	77,5	990,6	743,0
11	10.10	34,3	77,2	990,5	742,9
12	10.20	33,8	76,9	990,5	742,9
13	10.32	32,5	76,6	990,4	742,8
14	10.40	32,1	76,5	990,3	742,7
15	10.50	32,3	76,3	990,2	742,7
16	11.00	32,2	76,1	990,2	742,7
17	11.10	32,4	75,8	990,1	742,6
18	11.20	32,6	75,1	989,9	742,4
19	11.32	32,7	74,7	989,9	742,4
20	11.40	33,1	74,0	989,8	742,4
21	11.50	34,4	72,8	989,8	742,4
22	12.00	34,1	72,1	989,8	742,4

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
23	12.10	34,3	71,5	989,8	742,4
24	12.20	33,7	70,6	989,7	742,3
25	12.32	33,3	69,5	989,6	742,2
26	12.40	32,6	69,4	989,5	742,1
27	12.50	32,5	69,1	989,3	742,0
28	13.00	32,2	68,7	989,2	741,8
29	13.10	32,7	68,5	989,1	741,7
32	13.20	32,8	68,1	989,0	741,6
33	13.32	32,1	67,7	988,9	741,7
34	13.40	29,8	66,9	988,8	741,6
33	13.50	29,8	66,6	988,7	741,5
34	14.00	29,5	65,6	988,6	741,5
35	14.10	29,1	65,1	988,5	741,4
36	14.20	28,8	64,8	988,5	741,4
37	14.32	28,2	65,1	988,4	741,3
38	14.40	29,4	65,2	988,3	741,2
39	14.50	32,3	65,4	988,1	741,1
40	15.00	33,1	65,5	987,8	740,9
41	15.10	33,3	66,3	987,6	740,7
42	15.20	34,6	66,3	987,4	740,6
43	15.32	34,9	66,2	987,1	740,3
44	15.40	34,5	66,0	986,9	740,2
45	15.50	34,1	65,9	986,8	740,1
46	16.00	33,7	65,9	986,7	740,0

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
47	16.10	33,3	65,7	987,6	740,7
48	16.20	29,9	65,4	987,5	740,6
49	16.32	29,5	65,3	987,5	740,6
<b>Jumlah</b>		<b>1579,1</b>	<b>3501,9</b>	<b>48475,1</b>	<b>36356,3</b>
<b>Rata-rata</b>		<b>32,2</b>	<b>71,5</b>	<b>989,3</b>	<b>742,0</b>



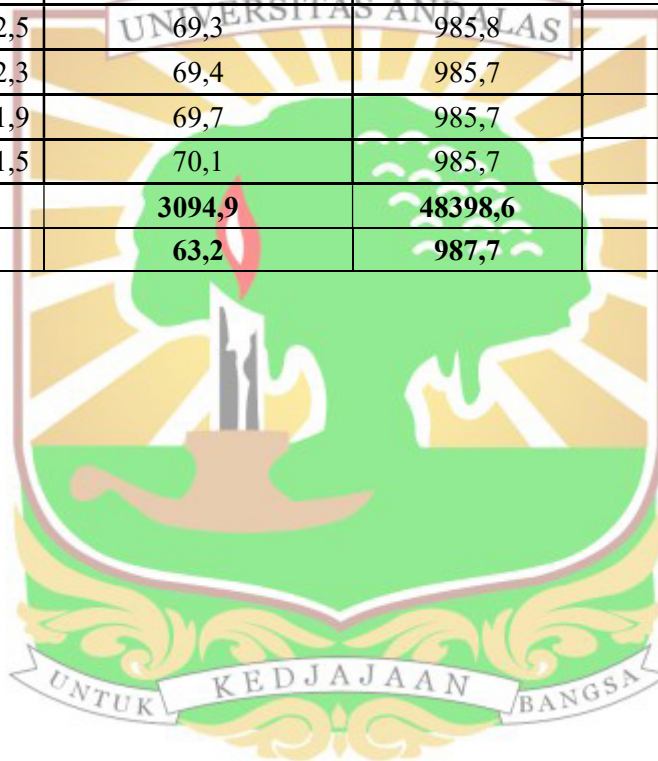
- **Tempat** : *Raw Mill (1)*
- Hari/Tanggal** : *Rabu / 13 Maret 2024*

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
1	08.30	28,9	69,3	990,1	742,6
2	08.40	30,2	68,9	990,1	742,6
3	08.50	30,7	67,5	990,0	742,5
4	09.00	31,5	67,5	989,9	742,4
5	09.10	32,1	66,8	989,8	742,4
6	09.20	32,5	66,3	989,7	742,3
7	09.30	32,9	65,9	989,6	742,2
8	09.40	33	65,1	989,6	742,2
9	09.50	33,2	64,7	989,6	742,2
10	10.00	33,3	63,1	989,5	742,1
11	10.10	32,9	62,8	989,5	742,1
12	10.20	34,4	60,7	989,4	742,1
13	10.30	35,3	58,8	989,3	742,0
14	10.40	34,1	58,6	989,2	741,9
15	10.50	34,5	58,4	989,1	741,8
16	11.00	34,7	58,3	988,9	741,7
17	11.10	33,9	57,8	988,8	741,6
18	11.20	34,1	58	988,6	741,5
19	11.30	34,4	58,1	988,3	741,2
20	11.40	34,3	57,5	988,1	741,1

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
21	11.50	32,2	57,3	987,9	740,9
22	12.00	31,8	54,9	987,8	740,9
23	12.10	32,5	55,3	987,7	740,8
24	12.20	33,3	56,5	987,7	740,8
25	12.30	34,4	57,7	987,6	740,7
26	12.40	34,1	57,5	987,5	740,6
27	12.50	33,9	58,1	987,3	740,5
28	13.00	34,3	60,3	987,2	740,4
29	13.10	33,2	61,1	987,1	740,3
30	13.20	32,5	61,7	987,0	740,3
31	13.30	32,1	63	986,8	740,1
32	13.40	32,9	61,7	986,7	740,0
33	13.50	33,6	62,8	986,6	740,0
34	14.00	35,7	62,4	986,5	739,9
35	14.10	35,7	61,4	986,4	739,8
36	14.20	35,7	63,7	986,3	739,7
37	14.30	36	64,2	986,2	739,7
38	14.40	36,1	65,7	986,2	739,7
39	14.50	35,7	66,5	986,1	739,6
40	15.00	35,3	68,5	986,1	739,6
41	15.10	33,7	67,8	986,1	739,6
42	15.20	34,1	68,1	986,0	739,5
43	15.30	33,6	68,3	986,0	739,5



Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
44	15.40	33,2	68,7	985,9	739,4
45	15.50	32,9	69,1	985,9	739,4
46	16.00	32,5	69,3	985,8	739,4
47	16.10	32,3	69,4	985,7	739,3
48	16.20	31,9	69,7	985,7	739,3
49	16.30	31,5	70,1	985,7	739,3
<b>Jumlah</b>		<b>1637,6</b>	<b>3094,9</b>	<b>48398,6</b>	<b>36299,0</b>
<b>Rata-rata</b>		<b>33,4</b>	<b>63,2</b>	<b>987,7</b>	<b>740,8</b>

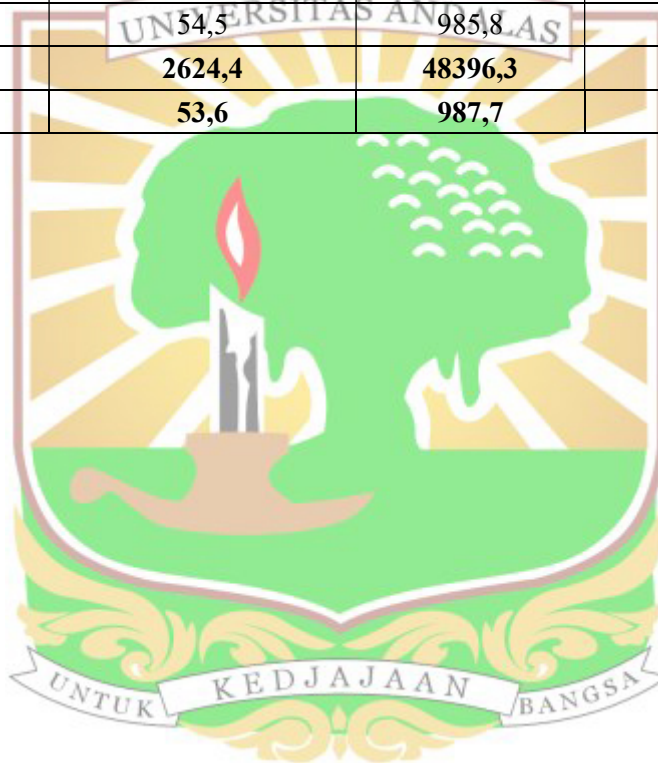


- **Tempat** : *Kiln Coal Mill (2)*
- Hari/Tanggal** : *Kamis / 14 Maret 2024*

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
1	08.30	32,3	60,1	989,4	742,1
2	08.40	33,1	59,3	989,4	742,1
3	08.50	33,6	57,1	989,4	742,1
4	09.00	34,3	56,8	989,4	742,1
5	09.10	35,1	56,2	989,4	742,1
6	09.20	35,9	55,7	989,4	742,1
7	09.30	36,2	54,1	989,3	742,0
8	09.40	37,1	53,2	989,4	742,1
9	09.50	38,1	51,7	989,3	742,0
10	10.00	38,0	50,9	989,4	742,1
11	10.10	38,2	51,2	989,3	742,0
12	10.20	37,8	50,1	989,3	742,0
13	10.30	37,1	49,2	989,3	742,0
14	10.40	36,2	51,4	989,2	741,9
15	10.50	34,7	54,2	989,1	741,8
16	11.00	33,9	55,1	989,0	741,8
17	11.10	33,8	55,7	988,8	741,6
18	11.20	33,5	60,3	988,6	741,5
19	11.30	33,1	62,3	988,4	741,3
20	11.40	32,9	63,2	988,3	741,2
21	11.50	33,3	59,1	988,2	741,2
22	12.00	32,4	59,7	988,2	741,2

