TA/TL/2019/ [nomor admin]

TUGAS AKHIR

PEMANTAUAN KUALITAS UDARA AMBIEN PM_{10} dan $PM_{2,5}$ SERTA RESIKO KESEHATAN TERHADAP MASYARAKAT di STADION MAGUWOHARJO

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

RAHMAT
19513151

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024

*Apabila sudah pendadaran

TUGAS AKHIR

PEMANTAUAN KUALITAS UDARA AMBIEN PM_{10} dan $PM_{2,5}$ SERTA RESIKO KESEHATAN TERHADAP MASYARAKAT di STADION MAGUWOHARJO

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

RAHMAT
19513151

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.	**Noviani Ima Wantoputri, S.T., M. T**
NIK. 045130401	**NIK. 195130102**
Tanggal: 16 Mei 2024	Tanggal: 16 Mei 2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.
NIK. 045130401
Tanggal: 26 Agustus 2024

*Apabila sudah pendadaran

HALAMAN PENGESAHAN

PEMANTAUAN KUALITAS UDARA AMBIEN PM_{10} dan $PM_{2,5}$ SERTA RESIKO KESEHATAN TERHADAP MASYARAKAT di STADION MAGUWOHARJO

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Senin
Tangggal : 26 Agustus 2024

Disusun Oleh:

RAHMAT
19513151

Tim Penguji :

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D. ( )

Noviani Ima Wantoputri, S.T., M. T ( )

Lukman Hakim, S.T., M.Si. ( )

*Halaman ini dibuat apabila sudah selesai pendadaran

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sangsi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 26 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,

Rahmat

NIM: 19513151

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan Rahmat serta hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul **PEMANTAUAN KUALITAS UDARA AMBIEN PM_{10}, dan $PM_{2,5}$ SERTA RESIKO KESEHATAN TERHADAP MASYARAKAT di STADION MAGUWOHARJO** dapat selesai tepat waktu. Penyusunan laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir penulis mendapat banyak dukungan, bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak, sehingga hambatan yang dihadapi penulis dapat dilalui. Oleh karena itu, penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Sarjan dan Ibu Rita Suryani selaku orang tua penulis yang tiada henti memberikan dukungan berupa doa, kepercayaan atas keputusan penulis selama penyelesaian Tugas Akhir
2. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir
3. Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir
4. Seluruh dosen, staff, dan Keluarga Besar Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII atas bantuan, pengajaran, dan pengalaman yang telah diberikan

Yogyakarta, 26 Agustus 2024

Rahmat

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ABSTRAK

RAHMAT. Pemantauan Kualitas Udara Ambien PM_{10}, dan $PM_{2,5}$ Serta Risiko Kesehatan Terhadap Masyarakat di Stadion Maguwoharjo. Dibimbing oleh Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D. dan Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

Stadion Maguwoharjo, yang terletak di Sleman, Yogyakarta, Indonesia, bukan hanya merupakan tempat bagi pertandingan sepak bola, tetapi juga menjadi lokasi untuk beragam kegiatan komersial. Stadion ini sering dilalui oleh banyak kendaraan setiap harinya, yang berpotensi menyebabkan pencemaran udara seperti *Particulate Matter* 10 μg (PM_{10}) dan *Particulate Matte*r 2,5 μg ($PM_{2,5}$) akibat aktivitas antropogenik seperti tranportasi. Penelitian ini bertujuan untuk memantau kualitas udara ambien serta menganalisis tingkat pencemaran PM_{10} dan $PM_{2,5}$, serta menggunakan metode gravimetri dan menganalisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) untuk mengetahui resiko non karsinogenik. Analisis ini menggunakan data primer, seperti pengambilan sampel PM_{10}, $PM_{2,5}$, data meteorologi, wawancara, dan kuesioner pada 60 responden. Dengan membandingkan nilai asupan dari pedagang dengan nilai konsentrasi referensi (RfC) yang aman untuk efek non-karsinogenik, hasil penelitian secara *realtime*, 60 responden menunjukkan tidak beresiko non karsinogenik. Begitu pula dalam perhitungan efek non karsinogenik secara *lifetime*, juga menunjukkan tidak beresiko non karsinogenik. Dari hasil ini, dapat disimpulkan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di lokasi tersebut tidak memiliki risiko paparan yang signifikan, sehingga manajemen risiko tidak perlu dilakukan. Meskipun demikian, langkah-langkah pencegahan tetap disarankan, seperti mematuhi protokol kesehatan, melakukan penanaman pohon, dan mengimplementasikan regulasi pengendalian emisi kendaraan untuk mencegah risiko pencemaran udara PM_{10} dan $PM_{2,5}$.

Kata kunci: ARKL, Pedagang, PM_{10}, $PM_{2,5}$, Stadion Maguwoharjo

ABSTRACT

RAHMAT. *Monitoring of Ambient Air Quality PM10, and PM2.5 and as Health Risks to the Public at Maguwoharjo Stadium. Supervised by Mrs.* Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D. *and* Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

Maguwoharjo *Stadium, located in* Sleman, Yogyakarta, Indonesia, *is not only a venue for soccer matches, but also a location for various commercial activities. The stadium is often traversed by many vehicles every day, potentially causing air pollution such as Particulate Matter 10 µg (PM_{10}) and Particulate Matter 2.5 µg ($PM_{2.5}$) due to anthropogenic activities such as transportation. This study aims to monitor ambient air quality and analyze the level of PM_{10} and $PM_{2.5}$ pollution, as well as using the gravimetric method and analyzing environmental health risks (EHRA). This analysis used primary data, such as PM_{10}, $PM_{2.5}$ sampling, meteorological data, interviews, and questionnaires on 60 respondents. By comparing intake values from traders with reference concentration (RfC) values that are safe for non-carcinogenic effects, the results of the study in real time, 60 respondents showed no non-carcinogenic risk. Similarly, in the calculation of non-carcinogenic effects in lifetime, it also shows no non-carcinogenic risk. From these results, it can be concluded that PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations at the location do not have a significant exposure risk, so risk management is not necessary. Nevertheless, preventive measures are still recommended, such as complying with health protocols, planting trees, and implementing vehicle emission control regulations to prevent the risk of PM_{10} and $PM_{2.5}$ air pollution.*

Keywords: ERHA, *Traders*, *PM_{10}, $PM_{2.5}$*, Maguwoharjo *Stadium*

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i
PERNYATAAN ii
PRAKATA iv
ABSTRAK vi
DAFTAR ISI ix
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR LAMPIRAN xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Asumsi Penelitian 4
1.6 Ruang Lingkup 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Pencemaran Udara 7
2.2 Sumber Pencemaran 8
2.3 *Particulate Matter* (PM2,5 dan PM10) 8
2.4 Sifat *Particulate Matter* PM10 9
2.5 Sifat *Particulate Matter* PM2,5 10
2.6 Faktor yang Mempengaruhi Persebaran Polutan 10
2.7 Pengukuran Konsentrasi Polutan (PM2,5 dan PM10) di Udara 11
2.8 Baku Mutu Udara Ambien 13
2.9 Teknis Pemantauan Udara Ambien 15
2.9.1 Klasifikasi Lokasi Pemantauan 15
2.9.2 Kriteria penempatan alat pemantau kualitas udara ambien 16
2.10 Analisa Resiko Kesehatan Lingkungan 16

2.10.1 Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*) 17
2.10.2 Dosis-Respon (*Dose-Response Assessment*) 17
2.10.3 Analisis Pajanan (*Exposure Assessment*) 18
2.10.4 Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*) 19
2.10.5 Manajemen Risiko (*Risk Management*) 20
2.11 Dampak Polutan (PM2,5 dan PM10) terhadap Kesehatan Manusia 21
2.12 Penelitian Terdahulu 22
BAB III METODE PENELITIAN 25
3.1 Tahap Penelitian 25
3.2 Jenis Penelitian dan Desain Penelitian 26
3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian 26
3.4 Populasi dan Sampel Penelitian 27
3.5 Metode Pengambilan Data 28
3.6 Metode Sampling PM10 dan PM2,5 28
3.7 Metode Pengambilan Data Meteorologi 31
3.8 Pengelolahan Data Meteorologi 31
3.9 Metode Pengambilan Data Responden (Wawancara) 32
3.10 Analisis Risiko PM10 dan PM2,5 Terhadap Kesehatan Pedagang 32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 37
4.1 Gambaran Umum Penelitian 37
4.2 Meteorologi 37
4.3 Konsentrasi PM10 dan PM2,5 di Udara Ambien 38
4.3 Perbandingan konsentrasi PM10 dan PM2,5 terhadap Kondisi meteorologi 40
4.3.1 Perbandingan Parameter PM10 dan PM2,5 40
4.3.2 Suhu Udara 42
4.3.3 Kelembapan Udara 43
4.3.4 Tekanan Udara 45
4.3.5 Kecepatan Angin 46
4.4 Perbandingan Konsentrasi PM10 dan PM2,5 dengan Baku Mutu Udara Ambien 48
4.6 Analisis Data Responden 50
4.6.1 Umur 50
4.6.2 Berat Badan 51

4.6.3 Waktu Pajanan 52
4.6.4 Frekuensi Pajanan 53
4.6.5 Durasi Pajanan 53
4.6.4 Status Merokok 54
4.6.5 Keluhan Kesehatan 55
4.7 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) PM10 dan PM2,5 57
4.7.1 Identifikasi Bahaya (Hazard Identification) 57
4.7.2 Konsentrasi Pajanan 58
4.7.3 Analisis Dosis Respon 58
4.7.4 Analisis Pajanan PM10 dan PM2,5 59
4.7.5 Estimasi Risiko Kesehatan Pajanan PM10 dan PM2,5 Pada Pedagang Menggunakan Data Rata-Rata Pedagang. 65
4.7.6 Manajemen Risiko Non Karsinogenik 68
4.7.7 Risiko kesehatan akibat pajanan PM10 dan PM2,5 69
4.7.8 Komunikasi Risiko. 70
BAB V SIMPULAN DAN SARAN 73
5.1 Kesimpulan 73
5.2 Saran 74
DAFTAR PUSTAKA 76
LAMPIRAN 80
RIWAYAT HIDUP 91

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Keterangan Gambar 2.....……12
Tabel 2. 2 Baku Mutu sesuai *World Health Organization* (WHO)-2021 .....……13
Tabel 2. 3 Baku mutu sesuai Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 .....……..14
Tabel 2. 4 Penyakit yang ditimbulkan akibat PM2,5 dan PM10 .....…….21
Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu PM10 dan PM2,5 …….....….22
Tabel 4. 1 Data Meteorologi di stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman.....……...37
Tabel 4. 2 Konsentrasi PM10 dan PM2,5 di udara ambien …….....…….39
Tabel 4. 3 Perbandingan Konsentrasi PM10 dan PM2,5 dengan Baku Mutu.....……..49
Tabel 4. 4 Distribusi umur pedagang di stadion Maguwoharjo .....……..51
Tabel 4. 5 Distribusi Berat Badan pedagang di stadion Maguwoharjo ….....…….51
Tabel 4. 6 Distribusi waktu pajanan pedagang di stadion Maguwoharjo .....……52
Tabel 4. 7 Distribusi Durasi pajanan pedagang di stadion Maguwoharjo.....…….54
Tabel 4. 8 Distribusi status merokok pedagang di stadion Maguwoharjo .....…….55
Tabel 4. 9 Distribusi keluhan penyakit pedagang di stadion Maguwoharjo .....…….56
Tabel 4. 10 Persentase nilai *Risk Quotient (RQ)* pajanan PM10 di stadion Maguwoharjo ……..64
Tabel 4. 11 Persentase nilai *Risk Quotient (RQ)* pajanan PM2,5 di stadion Maguwoharjo …….64
Tabel 4. 12 Nilai Rata-rata Sampel dan Estimasi risiko kesehatan pajanan PM10 .....…67
Tabel 4. 13 Nilai Rata-rata Sampel dan Estimasi risiko kesehatan pajanan PM2,5 .....…67

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 *High Volume Air Sampler* (HVAS).....11
Gambar 3. 1 Tahapan penelitian 25
Gambar 3. 2 Lokasi Sampling.....26
Gambar 3. 3 Diagram alir prosedur pengambilan data Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} 29
Gambar 4. 1 Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ .....….39
Gambar 4. 2 Peta Lokasi Titik Sampling dan Kosentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ .....….39
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan PM_{10} dengan $PM_{2,5}$ 41
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan $PM_{2,5}$ dengan suhu 42
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan PM_{10} dengan suhu.....….42
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan $PM_{2,5}$ dengan Kelembapan Udara 44
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan PM_{10} dengan Kelembapan Udara 44
Gambar 4. 8 Grafik perbandingan $PM_{2,5}$ dengan Tekanan Udara .....…… 45
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan PM_{10} dengan Tekanan Udara 45
Gambar 4. 10 Grafik perbandingan $PM_{2,5}$ dengan Kecepatan Angin 46
Gambar 4. 11 Grafik perbandingan PM_{10} dengan Kecepatan Angin 47
Gambar 4. 12 Umur pedagang di stadion Maguwoharjo.....…51
Gambar 4. 13 Berat badan pedagang di stadion Maguwoharjo .....…52
Gambar 4. 14 Waktu pajanan pedagang di stadion Maguwoharjo.....….53
Gambar 4. 15 Durasi pajanan pedagang di stadion Maguwoharjo.....…...54
Gambar 4. 16 Status merokok pedagang di stadion Maguwoharjo 55
Gambar 4. 17 Keluhan penyakit pedagang di stadion Maguwoharjo 56

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengambilan sampel pada titik 1 .....……80
Lampiran 2 Pengambilan sampel pada titik 2 .....….81
Lampiran 3 Pengambilan sampel pada titik 3 .....…..82
Lampiran 4 Pengambilan data responden .....….83
Lampiran 5 Alat dan Bahan sampling .....……84
Lampiran 6 Data responden dan perhitungan analisis risiko PM10 pada pedagang di stadion Maguwoharjo 85
Lampiran 7 Data responden dan perhitungan analisis risiko PM2,5 pada pedagang di stadion Maguwoharjo 87
Lampiran 8 Hasil kouseoner data responden pedagang di stadion Maguwoharjo .....…..89

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam keberlangsungan hidup manusia bergantung pada komponen-komponen lingkungan, salah satunya yaitu udara. Udara merupakan komponen lingkungan yang berfungsi sebagai sumber kebutuhan utama manusia untuk bernafas (L. Fitria et al., 2008). Seiring berkembangnya zaman, kualitas udara mengalami perubahan yang signifikan (Ratnani, 2008). Hal ini dibuktikan dengan maraknya kasus penyakit pernafasan seperti pneumonia yang timbul akibat pecemaran udara (Arsana et al., 2015).

Pencemaran udara terjadi ketika zat pencemar berupa gas dan partikel kecil atau aerosol masuk ke atmosfer, menyebabkan perubahan kualitas udara. Menurut Budiyono (2010) perubahan kualitas udara diakibatkan oleh aktivitas manusia yang menyebabkan polutan di udara seperti *Particulate Matter* 10 μg (PM_{10}), dan *Particulate Matter* 2,5 μg ($PM_{2,5}$). Salah satu aktivitas manusia yang sangat berpotensi untuk menyumbangkan polutan pada udara adalah kegiatan Transportasi (Seprianto & Sainab, 2015). Hal ini disebabkan oleh salah satu zat pencemar, seperti zat partikulat yang dihasilkan dari permukaan jalan dan juga komponen dari ban dan rem kendaraan (Haruna, dkk. 2019). Menurut Ismiyati dkk (2014); Arya & Suci (2021); di kota-kota besar, asap kendaraan menyumbang beban emisi total PM_{10} sebesar 70% dan $PM_{2,5}$ sebesar 67,03% sehingga kontribusi gas buang dari kendaraan sebagai sumber zat pencemar di udara mencapai 60-70%.

PM_{10} dan $PM_{2,5}$ merupakan salah satu bahan pencemar udara yang digolongkan ke dalam kelompok pencemar primer *(primary pollutant)*, yaitu bahan pencemar yang diemisikan langsung ke udara dari sumber cemaran, seperti kegiatan kendaraan (Wijayanti, 2010). Terdapat tiga cara polutan seperti PM_{10} dan $PM_{2,5}$ masuk ke tubuh manusia, yaitu melalui *inhalasi, ingesti,* dan penetrasi kulit. *Inhalasi* polutan udara ke paru-paru dapat menyebabkan gangguan pada paru-paru dan saluran napas. Refleks batuk akan mengeluarkan polutan dari paru-paru yang kemudian bisa tertelan dan masuk ke saluran pencernaan. Permukaan kulit juga dapat menjadi pintu masuk polutan udara, terutama bahan organik yang mampu

menembus kulit dan menimbulkan efek sistemik. Kerusakan kesehatan akibat PM_{10} dan $PM_{2,5}$ tergantung pada lamanya kontak, konsentrasi partikel di udara, jenis partikel tersebut, dan faktor lainnya (Agusnar, 2008). Oleh karena itu, untuk mengestimasi risiko kesehatan manusia akibat pajanan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ maka perlu dilakukannya Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) untuk mengetahui resiko kesehatan masyarakat. ARKL merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk melihat potensi besarnya risiko yang diawali dengan menggambarkan masalah lingkungan yang telah diketahui dan melibatkan penetapan risiko pada Kesehatan manusia yang berkaitan dengan masalah lingkungan yang berkaitan (Dirjen P2PL, 2012).

Stadion Maguwoharjo adalah sebuah stadion sepak bola di Desa Maguwoharjo, Kecematan Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta yang juga menjadi markas klub sepak bola PSS Sleman. Stadion Maguwoharjo merupakan salah satu stadion terkenal di Sleman, Yogyakarta, Indonesia. Selain digunakan untuk pertandingan sepak bola PSS Sleman, stadion ini juga menjadi tempat untuk berbagai kegiatan komersial. Lokasi dari Stadion Maguwoharjo terletak dekat dengan jalan raya yang dilalui banyak alat transportasi setiap harinya seperti kendaraan bermotor yang setiap tahun semakin bertambah jumlahnya dikarenakan banyaknya pengunjung yang datang pada kawasan Stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman. Hal tersebut menyebabkan penurunan kualitas udara perkotaan yang akan berdampak pada aktivitas dan kehidupan normal manusia seperti, kegiatan komersial yang dilaksanakan setiap hari di sekitar Stadion Maguwoharjo, sehingga penelitian ini sangat penting mengingat semakin banyaknya aktivitas transportasi dan belum adanya data spesifik PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di kawasan Stadion Maguwoharjo, untuk pemantauan kualitas udara ambien PM_{10}, $PM_{2,5}$, dan resiko kesehatan masyarakat yang ditimbulkan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang berada disekitar Stadion Maguwoharjo, Sleman.