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
23	12.10	33,7	59,5	988,1	741,1
24	12.20	34,8	56,3	987,9	740,9
25	12.30	36,0	45,1	987,6	740,7
26	12.40	36,1	44,9	987,5	740,6
27	12.50	37,0	43,3	987,4	740,6
28	13.00	37,3	41,1	987,2	740,4
29	13.10	38,3	44,8	987,1	740,3
30	13.20	37,2	45,2	987,0	740,3
31	13.30	37,1	45,7	986,8	740,1
32	13.40	36,5	46,5	986,7	740,0
33	13.50	36,3	47,1	986,6	740,0
34	14.00	35,3	51,8	986,5	739,9
35	14.10	35,3	52,6	986,4	739,8
36	14.20	35,1	53,2	986,3	739,7
37	14.30	35,1	54,6	986,2	739,7
38	14.40	34,9	56,1	986,1	739,6
39	14.50	34,8	56,5	986,1	739,6
40	15.00	34,8	56,9	986,1	739,6
41	15.10	34,9	56,8	986,1	739,6
42	15.20	35,3	56,1	986,0	739,5
43	15.30	35,5	55,9	985,9	739,4
44	15.40	35,4	55,6	985,9	739,4
45	15.50	35,6	55,1	985,9	739,4
46	16.00	35,7	54,7	985,9	739,4

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
47	16.10	36,1	53,8	985,9	739,4
48	16.20	35,9	54,1	985,8	739,4
49	16.30	35,7	54,5	985,8	739,4
<b>Jumlah</b>		<b>1736,3</b>	<b>2624,4</b>	<b>48396,3</b>	<b>36297,2</b>
<b>Rata-rata</b>		<b>35,4</b>	<b>53,6</b>	<b>987,7</b>	<b>740,8</b>

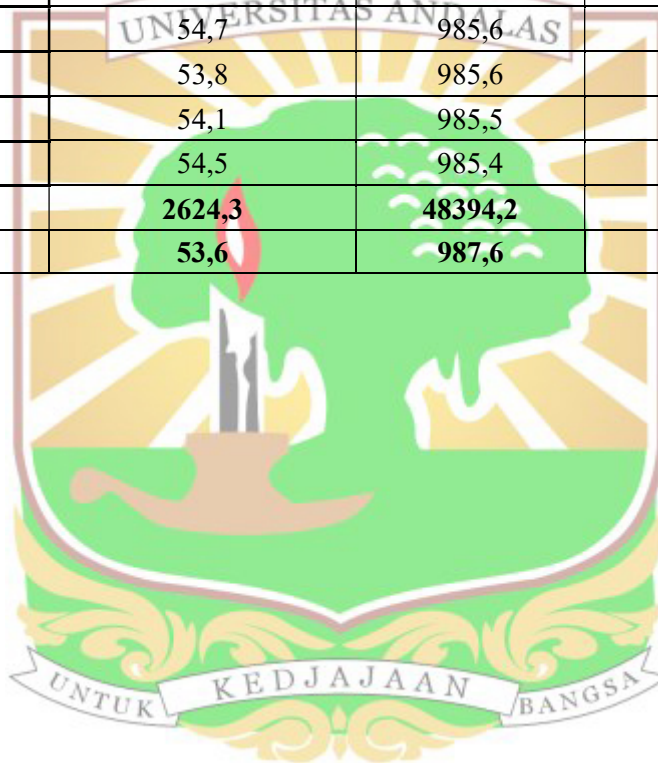


- **Tempat** : *Kiln Coal Mill (3)*
- Hari/Tanggal** : *Jum'at / 15 Maret 2024*

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
1	08.30	33,7	60,1	989,8	742,4
2	08.40	34,4	59,3	989,7	742,3
3	08.50	34,9	57,1	989,7	742,3
4	09.00	36	56,8	989,6	742,2
5	09.10	35,9	56,2	989,6	742,2
6	09.20	36	55,7	989,5	742,1
7	09.30	36,1	54,1	989,5	742,1
8	09.40	36,3	53,2	989,4	742,1
9	09.50	36,8	51,7	989,4	742,1
10	10.00	37,2	50,9	989,3	742,0
11	10.10	37,7	51,2	989,2	741,9
12	10.20	38	50,1	989,1	741,8
13	10.30	38,2	49,2	988,9	741,7
14	10.40	38,3	51,4	988,8	741,6
15	10.50	38,6	54,2	988,7	741,5
16	11.00	39,5	55,1	988,6	741,5
17	11.10	41,5	55,7	988,5	741,4
18	11.20	39,7	60,3	988,4	741,3
19	11.30	38,2	62,3	988,3	741,2
20	11.40	37,8	63,2	988,1	741,1

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
21	11.50	37,7	59,1	988,0	741,0
22	12.00	38,3	59,7	987,9	740,9
23	12.10	38,1	59,5	987,8	740,9
24	12.20	38,5	56,3	987,7	740,8
25	12.30	37,1	45,1	987,6	740,7
26	12.40	37,3	44,9	987,4	740,6
27	12.50	37,7	43,3	987,3	740,5
28	13.00	37,3	41,0	987,1	740,3
29	13.10	36,7	44,8	987,1	740,3
30	13.20	36,6	45,2	987,0	740,3
31	13.30	36,5	45,7	986,9	740,2
32	13.40	35,6	46,5	986,8	740,1
33	13.50	35,4	47,1	986,8	740,1
34	14.00	35,4	51,8	986,7	740,0
35	14.10	35,7	52,6	986,5	739,9
36	14.20	35,8	53,2	986,4	739,8
37	14.30	35,3	54,6	986,3	739,7
38	14.40	35,1	56,1	986,4	739,8
39	14.50	34,5	56,5	986,2	739,7
40	15.00	34,5	56,9	986,1	739,6
41	15.10	34,4	56,8	986,0	739,5
42	15.20	34,1	56,1	985,9	739,4
43	15.30	34,2	55,9	986,8	740,1

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
44	15.40	33,9	55,6	985,7	739,3
45	15.50	33,7	55,1	985,6	739,2
46	16.00	32,9	54,7	985,6	739,2
47	16.10	32,4	53,8	985,6	739,2
48	16.20	32,4	54,1	985,5	739,1
49	16.30	32,1	54,5	985,4	739,1
<b>Jumlah</b>		<b>1774,0</b>	<b>2624,3</b>	<b>48394,2</b>	<b>36295,7</b>
<b>Rata-rata</b>		<b>36,2</b>	<b>53,6</b>	<b>987,6</b>	<b>740,7</b>



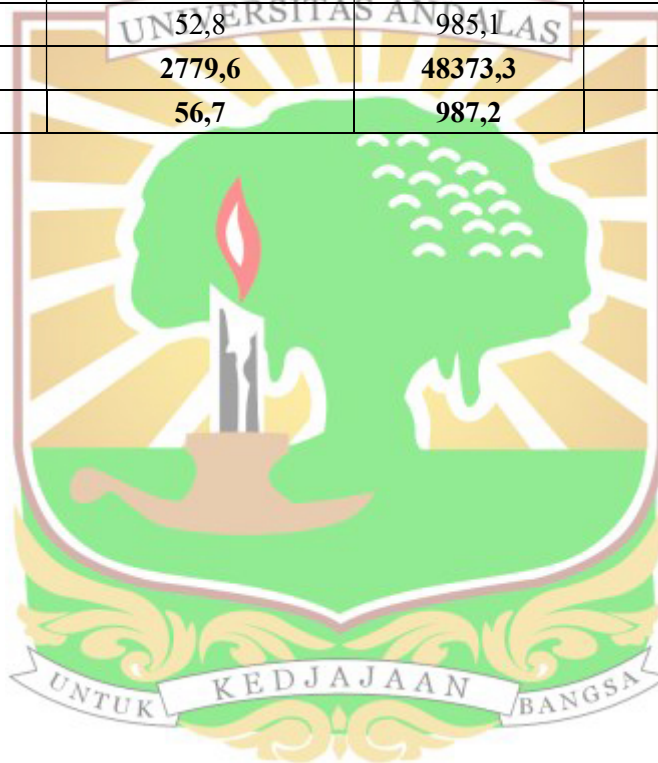
- **Tempat** : *Raw Mill (2)*
- Hari/Tanggal** : *Sabtu / 16 Maret 2024*

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
1	08.30	29,7	80,3	988,4	741,3
2	08.40	30,2	79,2	988,3	741,2
3	08.50	30,7	76,1	988,4	741,3
4	09.00	31,2	73,5	988,3	741,2
5	09.10	31,7	72,1	988,4	741,3
6	09.20	32,3	65,7	988,4	741,3
7	09.30	32,6	61,7	988,4	741,3
8	09.40	32,9	60,9	988,4	741,3
9	09.50	33,0	60,3	988,4	741,3
10	10.00	33,8	59,5	988,3	741,2
11	10.10	34,3	58,1	988,4	741,3
12	10.20	34,8	57,3	988,4	741,3
13	10.30	35,3	56,7	988,4	741,3
14	10.40	34,9	56,9	988,4	741,3
15	10.50	35,6	56,0	988,3	741,2
16	11.00	35,8	55,8	988,3	741,2
17	11.10	35,7	56,1	988,2	741,2
18	11.20	35,3	56,3	988,2	741,2
19	11.30	34,7	57,5	988,1	741,1
20	11.40	34,1	58,1	988,1	741,1
21	11.50	34,8	57,4	988,0	741,0
22	12.00	35,1	56,8	988,0	741,0



Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
23	12.10	35,5	56,3	987,7	740,8
24	12.20	34,9	56,9	987,7	740,8
25	12.30	35,1	56,2	987,6	740,7
26	12.40	35,9	55,4	987,5	740,6
27	12.50	36,8	54,3	987,4	740,6
28	13.00	37,2	53,2	987,3	740,5
29	13.10	36,5	53,0	987,2	740,4
30	13.20	36,3	52,8	987,1	740,3
31	13.30	36,7	51,7	987,0	740,3
32	13.40	37,8	51,0	986,9	740,2
33	13.50	37,5	50,8	986,6	740,0
34	14.00	37,1	50,2	986,5	739,9
35	14.10	36,7	49,8	986,2	739,7
36	14.20	37,1	48,1	986,1	739,6
37	14.30	36,5	49,3	986,1	739,6
38	14.40	35,5	50,2	986,0	739,5
39	14.50	35,1	50,8	985,8	739,4
40	15.00	34,9	50,8	985,7	739,3
41	15.10	34,7	50,9	985,5	739,1
42	15.20	34,1	51,2	985,5	739,1
43	15.30	33,3	51,5	985,5	739,1
44	15.40	32,8	51,7	985,5	739,1
45	15.50	31,7	51,9	985,4	739,1
46	16.00	30,5	52,0	985,4	739,1

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
47	16.10	29,9	52,0	985,3	739,0
48	16.20	29,6	52,5	985,2	738,9
49	16.30	29,0	52,8	985,1	738,8
<b>Jumlah</b>		<b>1677,2</b>	<b>2779,6</b>	<b>48373,3</b>	<b>36280,0</b>
<b>Rata-rata</b>		<b>34,2</b>	<b>56,7</b>	<b>987,2</b>	<b>740,4</b>

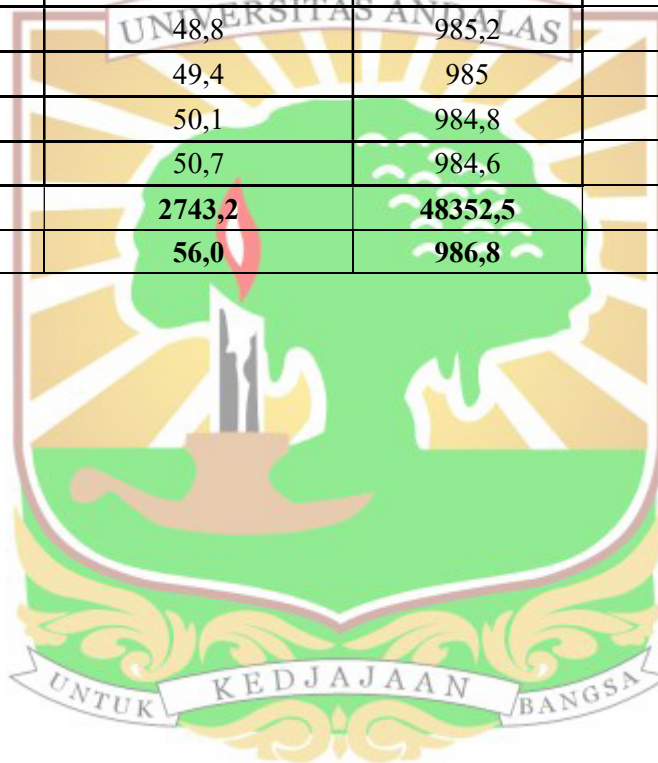


- **Tempat** : Raw Mill (3)
- Hari/Tanggal** : Minggu / 17 Maret 2024

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
1	08.30	30,3	82,6	988,5	741,4
2	08.40	31,0	82,3	988,5	741,4
3	08.50	31,3	82,1	988,4	741,3
4	09.00	31,8	81,6	988,3	741,2
5	09.10	32,0	81,1	988,3	741,2
6	09.20	32,3	80,3	988,2	741,2
7	09.30	32,6	74,5	988,1	741,1
8	09.40	33,0	73,1	988	741,0
9	09.50	33,4	62,4	987,9	740,9
10	10.00	34,1	61,2	987,8	740,9
11	10.10	34,3	60,5	987,7	740,8
12	10.20	34,4	59,4	987,6	740,7
13	10.30	34,6	58,7	987,5	740,6
14	10.40	34,9	51,8	987,6	740,7
15	10.50	35,0	49,1	987,5	740,6
16	11.00	35,7	47,5	987,4	740,6
17	11.10	36,1	46,1	987,3	740,5
18	11.20	36,5	45,8	987,4	740,6
19	11.30	36,9	54,2	987,3	740,5
20	11.40	37,4	52,9	987,3	740,5

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
21	11.50	38,2	52,7	987,2	740,4
22	12.00	38,4	53,3	987,1	740,3
23	12.10	38,6	50,7	987,1	740,3
24	12.20	38,9	46,2	986,9	740,2
25	12.30	38,5	50,3	986,8	740,1
26	12.40	38,3	52,1	986,7	740,0
27	12.50	38,1	51,9	986,6	740,0
28	13.00	37,8	51,1	986,7	740,0
29	13.10	37,5	50,9	986,6	740,0
30	13.20	37,1	50,3	986,5	739,9
31	13.30	36,6	51,7	986,4	739,8
32	13.40	36,4	50,5	986,3	739,7
33	13.50	36,2	51,1	986,4	739,8
34	14.00	36,0	59,4	986,3	739,7
35	14.10	36,4	59,7	986,2	739,7
36	14.20	35,6	59,1	986,1	739,6
37	14.30	35,5	58,3	986	739,5
38	14.40	35,4	43,3	985,9	739,4
39	14.50	35,1	43,5	985,8	739,4
40	15.00	34,8	44,2	985,7	739,3
41	15.10	34,7	43,7	985,6	739,2
42	15.20	33,9	43,3	985,5	739,1
43	15.30	33,5	45,3	985,4	739,1

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
44	15.40	33,1	46,9	985,3	739,0
45	15.50	32,8	47,5	985,3	739,0
46	16.00	32,5	48,8	985,2	738,9
47	16.10	32,4	49,4	985	738,8
48	16.20	32,1	50,1	984,8	738,6
49	16.30	31,4	50,7	984,6	738,5
<b>Jumlah</b>		<b>1713,4</b>	<b>2743,2</b>	<b>48352,5</b>	<b>36264,4</b>
<b>Rata-rata</b>		<b>35,0</b>	<b>56,0</b>	<b>986,8</b>	<b>740,1</b>