1.2 Rumusan Masalah

Letak stadion Maguwoharjo yang berdekatan dengan jalan raya yang dilalui banyak kendaraan setiap hari, kegiatan antropogenik seperti penggunaan kendaraan dapat menimbulkan pencemaran udara, seperti *Particulate Matter* 10

μg (PM_{10}), dan *Particulate Matter* 2,5 μg ($PM_{2,5}$) yang akan terpapar pada pengguna stadion seperti kegiatan komersial/pedagang yang berada di stadion Magowuharjo tiap hari. Ada tiga cara masuknya bahan polutan seperti PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dari udara ke tubuh manusia yaitu melalui *inhalasi*, ingesti dan penetrasi kulit. Maka perlu dilakukannya pemantauan kualitas udara ambien *Particulate Matter* (PM_{10}), *Particulate Matter* ($PM_{2,5}$), dan analisis resiko kesehatan lingkungan (ARKL) yang ditimbulkan *Particulate Matter* (PM_{10}) dan *Particulate Matter* ($PM_{2,5}$)

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis konsentrasi udara ambien $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di sektor Stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman.
2. Menganalisis tingkat risiko paparan $PM_{2,5}$ dan PM_{10} pada pengguna kawasan Stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mahasiswa

   Dapat dijadikan untuk menambah wawasan dan pengalaman dalam melakukan Penelitian terkait pemantauan kualitas udara khususnya pada parameter $PM_{2,5}$ dan PM_{10} serta dampak kesehatan terutama pada pedagang yang berada disekitar Stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman.
2. Pemerintah

   Memberikan informasi kualitas udara dan dampak kesehatan sebagai pihak yang penentu kebijakan untuk mempermudah pengelolaan di Stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman.
3. Pengguna Stadion

   Memberikan informasi terkait kesehatan akibat paparan $PM_{2,5}$ dan PM_{10}, terutama kepada pedagang yang berada disekitar Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman.

1.5 Asumsi Penelitian

Terdapat peningkatan konsentrasi *Particulate Matter* 10 μg (PM_{10}) dan *Particulate Matter* 2,5 μg ($PM_{2,5}$) di sekitar Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, karena aktivitas manusia seperti kegiatan antropogenik seperti penggunaan kendaraan, kegiatan industri dan rumah tangga dapat menimbulkan pencemaran udara, seperti PM_{10}, dan $PM_{2,5}$ (Soedomo, 2001). Faktor-faktor meteorologi seperti arah dan kecepatan angin, tekanan udara, kelembapan udara, serta suhu dapat mempengaruhi dispersi partikulat di sekitar stadion, dengan potensi untuk meningkatkan paparan pedagang yang berdekatan. Pedagang yang menjalankan usaha mereka secara terus menerus di sekitar stadion mungkin mengalami paparan non-karsinogenik terhadap partikulat, yang dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan masalah kesehatan lainnya. Maka perlu dilakukannya pemantauan kualitas udara ambien *Particulate Matter* (PM_{10}), *Particulate Matter* ($PM_{2,5}$), dan analisis resiko kesehatan lingkungan (ARKL) yang ditimbulkan *Particulate Matter* (PM_{10}) dan *Particulate Matter* ($PM_{2,5}$).

.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini berupa penelitian lapangan dan penelitian skala laboratorium dalam pengumpulan data dan analisis konsentrasi parameter seperti $PM_{2,5}$ dan PM_{10}.
2. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan November 2023 hingga Mei 2024.
3. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui risiko kesehatan bagi para pengguna kawasan stadion Maguwoharjo Sleman dari paparan *Particulate Matter* (PM_{10}) dan *Particulate Matter* ($PM_{2,5}$) yang berada pada titik penelitian.
4. Penelitian ini menggunakan data primer meliputi data profil pengguna kawasan stadion Maguwoharjo, Sleman seperti umur, lama berkerja di Kawasan stadion, serta berapa lama mereka berkerja dalam sehari, melalui kuesioner yang disebarkan pada pengguna Kawasan stadion pada tahun 2024

5. Data *Particulate Matter* (PM_{10}) dan *Particulate Matter* ($PM_{2,5}$) yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang diambil menggunakan alat *High Volume Air Sampler* (HVAS).
6. Prinsip pengujian parameter $PM_{2,5}$, dan PM_{10} adalah menggunakan Metode Gravimetri yang mengacu pada SNI 7119.15:2016 tentang Cara uji partikel denganukuran ≤ 10 μm(PM_{10}) menggunakan peralatan *HighVolume Air Sampler* (HVAS) dengan metode gravimetri dan SNI 7119.14:2016 tentang Cara uji partikel denganukuran ≤ 2,5 μm ($PM_{2,5}$) menggunakan peralatan *HighVolume Air Sampler* (HVAS) dengan metode gravimetri.
7. Data meteorologi yang digunakan yaitu kecepatan angin, tekanan udara, kelembapan udara, dan temperatur.
8. Baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Baku Mutu Udara Ambien dan baku mutu udara ambien menurut standar WHO (*World Health Organization*).
9. Berdasarkan pedoman ARKL tahun 2012 metode ARKL dilakukan dengan 4 langkah yaitu identifikasi bahaya (*Hazard Identification*), analisis dosis respon (*dose-respon assessment*), analisis pemajanan (*exposure assessment*), dan karakterisasi risiko (*risk characterization*).

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah kondisi di mana zat pencemar dalam bentuk gas dan partikel kecil atau aerosol masuk ke atmosfer, menyebabkan perubahan pada kualitas udara (Soedomo, 2001). Menurut Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran udara merujuk pada masuknya zat, energi, dan komponen lain ke dalam udara ambien akibat aktivitas manusia, sehingga kualitas udara ambien menurun hingga tingkat tertentu yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan lingkungan. Udara ambien sendiri adalah udara bebas yang terdapat di lapisan troposfer di wilayah yuridiksi Republik Indonesia dan dapat mempengaruhi kesehatan manusia serta keberlangsungan lingkungan hidup lainnya.

Udara menjadi suatu komponen lingkungan hidup yang memiliki kesamaan dengan lingkungan hidup lainnya, akan tetapi udara memiliki sifat mobilisasi yang tinggi. Menurut Budiraharjo dalam Sianturi (2004) udara perlu mendapatkan perhatian karena beberapa hal, yang diantaranya sebagai berikut:

1. Kemampuan udara yang terbatas dalam menerima menetralkan dan mendaur ulang akibat masuknya unsur pencemar.
2. Kemampuan fungsi udara yang menurun akan memberi dampak negatif yang besar dan meluas terhadap kesehatan lingkungan, kegiatan perekonomian, dan pembangunan.
3. Penurunan kualitas udara akan mengakibatkan kebutuhan pembiayaan yang cukup besar untuk memulihkannya.Kemampuan udara yang terbatas dalam menerima menetralkan dan mendaur ulang akibat masuknya unsur pencemar.

2.2 Sumber Pencemaran

Salah satu sumber pencemaran di udara adalah emisi. Emisi sendiri merupakan jumlah polutan yang ada di udara dalam satuan waktu. Emisi ditimbulkan dari aktivitas manusia (*anthropogenic emissions*) dan aktivitas alam (*biogenic emissions*). Salah satu sumber pencemaran udara yaitu dari transportasi (Fardiaz, 2008).

Menurut Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, sumber pencemaran udara terbagi menjadi lima kelompok, yaitu:

1. Sumber bergerak, yaitu sumber emisi yang tidak tetap dari suatu tempat atau sumber bergerak. Biasanya bersumber dari kendaraan bermotor.
2. Sumber bergerak spesifik, yaitu bersumber dari emisi yang bergerak akan tetapi berasal dari pesawat terbang, kapal laut, kereta api serta kendaraan berat yang lainnya.
3. Sumber tidak bergerak, yaitu emisi yang disebabkan dari aktifitas yang tetap di suatu tempat. Sumber tidak bergerak ini berupa bengkel, ataupun pabrik.
4. Sumber tidak bergerak spesifik, yaitu bersumber dari aktifitas tidak bergerak namun kejadiannya tidak terduga seperti pembakaran sampah serta kebakaran hutan.
5. Sumber gangguan, yaitu pencemaran yang diakibatkan dengan media udara atau padat sebagai penyebarannya. Contoh dari sumber ini adalah kebisingan, kebakaran dan kebauan.

2.3 *Particulate Matter* ($PM_{2,5}$ dan PM_{10})

Polutan di udara dapat berupa gas maupun *Particulate Matter* (PM). Di antara polutan lainnya, partikulat halus memiliki dampak yang paling berbahaya bagi manusia. Menurut EPA, PM merupakan istilah bagi campuran partikel padat dan cair yang tersuspensi di udara. Partikel tersuspensi tersebut bervariasi dalam segi ukuran, komposisi, dan asalnya (Cholianawati, 2019).

PM merupakan campuran dari unsur fisika dan kimia yang bervariasi tergantung sumbernya. Unsur yang umumnya terkandung dalam PM diantaranya ion sulfat, ion nitrat, ion amonium, ion inorganik *(sodium, kalsium, potasium,*

magnesium, dan klorida), ion organik, elemen karbon, material padat, partikel air, dan logam (tembaga, nikel, kadmium, vanadium, dan seng), serta hidrokarbon aromatik poliksilik. Selain itu, terdapat unsur biologi berupa alergen dan senyawa bakteri. Sumber PM dihasilkan dari kegiatan manusia maupun sumber alami. Sumber kontribusi PM lainnya dapat berasal dari tanah dan debu (Agus dkk, 2019)

Menurut ukuran di atmosfer, partikulat diklasifikasikan menjadi partikulat kasar *(coarse)* atau PM_{10} dengan ukuran diameter <10 μm dan partikulat halus *(fine)* atau $PM_{2,5}$ dengan ukuran diameter <2,5 μm. $PM_{2,5}$ merupakan jenis partikulat yang jika terhirup tidak dapat disaring oleh sistem pernafasan atas dan dapat menembus hingga paru-paru bagian dalam serta kandungannya dapat masuk ke aliran darah (Cholianawati, 2019). Sedangkan *Particulate Matter* (PM_{10}) merupakan partikulat yang berbentuk padat dan berdiameter lebih kecil dari 10 μm (Mukhtar dkk, 2013). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Jiang dkk, 2015) di Beijing, sumber utama emisi partikulat khususnya PM_{10} yaitu akibat sektor transportasi yaitu sebesar 53%. Dari emisi tersebut 23% berasal dari emisi mobil dan 30% lainnya berasal dari debu jalanan.

2.4 Sifat *Particulate Matter* PM_{10}

Particulate Matter (PM_{10}) memiliki variasi bentuk, ada yang berwujud cair dan padat, serta terdapat yang memiliki inti padat yang dikelilingi oleh cairan. PM_{10} dihasilkan dari debu jalanan, aktivitas konstruksi, penghancuran, proses industri seperti penambangan, kegiatan pertanian, serta debu alamiah yang dibawa angin dan aktifitas kendaraan yang berasal dari pengereman dan kehausan ban kendaraan. Komposisi partikulat ini terdiri dari ion organik, elemen karbon, senyawa organik, logam berat, dan berbagai senyawa lainnya. Beberapa partikulat bersifat higroskopis, menyerap air, sementara yang lain terdiri dari partikel yang terikat dengan air. Kompleksitas partikulat organik tercermin dalam berbagai senyawa organik yang mencapai ratusan hingga ribuan jenis. Partikel primer diemisikan secara langsung dari sumber, sementara partikulat sekunder terbentuk melalui reaksi gas di atmosfer. Reaksi kimia di atmosfer melibatkan oksigen atmosfer (O_2), uap air (H_2O), zat reaktif seperti ozon (O_3), senyawa radikal seperti hidroksi radikal (OH) dan nitrat radikal (NO_3), serta polutan organik (SO_2, NO_X, dan gas organik dari aktivitas alam maupun manusia). Ukuran partikulat

merupakan faktor kunci yang menentukan sifatnya, sering kali dinyatakan dalam diameter aerodinamik, yang mengacu pada kepadatan unit partikulat dalam bentuk bola (US EPA, 2004).

2.5 Sifat *Particulate Matter* $PM_{2,5}$

Partikulat Matter 2,5 ($PM_{2,5}$) memiliki diameter kurang dari atau sama dengan 2,5 mikrometer. Klasifikasi ini menjadikannya sebagai polutan yang berpotensi berbahaya karena ukurannya yang sangat kecil, memungkinkannya untuk dengan mudah terhirup dan mengendap di dalam paru-paru manusia. $PM_{2.5}$ berasal dari pembakaran bahan bakar fosil oleh kendaraan bermotor dan pembangkit listrik, asap kendaraan, pembakaran biomassa, serta proses industri yang melibatkan pembakaran atau peleburan. Selain itu, $PM_{2.5}$ juga dapat terbentuk dari reaksi kimia di atmosfer dan berasal dari asap rokok. $PM_{2.5}$ dianggap lebih berbahaya karena partikel yang lebih kecil ini mampu menembus jauh ke dalam sistem pernapasan. Pemaparan jangka panjang terhadap $PM_{2,5}$ dapat menyebabkan infeksi saluran pernapasan akut, mengingat partikulat dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer telah terbukti lebih toksik daripada partikulat yang lebih besar, yang memungkinkannya untuk masuk dengan lebih mudah ke dalam tubuh manusia (Gusnita dan Cholianawati, 2019).

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Persebaran Polutan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Riad Syech & Usman Malik, 2017) terdapat faktor yang mempengaruhi persebaran polutan. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi distribusi pencemaran khususnya pencemaran udara adalah faktor meteorologis yang terdiri dari suhu, kelembaban udara, tekanan udara, kecepatan angin, dan arah angin, Menurut (Turyanti, 2011), faktor yang berpengaruh secara langsung terhadap persebaran polutan adalah arah angin dan kecepatan angin. Sebab arah angin dapat membawa polutan kemana saja berdasarkan arahnya, sedangkan kecepatan angin mempengaruhi pergerakan polutan dengan jarak yang jauh sehingga berpotensi terjadinya pengenceran pada polutan. Menurut (Af'idah, 2012), suhu yang tinggi dapat mempercepat laju perubahan atau terjadinya reaksi kimia pada polutan di udara. Sedangkan kelembaban udara dapat mempengaruhi pengendapan partikel karena polutan

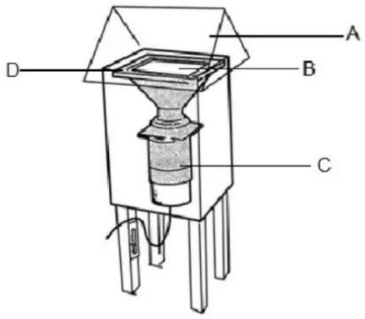
yang berbentuk partikel akan berikatan dengan air yang ada di udara dan akan mengendap akibat adanya gaya gravitasi sehingga membentuk ukuran partikel yang lebih besar.

2.7 Pengukuran Konsentrasi Polutan ($PM_{2,5}$ dan PM_{10}) di Udara

Pengukuran konsentrasi polutan di udara berfungsi untuk mengetahui kadar atau konsentrasi polutan yang berada di suatu lingkungan. Pengukuran konsentrasi ini disesuaikan dengan kondisi lingkungan dan akan dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) atau baku mutu partikulat di udara. Pengukuran konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ dan PM_{10} ini dapat dijadikan sebagai acuan suatu instansi dalam membuat kebijakan agar terciptanya lingkungan kerja yang sehat.

Pengambilan sampel dan pengukuran konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di udara pada umumnya menggunakan metode gravimetri. Prinsip dari metode gravimetri yaitu konsentrasi partikel ditentukan dengan cara melewatkan udara ke suatu filter menggunakan pompa hisap (Prayudi & Susanto, 2001). Kemudian udara akan terhisap dan disaring oleh filter, sehingga debu atau partikel akan menempel dengan sendirinya pada filter.

Adapun alat yang digunakan untuk pengambilan sampel partikulat di udara yaitu *High Volume Air Sampler* (HVAS). Prinsip kerja alat HVAS adalah dengan menarik udara lingkungan sekitar melalui inlet dengan ukuran-selektif dan melalui filter berukuran 20,3 x 25,4 cm (8” x 10”) dengan menggunakan pompa vacum yang memiliki laju alir 1.132 L/min (40ft / menit). Visi-float rotameter telah digunakan selama bertahun-tahun untuk mengukur laju aliran udara melalui HVAS. Metode ini adalah prinsip dasar untuk digunakan dalam HVAS, perangkat lain yang sama akuratnya diijinkan. (Hardial S. Chalal dan Donald C.Hunter, 1976).



Gambar 2. 1 *High Volume Air Sampler* (HVAS)

Tabel 2. 1 Keterangan Gambar 2

No.	Keterangan
A	Shalter
B	Media Filter
C	Pompa Vakum
D	Penyangga Media Filter

Sumber:SNI 7119-3:2017

Agar dapat diketahui konsentrasi PM10 dilakukan beberapa tahap perhitungan yaitu menghitung koreksi laju air, konsentrasi partikulat, dan volume udara yang terhisap.

a. Koreksi laju alir

$$Qs = Q0 \times \left(\frac{Ts \times P0}{T0 \times Ps}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Qs = Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar (Nm^3/ment)

Qo = Laju alir volume uji (m^3/menit)

Ts = Tempertur Standar (298 K)

To = Temperatur rata-rata aktual (273+T ukur)

Ps = Tekanan barometik sandar (101,3 kPa = 760 mmHg)

Po = Tekanan barometik rata-rata actual

b. Volume udara yang terhisap

$$Vstd = \frac{\sum_{s=1}^{n} Qs}{n} \times t \qquad \sum_{s=1}^{n} Qs = 28, \text{ (jika n=24)}$$

Vstd = Volume contoh uji udara dalam keadaan stadar (Nm^3)
Qs = Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar ke-s (Nm^3/ment)
n = Jumlah pencatatan laju alir
t = durasi pengambilan contoh uji (menit)

c. Konsentrasi Partikulat

$$C = \frac{(W2\text{-}W1)\times 10^6}{Vstd}$$

C = Konsentrasi massa partikel tersuspensi (µg/Nm^3)
Vstd = Volume contoh uji udara dalam keadaan stadar (Nm^3)
W_1 = Berat filter awal (g)
W_2 = Berat filter akhir (g)
10^6 = Konversi gram ke microgram

2.8 Baku Mutu Udara Ambien

Baku mutu udara ambien berdasarkan Peraturan *World Health Organization* (WHO)-2021, Baku mutu udara ambien diartikan sebagai batasan jumlah zat, energi, atau komponen lain yang masuk ke udara, serta unsur pencemar yang ada di atmosfer. Secara internasional, baku mutu udara ambien diatur dalam *World Health Organization* (WHO)-2021 dalam waktu pemantauan 24 jam seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Baku Mutu sesuai World Health Organization (WHO)-2021

Parameter	**Baku Mutu Sesuai World Health Organization (WHO) – Updated 2021**
PM_{10} (Partikulat diameter <10 mikron)	45 µg/m3
$PM_{2,5}$ (Partikulat diameter <2,5 mikron)	15 µg/m3

Sedangkan di Indonesia memiliki aturan sendiri terkait baku mutu udara ambien yang diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dalam waktu pemantauan 24 jam seperti pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Baku mutu sesuai Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021

Parameter	**Baku Mutu Sesuai PP No. 22 Th 2021**
PM_{10} (Partikulat diameter <10 mikron)	75 µg/m3
$PM_{2,5}$ (Partikulat diameter <2,5 mikron)	55 µg/m3

2.9 Teknis Pemantauan Udara Ambien

Teknis pemantauan kualitas udara ambien diatur dalam Lampiran VI Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI No. 12 Tahun 2010. Lokasi pemantauan kualitas udara meliputi:

2.9.1 Klasifikasi Lokasi Pemantauan

Prinsip umum dalam penempatan stasiun pemantau kualitas udara meliputi daerah-daerah yang memiliki reseptor yang akan terkena dampak serta lokasi-lokasi yang diperkirakan memiliki sumber dan konsentrasi pencemar yang tinggi. Jenis lokasi pemantauan diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Pusat kota mempresentasikan pajanan tipikal terhadap populasi akibat kegiatan di pusat kota (contoh: daerah perbelanjaan, perdagangan dan jasa serta daerah publik).
b. Latar kota *(urban background)* suatu lokasi di daerah perkotaan yang terletak cukup jauh dari sumber pencemar sehingga tidak terkena pengaruh langsung dan dapat secara umum mempresentasikan kondisi latar kualitas udara perkotaan (contoh: daerah pemukiman).
c. Sub urban, misalnya lokasi yang berada pada daerah pemukiman yang terletak di pinggir kota.
d. Tepi jalan *(roadside)*, lokasi pengukuran pada jarak 1-5meter dari pinggir jalan raya.
e. Sisi jalan *(kerbsid*e), lokasi pengukuran pada jarak 1meter dari jalan raya.
f. Industri, lokasi dimana kegiatan industri menjadi sumber yang dominan terhadap total beban polutan.
g. Pedesaan *(rural),* lokasi pemantauan di wilayah pedesaan dengan kepadatan penduduk yang rendah dan berjarak sejauh mungkin dari lokasi sumber pencemar seperti jalan, industri dan daerah padat penduduk.
h. Lainnya, pemantauan yang mengarah kepada sumber pencemar tertentu seperti rumah sakit dan TPA.