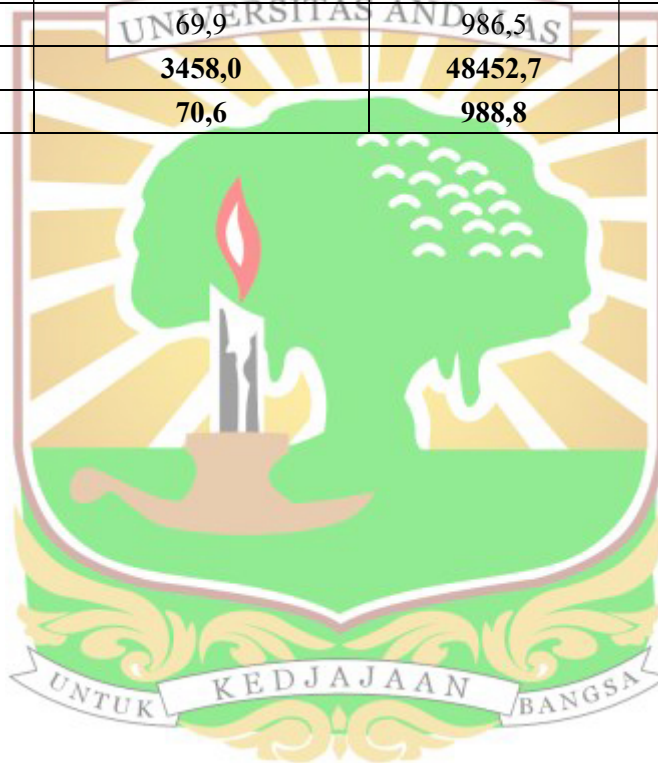


- **Tempat** : *Finish Mill (2)*
- Hari/Tanggal** : *Senin / 18 Maret 2024*

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
1	08.30	30,5	83,0	990,8	743,1
2	08.40	31,1	82,3	990,8	743,1
3	08.50	31,7	81,9	990,7	743,0
4	09.00	32,4	81,3	990,6	743,0
5	09.10	32,2	80,7	990,7	743,0
6	09.20	32,1	80,3	990,6	743,0
7	09.30	32,3	79,6	990,9	743,2
8	09.40	32,4	79,3	991,0	743,3
9	09.50	32,4	78,7	990,9	743,2
10	10.00	32,8	78,1	990,9	743,2
11	10.10	33,5	77,9	990,8	743,1
12	10.20	34,3	77,3	990,8	743,1
13	10.30	35,4	76,8	990,7	743,0
14	10.40	35,5	76,3	990,6	743,0
15	10.50	35,5	75,8	990,4	742,8
16	11.00	35,5	75,2	990,3	742,7
17	11.10	35,9	74,7	990,2	742,7
18	11.20	36,7	74,0	990,1	742,6
19	11.30	35,4	73,8	990,0	742,5
20	11.40	35,2	73,1	989,8	742,4
21	11.50	35,1	71,3	989,7	742,3
22	12.00	35,0	71,6	989,5	742,1

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
23	12.10	34,7	71,3	989,3	742,0
24	12.20	34,3	70,2	989,0	741,8
25	12.30	34,2	71,3	988,8	741,6
26	12.40	34,0	68,8	988,6	741,5
27	12.50	34,1	67,1	988,4	741,3
28	13.00	33,9	66,5	988,2	741,2
29	13.10	33,6	66,5	988,0	741,0
30	13.20	33,5	61,3	987,8	740,9
31	13.30	33,1	60,7	987,6	740,7
32	13.40	33,1	59,2	987,4	740,6
33	13.50	33,0	57,4	987,4	740,6
34	14.00	33,0	59,1	987,3	740,5
35	14.10	32,8	58,8	987,2	740,4
36	14.20	33,1	61,7	987,2	740,4
37	14.30	33,5	61,8	987,2	740,4
38	14.40	33,0	62,1	987,1	740,3
39	14.50	32,7	62,9	987,1	740,3
40	15.00	32,1	63,2	987,1	740,3
41	15.10	31,8	63,8	987,0	740,3
42	15.20	30,9	65,6	987,0	740,3
43	15.30	30,3	66,2	986,9	740,2
44	15.40	30,0	66,1	986,9	740,2
45	15.50	29,8	67,2	986,8	740,1
46	16.00	29,5	68,1	986,8	740,1

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
47	16.10	29,1	68,7	986,7	740,0
48	16.20	28,7	69,5	986,6	740,0
49	16.30	28,2	69,9	986,5	739,9
<b>Jumlah</b>		<b>1612,9</b>	<b>3458,0</b>	<b>48452,7</b>	<b>36339,5</b>
<b>Rata-rata</b>		<b>32,9</b>	<b>70,6</b>	<b>988,8</b>	<b>741,6</b>



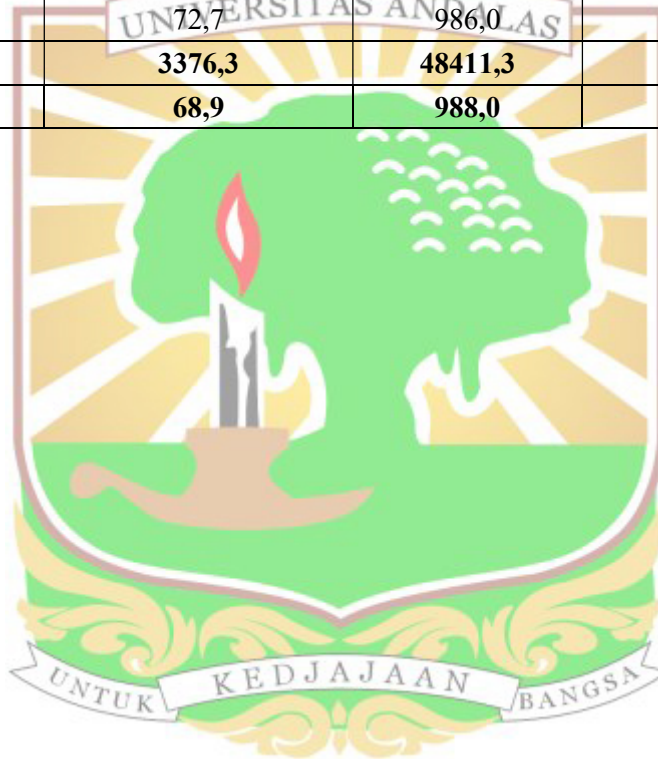


- **Tempat** : *Finish Mill (3)*
- Hari/Tanggal** : *Selasa / 19 Maret 2024*

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
1	08.30	28,7	82,3	990,8	743,1
2	08.40	28,9	82,9	990,7	743,0
3	08.50	29,3	82,1	990,6	743,0
4	09.00	29,8	81,3	990,4	742,8
5	09.10	30,5	81,1	990,3	742,7
6	09.20	31,2	80,5	990,1	742,6
7	09.30	31,7	79,4	989,7	742,3
8	09.40	32,0	78,1	989,3	742,0
9	09.50	32,5	76,0	989,1	741,8
10	10.00	32,3	73,1	987,8	740,9
11	10.10	32,6	69,9	988,7	741,5
12	10.20	32,9	72,1	988,7	741,5
13	10.30	33,5	69,5	988,7	741,5
14	10.40	34,1	69,4	988,6	741,5
15	10.50	34,2	69,1	988,5	741,4
16	11.00	34,5	68,7	988,6	741,5
17	11.10	34,7	68,5	988,5	741,4
18	11.20	34,9	68,1	988,4	741,3
19	11.30	35,1	67,7	988,3	741,2
20	11.40	35,3	66,9	988,2	741,2
21	11.50	35,6	66,6	988,1	741,1
22	12.00	35,8	65,6	988,0	741,0

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
23	12.10	35,9	65,1	987,9	740,9
24	12.20	36,1	64,8	987,8	740,9
25	12.30	36,0	65,1	987,9	740,9
26	12.40	36,1	65,2	987,8	740,9
27	12.50	35,8	65,4	987,7	740,8
28	13.00	35,7	72,8	987,7	740,8
29	13.10	35,4	72,1	987,7	740,8
30	13.20	35,1	70,3	987,6	740,7
31	13.30	34,7	70,6	987,5	740,6
32	13.40	34,6	70,3	987,4	740,6
33	13.50	34,4	65,5	987,3	740,5
34	14.00	34,5	61,3	987,3	740,5
35	14.10	34,3	60,7	987,3	740,5
36	14.20	34,0	65,5	987,2	740,4
37	14.30	33,8	61,3	987,1	740,3
38	14.40	33,7	60,7	987,0	740,3
39	14.50	33,5	59,2	986,9	740,2
40	15.00	33,3	57,4	986,8	740,1
41	15.10	33,0	59,1	986,7	740,0
42	15.20	32,8	58,8	986,6	740,0
43	15.30	32,5	61,7	986,5	739,9
44	15.40	32,0	61,8	986,4	739,8
45	15.50	31,7	62,1	986,3	739,7
46	16.00	31,1	67,8	986,4	739,8

Data	Waktu Sampling	Kondisi Meteorologi			
		Suhu (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan Udara (hpa)	Tekanan Udara (mmhg)
47	16.10	30,4	67,9	986,3	739,7
48	16.20	29,9	72,2	986,1	739,6
49	16.30	29,7	72,7	986,0	739,5
<b>Jumlah</b>		<b>1630,1</b>	<b>3376,3</b>	<b>48411,3</b>	<b>36308,5</b>
<b>Rata-rata</b>		<b>33,3</b>	<b>68,9</b>	<b>988,0</b>	<b>741,0</b>



Lampiran B.2-Hasil Pengukuran Konsentrasi Debu PM<sub>2,5</sub>

- Tempat : *Kiln Coal Mill (1)*  
 Hari/Tanggal : *Senin / 11 Maret 2024*

No	Filter		Selisih
	Sebelum Ukur	Sesudah Ukur	
1	0,15632	0,15662	0,00030
2	0,15635	0,15658	0,00023
3	0,15640	0,15646	0,00006
4	0,15596	0,15652	0,00056
5	0,15620	0,15657	0,00037
<b>Total</b>	<b>0,78123</b>	<b>0,78275</b>	<b>0,00152</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,15625</b>	<b>0,15655</b>	<b>0,00030</b>

- Tempat : *Finish Mill (1)*  
 Hari/Tanggal : *Selasa / 12 Maret 2024*

No	Filter		Selisih
	Sebelum Ukur	Sesudah Ukur	
1	0,15567	0,15583	0,00016
2	0,15559	0,15590	0,00031
3	0,15533	0,15596	0,00063
4	0,15531	0,15589	0,00058
5	0,15530	0,15582	0,00052
<b>Total</b>	<b>0,77720</b>	<b>0,77940</b>	<b>0,00220</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,15544</b>	<b>0,15588</b>	<b>0,00044</b>

- **Tempat** : *Raw Mill (1)*  
**Hari/Tanggal** : *Rabu / 13 Maret 2024*

No	Filter		Selisih
	Sebelum Ukur	Sesudah Ukur	
1	0,15530	0,15535	0,00005
2	0,15531	0,15540	0,00009
3	0,15530	0,15557	0,00027
4	0,15531	0,15559	0,00028
5	0,15533	0,15556	0,00023
<b>Total</b>	<b>0,77655</b>	<b>0,77747</b>	<b>0,00092</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,15531</b>	<b>0,15549</b>	<b>0,00018</b>

- **Tempat** : *Kiln Coal Mill (2)*  
**Hari/Tanggal** : *Kamis / 14 Maret 2024*

No	Filter		Selisih
	Sebelum Ukur	Sesudah Ukur	
1	0,15429	0,15473	0,00044
2	0,15435	0,15471	0,00036
3	0,15431	0,15469	0,00038
4	0,15410	0,15471	0,00061
5	0,15420	0,15448	0,00028
<b>Total</b>	<b>0,77125</b>	<b>0,77332</b>	<b>0,00207</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,15425</b>	<b>0,15466</b>	<b>0,00041</b>

- **Tempat** : *Kiln Coal Mill (3)*  
**Hari/Tanggal** : *Jum'at / 15 Maret 2024*

No	Filter		Selisih
	Sebelum Ukur	Sesudah Ukur	
1	0,15533	0,15570	0,00037
2	0,15531	0,15579	0,00048
3	0,15530	0,15582	0,00052
4	0,15531	0,15575	0,00044
5	0,15530	0,15572	0,00042
<b>Total</b>	<b>0,77655</b>	<b>0,77878</b>	<b>0,00223</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,15531</b>	<b>0,15576</b>	<b>0,00045</b>

- **Tempat** : *Raw Mill (2)*  
**Hari/Tanggal** : *Sabtu / 16 Maret 2024*

No	Filter		Selisih
	Sebelum Ukur	Sesudah Ukur	
1	0,15570	0,15590	0,00020
2	0,15579	0,15596	0,00017
3	0,15575	0,15589	0,00014
4	0,15572	0,15585	0,00013
5	0,15559	0,15596	0,00037
<b>Total</b>	<b>0,77855</b>	<b>0,77956</b>	<b>0,00101</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,15571</b>	<b>0,15591</b>	<b>0,00020</b>

- **Tempat** : *Raw Mill (3)*  
**Hari/Tanggal** : *Minggu / 17 Maret 2024*

No	Filter		Selisih
	Sebelum Ukur	Sesudah Ukur	
1	0,15434	0,15455	0,00021
2	0,15435	0,15464	0,00029
3	0,15431	0,15448	0,00017
4	0,15435	0,15469	0,00034
5	0,15443	0,15471	0,00028
<b>Total</b>	<b>0,77178</b>	<b>0,77307</b>	<b>0,00129</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,15436</b>	<b>0,15461</b>	<b>0,00026</b>

- **Tempat** : *Finish Mill (2)*  
**Hari/Tanggal** : *Senin / 18 Maret 2024*

No	Filter		Selisih
	Sebelum Ukur	Sesudah Ukur	
1	0,15448	0,15485	0,00037
2	0,15420	0,15485	0,00065
3	0,15425	0,15477	0,00052
4	0,15422	0,15489	0,00067
5	0,15443	0,15485	0,00042
<b>Total</b>	<b>0,77158</b>	<b>0,77421</b>	<b>0,00263</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,15432</b>	<b>0,15484</b>	<b>0,00053</b>

- **Tempat** : *Finish Mill (3)*
- Hari/Tanggal** : *Selasa / 19 Maret 2024*

No	Filter		Selisih
	Sebelum Ukur	Sesudah Ukur	
1	0,15409	0,15477	0,00068
2	0,15400	0,15477	0,00077
3	0,15409	0,15485	0,00076
4	0,15464	0,15474	0,00010
5	0,15434	0,15471	0,00037
<b>Total</b>	<b>0,77116</b>	<b>0,77384</b>	<b>0,00268</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>0,15423</b>	<b>0,15477</b>	<b>0,00054</b>

<p><b>Diketahui:</b>            Selisih berat filter: 0,00030 gram            F: 3,5 l/mnt = 0,0035 m<sup>3</sup>/mnt            T: 360 mnt            Suhu: 32,2 °C = 71,5 °K            Tekanan Udara: 983,3 kPa = 742,0 mmHg</p> <p><b>Penyelesaian:</b></p> <p><b>1. Volume saat <i>sampling</i></b></p> $V = \frac{(Q1 + Q2 + Q3 + \dots + Qn)t}{n}$ $V = \frac{(0,0035 \frac{m^3}{mnt} \times 49) \times 60}{49}$ $V = 1,68 m^3$	<p><b>2. Volume STP</b></p> $\frac{P_s \times V_s}{T_s} = \frac{P_{stp} \times V_{stp}}{T_{stp}}$ $V_{stp} = \frac{P_s \times V_s \times T_{stp}}{T_s \times P_{stp}}$ $V_{stp} = \frac{742,0 \text{ mmHg} \times 1,68 m^3 \times 273 \text{ } ^0K}{71,5 \text{ } ^0K \times 760 \text{ mmHg}}$ $V_{stp} = 1,55 m^3$	<p><b>3. Konsentrasi Debu PM<sub>2,5</sub></b></p> $C = \frac{(W_s - W_o) \times 10^6}{V_{stp}}$ $C = \frac{(0,00044) \times 10^6}{1,55 m^3}$ $C = \frac{(0,00044) \times 10^6}{1,55 m^3}$ $C = 0,285 mg/m^3$
--	--	---



### Rekapitulasi Hasil Konsentrasi PM<sub>2,5</sub>

Lokasi	Raw Mill			Kiln Coal Mill			Finish Mill		
Nomor Sampel	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Konsentrasi PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	0,111	0,1221	0,161	0,192	0,249	0,268	0,285	0,332	0,334



Lampiran B.3- Hasil Nilai *Intake* dan RQ *Realtime Lifetime* PM<sub>2,5</sub>

A. Hasil Nilai *Intake* dan RQ *Realtime*

Titik	No	C PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	tE (lama bekerja dalam sehari) (jam/hari)	fE (hari kerja dalam setahun) (hari/tahun)	Dt (lama bekerja) (tahun)	Wb (berat badan) (kg)	R (laju inhalasi), dewasa (0,83) anak2 (0,5) (m <sup>3</sup> /jam)	I realtime (inhalasi non kr) (mg/kg.hari)	RQ	Ket
Raw Mill	1	0,1609	8	270	6	64	0,83	0,0025	0,2024	Tidak Berisiko
	2	0,1609	8	270	7	65	0,83	0,0028	0,2325	Tidak Berisiko
	3	0,1609	8	300	10	70	0,83	0,0042	0,3427	Tidak Berisiko
	4	0,1609	8	270	7	75	0,83	0,0025	0,2015	Tidak Berisiko
	5	0,1609	8	300	6	75	0,83	0,0023	0,1919	Tidak Berisiko
	6	0,1609	8	300	7	70	0,83	0,0029	0,2399	Tidak Berisiko
	7	0,1609	8	270	10	65	0,83	0,0041	0,3322	Tidak Berisiko
	8	0,1609	8	300	3	72	0,83	0,0012	0,1000	Tidak Berisiko
	9	0,1609	8	300	6	70	0,83	0,0025	0,2056	Tidak Berisiko
	10	0,1609	8	270	6	61	0,83	0,0026	0,2124	Tidak Berisiko
	11	0,1609	8	300	6	65	0,83	0,0027	0,2215	Tidak Berisiko
	12	0,1609	8	300	4	93	0,83	0,0013	0,1032	Tidak Berisiko
Kiln Coal Mill	13	0,2695	8	300	9	82	0,83	0,0054	0,4411	Tidak Berisiko
	14	0,2695	8	300	11	67	0,83	0,0080	0,6598	Tidak Berisiko
	15	0,2695	8	300	17	95	0,83	0,0088	0,7191	Tidak Berisiko
	16	0,2695	8	270	12	80	0,83	0,0066	0,5425	Tidak Berisiko
	17	0,2695	8	300	7	80	0,83	0,0043	0,3516	Tidak Berisiko
	18	0,2695	8	300	7	58	0,83	0,0059	0,4850	Tidak Berisiko
	19	0,2695	8	270	8	53	0,83	0,0067	0,5459	Tidak Berisiko
	20	0,2695	8	300	7	65	0,83	0,0053	0,4328	Tidak Berisiko