2.9.2 Kriteria penempatan alat pemantau kualitas udara ambien

Secara umum kriteria penempatan alat pemantau kualitas udara ambien sebagai berikut:

a. Area dengan konsentrasi pencemar tinggi. Daerah yang didahulukan untuk dipantau hendaknya daerah-daerah dengan konsentrasi pencemar yang tinggi.
b. Area dengan kepadatan penduduk tinggi. Daerah-daerah dengan kepadatan penduduk yang tinggi, terutama ketika terjadi pencemaran yang berat.
c. Di daerah sekitar lokasi penelitian yang diperuntukan untuk Kawasan studi maka stasiun pengambilan contoh uji perlu ditempatkan di sekeliling daerah/kawasan.
d. Pada daerah proyeksi. Untuk menentukan efek akibat perkembangan mendatang di lingkungannya, stasiun perlu juga ditempatkan di daerahdaerah yang diproyeksikan.
e. Mewakili seluruh wilayah studi harus diperoleh agar kualitas udara di seluruh wilayah dapat dipantau (dievaluasi).
f. Udara terbuka dengan sudut terbuka 120° terhadap penghalang, antara lain: bangunan dan pohon tinggi.
g. Ketinggian sampling inlet dari permukaan tanah untuk partikel dan gas minimal 2 m.
h. Jarak minimal alat pemantau kualitas udara dari sumber emisi terdekat adalah 20 m.

2.10 Analisa Resiko Kesehatan Lingkungan

Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No. 876 Tahun 2001 tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan (ADKL), Analisis Risiko Lingkungan (ARKL) didefinisikan sebagai pendekatan untuk mengidentifikasi potensi bahaya risiko. Dalam praktiknya, ARKL digunakan untuk menilai besarnya risiko dengan titik awal dari kegiatan pembangunan yang sedang berlangsung, mengevaluasi risiko saat ini, dan memperkirakan risiko di masa depan. Ilmu yang diterapkan dalam analisis risiko meliputi ilmu pengetahuan, teknik, probabilitas, dan statistik untuk menentukan dan mengevaluasi seberapa besar dan seberapa mungkin risiko tersebut mempengaruhi kesehatan dan lingkungan (Louvar, 1998). ARKL terdiri dari empat langkah dasar,

yaitu identifikasi bahaya, analisis dosis-respons, analisis paparan, dan karakterisasi risiko.

2.10.1 Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Bahaya (*hazard*) merupakan suatu benda (material) atau keadaan yang dapat menimbulkan kerusakan dan kerugian. Bahaya lingkungan dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu bahaya fisik, kimia, biologi. Pada analisis risiko bahaya diartikan sebagai bahan toksik atau kondisi yang berpotensi berbahaya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Louvar, 1998). Dari proses identifikasi tersebut, akan diperoleh karakteristik suatu bahaya. Penilaian ini bertujuan untuk mengevaluasi efek dari bahan tertentu dan dampaknya terhadap manusia dan lingkungan. Tahapan ini harus menjawab pertanyaan mengenai agen risiko spesifik yang berbahaya, media lingkungan di mana agen risiko tersebut ada, seberapa besar kandungan atau konsentrasi agen risiko di media lingkungan, serta gejala kesehatan potensial yang mungkin timbul (Dirjen PP&PL, 2012).

2.10.2 Dosis-Respon (*Dose-Response Assessment*)

Analisis dosis-respons dilakukan dengan mencari nilai RfD (Reference Dose), RfC (Reference Concentration), dan/atau SF (Slope Factor) dari agen risiko. Dosis/konsentrasi referensi (RfC/RfD) adalah dosis atau konsentrasi paparan harian dari agen risiko non-karsinogenik yang diperkirakan tidak akan menimbulkan efek yang mengganggu meskipun paparan tersebut berlangsung seumur hidup (Dirjen PP&PL, 2012). Langkah analisis dosis-respons ini bertujuan untuk:

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

Untuk mengetahui nilai RfC, RfD, dan SF dari suatu agen risiko, informasi tersebut dapat dilihat pada *Integrated Risk Information System* (IRIS). Jika nilai tersebut tidak tersedia di IRIS, maka nilai dapat diturunkan dari dosis eksperimental lainnya seperti NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*), LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*), atau NAAQS (N*ational Ambient Air Quality Standards*) (Dirjen PP&PL, 2012).

2.10.3 Analisis Pajanan (*Exposure Assessment*)

Analisis pemajanan dilakukan dengan mengukur atau menghitung intake (asupan) dari agen risiko. Intake adalah jumlah agen risiko yang diterima rata-rata per berat badan rata-rata sampel per hari (Dirjen PP&PL, 2012). Untuk menentukan intake, digunakan persamaan atau rumus tertentu. Data yang digunakan dalam perhitungan dapat berupa data primer, yaitu hasil pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan sendiri, atau data sekunder, yaitu pengukuran konsentrasi agen risiko yang dilakukan oleh pihak lain atau lembaga terpercaya. Perhitungan intake memerlukan nilai-nilai default dari beberapa variabel faktor pemajanan (Djafri, 2014). Berikut adalah rumus perhitungan yang digunakan:

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

Keterangan:

I : Asupan (*intake*), mg/kg/hari

C : Konsentrasi *risk agent*, mg/m^3 untuk medium udara, mg/L untuk air minum, mg/kg untuk makanan atau pangan.

R : Laju asupan atau konsumsi, m^3 /jam untuk inhalasi, L/hari untuk air minum, g/hari untuk makanan

t_E : Waktu pajanan

f_E : Frekuensi pajanan

D_t : Durasi pajanan, tahun (*real time* atau proyeksi, 30 tahun untuk nilai *default* residensial)

W_b : Berat badan

t_{avg} : Periode waktu rata-rata (Dt x 365 hari/tahun untuk zat nonkarsinogen, 70 tahun x 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)

2.10.4 Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*)

Karakteristik risiko dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko atau menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat (dengan karakteristik seperti berat badan, laju inhalasi/konsumsi, waktu, frekuensi, durasi pajanan) atau tidak. Karakteristik risiko dilakukan dengan membandingkan/membagi *intake* dengan dosis/konsentrasi agen risiko tersebut. Tingkat risiko dikatakan "aman" jika *intake* ≤ *RfD* atau *RfC* nya atau dinyatakan dengan *RQ* ≤ 1. Sedangkan, tingkat risiko dikatakan "tidak aman" jika intake > *RfD* atau *RfC* nya atau dinyatakan dengan *RQ* > 1 (Dirjen PP&PL, 2012).

Sedangkan untuk karakteristik risiko kesehatan karsinogenik dinyatakan dalam notasi ECR (*Excess Cancer Risk*). Untuk melakukan karakteristik risiko efek karsinogenik dilakukan perhitungan dengan mengkali *intake* dengan slope slope Factor. Rumus untuk menentukan *ECR* sesuai dengan persamaan berikut:

$$ECR = intake \times SF$$

Keterangan:

ECR	*: Excess Cancer Risk*
Intake (I)	*:* Jumlah zat karsinogenik yang masuk ke dalam tubuh per unit waktu
SF(Slope Factor)	*:* Koefisien kemiringan atau faktor kemiringan karsinogenisitas, yang menggambarkan potensi karsinogenik zat (mg/kg/hari atau μg/m³)

Tingkat risiko dinyatakan dalam bilangan eksponen tanpa satuan. Tingkat risiko efek kesehatan karsinogenik dikatakan *acceptable* atau aman bilamana *ECR* ≤ 1E-4 atau dinyatakan dengan *ECR* ≤ 1/10.000.

2.10.5 Manajemen Risiko (*Risk Management*)

Manajemen risiko adalah langkah tindak lanjut yang harus dilakukan jika karakteristik risiko menunjukkan tingkat risiko yang tidak aman (RQ > 1) atau tidak dapat diterima. Dalam manajemen risiko, perlu dibedakan antara strategi pengelolaan risiko dan cara pengelolaan risiko. Berdasarkan nilai tingkat risiko yang diperoleh, manajemen risiko berfokus pada upaya untuk mengurangi dampak paparan dari suatu polutan. Strategi pengelolaan risiko meliputi penentuan batas aman yang mencakup konsentrasi agen risiko (C), jumlah konsumsi atau laju inhalasi (R), serta waktu pajanan (t_E), frekuensi pajanan (f_E), dan durasi pajanan (D_t). Manajemen risiko dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\text{C aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{R x } t_E \text{ x } f_E \text{ x } D_t}$$

$$f_E \text{ aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{C x R x } t_E \text{ x } D_t}$$

$$t_E \text{ aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{C x R x } f_E \text{ x } D_t}$$

$$D_t \text{ aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{C x R x } t_E \text{ x } f_E}$$

Hal ini dilakukan agar nilai asupan (*intake*) lebih kecil atau sama dengan dosis referensi toksisitasnya. Adapun cara pengelolaan risiko adalah metode atau teknik yang digunakan untuk mencapai batas aman tersebut. Pendekatan dalam pengelolaan risiko meliputi beberapa metode, yaitu pendekatan teknologi, pendekatan sosial-ekonomis, dan pendekatan institusional (Rahman, 2007).

Komunikasi risiko bertujuan untuk menyampaikan informasi tentang risiko kepada masyarakat (populasi yang berisiko), pemerintah, dan pihak berkepentingan lainnya. Komunikasi risiko merupakan tindak lanjut dari pelaksanaan ARKL dan merupakan tanggung jawab pemrakarsa atau pihak yang

menyebabkan risiko. Teknik komunikasi risiko dapat melibatkan ceramah atau diskusi interaktif, serta memanfaatkan berbagai media komunikasi seperti media massa, televisi, radio, atau dalam format pemetaan *geographical information system* (GIS) (Dirjen PP&PL, 2012).

2.11 Dampak Polutan ($PM_{2,5}$ dan PM_{10}) terhadap Kesehatan Manusia

Konsentrasi kandungan $PM_{2,5}$ dan PM_{10} yang melebihi baku mutu dapat mempengaruhi kesehatan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung khususnya pada sistem pernapasan dan pendengaran manusia (Fitria, L., dkk. 2008). Akan tetapi dampak yang sering muncul pada manusia akibat terkontaminasi oleh polutan udara yang melebihi ambang batas adalah timbulnya gejala ISPA, batuk, bersin-bersin, sakit kepala, dan sebagainya (Fitria, L., dkk. 2008). Berikut merupakan contoh penyakit SBS yang ditimbulkan akibat $PM_{2,5}$ dan PM_{10}, yang melebihi ambang batas. Di bawah ini disajikan tabel mengenai penyakit yang disebabkan oleh paparan PM2,5 dan PM10:

Tabel 2. 4 Penyakit yang ditimbulkan akibat $PM_{2,5}$ dan PM_{10}

No.	Jenis Polutan	Pengaruh		Referensi
1.	*Particulate Matter* (PM_{10})	a	Peradangan Sel	(Mursinto & Kusumawardani, 2016)
		b	Kanker Paru-paru	
		c	Penyakit Jantung Iskemik	
		d	Stroke	
		e	Penyakit Paru Obstruktif Kronis	
2.	*Particulate Matter* ($PM_{2,5}$)	a	Mempengaruhi Sistem Pernapasan dan Fusngsi Paru	(Sembiring, 2020)
		b	Kematian Dini	
		c	Radang saluran pernapasan disertai batu dengan sekresi lendir yang berlebihan	
		d	Penyakit paru obstruktif kronis	
		e	Gejala Asma dan ISPA	

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan usaha peneliti untuk merumuskan perbandingan dan menginspirasi penelitian lebih lanjut, selain itu, penelitian terdahulu membantu dalam menyusun posisi penelitian dan menegaskan orisinalitasnya. Berikut adalah penelitian yang memiliki hubungan atau relevansi dengan studi ini:

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu PM_{10} dan $PM_{2,5}$

No	Nama Penulis	Tahun	Judul	Hasil
1	Hendra Gunawan, Yenni Ruslinda, Vera Sutria Bachtiar, Annisa Dwinta	2018	Model Hubungan Konsentrasi Particulate Matter 10 µm (PM_{10}) Di Udara Ambien dengan Karakteristik Lalu Lintas Di Jaringan Jalan Primer Kota Padang	Konsentrasi PM_{10} rata-rata tertinggi berturut-turut berada di Jl. Sudirman sebagai jalan arteri primer 131,26 µg/m3, Jl. M. Yunus sebagai jalan lokal primer 103,39 µg/m3 dan Jl. Imam Bonjol yang mewakili jalan kolektor primer 100,19 µg/m3.
2	Isnatansu Nurul Azni, Bambang Wispriyono, Meliana Sari	2015	Analisis Risiko Kesehatan Pajanan PM_{10} Pada Pekerja Industri Readymix PT. X Plant Kebon Nanas Jakarta Timur	Konsentrasi PM_{10} di seluruh area Plant Kebon Nanas telah melebihi standar NAAQS US.EPA sebesar 150µg/m3.Tingkat risiko rata-rata menunjukkan hasil RQ<1 yang mana risiko masih rendah dan belum berbahaya.Namun, pada perhitungan tingkat risiko per individu terdapat 15 pekerja yang masuk dalam kategori berisiko (RQ>1) dan perlu dilakukan pengendalian risiko
3	Marko Vallius	2005	*Characteristics And Sources of Fine Particulate Matter In Urban Air*	Hasil dari peneitian ini menunjukan bahwa hasil dari materi partikel disuspensi ulang dapat dihasilkan secara besar dari aktivitas

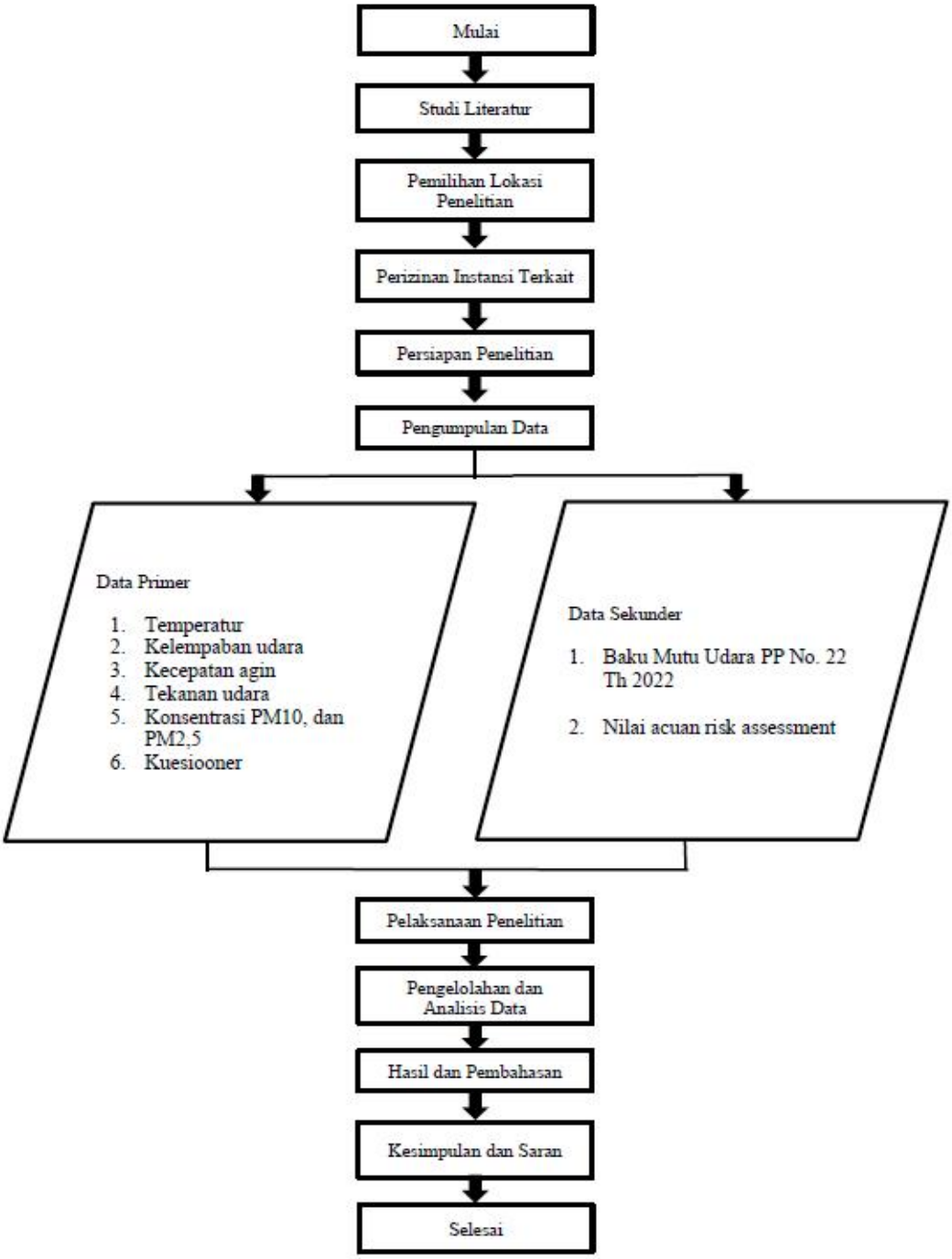
				antropogenik
4	Avita Falahdina	2017	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan $PM_{2,5}$ Pada Pedagang Tetap Di Terminal Kampung Rambutan	$PM_{2,5}$ adalah salah satu polutan yang berasal dari emisi kendaraan dan dikenal sebagai debu respirable karena dapat menembus hingga ke parenkim paru, berpotensi menyebabkan penurunan kapasitas vital paru. Pedagang di terminal merupakan populasi yang dianggap berisiko tinggi karena mereka terpapar polutan dalam konsentrasi tinggi dan dalam waktu yang lama.
5	Huang, Ye; Du, Wei; Chen, Yuanchen; Shen, Guofeng; Su, Shu; Lin, Nan; Shen, Huizhong, Zhu, Dan; Yuan, Chenyi; Duan, Yonghong; Liu,	2017	*Household air pollution and personal inhalation exposure to particles* (TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$) *in* rural Shanxi, North China	Dari hasil penelitian yang didapat bahwa polusi rumah tangga yang parah dari udara dalam dan luar ruangan adapun faktornya seperti bahan bakar untuk memasak.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian

Tahap penelitian yang akan dilaksanakan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.1**



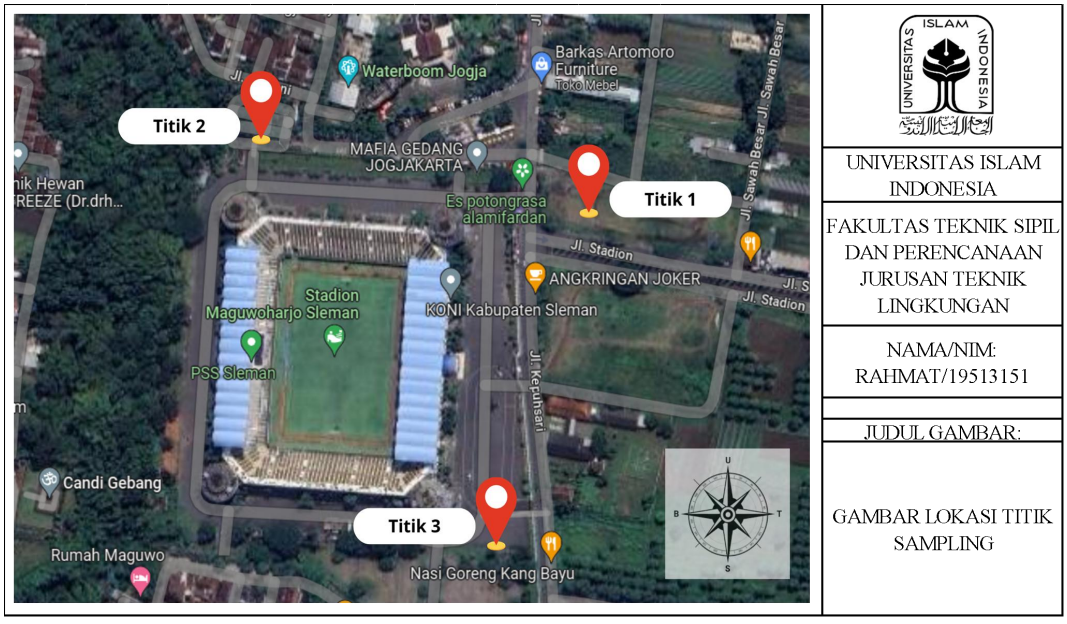
Gambar 3. 1 Tahapan penelitian

3.2 Jenis Penelitian dan Desain Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian korelasi dan deskriptif dengan metode analisis kuantitatif. Penelitian ini secara keseluruhan menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer meliputi pengukuran konsentrasi PM_{10}, $PM_{2,5}$, data meteorologi, dan kuesioner respoden dari hasil sampling lapangan pada stadion Maguwoharjo Sleman, serta data sekunder meliputi baku mutu udara PP No. 22 Tahun 2021, sketsa lokasi penelitian yang berada di stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman, dan nilai acuan *risk assessment*.

3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan November 2023 - Mei 2024. Lokasi penelitian berada di Stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman berdasarkan data yang diambil dari pemantauan udara ambien secara langsung dengan melakukan sampling lapangan. Penetuan lokasi penelitian titik sampling mengacu pada SNI 19-7119.6-2005 tentang penentuan lokasi pengambilan contoh uji pemantauan Kualitas Udara Ambien, yang akan dilaksanakan di 3 (Tiga) titik pengambilan sampel pada Stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman. Lokasi titik sampling dapat dilihat pada **Gambar 3.2** dibawah ini:



Gambar 3. 2 Lokasi Sampling

Berikut merupakan detail titik pengambilan sampel:

1. Titik 1

   Berada di sebelah Timur Stadion Maguwoharjo dan Jogja Bay dengan titik kordinat -7.749624501340482, 110.41982705330696

2. Titik 2

   Berada di sebelah Utara Stadion Maguwoharjo tepat sebelah Selatan Jogja Bay dengan titik kordinat -7.7492160115978095, 110.4176663356444.

3. Titik 3

   Berada disebelah Selatan stadion Maguwoharjo tepat didalam area stadion dengan titik kordinat -7.751792818612526, 110.41901738334562.

3.4 Populasi dan Sampel Penelitian

Dalam suatu penelitian, populasi adalah area atau batasan yang akan diteliti. Populasi merupakan wilayah secara general yang terdiri dari obyek/subyek yang memiliki kualitas serta karakteristik tertentu. Populasi ditentukan oleh peneliti untuk kemudian dipelajari dan diambil kesimpulan. Dalam penelitian ini, populasi yang digunakan adalah seluruh pedagang yang berada di Stadion Maguwoharjo. Pedagang yang masih berjualan hingga saat dilakukan penelitian. Jumlah populasi pedagang di seluruh titik penelitian berkisar antara 150-200 orang. (Badan Pusat Statistik Kab. Sleman).

Sampel dalam penelitian ini terdiri dari para pedagang dari total populasi sebanyak 150 orang. Pengambilan sampel dilakukan dengan memilih 60 orang, yang ditentukan berdasarkan perhitungan *Slovin* untuk skala besar pada lokasi. Pedagang yang terpilih kemudian diberikan kuesioner sebagai bagian dari pengumpulan data primer dan menggunakan hasil konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Berikut perhitungan slovin pada penelitian ini:

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

$$n = \frac{150}{1+150(0,1)^2} = 60$$

Keterangan:

n : Jumlah sampel

N : Besar/ jumlah populasi

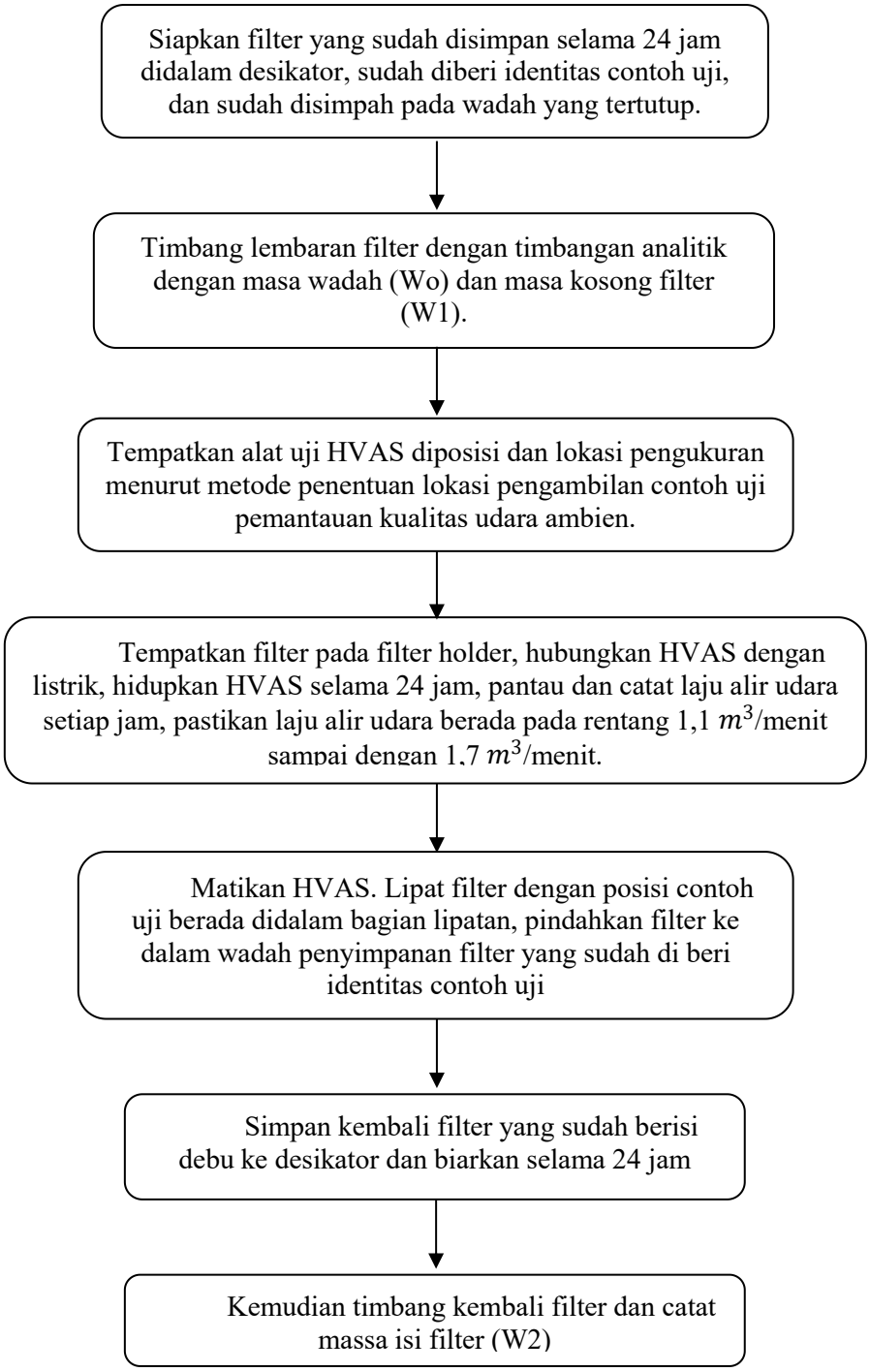
e : Batas toleransi kesalahan (*error tolerance*)

3.5 Metode Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan korelasi dan deskriptif yang menggunakan metode analisa kuantitatif. Pada penelitian ini keseluruhan menggunakan data Primer yang meliputi data konsentrasi $PM_{2,5}$, PM_{10}, data meteorologi dan kuesioner responden. Prosedur kerja pada penelitian ini meliputi tahap persiapan, tahap pengambilan data (Sampling) dan analisis data. Tahap persiapan meliputi pengambilan atau peminjaman alat dan bahan seperti *High Volume Air Sampler* (HVAS), Kertas Saring (Filter *Mikrofiber*), dan lain-lain yang ada pada laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia (UII).

3.6 Metode Sampling PM_{10} dan $PM_{2,5}$

Tahap pengambilan data (Sampling) yang akan dilakukan pada 3 (Tiga) titik sampling yang akan diambil data atau parameter seperti *Particulate Matter* 10 μg (PM_{10}) dan *Particulate Matter* 2,5 μg ($PM_{2,5}$). Pada parameter $PM_{2,5}$ dan PM_{10} menggunakan metode Gravimetri dengan menggunakan alat dan bahan *High Volume Air Sampler* (HVAS), Desikator, Kertas Saring (*Filter Mikrofiber*), Timbangan analitik, berdasarkan SNI 7119.14:2016 ($PM_{2,5}$) dan SNI 7119.15:2016 (PM_{10}), dengan prosedur sampling sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Diagram alir prosedur pengambilan data Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10}

Kemudian untuk Prrhitungan data konsentrasi parameter $PM_{2,5}$ dan PM_{10} yang menggunakan metode *Gravimetr*i, terlebih dahulu harus menghitung rata-rata, nilai maksimum dan minimum dari data meteorologi yaitu kecepatan angin, tekanan udara, kelembapan udara, dan temperatur. Kemudian menghitung koreksi laju alir dengan rumus sebagai berikut:

$$Qs = Q0 \times \left(\frac{Ts \times P0}{T0 \times Ps}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan:

Qs = Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar (Nm^3/ment)

Qo = Laju alir volume uji (m^3/menit)

Ts = Tempertur Standar (298 K)

To = Temperatur rata-rata aktual (273+T ukur)

Ps = Tekanan barometik sandar (101,3 kPa = 760 mmHg)

Po = Tekanan barometik rata-rata actual

Kemudian di hitung dengan volume contoh uji udara, dengan rumus sebagai berikut:

$$Vstd = \frac{\sum_{s=1}^{n} Qs}{n} \times t \qquad \sum_{s=1}^{n} Qs = 28, \text{ (jika n=24)}$$

Keterangan:

Vstd = Volume contoh uji udara dalam keadaan stadar (Nm^3)

Qs = Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar ke-s (Nm^3/ment)

n = Jumlah pencatatan laju alir

t = durasi pengambilan contoh uji (menit)

Setelah itu, di hitung Konsentrasi *Particulate Matter* dalam udara ambien, dengan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{(W2\text{-}W1)\times 10^6}{Vstd}$$

Keterangan:

C = Konsentrasi massa partikel tersuspensi (µg/Nm^3)

Vstd = Volume contoh uji udara dalam keadaan stadar (Nm^3)

W_1 = Berat filter awal (g)

W_2 = Berat filter akhir (g)

10^6 = Konversi gram ke microgram

3.7 Metode Pengambilan Data Meteorologi

Pengambilan data meteorologi yang akan digunakan yaitu kecepatan angin, tekanan udara, kelembapan udara, dan temperatur dengan menggunakan alat Anemometer, Barometer, Higrometer, dan Termometer dengan prosedur sampling selama 24 jam dengan interval waktu 1 jam.

3.8 Pengelolahan Data Meteorologi

Dalam pengelolaan data meteorologi, variabel yang digunakan meliputi kecepatan angin, tekanan udara, kelembapan udara, dan suhu sebagai penunjuk dalam menentukan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Data ini diperoleh dari nilai rata-rata, maksimal, dan minimal setiap variabel meteorologi, yang dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

- Rata-rata

$$\frac{x_1+x_2+\ldots+x_n}{n}$$

- Maksimal Minimal

$$(x_1+x_2+\ldots..+x_n)$$

3.9 Metode Pengambilan Data Responden (Wawancara)

Pada pengumpulan data sampling responden ini akan dilakukan secara langsung dengan menggunakan kuesioner manual terhadap pengguna kawasan stadion yang berisi waktu pajanan, durasi pajanan, umur, dan berat badan. Jumlah responden yang akan diambil berdasarkan populasi pedangang di stadion maguwoharjo menggunakan perhitungan slovin sejumlah 60 orang responden dengan pembagian responden pagi 15 orang, siang 15 orang, dan 30 orang pada sore sampai malam hari karna banyaknya pengguna Kawasan stadion pada sore sampai malam hari maka dari hal tersebut responden yang paling banyak pada waktu sore sampai malam hari.

3.10 Analisis Risiko PM_{10} dan $PM_{2,5}$ Terhadap Kesehatan Pedagang

Analisis resiko lingkungan (ARKL) pada penelitian ini menggunakan metode analisis risiko dengan menganalisis hasil konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} dengan hasil dari kuesioner responden yang berada dikawasan stadion. Berikut langkah-langkah perhitungan analisis resiko lingkungan dengan rumus seebagai berikut:

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

Keterangan:

Satuan	Keterangan	Sumber Data
I	Asupan (*intake*), mg/kg/hari	-
C	Konsentrasi *risk agent*, mg/ m^3 untuk medium udara, mg/L untuk air minum, mg/kg untuk makanan atau pangan	Konsentrasi PM10 dan PM2,5 di Udara / C (mg/m^3)
R	Laju asupan atau konsumsi, m^3/ jam untuk inhalasi, L/hari untuk air minum, g/hari untuk makanan	Menggunakan nilai 20 m^3 (kolluru *et al*., 1996) dengan konversi menjadi 0,83 m^3/jam
t_E	Waktu pajanan	Kuesioner wawancara
f_E	Frekuensi pajanan	Kuesioner wawancara
D_t	Durasi pajanan, tahun (*real time* atau proyeksi, 30 tahun untuk nilai default residensial)	Kuesioner wawancara
W_b	Berat badan	Kuesioner wawancara.
t_{avg}	Periode waktu rata-rata	(Dt x 365 hari/tahun untuk zat nonkarsinogen, 70 tahun x 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)

Selanjutnya, karakteristik risiko atau *Risk Quotient* (RQ) dihitung untuk menentukan manajemen risiko. RQ menunjukkan potensi risiko yang terjadi. Jika RQ > 1, maka kemungkinan risiko tersebut terjadi. Berikut adalah contoh perhitungan untuk menentukan nilai RQ, dengan rumus sebagai berikut:

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfD \text{ atau } RfC}$$

Ink : *Intake* Non Karsinogenik (mg/kg/hari)

RfC : *Reference Concentration* (mg/kg/hari)

Kemudian, manajemen risiko adalah langkah yang diambil untuk mengurangi dampak paparan dari suatu polutan. Ini dilakukan melalui strategi pengelolaan risiko yang mencakup penentuan batas aman, yaitu konsentrasi agen risiko (C), jumlah konsumsi atau laju inhalasi (R), serta waktu pajanan (t_E), frekuensi pajanan (f_E), dan durasi pajanan (D_t). Manajemen risiko dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\text{C aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{R x } t_E \text{ x } f_E \text{ x } D_t}$$

$$f_E \text{ aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{C x R x } t_E \text{ x } D_t}$$

$$t_E \text{ aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{C x R x } f_E \text{ x } D_t}$$

$$D_t \text{ aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{C x R x } t_E \text{ x } f_E}$$

Berikut penjelasan manajemen resiko dengan menurukan *risk agent*:

1. Menurunkan konsentrasi *risk agent* bila pola dan waktu konsentrasi tidak dapat diubah. Cara ini menggunakan prinsip *RFC = ink,* maka persamaan yang digunakan adalah:

$$RFC = \frac{C \; x \; R \; x \; f \; x \; D_t}{W_b \; x \; t_{avg}} \; mg/m^3$$

2. Mengurangi pola (laju) asupan bila konsetrasi *risk agent* dan waktu konsumsi tidak dapat diubah. Persamaan yang digunakan adalah:

$$R = \frac{RfC \; x \; W_b \; x \; t_{avg}}{C \; x \; f_E \; x \; D_t} \; m^3/\text{hari}$$

3. Mengurangi waktu kontak bila konsentrasi *risk agent* dan pola konsumsi tidak dapat diubah. Cara ini sering juga digunakan dalam srategi studi Epidemologi Kesehatan Lingkungan. Persamaan yang digunakan adalah:

$$D_t = \frac{RfD \; x \; W_b \; x \; t_{avg}}{C \; x \; R \; x \; f_E} \; \text{tahun}$$

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di berbagai lokasi di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, dengan menggunakan data primer yang diperoleh melalui proses sampling langsung di lapangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dalam udara ambien di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, dengan mengacu pada penentuan titik pemantauan yang diatur dalam standar SNI 19-7119.6-2005 tentang penentuan lokasi pengambilan sampel untuk pemantauan Kualitas Udara Ambien. Selain itu, selama penelitian juga dilakukan analisis terhadap kondisi meteorologi di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman.

Titik pemantauan dipilih berdasarkan lokasi yang menjadi pusat aktivitas perdagangan atau jalur lintasan yang sering dilewati oleh masyarakat dalam aktivitas sehari-hari. Pemilihan titik pemantauan didasarkan pada kondisi aktual dari setiap lokasi tersebut.

4.2 Meteorologi

Konsentrasi polutan udara tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah sumber pencemar, (Tampubolon, 2010). tetapi juga dipengaruhi oleh faktor meteorologi seperti suhu udara, kelembapan udara, kecepatan, dan arah angin, yang dapat menyebabkan fluktuasi konsentrasi polutan dalam suatu wilayah. Informasi mengenai data meteorologi di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, dapat ditemukan dalam Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Data Meteorologi di stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman

No.	Tempat	Suhu Rata-rata (℃)	Kelembapan Udara (%RH)	Tekanan Udara (mmHg)	Kecepatan Angin (m/s)
1.	Titik 1	29,3	56,7	748,5	0,8
2.	Titik 2	28,2	59,7	748,7	0,6
3.	Titik 3	25,9	85,9	742,8	0,7
Rata-rata		27,8	67,4	746,7	0,7

Berdasarkan data meteorologi yang tersedia, dapat diamati bahwa terdapat variasi suhu udara, kelembapan udara, tekanan udara, dan kecepatan angin di tiga titik pengamatan yang berbeda. Pada titik 1, suhu rata-rata mencapai 29,3°C dengan kelembapan udara sebesar 56,7%, tekanan udara 748,5 mmHg, dan kecepatan angin 0,8 m/s. Sementara itu, pada titik 2, suhu rata-rata sedikit lebih rendah, yaitu 28,2°C, dengan kelembapan udara yang sedikit lebih tinggi sebesar 59,7%, tekanan udara 748,7 mmHg, dan kecepatan angin 0,6 m/s. Pada titik 3, suhu udara rata-rata tercatat pada 25,9°C, dengan kelembapan udara mencapai 85,9%, tekanan udara 745,2 mmHg, dan kecepatan angin 0,7 m/s. Dapat disimpulkan bahwa terdapat variasi signifikan dalam parameter meteorologi di lokasi pengamatan yang berbeda, yang dapat mempengaruhi kondisi lingkungan setempat. Hal ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan faktor-faktor meteorologi dalam analisis konsetrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$.

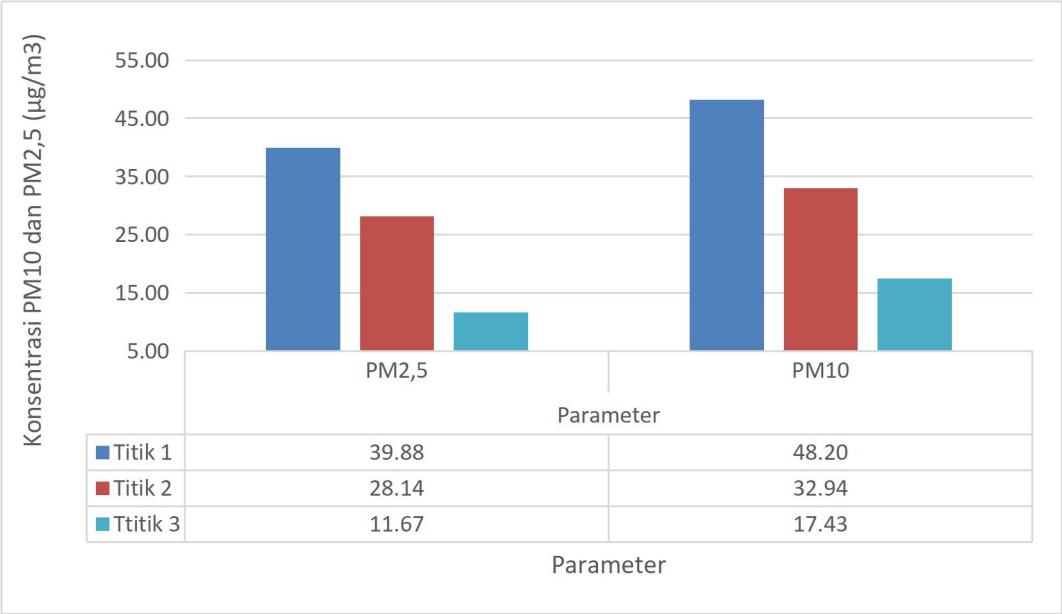
4.3 Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di Udara Ambien

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, analisis konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter 10 μm (PM_{10}) dan *Particulate Matter* dengan diameter 2,5 μm ($PM_{2,5}$) di udara ambien dilaksanakan pada 3 titik pemantauan selama periode sampling dari bulan November 2023 hingga Januari 2024. Lokasi pemantauan mencakup tiga titik yang berbeda, yaitu di sebelah Timur Stadion Maguwoharjo dan Jogja Bay, di sebelah Utara Stadion Maguwoharjo sebelah Selatan Jogja Bay, dan di sebelah Selatan Stadion Maguwoharjo dalam area stadion.

Lokasi pemantauan dilakukan di beberapa titik yang ada di stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman dengan tingkat konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang berbedabeda. Berikut nilai konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dapat dilihat pada tabel dan gambar sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Konsentrasi PM10 dan PM2,5 di udara ambien

Tempat	Parameter	
	PM2,5 (µg/m3)	PM10 (µg/m3)
Titik 1	39,88	48,20
Titik 2	28,14	32,94
Ttitik 3	11,67	17,43



Gambar 4. 1 Konsentrasi PM10 dan PM2,5

Gambar 4. 2 Peta Lokasi Titik Sampling dan Kosentrasi PM10 dan PM2,5

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.1 data konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter 10 μm (PM_{10}) dan *Particulate Matter* dengan diameter 2,5 μm ($PM_{2,5}$) di tiga titik pengamatan yang berbeda, dapat diamati variasi konsentrasi polutan tersebut di daerah tersebut. Pada titik 1, konsentrasi $PM_{2,5}$ mencapai 39,88 μg/m³ sementara konsentrasi PM_{10} adalah 48,20 μg/m³. Pada titik 2, konsentrasi $PM_{2,5}$ menunjukkan penurunan menjadi 28,14 μg/m³, disertai dengan konsentrasi PM_{10} sebesar 32,94 μg/m³. Titik 3 menunjukkan konsentrasi $PM_{2,5}$ yang lebih rendah, yaitu 11,67 μg/m³, dengan konsentrasi PM_{10} sebesar 17,43 μg/m³. Variasi ini mungkin disebabkan oleh perbedaan aktivitas manusia, lalu lintas kendaraan, pola angin, dan faktor-faktor lingkungan lainnya di setiap lokasi pengamatan. Analisis ini menunjukkan bahwa konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ bervariasi di berbagai titik di stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman.

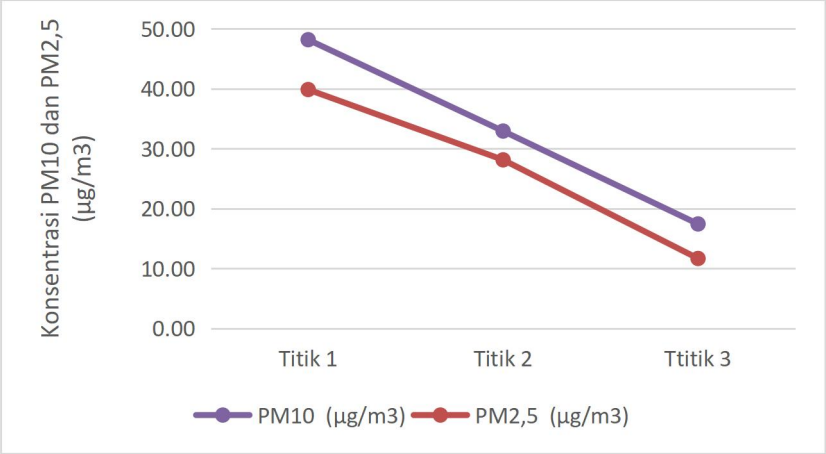
4.3 Perbandingan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ terhadap Kondisi meteorologi

Meteorologi merupakan faktor krusial yang memengaruhi proses transformasi dan perpindahan polutan di atmosfer. Variabel meteorologi yang mencakup kecepatan angin, curah hujan, kelembapan udara, dan suhu udara berperan penting dalam menentukan konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter 10 μm (PM_{10}) dan *Particulate Matter* dengan diameter 2,5 μm ($PM_{2,5}$). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan tingkat konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman dengan kondisi meteorologi yang ada di wilayah tersebut. Berikut adalah perbandingan parameter PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dan beberapa faktor meteorologi yang berpotensi memengaruhi konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$:

4.3.1 Perbandingan Parameter PM_{10} dan $PM_{2,5}$

Particulate Matter (PM) dikelompokkan berdasarkan ukurannya, di mana PM_{10} dan $PM_{2,5}$ biasanya digunakan untuk mengukur konsentrasi udara ambien. PM_{10}, yang kadang-kadang disebut sebagai partikel kasar, memiliki diameter kurang dari 10 μm. PM_{10} secara utama dihasilkan oleh proses mekanis, baik dari debu yang terangkat dari permukaan jalan ke udara, proses industri dan pertanian, maupun bioaerosol. Di sisi lain, $PM_{2,5}$ merupakan partikel halus dengan diameter

kurang dari 2,5 µm dan biasanya berasal dari emisi langsung dari proses pembakaran serta pembentukan sekunder dari proses kimia atmosfer. Oleh karena itu, $PM_{2,5}$ umumnya mengandung lebih banyak spesies organik dibandingkan dengan PM_{10} (Fan & Lin, 2011). Dibawah ini adalah hasil serta perbandingan pola distribusi konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di setiap titik pemantauan:



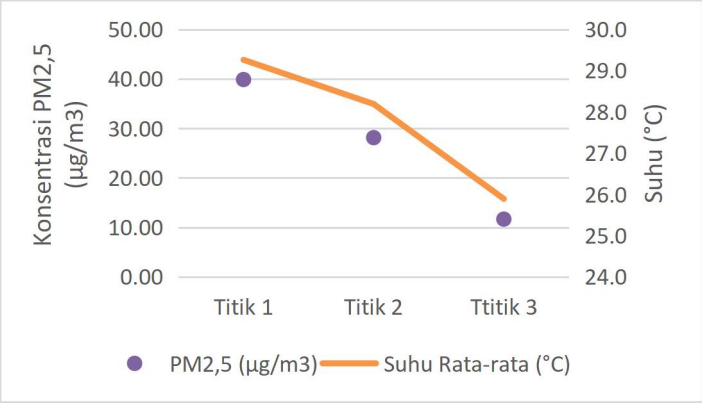
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan PM_{10} dengan $PM_{2,5}$

Dari data konsentrasi PM_{10} dengan $PM_{2,5}$ yang telah dihasilkan pada tiga titik pengamatan, terlihat variasi dalam tingkat polusi udara di daerah tersebut. Pada titik pengamatan pertama, konsentrasi $PM_{2,5}$ mencapai 39,88 µg/m³, sedangkan konsentrasi PM_{10} mencapai 48,20 µg/m³. Pada titik kedua, konsentrasi $PM_{2,5}$ menurun menjadi 28,14 µg/m³, sementara konsentrasi PM_{10} juga menurun menjadi 32,94 µg/m³. Kemudian, pada titik ketiga, konsentrasi $PM_{2,5}$ menurun lebih jauh menjadi 11,67 µg/m³, dan konsentrasi PM_{10} juga menurun menjadi 17,43 µg/m³. Analisis ini menunjukkan bahwa ada variasi pola polusi udara di daerah tersebut, dengan tingkat konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} yang cenderung menurun dari titik pengamatan pertama hingga ketiga. Terlihat bahwa hasil perbandingan dua jenis partikulat di titik pemantauan menunjukkan kecenderungan yang serupa. Peningkatan konsentrasi $PM_{2,5}$ cenderung diikuti oleh peningkatan konsentrasi PM_{10}. Dalam grafik pola fluktuasi nilai konsentrasi, tergambar bahwa titik terendah konsentrasi PM_{10} dengan $PM_{2,5}$ sama-sama terjadi pada titik 3. Namun, hari di mana terjadi nilai tertinggi konsentrasi kedua partikulat tersebut berbeda, dengan nilai tertinggi pada kedua konsentrasi tercatat

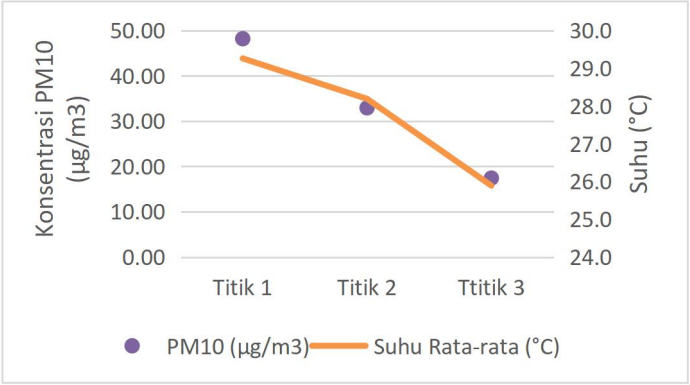
pada titik 1, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.2. Kesimpulan dari analisis ini adalah terdapat penurunan konsentrasi PM10 dengan PM2,5 dari titik pengamatan pertama hingga ketiga.

4.3.2 Suhu Udara

Distribusi suhu udara di atmosfer dipengaruhi secara signifikan oleh radiasi matahari, sehingga suhu udara cenderung mengalami fluktuasi. Suhu udara memainkan peran krusial dalam menentukan jumlah partikulat yang terdapat dalam udara ambien. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh (Cahyadi, 2016), suhu udara yang tinggi dapat menghasilkan kondisi lingkungan yang panas dan kering, yang memungkinkan polutan untuk tersebar lebih mudah dan terangkat di udara. Berikut adalah perbandingan antara konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter 10 µm (PM10) dan *Particulate Matter* dengan diameter 2,5 µm (PM2,5), dengan suhu udara yang berada di stadion Maguwoharjo Kabupaten Sleman, perbandingan dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 4 Grafik perbandingan PM2,5 dengan suhu

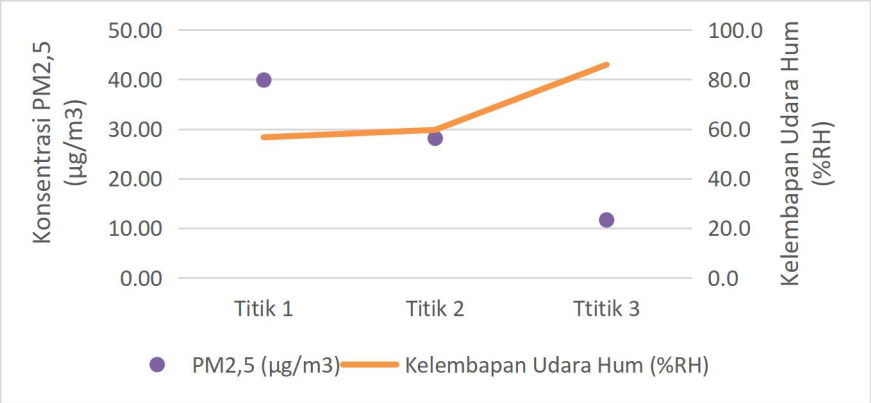


Gambar 4. 5 Grafik perbandingan PM10 dengan suhu

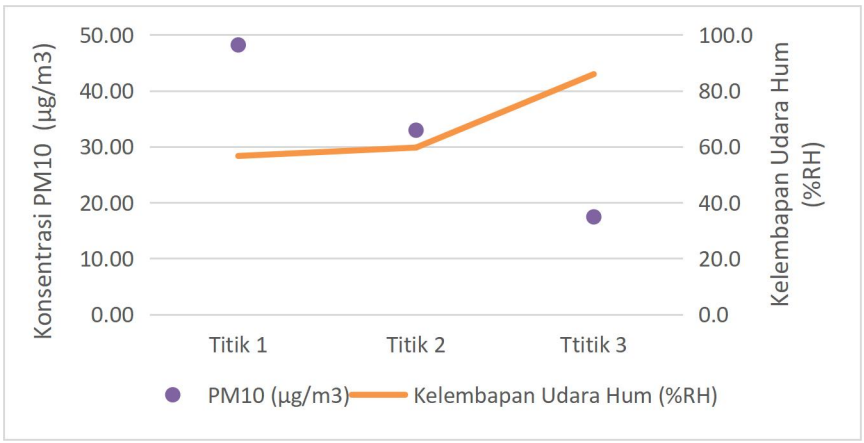
Berdasarkan data perbandingan pada gambar 4.4 dan gambar 4.5, terlihat bahwa konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter 10 μm (PM_{10}) dan *Particulate Matter* dengan diameter 2,5 μm ($PM_{2,5}$) dalam udara ambien mengalami menurunan, sementara suhu udara menunjukkan juga penurunan yang konstan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Holst, J., dkk. 2008), parameter suhu dan tekanan udara tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pembentukan PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Namun, suhu udara berpengaruh terhadap tekanan udara, yang dapat menyebabkan perbedaan tekanan udara antar lokasi dan menghasilkan pergerakan angin dari tempat bertekanan tinggi ke rendah, yang pada gilirannya mempengaruhi perpindahan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ sesuai arah angin. Hasil penelitian (Puspitasari, 2011) menunjukkan bahwa konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ cenderung lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan musim hujan, karena suhu udara yang tinggi menyebabkan kadar air di dalam partikulat menjadi lebih rendah, memudahkan dispersi ke udara. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian (Chaloulakou, 2003) yang menyatakan bahwa konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ lebih tinggi pada hari yang panas dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi. Dengan demikian, gambar 4.4 dan gambar 4.5 menunjukkan bahwa konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ tidak dipengaruhi oleh penurunan suhu udara.