Titik	No	C PM2,5(mg/m3)	tE (lama bekerja dalam sehari) (jam/hari)	fE (hari kerja dalam setahun) (hari/tahun)	Dt (lama bekerja) (tahun)	Wb (berat badan) (kg)	R (laju inhalasi), dewasa (0,83) anak2 (0,5) (m3/jam)	I realtime (inhalasi non kr) (mg/kg.hari)	RQ	Ket
	21	0,2695	8	270	5	73	0,83	0,0030	0,2477	Tidak Berisiko
	22	0,2695	8	270	6	78	0,83	0,0034	0,2782	Tidak Berisiko
	23	0,2695	8	260	6	81	0,83	0,0031	0,2580	Tidak Berisiko
	24	0,2695	8	260	6	50	0,83	0,0051	0,4179	Tidak Berisiko
	25	0,2695	8	260	6	73	0,83	0,0035	0,2863	Tidak Berisiko
Finish Mill	26	0,3343	8	270	14	88	0,83	0,0087	0,7137	Tidak Berisiko
	27	0,3343	8	300	10	55	0,83	0,0111	0,9063	Tidak Berisiko
	28	0,3343	8	300	10	101	0,83	0,0060	0,4935	Tidak Berisiko
	29	0,3343	8	300	5	61	0,83	0,0050	0,4086	Tidak Berisiko
	30	0,3343	8	300	7	59	0,83	0,0072	0,5914	Tidak Berisiko
	31	0,3343	8	300	7	55	0,83	0,0077	0,6344	Tidak Berisiko
	32	0,3343	8	300	8	83	0,83	0,0059	0,4805	Tidak Berisiko
	33	0,3343	8	300	6	55	0,83	0,0066	0,5438	Tidak Berisiko
	34	0,3343	8	300	6	50	0,83	0,0073	0,5982	Tidak Berisiko
	35	0,3343	8	300	10	58	0,83	0,0105	0,8595	Tidak Berisiko
	36	0,3343	8	260	5	63	0,83	0,0042	0,3429	Tidak Berisiko
	37	0,3343	8	260	6	62	0,83	0,0051	0,4181	Tidak Berisiko
	38	0,3343	8	260	5	63	0,83	0,0042	0,3429	Tidak Berisiko
	39	0,3343	8	260	6	62	0,83	0,0051	0,4181	Tidak Berisiko

B. Hasil Nilai *Intake* dan *RQ Lifetime*



Titik	No	C respirabel (mg/m3)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (hari bekerja) (hari/tahun)	Umur	Dt lama bekerja	Dt life time (tahun)	Wb (berat badan) (kg)	R (laju inhalasi), dewasa (0,83) anak2 (0,5) (m3/jam)	I lifetime (inhalasi non kr) (mg/kg.hari)	RQ	Ket
Raw Mill	1	0,1609	8	270	41	6	23	64	0,83	0,0095	0,7760	Tidak Berisiko
	2		8	270	35	7	30	65	0,83	0,0122	0,9966	Tidak Berisiko
	3		8	300	45	10	23	70	0,83	0,0096	0,7883	Tidak Berisiko
	4		8	270	48	7	17	75	0,83	0,0060	0,4894	Tidak Berisiko
	5		8	300	40	6	24	75	0,83	0,0094	0,7678	Tidak Berisiko
	6		8	300	41	7	24	70	0,83	0,0100	0,8226	Tidak Berisiko
	7		8	270	43	10	25	65	0,83	0,0101	0,8305	Tidak Berisiko
	8		8	300	50	3	11	72	0,83	0,0045	0,3665	Tidak Berisiko
	9		8	300	31	6	33	70	0,83	0,0138	1,1311	Berisiko
	10		8	270	46	6	18	61	0,83	0,0078	0,6372	Tidak Berisiko
	11		8	260	42	6	22	65	0,83	0,0086	0,7038	Tidak Berisiko
	12		8	260	29	4	33	93	0,83	0,0090	0,7378	Tidak Berisiko
Kiln Coal Mill	13	0,2695	8	260	39	9	28	82	0,83	0,0145	1,1892	Berisiko
	14		8	260	35	11	34	67	0,83	0,0216	1,7674	Berisiko
	15		8	260	40	17	35	95	0,83	0,0157	1,2831	Berisiko
	16		8	312	35	12	35	80	0,83	0,0223	1,8285	Berisiko

Titik	No	C respirabel (mg/m3)	tE (lama bekerja) (jam/hari)	fE (hari bekerja) (hari/tahun)	Umur	Dt lama bekerja	Dt life time (tahun)	Wb (berat badan) (kg)	R (laju inhalasi), dewasa (0,83) anak2 (0,5) (m3/jam)	I lifetime (inhalasi non kr) (mg/kg.hari)	RQ	Ket
	17	0,2695	8	260	43	7	22	80	0,83	0,0117	0,9578	Tidak Berisiko
	18		8	260	28	7	37	58	0,83	0,0271	2,2218	Berisiko
	19		8	260	42	8	24	53	0,83	0,0192	1,5771	Berisiko
	20		8	260	51	7	14	65	0,83	0,0092	0,7501	Tidak Berisiko
	21		8	312	36	5	27	73	0,83	0,0189	1,5458	Berisiko
	22		8	312	48	6	16	78	0,83	0,0105	0,8573	Tidak Berisiko
	23		8	260	40	6	24	81	0,83	0,0126	1,0319	Berisiko
	24		8	260	28	6	36	50	0,83	0,0306	2,5076	Berisiko
	25		8	260	32	6	32	73	0,83	0,0186	1,5267	Berisiko
Finish Mill	26	0,3343	8	260	42	14	30	88	0,83	0,0180	1,4728	Berisiko
	27		8	260	39	10	29	55	0,83	0,0278	2,2779	Berisiko
	28		8	260	41	10	27	101	0,83	0,0141	1,1549	Berisiko
	29		8	260	32	5	31	61	0,83	0,0268	2,1955	Berisiko
	30		8	260	30	7	35	59	0,83	0,0313	2,5628	Berisiko
	31		8	260	28	7	37	55	0,83	0,0355	2,9063	Berisiko
	32		8	260	40	8	26	83	0,83	0,0165	1,3533	Berisiko
	33		8	260	27	6	37	55	0,83	0,0355	2,9063	Berisiko
	34		8	260	40	6	24	50	0,83	0,0253	2,0737	Berisiko
	35		8	260	37	10	31	58	0,83	0,0282	2,3091	Berisiko
	36		8	260	31	5	32	63	0,83	0,0268	2,1944	Berisiko
	37		8	260	30	6	34	62	0,83	0,0289	2,3691	Berisiko
	38		8	260	31	5	32	63	0,83	0,0268	2,1944	Berisiko
	39		8	260	30	6	34	62	0,83	0,0289	2,3691	Berisiko

**Diketahui:**

$$C: 0,3343 \text{ mg/m}^3$$

$$RfC : 0,0122 \text{ mg/kg.hari}$$

$$R: 0,83 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$te: 8 \text{ jam/hari}$$

$$fe: 260 \text{ hari}$$

$$Dt: 30 \text{ tahun}$$

$$Wb: 88 \text{ kg}$$

$$tavg: 30 \times 365 \text{ hari/tahun} = 10.950$$

$$\text{hari/tahun}$$

**Penyelesaian:****1. Perhitungan nilai intake**

$$Ink = \frac{C \times R \times te \times fe \times Dt}{Wb \times tavg}$$

$$Ink = \frac{0,39 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 8 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 260 \text{ hari} \times 30 \text{ tahun}}{88 \text{ kg} \times 10.950 \text{ hari/tahun}}$$