4.3.3 Kelembapan Udara

Kelembapan udara merujuk pada kandungan uap air di udara ambien. Meskipun uap air ini dapat juga tercermin dalam suhu udara, namun nilai keduanya memiliki perbedaan karena kelembapan udara umumnya berbanding terbalik dengan suhu udara, yaitu semakin tinggi nilai kelembapan udara, maka suhu udara akan cenderung lebih rendah. Sebuah studi yang dilakukan oleh (Fardiaz, 2003) mengindikasikan bahwa Udara yang lembab dapat memfasilitasi proses pengendapan bahan pencemar karena kelembaban menyebabkan partikulat berikatan dengan molekul air di udara. Proses ini menghasilkan partikel yang lebih besar, yang akhirnya jatuh ke permukaan bumi. Pebandingan antara konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter 10 μm (PM_{10}) dan *Particulate Matter* dengan diameter 2,5 μm ($PM_{2,5}$) dengan kelembapan udara dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 6 Grafik perbandingan $PM_{2,5}$ dengan Kelembapan Udara



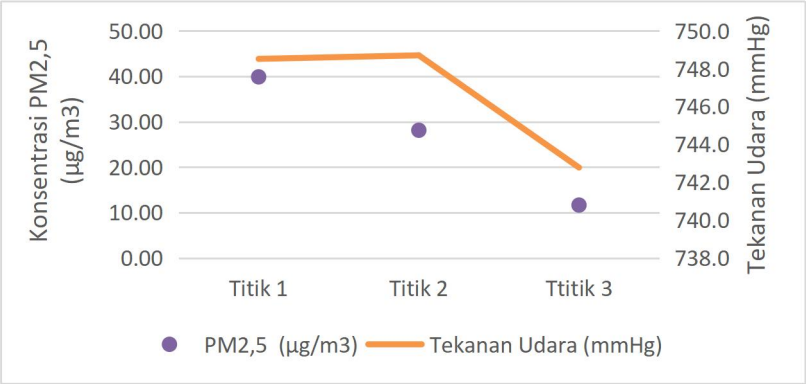
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan PM_{10} dengan Kelembapan Udara

Dari data pada gambar 4.6 dan gambar 4.7, terlihat bahwa konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter 10 µm (PM_{10}) dan *Particulate Matter* dengan diameter 2,5 µm ($PM_{2,5}$) dengan tingkat kelembapan udara yang cenderung semakin naik setiap titiknya. Penurunan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ teramati pada titik 1, titik 2, dan titik 3. gambar 4.6 dan gambar 4.7 juga menunjukkan bahwa nilai kelembapan udara pada ketiga titik tersebut tergolong tinggi, berkisar antara 56% hingga 89%. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Budianto, 2008), kondisi udara dapat diklasifikasikan sebagai lembab jika tingkat kelembapan mencapai angka di atas 45% hingga 50%. Faktor ini diyakini mempengaruhi penurunan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ pada titik pengamatan tersebut. Studi sebelumnya oleh (Cahyadi et al. 2016) juga menegaskan bahwa konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ cenderung berbanding terbalik dengan tingkat kelembapan udara; kelembapan rendah menyebabkan udara kering yang mungkin

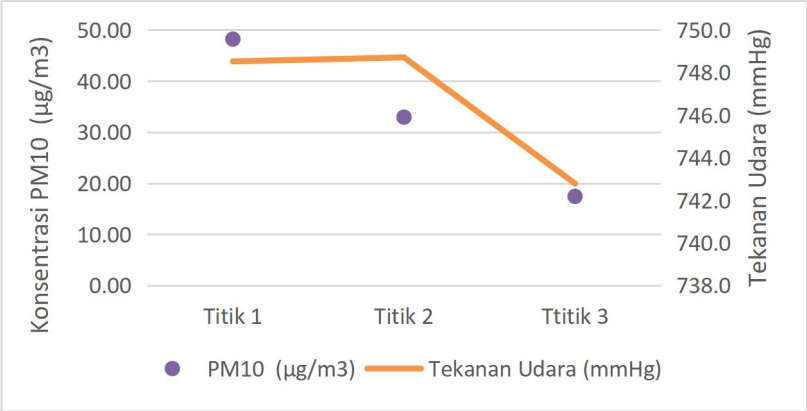
meningkatkan konsentrasi partikulat, sementara kelembapan tinggi cenderung menciptakan kondisi udara yang lebih basah.

4.3.4 Tekanan Udara

Perbedaan tekanan udara secara fundamental memengaruhi pola pergerakan kecepatan angin. Variasi dalam sumber dan arah angin dapat berkontribusi pada perubahan suhu udara dan tekanan udara, yang pada gilirannya berdampak pada dispersi polutan. Penurunan suhu udara dan tekanan udara seiring dengan peningkatan ketinggian polutan dapat diamati sebagai hasil dari interaksi ini. Perubahan suhu udara yang berbanding terbalik dengan kadar polutan dalam udara adalah fenomena yang signifikan yang berdampak pada lingkungan. Berikut adalah gambar perpandingan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan tekanan udara:



Gambar 4. 8 Grafik perbandingan $PM_{2,5}$ dengan Tekanan Udara

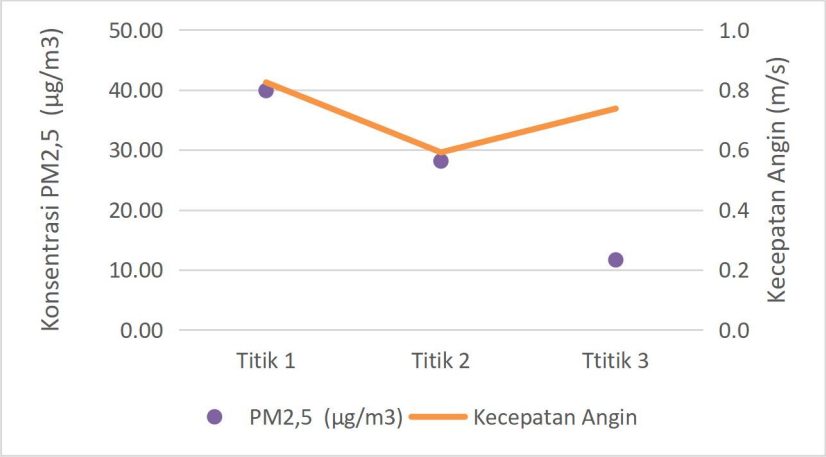


Gambar 4. 9 Grafik perbandingan PM_{10} dengan Tekanan Udara

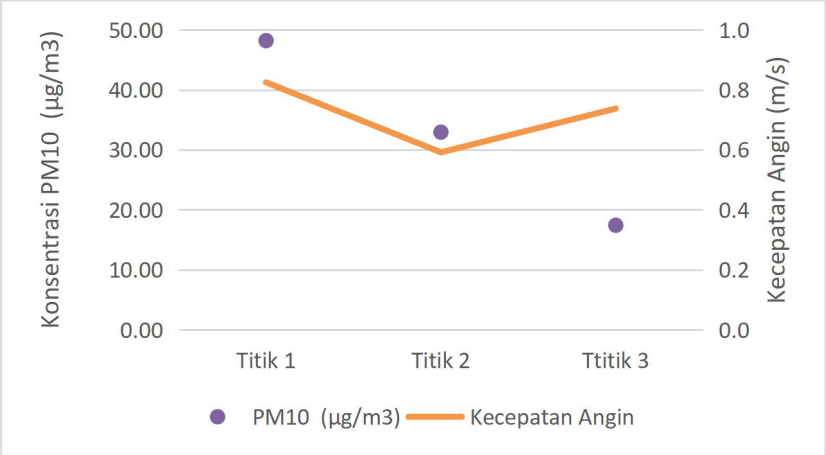
Dari gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa secara teori, peningkatan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ cenderung berhubungan dengan penurunan tekanan udara. Meskipun terdapat kenaikan pada titik 2, namun tidak sebesar pada titik sebelumnya. Dalam teori, penurunan tekanan udara seharusnya disertai dengan penurunan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di udara.

4.3.5 Kecepatan Angin

Angin merupakan faktor meteorologis yang memiliki dampak signifikan terhadap distribusi dan dispersi polutan dalam udara. Angin memiliki kapasitas untuk mengangkut polutan dari satu sumber ke lokasi penerima yang terletak jauh dari sumber asalnya. Perpindahan polutan ini tergantung pada arah dan kecepatan angin, semakin tinggi kecepatan angin, semakin jauh polutan dapat tersebar. Terdapat keterkaitan antara konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter kurang dari 10 mikrometer (PM_{10}) dan *Particulate Matter* dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer ($PM_{2,5}$) dengan kecepatan angin yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 10 Grafik perbandingan $PM_{2,5}$ dengan Kecepatan Angin



Gambar 4. 11 Grafik perbandingan PM10 dengan Kecepatan Angin

Dari data pada gambar 4.9 dan gambar 4.10, terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kecepatan angin pada titik 2 dan titik 3, sementara nilai tersebut mengalami peningkatan pada titik 1. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Sofiati. 2013), konsentrasi maksimum *Particulate Matter* dengan diameter kurang dari 10 mikrometer (PM10) dan *Particulate Matter* dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer (PM2,5) cenderung terjadi pada kecepatan angin rendah, sedangkan konsentrasi minimum terjadi pada kecepatan angin tinggi. Temuan ini didukung oleh penelitian sebelumnya oleh (Holst, J. 2008) dan (Dwi, dkk. 2014), yang menegaskan bahwa angin merupakan faktor meteorologi yang mempengaruhi konsentrasi PM10 dan PM2,5. Kecepatan angin berperan dalam menentukan tingkat konsentrasi PM10 dan PM2,5. Saat kecepatan angin tinggi, polutan akan tersebar secara merata dalam udara, yang pada akhirnya menurunkan konsentrasinya. Namun, pada kecepatan angin rendah, PM10 dan PM2,5 cenderung tidak tersebar dan menumpuk di suatu lokasi, sehingga konsentrasinya meningkat. Dalam konteks gambar 4.9 dan gambar 4.10, terdapat korelasi antara kecepatan angin dan peningkatan konsentrasi PM10 dan PM2,5 hanya pada titik 2, karena nilai kecepatan angin pada titik tersebut hanya sebesar 0,7 m/s, sementara nilai konsentrasi PM2,5 adalah 28,14 µg/m³ dan PM10 adalah 32,94 µg/m³.

Berdasarkan analisis faktor meteorologi yang telah diuraikan, terdapat beberapa variabel yang mempengaruhi fluktuasi konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Salah satu faktor utama yang memengaruhi konsentrasi kedua partikulat tersebut adalah kelembapan udara. Setiap titik pemantauan menunjukkan tingkat kelembapan udara yang tinggi, berkisar antara 56% hingga 89%. Penelitian oleh Budianto (2008) menegaskan bahwa kondisi udara dikategorikan sebagai lembab jika kelembapan mencapai angka di atas 45%-50%. Kondisi tersebut secara langsung berkontribusi pada penurunan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ pada titik pemantauan yang diamati, dan pada tekanan udara dapat disimpulkan bahwa secara teori, peningkatan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ cenderung berhubungan dengan penurunan tekanan udara. Meskipun terdapat kenaikan pada titik 2, namun tidak sebesar pada titik sebelumnya. Dalam teori, penurunan tekanan udara seharusnya disertai dengan penurunan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di udara.

4.4 Perbandingan Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan Baku Mutu Udara Ambien

Berdasarkan data pemantauan konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter kurang dari 10 mikrometer (PM_{10}) dan *Particulate Matter* dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer ($PM_{2,5}$) di 3 (tiga) titik yang terletak di stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, dilakukan sampling selama periode November 2023 hingga Januari. Data ini akan dibandingkan dengan standar kualitas udara ambien yang diatur oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan *World Health Organization* (WHO). Untuk mengetahui titik pemantauan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang memenuhi standar kualitas udara dan yang tidak memenuhi standar dapat dilihat dalam tabel dan gambar yang disajikan berikut ini:

Tabel 4. 3 Perbandingan Konsentrasi PM10 dan PM2,5 dengan Baku Mutu

Parameter	Satuan	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Baku Mutu Sesuai PP No. 22 Th 2021	Baku Mutu Sesuai World Health Organization (WHO) – Updated 2021
PM10	Total Berat	0,08040	0,05520	0,02920	75 µg/m3	45 µg/m3
	Volume Udara (m^3)	1668,0528	1675,6848	1675,1232		
	C (µg/m3)	48,1999131	32,941756	17,4315537		
PM2,5	Total Berat	0,0679	0,0480	0,0199	55 µg/m3	15 µg/m3
	Volume Udara (m^3)	1702,7712	1705,9968	1705,7664		
	C (µg/m3)	39,8761736	28,136043	11,6663102		

Keterangan:

Parameter	Titik 1		Titik 2		Titik 3	
	PP No. 22 Th 2021	World Health Organization (WHO)	PP No. 22 Th 2021	World Health Organization (WHO)	PP No. 22 Th 2021	World Health Organization (WHO)
PM10	Memenuhi	Tidak Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
PM2,5	Memenuhi	Tidak Memenuhi	Memenuhi	Tidak Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Berdasarkan data konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter kurang dari 10 mikrometer (PM10) dan *Particulate Matter* dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer (PM2,5) di 3 titik pemantauan yang dilakukan di daerah tersebut, terlihat variasi yang signifikan dalam tingkat pencemaran udara. Pada titik 1, konsentrasi PM2,5 mencapai 39,88 µg/m³ dan PM10 mencapai 48,20 µg/m³. Pada titik 2, konsentrasi PM2,5 sebesar 28,14 µg/m³ dan PM10 sebesar 32,94 µg/m³. Sementara itu, titik 3 menunjukkan konsentrasi PM2,5 sebesar 11,67 µg/m³ dan PM10 sebesar 17,43 µg/m³. Dari baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, dengan nilai ambang batas PM10 sebesar 75 µg/m³ dan PM2,5 sebesar 55 µg/m³, terlihat bahwa semua titik pemantauan memiliki konsentrasi PM10 dan PM2,5 yang jauh di bawah batas yang telah ditetapkan. Meskipun terdapat variasi antara titik pemantauan, namun secara

keseluruhan, konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di daerah tersebut masih berada dalam rentang yang diterima menurut standar kualitas udara yang berlaku.

Sedangkan menurut *World Health Organization* (WHO) bahwa baku mutu PM_{10} adalah 45 μg/m³, sementara untuk $PM_{2,5}$ adalah 15 μg/m³. Dari hasil analisis, terlihat bahwa konsentrasi PM_{10} pada titik 1 melebihi baku mutu yang ditetapkan. Namun, dititik 2 dan titik 3 pemantauan berada di bawah baku mutu yang ditetapkan, sedangkan konsentrasi $PM_{2,5}$ di titik 1 dan titik 2 melebihi baku mutu yang ditetapkan. Namun, di titik 3, konsentrasi $PM_{2,5}$ masih berada di bawah baku mutu. Kesimpulannya, meskipun konsentrasi PM_{10} umumnya memenuhi standar baku mutu, konsentrasi $PM_{2,5}$ di beberapa titik perlu dipantau lebih lanjut untuk memastikan kualitas udara yang lebih baik.

Dalam penelitian ini, standar baku mutu yang digunakan merujuk pada ketentuan baku mutu nasional yang diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Hal ini karena penggunaan standar baku mutu nasional lebih praktis dan sesuai dengan kondisi lingkungan di Indonesia saat ini. Sementara baku mutu WHO didasarkan pada data rata-rata global yang mungkin tidak secara langsung relevan dengan kondisi lingkungan di Indonesia. Dengan menggunakan standar baku mutu nasional, penelitian ini dapat lebih fokus pada kondisi lokal dan tantangan yang dihadapi Indonesia dalam memantau dan meningkatkan kualitas udara.

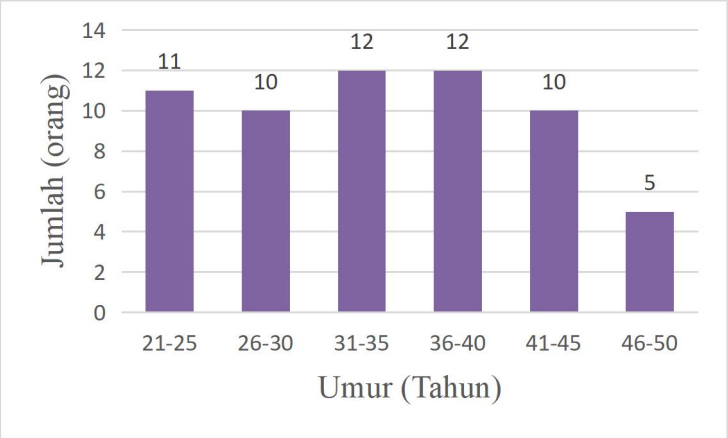
4.6 Analisis Data Responden

4.6.1 Umur

Umur (Tahun) responden, yang telah dikumpulkan secara langsung dari pedagang, bervariasi dalam rentang 21 hingga 50 tahun. Berikut adalah rincian data usia pedagang yang diperoleh dari kuesioner di Stadion Maguwoharjo:

Tabel 4. 4 Distribusi umur pedagang di stadion Maguwoharjo

Umur (Tahun)	Jumlah	Presentase (%)
21-25	11	18%
26-30	10	17%
31-35	12	20%
36-40	12	20%
41-45	10	17%
46-50	5	8%
Total	60	100%



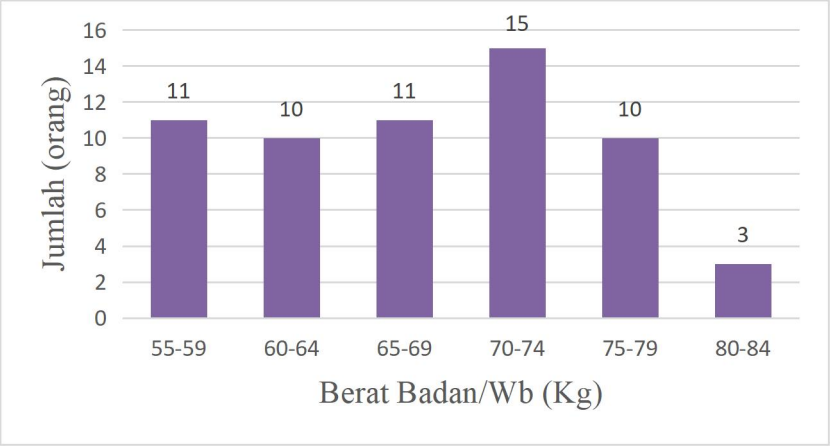
Gambar 4. 12 Umur pedagang di stadion Maguwoharjo

4.6.2 Berat Badan

Data berat badan (Kg) responden, yang telah dikumpulkan secara langsung dari pedagang, bervariasi antara 55 kg hingga 80 kg. Berikut adalah rincian data berat badan pedagang yang diperoleh dari kuesioner di Stadion Maguwoharjo:

Tabel 4. 5 Distribusi berat badan pedagang di stadion Maguwoharjo

Berat Badan / Wb (kg)	Jumlah	Presentase (%)
55-59	11	18%
60-64	10	17%
65-69	11	18%
70-74	15	25%
75-79	10	17%
80-84	3	5%
Total	60	100%



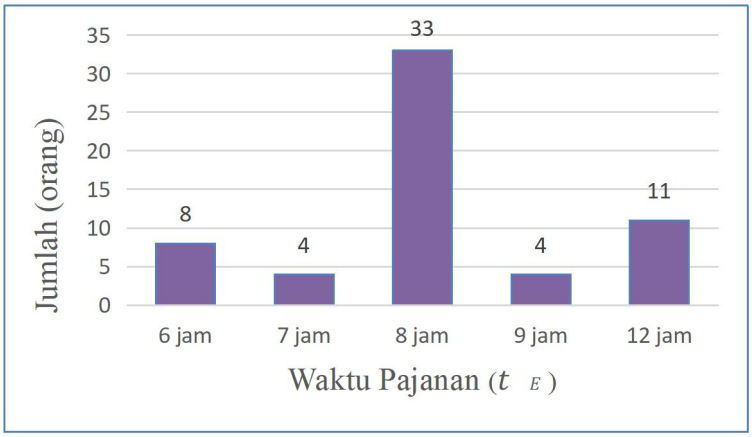
Gambar 4. 13 Berat badan pedagang di stadion Maguwoharjo

4.6.3 Waktu Pajanan

Waktu pajanan (t_E) ditentukan berdasarkan data kuisioner yang dilakukan secara langsung terhadap pedagang. Untuk waktu jam kerja pedagang memilik rentan waktu yang berbeda-beda. Untuk pedagang memiliki waktu jam kerja dengan rentang waktu 6 jam hingga 12 jam, berikut aadalah tabel distribusi waktu pajanan respoden:

Tabel 4. 6 Distribusi waktu pajanan pedagang di stadion Maguwoharjo

Waktu Pajanan (t_E)	Jumlah	Presentase (%)
6 jam	8	13%
7 jam	4	7%
8 jam	33	55%
9 jam	4	7%
12 jam	11	18%
Total	60	100%



Gambar 4. 14 Waktu pajanan pedagang di stadion Maguwoharjo

4.6.4 Frekuensi Pajanan

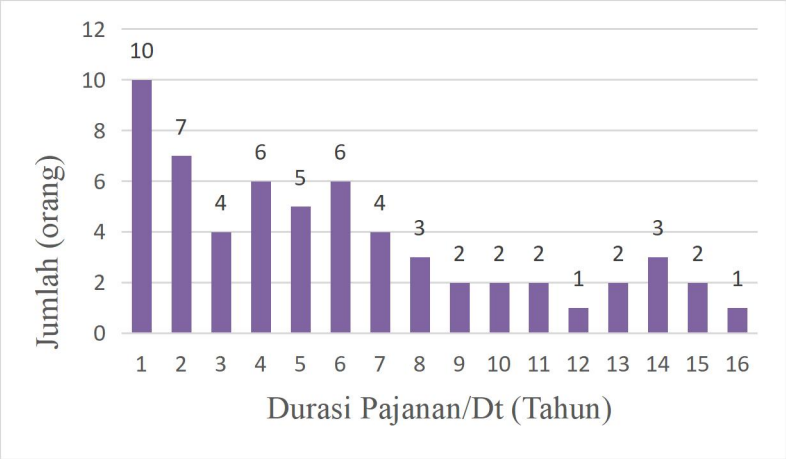
Frekuensi pajanan (f_E) merupakan indikator yang menghitung jumlah hari kerja dalam setahun di mana para pedagang menerima pajanan. Waktu kerja pedagang bervariasi sesuai dengan kebijakan yang mereka atur sendiri. Berdasarkan hasil wawancara atau kuesioner, hampir semua pedagang bekerja selama 6 hari dalam seminggu, sehingga dalam setahun, jumlah hari kerja atau berdagang mencapai 312 hari.

4.6.5 Durasi Pajanan

Durasi pajanan merujuk pada lama waktu pedagang bekerja atau berjualan dalam hitungan tahun. Untuk menghitung pajanan secara *realtime*, durasi bervariasi tergantung pada berapa lama pedagang tersebut telah berdagang hingga saat pengambilan data, yaitu pada bulan Januari 2024. Sedangkan untuk menghitung pajanan seumur hidup (*lifetime*), karena waktu yang tidak menentu, digunakan asumsi standar 30 tahun berdasarkan *default residensial* dari US-EPA. Berikut data durasi pajanan Pedangang di stadion Maguwoharjo:

Tabel 4. 7 Distribusi durasi pajanan pedagang di stadion Maguwoharjo

Durasi Pajanan / Dt (tahun)	Jumlah	Presentase (%)
1 Tahun	10	17%
2 Tahun	7	12%
3 Tahun	4	7%
4 Tahun	6	10%
5 Tahun	5	8%
6 Tahun	6	10%
7 Tahun	4	7%
8 Tahun	3	5%
9 Tahun	2	3%
10 Tahun	2	3%
11 Tahun	2	3%
12 Tahun	1	2%
13 Tahun	2	3%
14 Tahun	3	5%
15 Tahun	2	3%
17 Tahun	1	2%
Total	60	100%



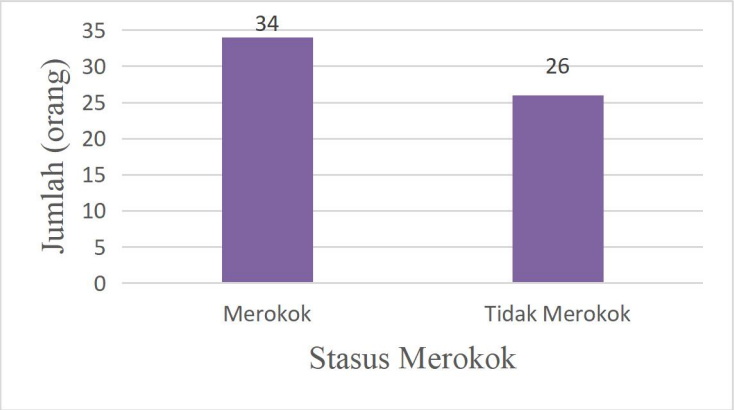
Gambar 4. 15 Durasi pajanan pedagang di stadion Maguwoharjo

4.6.4 Status Merokok

Secara keseluruhan, sampel pedagang yang berada di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, menunjukkan kebiasaan merokok yang lebih tinggi, meskipun perbedaannya tidak signifikan. Berikut adalah tabel distribusi kebiasaan merokok di lokasi tersebut:

Tabel 4. 8 Distribusi status merokok pedagang di stadion Maguwoharjo

Status	Jumlah	Presentase (%)
Merokok	34	57%
Tidak Merokok	26	43%
Total	60	100%



Gambar 4. 16 Status merokok pedagang di stadion Maguwoharjo

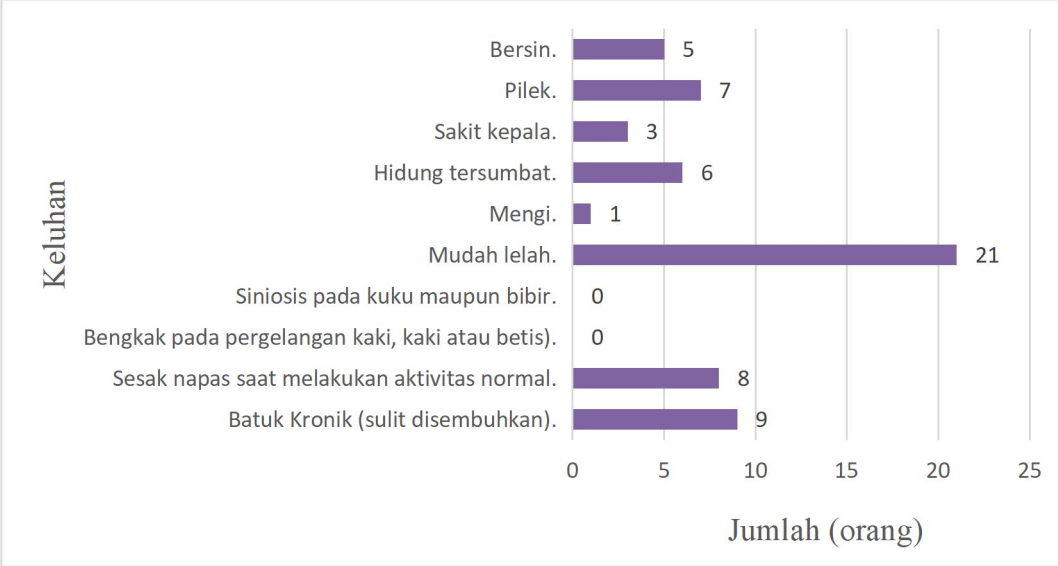
Berdasarkan data dari kuesioner atau wawancara, hampir seluruh pedagang laki-laki di lokasi tersebut memiliki kebiasaan merokok.

4.6.5 Keluhan Kesehatan

Keluhan kesehatan yang diperoleh dari kuesioner pada seluruh sampel responden pedagang di seluruh lokasi disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 9 Distribusi keluhan penyakit pedagang di stadion Maguwoharjo

Keluhan	Jumlah Responden	Persentase (%)
Batuk Kronik (sulit disembuhkan)	9	15%
Sesak napas saat melakukan aktivitas normal	8	13%
Bengkak pada pergelangan kaki, kaki atau betis)	0	0%
Siniosis pada kuku maupun bibir	0	0%
Mudah lelah	21	35%
Mengi.	1	2%
Hidung tersumbat.	6	10%
Sakit kepala.	3	5%
Pilek.	7	12%
Bersin	5	8%



Gambar 4. 17 Keluhan penyakit pedagang di stadion Maguwoharjo

Berdasarkan data yang diperoleh, mayoritas pedagang, sebanyak 35% responden, mengalami gejala mudah lelah, dan beberapa gejala lainnya sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.7 dan gambar 4.17. Umumnya, pedagang merasa bahwa gejala penyakit yang disebutkan dalam survei adalah gejala yang biasa terjadi dalam waktu yang singkat.

4.7 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) PM_{10} dan $PM_{2,5}$

Untuk mengevaluasi risiko kesehatan yang disebabkan oleh paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$, dilakukan studi analisis risiko. Dalam pendekatan ini, beberapa informasi krusial diperlukan, termasuk agen pajanan, data antropometri, dan pola aktivitas individu. Namun, dalam konteks penelitian ini, data yang tersedia hanya mencakup agen pajanan. Oleh karena itu, analisis risiko hanya dapat dilakukan melalui simulasi. Data antropometri dan pola aktivitas akan diperkirakan berdasarkan referensi yang mendekati situasi aktual untuk mendukung analisis tersebut.

4.7.1 Identifikasi Bahaya (Hazard Identification)

Bahaya (hazard) merupakan suatu benda (material) atau keadaan yang dapat menimbulkan kerusakan dan kerugian. Bahaya lingkungan dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu bahaya fisik, kimia, biologi. Pada analisis risiko bahaya diartikan sebagai bahan toksik atau kondisi yang berpotensi berbahaya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Louvar, 1998).

Particulate matter (PM) adalah istilah untuk partikel padat atau cair yang ditemukan di udara. Menurut ukuran di atmosfer, partikulat diklasifikasikan menjadi partikulat kasar *(coarse)* atau PM_{10} dengan ukuran diameter <10 μm dan partikulat halus *(fine)* atau $PM_{2,5}$ dengan ukuran diameter <2,5 μm. Standar kesehatan berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 untuk PM_{10} dan adalah 75 μg/Nm3 (24 jam) dan $PM_{2,5}$ sebesar 55 μg/Nm3 (24 jam). PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dalam penelitian ini dihasilkan dari emisi gas buang kendaraan yang ada di Titik pengambilan sampel. PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dapat berisiko Karsinogenik dan Non Karsinogenik. Dalam penelitian ini akan dilakukan perhitungan risiko PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang bersifat non kakrsinogenik

4.7.2 Konsentrasi Pajanan

Penelitian ini bergantung pada data konsentrasi pajanan yang berasal dari pemantauan udara ambien. Data yang dianalisis adalah konsentrasi *Particulate Matter* dengan diameter kurang dari 10 mikrometer (PM_{10}) dan *Particulate Matter* dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer ($PM_{2,5}$), yang diperoleh melalui proses pengambilan sampel langsung di lapangan dari tiga titik pemantauan yang berbeda. Dalam penelitian ini, konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang digunakan berasal dari Titik 1 karena konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ pada titik 1 lebih tinggi, lokasinya strategis yang berdekatan langsung dengan pedagang, adanya keberadaan sejumlah besar pedagang di sekitar lokasi tersebut, dan jaraknya yang cukup representatif terhadap aktivitas di sekitar jalan raya.

4.7.3 Analisis Dosis Respon

Dalam penelitian ini, dosis referensi dibedakan untuk pajanan oral atau tertelan (ingesti, untuk makanan dan minuman) yang dikenal sebagai *RfD*, dan untuk pajanan *inhalasi* (udara) yang disebut *reference concentration (RfC*). Dalam analisis dosis-respon, dosis diukur sebagai agen risiko yang terhirup (*inhaled*), tertelan (*ingested*), atau terserap melalui kulit (*absorbed*) per kilogram berat badan per hari (mg/kg/hari) (US EPA, 1997). Nilai *RfC* dihitung dengan membagi NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*) dengan faktor ketidakpastian (*Uncertainty Factor*) dan faktor modifikasi (*Modifying Factor*). Namun, untuk dampak karsinogenik dari paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ belum dapat dipastikan karena PM_{10} dan $PM_{2,5}$ tidak memiliki *Cancer Slope Factor* (*CSF*). Selain itu, nilai konsentrasi referensi (*RfC*) untuk PM_{10} dan $PM_{2,5}$ belum terdaftar dalam *Integrated Risk Information System* (IRIS) maupun *Minimum Risk Level* (MRL), sehingga nilai *RfC* untuk PM_{10} dan $PM_{2,5}$ ditetapkan berdasarkan baku mutu yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Maka Nilai *RfC* berlaku persamaan berikut:

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

Berdasarkan pada konsentrasi aman, $I = RfC$, ini berarti asupan yang aman pada responden sebesar nilai *RfC*, dengan nilai default R= 0,83 m_3/jam, t_E= 24 jam/hari, f_E= 350 hari/tahun, Wb= 70 kg, dan tavg= 365 hari/tahun dan nilai C = baku mutu PM_{10} dan $PM_{2,5}$ udara ambien berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 yaitu 75 µg/m3 dan 55 µg/m3. Di dapatkan untuk PM_{10} : 0,014 mg/kg/hari dan $PM_{2,5}$: 0,0102 mg/kg/hari. Nilai *RfC* ini digunakan untuk mengevaluasi karakteristik risiko non Karsinogenik.

4.7.4 Analisis Pajanan PM_{10} dan $PM_{2,5}$

Untuk memperkirakan jumlah pajanan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang masuk ke dalam tubuh pedagang dibutuhkan analisis pemajanan PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

Satuan	Keterangan	Sumber Data
I	Asupan (*intake*), mg/kg/hari	-
C	Konsentrasi risk agent, mg/ m_3 untuk medium udara, mg/L untuk air minum, mg/kg untuk makanan atau pangan	Konsentrasi PM10 dan PM2,5 di Udara / C (mg/m_3)
R	Laju asupan atau konsumsi, m_3 /jam untuk inhalasi, L/hari untuk air minum, g/hari untuk makanan	Menggunakan nilai 20 m_3 (kolluru *et al*., 1996) dengan konversi menjadi 0,83 m_3/jam
t_E	Waktu pajanan	Kuesioner wawancara
f_E	Frekuensi pajanan	Kuesioner wawancara
D_t	Durasi pajanan, tahun (*real time* atau proyeksi, 30 tahun untuk nilai default residensial)	Kuesioner wawancara
W_b	Berat badan	Kuesioner wawancara
t_{avg}	Periode waktu rata-rata	Waktu rata-rata (30 tahun x 365 hari/tahun untuk zat non karsinogenik)

Analisis pajanan dilakukan dengan menghitung asupan PM10 dan PM2,5 dengan memasukkan nilai variabel yang diperlukan untuk perhitungan tersebut. Konsentrasi yang digunakan merujuk pada data konsentrasi PM10 dan PM2,5 yang diperoleh dari pemantauan udara ambien melalui proses sampling langsung di lapangan.

1. Perhitungan *Intake* Pajanan Non Karsinogenik

Analisis pemajanan bertujuan untuk menentukan dosis *risk agent* PM10 dan PM2,5 yang diterima oleh setiap responden sebagai asupan atau intake (I). Perhitungan pajanan non-karsinogenik digunakan untuk memperkirakan efek non-kanker yang mungkin terjadi pada pedagang atau satpam di lokasi titik pemantauan selama masa hidup. Berdasarkan data primer yang diperoleh, berikut adalah contoh perhitungan untuk salah satu pedagang yang bekerja selama 8 jam. Berikut ini adalah contoh perhitungan intake yang digunakan:

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

Diketahui:

C PM10 = 0,039876 mg/m_3	C PM2,5 = 0,0482 mg/m_3
R = 0,83 m_3/jam	W_b = 62 kg
t_E = 12 jam	t_{avg} = 30 x 365 hari/tahun
f_E = 312 hari/tahun	D_t = 7 tahun

- PM2,5

$$I\ Realtime = \frac{0{,}039876\ \text{mg}/m_3 \times 0{,}83\ m_3/\text{jam} \times 12\ \text{jam} \times 312\ \text{hari/tahun} \times 7\ \text{tahun}}{62\ \text{kg} \times 30 \times 365\ \text{hari/tahun}}$$

$$= 0{,}0013\ \text{mg/kg/hari}$$

$$I\ Lifetime = \frac{0{,}039876\ \text{mg}/m_3 \times 0{,}83\ m_3/\text{jam} \times 12\ \text{jam} \times 312\ \text{hari/tahun} \times 30\ \text{tahun}}{62\ \text{kg} \times 30 \times 365\ \text{hari/tahun}}$$

$$= 0{,}0055\ \text{mg/kg/hari}$$

- PM10

$$I\ Realtime = \frac{0{,}0482\ \text{mg}/m_3 \times 0{,}83\ m_3/\text{jam} \times 12\ \text{jam} \times 312\ \text{hari/tahun} \times 7\ \text{tahun}}{62\ \text{kg} \times 30 \times 365\ \text{hari/tahun}}$$

$$= 0{,}0015\ \text{mg/kg/hari}$$

$$I\ Lifetime = \frac{0{,}0482\ \text{mg}/m_3 \times 0{,}83\ m_3/\text{jam} \times 12\ \text{jam} \times 312\ \text{hari/tahun} \times 30\ \text{tahun}}{62\ \text{kg} \times 30 \times 365\ \text{hari/tahun}}$$

$$= 0{,}0066\ \text{mg/kg/hari}$$

2. Karakteristik Resiko

Karakteristik risiko dinyatakan sebagai *Risk Quotient* (RQ) untuk efek non-karsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek karsinogenik. RQ dihitung dengan membagi asupan non-karsinogenik (Ink) dari agen risiko dengan RfD (*Reference Dose*) atau RfC (*Reference Concentration*) agen tersebut (ATSDR, 1998). Berikut adalah perhitungan untuk *RQ*:

$$RQ = \frac{Ink}{RfD\ atau\ Rfc}$$

Ink : *Intake* Non Karsinogenik (mg/kg/hari)

RfC : *Reference Concentration* (mg/kg/hari)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sukadi (2014), paparan terhadap konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dapat dihitung dengan menilai nilai intake, sementara untuk mengevaluasi karakteristik risiko, perhitungan RQ dapat digunakan. Namun, untuk dampak karsinogenik dari paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ belum dapat dipastikan karena PM_{10} dan $PM_{2,5}$ tidak memiliki *Cancer Slope Factor* (*CSF*). Selain itu, nilai konsentrasi referensi (*RfC*) untuk PM_{10} dan $PM_{2,5}$ belum terdaftar dalam *Integrated Risk Information System (IRIS)* maupun *Minimum Risk Level* (MRL), sehingga nilai *RfC* untuk PM_{10} dan $PM_{2,5}$ ditetapkan berdasarkan baku mutu yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Berdasarkan pada konsentrasi aman, $I = RfC$, ini berarti asupan yang aman pada responden sebesar nilai *RfC*, dengan nilai default R= 0,83 m_3 /jam, t_E = 24 jam/hari, f_E = 350 hari/tahun, Wb= 70 kg, dan tavg= 365 hari/tahun. Dengan demikian, nilai konsentrasi referensi (*RfC*) untuk PM_{10} adalah 0,014 mg/kg/hari dan $PM_{2,5}$ adalah 0,0102 mg/kg/hari (Ruslinda, dkk, 2015).