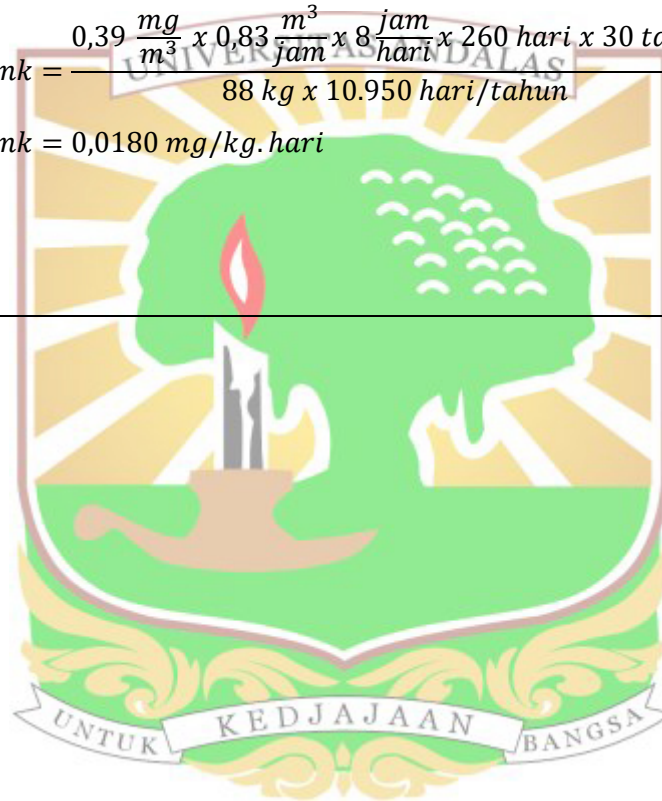
$$Ink = 0,0180 \text{ mg/kg.hari}$$

**2. Perhitungan RQ**

$$RQ = \frac{Ink}{RfC}$$

$$RQ = \frac{0,0180 \text{ mg/kg.hari}}{0,0122 \text{ mg/kg.hari}}$$

$$RQ = 1,4728 \text{ (BERISIKO)}$$



**Lampiran B.4- Hasil Perhitungan Nilai Aman dan Pengelolaan Risiko**

No	C (mg/m <sup>3</sup> )	tE (lama kerja dlm sehari) (jam/hari)	fE (hari kerja dlm setahun) (hari/tahun)	Dt (lama bekerja) (tahun)	Wb (berat badan) (kg)	R (laju inhalasi), dewasa (0,83)	RfC	Konsentrasi Aman (mg/m <sup>3</sup> )	te Waktu Paparan Aman (jam/hari)	fe Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
9	0,1609	8	300	33	70	0,83	0,0122	0,1423	7	265
13	0,2695	8	260	28	82	0,83	0,0122	0,2266	7	219
14	0,2695	8	260	34	67	0,83	0,0122	0,1525	5	147
15	0,2695	8	260	34	95	0,83	0,0122	0,2162	6	209
16	0,2695	8	312	34	80	0,83	0,0122	0,1517	5	176
18	0,2695	8	260	37	58	0,83	0,0122	0,1213	4	117
19	0,2695	8	260	24	53	0,83	0,0122	0,1709	5	165
21	0,2695	8	312	27	73	0,83	0,0122	0,1743	5	202
23	0,2695	8	260	24	81	0,83	0,0122	0,2612	8	252
24	0,2695	8	260	36	50	0,83	0,0122	0,1075	3	104
25	0,2695	8	260	32	73	0,83	0,0122	0,1765	5	170
26	0,3343	8	260	30	88	0,83	0,0122	0,2270	5	177
27	0,3343	8	260	29	55	0,83	0,0122	0,1468	4	114
28	0,3343	8	260	27	101	0,83	0,0122	0,2895	7	225
29	0,3343	8	260	31	61	0,83	0,0122	0,1523	4	118
30	0,3343	8	260	35	59	0,83	0,0122	0,1304	3	101
31	0,3343	8	260	37	55	0,83	0,0122	0,1150	3	89
32	0,3343	8	260	26	83	0,83	0,0122	0,2470	6	192
33	0,3343	8	260	37	55	0,83	0,0122	0,1150	3	89
34	0,3343	8	260	24	50	0,83	0,0122	0,1612	4	125
35	0,3343	8	260	31	58	0,83	0,0122	0,1448	3	113
36	0,3343	8	260	32	63	0,83	0,0122	0,1523	4	118
37	0,3343	8	260	34	62	0,83	0,0122	0,1411	3	110

No	C (mg/m <sup>3</sup> )	tE (lama kerja dlm sehari) (jam/hari)	fE (hari kerja dlm setahun) (hari/tahun)	Dt (lama bekerja) (tahun)	Wb (berat badan) (kg)	R (laju inhalasi), dewasa (0,83)	RfC	Konsentrasi Aman (mg/m <sup>3</sup> )	te Waktu Paparan Aman (jam/hari)	fe Frekuensi Paparan Aman (hari/tahun)
38	0,3343	8	260	32	63	0,83	0,0122	0,1523	4	118
39	0,3343	8	260	34	62	0,83	0,0122	0,1411	3	110

**Diketahui:**

C: 0,3343 mg/m<sup>3</sup>

RfC : 0,0122 mg/kg.hari

R: 0,83 m<sup>3</sup>/jam

te: 8 jam/hari

fe: 260 hari

Dt: 30 tahun

Wb: 88 kg

tavg: 30 x 365 hari/tahun = 10.950 hari/tahun

**Penyelesaian:**

**1. Perhitungan konsentrasi aman**

$$C(aman) = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{R \times te \times fe \times Dt}$$

$$C(aman) = \frac{0,0122 \text{ mg/kg.hari} \times 8 \text{ jam/hari} \times 88 \text{ kg} \times 10.950 \text{ hari/tahun}}{0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 8 \text{ jam/hari} \times 260 \text{ hari} \times 30 \text{ tahun}}$$

$$C(aman) = 0,2270 \text{ mg/m}^3$$

**2. Perhitungan waktu paparan aman**

$$te(aman) = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{R \times C \times fe \times Dt}$$

$$te(aman) = \frac{0,0122 \text{ mg/kg.hari} \times 88 \text{ kg} \times 10.650 \text{ hari}}{0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0,3343 \text{ mg/m}^3 \times 260 \text{ hari} \times 30 \text{ tahun}}$$

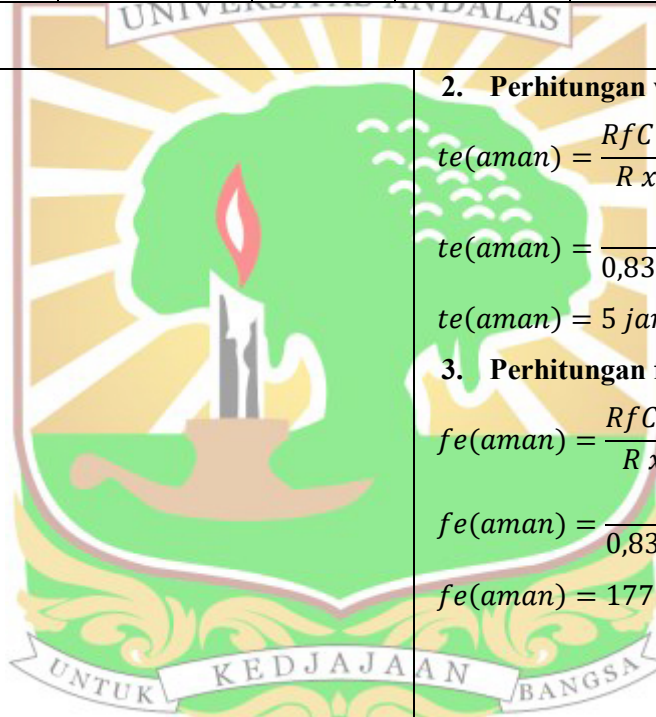
$$te(aman) = 5 \text{ jam/hari}$$

**3. Perhitungan frekuensi paparan aman**

$$fe(aman) = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{R \times C \times te \times Dt}$$

$$fe(aman) = \frac{0,0122 \text{ mg/kg.hari} \times 88 \text{ kg} \times 10.650 \text{ hari}}{0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0,3343 \text{ mg/m}^3 \times 8 \text{ jam/hari} \times 30 \text{ tahun}}$$

$$fe(aman) = 177 \text{ hari}$$







# LAMPIRAN C

(UJI KORELASI DAN REALIBEL)

CORRELATIONS

```

/VARIABLES=Umur_rasio Beratbadan_rasio Lamakerja_rasio Haribekerja_rasio Jamkerja_rasio
Perokok_rasio Riwayatpenyakit_rasio Lamamengidap_rasio Keluhan_rasio Lamakeluhan_rasio Total_rasio
/PRINT=TWOTAIL NOSIG FULL
/MISSING=PAIRWISE.

```

**Correlations**

**Correlations**

		Umur_rasio	Beratbadan_rasio	Lamakerja_rasio
Umur_rasio	Pearson Correlation	1	.290	.187
	Sig. (2-tailed)		.073	.255
	N	39	39	39
Beratbadan_rasio	Pearson Correlation	.290	1	.077
	Sig. (2-tailed)	.073		.643
	N	39	39	39
Lamakerja_rasio	Pearson Correlation	.187	.077	1
	Sig. (2-tailed)	.255	.643	
	N	39	39	39
Haribekerja_rasio	Pearson Correlation	-.156	-.074	.150
	Sig. (2-tailed)	.343	.653	.361
	N	39	39	39
Jamkerja_rasio	Pearson Correlation	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
	Sig. (2-tailed)	.	.	.
	N	39	39	39
Perokok_rasio	Pearson Correlation	-.011	-.024	.132
	Sig. (2-tailed)	.946	.887	.422
	N	39	39	39
Riwayatpenyakit_rasio	Pearson Correlation	.070	.023	.105
	Sig. (2-tailed)	.670	.889	.523
	N	39	39	39
Lamamengidap_rasio	Pearson Correlation	-.058	.022	.043
	Sig. (2-tailed)	.726	.893	.796
	N	39	39	39
Keluhan_rasio	Pearson Correlation	-.109	.072	-.100
	Sig. (2-tailed)	.507	.662	.544
	N	39	39	39
Lamakeluhan_rasio	Pearson Correlation	-.168	-.007	-.202
	Sig. (2-tailed)	.308	.968	.219
	N	39	39	39

### Correlations

		Haribekerja_rasio	Jamkerja_rasio	Perokok_rasio
Umur_rasio	Pearson Correlation	-.156	. <sup>a</sup>	-.011
	Sig. (2-tailed)	.343	.	.946
	N	39	39	39
Beratbadan_rasio	Pearson Correlation	-.074	. <sup>a</sup>	-.024
	Sig. (2-tailed)	.653	.	.887
	N	39	39	39
Lamakerja_rasio	Pearson Correlation	.150	. <sup>a</sup>	.132
	Sig. (2-tailed)	.361	.	.422
	N	39	39	39
Haribekerja_rasio	Pearson Correlation	1	. <sup>a</sup>	.157
	Sig. (2-tailed)		.	.341
	N	39	39	39
Jamkerja_rasio	Pearson Correlation	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
	Sig. (2-tailed)	.	.	.
	N	39	39	39
Perokok_rasio	Pearson Correlation	.157	. <sup>a</sup>	1
	Sig. (2-tailed)	.341	.	
	N	39	39	39
Riwayatpenyakit_rasio	Pearson Correlation	-.312	. <sup>a</sup>	.185
	Sig. (2-tailed)	.053	.	.259
	N	39	39	39
Lamamengidap_rasio	Pearson Correlation	.034	. <sup>a</sup>	.370 <sup>*</sup>
	Sig. (2-tailed)	.836	.	.020
	N	39	39	39
Keluhan_rasio	Pearson Correlation	-.332 <sup>*</sup>	. <sup>a</sup>	.295
	Sig. (2-tailed)	.039	.	.068
	N	39	39	39
Lamakeluhan_rasio	Pearson Correlation	-.566 <sup>**</sup>	. <sup>a</sup>	.061
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.712
	N	39	39	39

### Correlations

		Riwayatpenyakit_rasio	Lamamengidap_rasio	Keluhan_rasio
Umur_rasio	Pearson Correlation	.070	-.058	-.109
	Sig. (2-tailed)	.670	.726	.507
	N	39	39	39
Beratbadan_rasio	Pearson Correlation	.023	.022	.072
	Sig. (2-tailed)	.889	.893	.662
	N	39	39	39
Lamakerja_rasio	Pearson Correlation	.105	.043	-.100
	Sig. (2-tailed)	.523	.796	.544
	N	39	39	39
Haribekerja_rasio	Pearson Correlation	-.312	.034	-.332 <sup>*</sup>
	Sig. (2-tailed)	.053	.836	.039
	N	39	39	39
Jamkerja_rasio	Pearson Correlation	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
	Sig. (2-tailed)	.	.	.
	N	39	39	39
Perokok_rasio	Pearson Correlation	.185	.370 <sup>*</sup>	.295
	Sig. (2-tailed)	.259	.020	.068
	N	39	39	39
Riwayatpenyakit_rasio	Pearson Correlation	1	.336 <sup>*</sup>	.394 <sup>*</sup>
	Sig. (2-tailed)		.037	.013
	N	39	39	39
Lamamengidap_rasio	Pearson Correlation	.336 <sup>*</sup>	1	.378 <sup>*</sup>
	Sig. (2-tailed)	.037		.018
	N	39	39	39
Keluhan_rasio	Pearson Correlation	.394 <sup>*</sup>	.378 <sup>*</sup>	1
	Sig. (2-tailed)	.013	.018	
	N	39	39	39
Lamakeluhan_rasio	Pearson Correlation	.329 <sup>*</sup>	.081	.812 <sup>**</sup>
	Sig. (2-tailed)	.041	.623	.000
	N	39	39	39

### Correlations

		Lamakeluhan_rasio	Total_rasio
Umur_rasio	Pearson Correlation	-.168	.293
	Sig. (2-tailed)	.308	.070
	N	39	39
Beratbadan_rasio	Pearson Correlation	-.007	.392*
	Sig. (2-tailed)	.968	.013
	N	39	39
Lamakerja_rasio	Pearson Correlation	-.202	.308
	Sig. (2-tailed)	.219	.057
	N	39	39
Haribekerja_rasio	Pearson Correlation	-.566**	-.164
	Sig. (2-tailed)	.000	.317
	N	39	39
Jamkerja_rasio	Pearson Correlation	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
	Sig. (2-tailed)	.	.
	N	39	39
Perokok_rasio	Pearson Correlation	.061	.490**
	Sig. (2-tailed)	.712	.002
	N	39	39
Riwayatpenyakit_rasio	Pearson Correlation	.329*	.486**
	Sig. (2-tailed)	.041	.002
	N	39	39
Lamamengidap_rasio	Pearson Correlation	.081	.490**
	Sig. (2-tailed)	.623	.002
	N	39	39
Keluhan_rasio	Pearson Correlation	.812**	.766**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000
	N	39	39
Lamakeluhan_rasio	Pearson Correlation	1	.542**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	39	39

### Correlations

		Umur_rasio	Beratbadan_rasio	Lamakerja_rasio
Total_rasio	Pearson Correlation	.293	.392*	.308
	Sig. (2-tailed)	.070	.013	.057
	N	39	39	39

### Correlations

		Haribekerja_rasio	Jamkerja_rasio	Perokok_rasio
Total_rasio	Pearson Correlation	-.164	. <sup>a</sup>	.490 <sup>**</sup>
	Sig. (2-tailed)	.317	.	.002
	N	39	39	39

### Correlations

		Riwayatpenyakit_rasio	Lamamengidap_rasio	Keluhan_rasio
Total_rasio	Pearson Correlation	.486 <sup>**</sup>	.490 <sup>**</sup>	.766 <sup>**</sup>
	Sig. (2-tailed)	.002	.002	.000
	N	39	39	39

### Correlations

		Lamakeluhan_rasio	Total_rasio
Total_rasio	Pearson Correlation	.542 <sup>**</sup>	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	39	39

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\*.. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

a. Cannot be computed because at least one of the variables is constant.

RELIABILITY

```

/VARIABLES=Umur_rasio Beratbadan_rasio Lamakerja_rasio Haribekerja_rasio Jamkerja_rasio
Perokok_rasio Riwayatpenyakit_rasio Lamamengidap_rasio Keluhan_rasio Lamakeluhan_rasio Total_rasio
/SCALE('ALL VARIABLES') ALL
/MODEL=ALPHA
/SUMMARY=TOTAL.
    
```

**Reliability**

**Scale: ALL VARIABLES**

**Case Processing Summary**

		N	%
Cases	Valid	39	100.0
	Excluded <sup>a</sup>	0	.0
	Total	39	100.0

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

**Reliability Statistics**

Cronbach's Alpha	N of Items
.638	11

**Item-Total Statistics**

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
Umur_rasio	23.8974	21.305	.143	.640
Beratbadan_rasio	24.1026	20.831	.269	.622
Lamakerja_rasio	23.9487	21.366	.180	.634
Haribekerja_rasio	24.5128	23.888	-.264	.677
Jamkerja_rasio	25.0513	22.839	.000	.645
Perokok_rasio	24.6923	20.798	.407	.611
Riwayatpenyakit_rasio	24.9744	21.657	.442	.623
Lamamengidap_rasio	25.9231	20.862	.410	.612
Keluhan_rasio	25.2564	17.090	.670	.539
Lamakeluhan_rasio	25.1282	18.799	.377	.598
Total_rasio	13.0256	5.710	1.000	.356