Sebagai contoh menggunakan perhitungan *intake* pada titik pemantauan di Stadio Maguwoharjo Kabupaten Sleman sebagai berikut:

Diketahui : *Ink Realtime :* $PM_{2,5}$ = 0,0013 mg/kg/hari

PM_{10} = 0,0015 mg/kg/hari

Ink Lifetime : $PM_{2,5}$ = 0,0055 mg/kg/hari

PM_{10} = 0,0066 mg/kg/hari

RfC : PM_{10} = 0,014 mg/kg/hari

$PM_{2,5}$ = 0,0102 mg/kg/hari

- $PM_{2,5}$

$$RQ\ Realtime = \frac{0{,}0013\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{hari}}{0{,}0102\frac{mg}{kg}/hari} = 0{,}125$$

$$RQ\ Lifetime = \frac{0{,}0055\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{hari}}{0{,}0102\frac{mg}{kg}/hari} = 0{,}537$$

- PM_{10}

$$RQ\ Realtime = \frac{0{,}0015\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{hari}}{0{,}014\frac{mg}{kg}/hari} = 0{,}1103$$

$$RQ\ Lifetime = \frac{0{,}0066\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{hari}}{0{,}014\frac{mg}{kg}/hari} = 0{,}4728$$

Berdasarkan hasil perhitungan *RQ*, maka dapat diasumsikan sebagai berikut:

a. Bila *RQ* < 1, maka konsentrasi *hazard* belum berisiko menimbulkan efek kesehatan non karsinogenik
b. Bila *RQ* > 1, maka konsentrasi *hazard* sudah berisiko menimbulkan efek kesehatan non karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan konsentrasi *intake* di titik 1 dengan asumsi terpapar PM_{10} adalah *RQ realtime* 0,1103 dan *RQ lifetime* 0,4728 dan $PM_{2,5}$ *RQ realtime* 0,125 dan *RQ lifetime* 0,537. Sedangkan untuk data karakteristik risiko responden lainnya disajikan pada tabel sebagai berikut: (Terlampir)

Tabel 4. 10 Persentase nilai *Risk Quotient (RQ*) pajanan PM10 di stadion Maguwoharjo

	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Presentase (%)	
RQ REALTIME	$RQ \leq 1$	60	100%	60
	$RQ \geq 1$	0	0%	
RQ LIFETIME	$RQ \leq 1$	60	100%	60
	$RQ \geq 1$	0	0%	

Tabel 4. 11 Persentase nilai *Risk Quotient (RQ)* pajanan PM2,5 di stadion Maguwoharjo

	Risk Quotient	Jumlah		Total
		Orang	Presentase (%)	
RQ REALTIME	$RQ \leq 1$	60	100%	60
	$RQ \geq 1$	0	0%	
RQ LIFETIME	$RQ \leq 1$	60	100%	60
	$RQ \geq 1$	0	0%	

Untuk hasil *Risk Quotient (RQ)* dari PM10 dan PM2,5 menunjukan bahwa untuk perhitungan *realtime* dan *lifetime* tidak ada responden yang Berisiko terkena efek kesehatan non karsinogenik (B) dimana $RQ \geq 1$ dan Semua responden Tidak Berisiko terkena kesehatan non karsinogenik (TB) dimana $RQ \leq 1$ tidak terlalu berpengaruh Sehingga tidak diperlukan adanya langkah preventif untuk mengurangi dampak kesehatan yang diakibatkan dari pemajanan PM10 dan PM2,5.

4.7.5 Estimasi Risiko Kesehatan Pajanan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ Pada Pedagang Menggunakan Data Rata-Rata Pedagang.

Estimasi risiko kesehatan pedagang merupakan perhitungan yang diunakan untuk melihat apakah pajanan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ berbahaya atau tidak bila menggunakan nilai rata-rata, Data pada tabel berikut ini merupakan data rata-rata yang diambil di setiap lokasinya. Sedangkan untuk atau durasi pajanan menggunakan nilai *default* dari US.EPA karena untuk lama bekerja secara pasti hingga berapa tahunnya tidak diketahui. Sedangkan untuk laju inhalasi menggunakan data rata-rata setiap respondennya. Untuk mengetahui estimasi risiko dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut:

- $PM_{2,5}$

$$I\ Realtime = \frac{0{,}039876\ \text{mg}/m^3 \text{ x } 0{,}83\ m^3/\text{jam x } 8\ \text{jam x } 312\ \text{hari/tahun x } 8\ \text{tahun}}{68\ \text{kg x } 30\ x\ 365\ \text{hari/tahun}}$$

$$= 0{,}0009\ \text{mg/kg/hari}$$

$$I\ Lifetime = \frac{0{,}039876\ \text{mg}/m^3 \text{ x } 0{,}83\ m^3/\text{jam x } 8\ \text{jam x } 312\ \text{hari/tahun x } 30\ \text{tahun}}{68\ \text{kg x } 30\ x\ 365\ \text{hari/tahun}}$$

$$= 0{,}0035\ \text{mg/kg/hari}$$

- PM_{10}

$$I\ Realtime = \frac{0{,}0482\ \text{mg}/m^3 \text{ x } 0{,}83\ m^3/\text{jam x } 8\ \text{jam x } 312\ \text{hari/tahun x } 8\ \text{tahun}}{68\ \text{kg x } 30\ x\ 365\ \text{hari/tahun}}$$

$$= 0{,}0011\ \text{mg/kg/hari}$$

$$I\ Lifetime = \frac{0{,}0482\ \text{mg}/m^3 \text{ x } 0{,}83\ m^3/\text{jam x } 8\ \text{jam x } 312\ \text{hari/tahun x } 30\ \text{tahun}}{68\ \text{kg x } 30\ x\ 365\ \text{hari/tahun}}$$

$$= 0{,}0043\ \text{mg/kg/hari}$$

Kemudian dilakukan perhitungan karakteristik risiko atau *Risk Quotient (RQ)* sebagai berikut:

- PM2,5

$$RQ\ Realtime = \frac{0{,}0009\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{hari}}{0{,}0102\frac{mg}{kg}/hari} = 0{,}092$$

$$RQ\ Lifetime = \frac{0{,}0035\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{hari}}{0{,}0102\frac{mg}{kg}/hari} = 0{,}346$$

- PM10

$$RQ\ Realtime = \frac{0{,}0011\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{hari}}{0{,}014\frac{mg}{kg}/hari} = 0{,}0813$$

$$RQ\ Lifetime = \frac{0{,}0043\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{hari}}{0{,}014\frac{mg}{kg}/hari} = 0{,}3049$$

Tabel 4. 12 Nilai Rata-rata Sampel dan Estimasi risiko kesehatan pajanan PM10

Nomor Responden	Konsentrasi PM10 di Udara / C (mg/m3)	Waktu Pajanan / tE (jam/hari	Frekuensi Pajanan / fE (hari/tahun)	Durasi Pajanan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / Wb (kg)	Inhalation Rate/R	Intake Realtime (mg/kg/hari)	Intake Lifetime (mg/kg/hari)	(RQ) Realtime	Tingkat Resiko	(RQ) Lifetime	Tingkat Resiko
Rata-rata	0,0482	8	312	8	35	68	0,83	0,0011	0,0043	0,0813	TB	0,3049	TB

B = Berisiko terkena efek kesehatan non karsinogenik

TB = Tidak berisiko terkena kesehatan non karsinogenik

Tabel 4. 13 Nilai Rata-rata Sampel dan Estimasi risiko kesehatan pajanan PM2,5

Nomor Responden	Konsentrasi PM2,5 di Udara / C (mg/m3)	Waktu Pajanan / tE (jam/hari	Frekuensi Pajanan / fE (hari/tahun)	Durasi Pajanan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / Wb (kg)	Inhalation Rate/R	Intake Realtime (mg/kg/hari)	Intake Lifetime (mg/kg/hari)	(RQ) Realtime	Tingkat Resiko	(RQ) Lifetime	Tingkat Resiko
Rata-rata	0,039876	8	312	8	35	68	0,83	0,0009	0,0035	0,092	TB	0,346	TB

B = Berisiko terkena efek kesehatan non karsinogenik

TB = Tidak berisiko terkena kesehatan non karsinogenik

Dari analisis risiko lingkungan terhadap pedagang dan satpam di stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *RQ* (*Risk Quotient*) rata-rata responden adalah *RQ* < 1. Di lokasi stadion Maguwoharjo, nilai *RQ* untuk PM10 adalah 0,3049, sedangkan untuk PM2,5 adalah 0,346. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan, titik pemantauan di stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, memiliki nilai *RQ* < 1, yang menandakan bahwa mereka tidak berisiko terkena dampak kesehatan non-karsinogenik.

4.7.6 Manajemen Risiko Non Karsinogenik

Berdasarkan perhitungan *RQ lifetime* di stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman. Tidak perlu dilakukannya pengendalian atau manajemen risiko untuk menurunkan risiko. Karena Dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), prinsip pengelolaan risiko diterapkan saat tingkat risiko $RQ > 1$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tingkat risiko untuk individu dan populasi Pedagang serta Satpam di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, memiliki nilai $RQ < 1$. Hal ini menandakan bahwa Pedagang dan Satpam di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, tidak terpapar risiko dalam tingkat yang signifikan terhadap paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$, sehingga belum memerlukan implementasi manajemen risiko pada tahap ini. Untuk mengetahui batas aman intake dari konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$, maka dapat dilakukan menggunakan rumus perhitungan berikut:

$$\text{C aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{R x } t_E \text{ x } f_E \text{ x } D_t}$$

Adapun perhitungan manajemen risiko dengan mencari waktu pajanan (t_E) aman (maksimum) sebagai berikut:

$$t_E \text{ aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{C x R x } f_E \text{ x } D_t}$$

Selain itu adapun perhitungan manajemen risiko dengan mencari frekuensi pajanan (f_E) aman (maksimum) sebagai berikut:

$$f_E \text{ aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{C x R x } t_E \text{ x } D_t}$$

Selain itu adapun perhitungan manajemen risiko dengan mencari Durasi pajanan (D_t) aman (maksimum) sebagai berikut:

$$D_t \text{ aman} = \frac{\text{Rfc x } W_b \text{ x } t_{avg}}{\text{C x R x } t_E \text{ x } f_E}$$

Berdasarkan perhitungan *RQ lifetime* di stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman. Tidak perlu dilakukannya pengendalian atau manajemen risiko untuk menurunkan risiko. Karena Dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), prinsip pengelolaan risiko diterapkan saat tingkat risiko *RQ* > 1. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tingkat risiko untuk individu dan populasi Pedagang serta Satpam di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, memiliki nilai *RQ* < 1. Hal ini menandakan bahwa Pedagang dan Satpam di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, tidak terpapar risiko dalam tingkat yang signifikan terhadap paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$, sehingga belum memerlukan implementasi manajemen risiko pada tahap ini. Maka dari itu Masyarakat atau pemeritah dapat mempertahankan atau menjaga kualitas udara ambien khususnya PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang berada disekitar stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman.

4.7.7 Risiko kesehatan akibat pajanan PM_{10} dan $PM_{2,5}$

Menurut *World Health Organization* (WHO) tahun 2011, paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dalam jangka waktu singkat dapat menyebabkan dampak serius pada kesehatan, termasuk radang paru-paru, Infeksi Saluran Pernapasan Atas (ISPA), gangguan kardiovaskular, bahkan risiko kematian. Dalam jangka panjang, paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ juga dapat meningkatkan risiko gangguan pernapasan seperti eksaserbasi asma, penurunan fungsi paru-paru pada anak-anak, peningkatan kasus penyakit obstruktif paru-paru kronis, serta menurunkan harapan hidup rata-rata, terutama terkait dengan kematian akibat penyakit jantung-paru dan risiko terjadinya kanker paru-paru (Nurjanah, 2014).

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh (Faridawati, 1995), ditemukan bahwa dampak dari paparan debu pada individu dapat bervariasi meskipun mereka terpapar pada waktu dan konsentrasi yang sama. Faktor-faktor seperti durasi paparan dan lama kerja memiliki hubungan yang signifikan dengan tingkat risiko terhadap gangguan saluran pernapasan yang diakibatkan oleh bahan pencemar. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Johanson, 2000) menunjukkan bahwa pekerja yang terpapar debu dengan lama kerja lebih dari 8 jam sehari memiliki risiko 80% untuk mengalami gangguan saluran pernapasan. *World Health Organization* (WHO) memperkirakan bahwa partikulat (PM) berkontribusi terhadap sekitar 800.000 kasus kematian

prematur setiap tahunnya, serta menyebabkan 6,4 juta jiwa kehilangan kualitas hidup yang sehat (Brauer et al., 2012). Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Kim et al. 2014), ukuran partikel yang semakin kecil akan meningkatkan kemampuan partikel tersebut untuk menembus saluran pernapasan dalam.

Paparan partikel debu melalui inhalasi dalam saluran pernapasan dapat menginduksi berbagai gangguan pada fungsi paru-paru tergantung pada ukuran partikel debu tersebut. Karakteristik kimia, biologi, dan fisika dari partikel debu akan menentukan tempat penumpukannya di saluran pernapasan. Menurut *United States Enviromental Protection Agent* (US-EPA), paparan partikulat juga dikaitkan dengan peningkatan risiko terkena asma, pneumonia, bronkitis, penyakit paru obstruktif kronis, gangguan saluran pernapasan atas dan bawah, penurunan fungsi paru-paru, serta peningkatan insiden rhinitis.

4.7.8 Komunikasi Risiko.

Langkah-langkah untuk mengurangi dan mencegah konsentrasi paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dapat dilakukan melalui serangkaian tindakan yang telah diidentifikasi dalam penelitian, seperti yang disarankan oleh (Sugiarta, 2008). Salah satunya adalah dengan mengatur arus lalu lintas untuk menghindari kepadatan atau penumpukan kendaraan di satu jalur jalan, sehingga emisi tidak terakumulasi di satu titik tertentu dan memastikan bahwa tingkat pencemaran udara tetap memenuhi standar yang berlaku. Selain itu, pengaturan jam kerja yang berbeda-beda untuk setiap instansi juga dapat membantu mengurangi jumlah kendaraan bermotor di jalan. Diperlukan regulasi yang kuat untuk mendukung langkah-langkah ini. Selanjutnya, meningkatkan hari bebas kendaraan bermotor juga merupakan strategi yang efektif untuk mengurangi emisi ke udara. Uji emisi pada semua jenis kendaraan, baik umum maupun pribadi, juga perlu dilakukan untuk mengevaluasi tingkat emisi yang dihasilkan dan memastikan bahwa kendaraan mematuhi batasan operasional yang ditetapkan, termasuk umur maksimum kendaraan. Untuk mencapai hal ini, regulasi yang ketat dan mengikat diperlukan. Kemudian upaya lanjutan untuk mengurangi pencemaran udara di perkotaan meliputi strategi reboisasi, yang telah dijelaskan oleh (Saraswati, 2008). Penanaman pepohonan di area hijau tidak hanya berperan dalam menyaring polusi dan debu melalui proses filtrasi udara, tetapi juga dalam menciptakan iklim mikro yang

menguntungkan. Ruang terbuka hijau dapat meningkatkan kadar oksigen udara, menurunkan suhu melalui keteduhan dan kesejukan tanaman, serta meredam kebisingan. Selain reboisasi, alternatif lainnya adalah fitoremediasi, sebuah metode yang menggunakan tanaman untuk menyerap dan mengubah zat pencemar menjadi bahan yang lebih ramah lingkungan. Keuntungan dari fitoremediasi termasuk menghasilkan limbah sekunder dengan kandungan toksik yang lebih rendah, kesesuaian dengan lingkungan, dan efisiensi biaya yang lebih baik. Beberapa jenis tanaman yang efektif dalam menanggulangi konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ antara lain pohon angsana (*Pterocarpus indicus*), pohon ketapang (*Terminal catappa*), dan pohon mahoni (*Swietenia mahagoni*), karena karakteristik daunnya yang lebar yang mampu menangkap partikel-partikel udara, terutama yang berbulu dan memiliki permukaan kasar, serta memungkinkan sebagian partikel lain untuk terserap ke dalam stomata daun.

Untuk mencegah terjadinya pencemaran PM_{10} dan $PM_{2,5}$ terhadap pedagang dan satpam yang beroperasi di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, disarankan agar pihak terkait, termasuk instansi pemerintah yang bertanggung jawab dalam kebijakan lingkungan, melakukan langkah-langkah teknis, administratif, dan penerapan alat pelindung diri (APD). Rekayasa teknis atau *Engineering Control* dapat dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman dengan mengimplementasikan program penanaman pohon di area-area yang memiliki potensi tinggi dalam menciptakan pencemaran udara. Temuan dari penelitian yang dilakukan oleh (Alerich, 1995), sebagaimana disebutkan dalam (Syamsoedin, 2010), menunjukkan bahwa tanaman dapat berperan dalam mengurangi partikel polutan, di mana tajuk pohon mampu menyerap partikel padat yang terdispersi di lapisan biosfer, mengurangi jumlah debu yang beredar di udara. Selain itu, langkah administratif juga perlu diterapkan, seperti pengeluaran regulasi yang mendukung pengelolaan lingkungan hidup dan mengurangi risiko pencemaran. Regulasi tersebut dapat mencakup pengendalian emisi kendaraan bermotor, rekayasa lalu lintas, serta kebijakan yang melindungi pedagang lokal, sambil tetap memperhatikan proses pendataan dan aspek kesehatan pedagang yang bersangkutan. Selain itu, disarankan agar pedagang dan satpam menggunakan alat pelindung diri (APD), seperti masker, untuk mengurangi paparan terhadap partikel pencemar udara.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Perbandingan antara PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan factor Meteorologi yang berada di stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman mengalami penurunan yang signifikan, dapat diketahui pada setiap titik pemantauan mengalami penurunan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Berdasarkan dari factor meteorologi yang telah dijelaskan, ada beberapa faktor meteorologi yang mempengaruhi peningkatan dan penurunan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Salah satu faktor utama yang memengaruhi konsentrasi kedua partikulat tersebut adalah kelembapan udara. Setiap titik pemantauan menunjukkan tingkat kelembapan udara yang tinggi, berkisar antara 56% hingga 89%. Penelitian oleh Budianto (2008) menegaskan bahwa kondisi udara dikategorikan sebagai lembab jika kelembapan mencapai angka di atas 45%-50%. Kondisi tersebut secara langsung berkontribusi pada penurunan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ pada titik pemantauan yang diamati, dan pada tekanan udara dapat disimpulkan bahwa secara teori, peningkatan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ cenderung berhubungan dengan penurunan tekanan udara. Meskipun terdapat kenaikan pada titik 2, namun tidak sebesar pada titik sebelumnya. Dalam teori, penurunan tekanan udara seharusnya disertai dengan penurunan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di udara.
2. Berdasarkan perhitungan *RQ lifetime* di stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman. Tidak perlu dilakukannya pengendalian atau manajemen risiko untuk menurunkan risiko. Karena Dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), prinsip pengelolaan risiko diterapkan saat tingkat risiko $RQ > 1$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tingkat risiko untuk individu dan populasi Pedagang serta Satpam di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, memiliki nilai $RQ < 1$. Hal ini menandakan bahwa Pedagang dan Satpam di Stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman, tidak terpapar risiko dalam tingkat yang signifikan terhadap paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$, sehingga belum memerlukan implementasi manajemen risiko pada tahap ini. Maka dari itu Masyarakat atau pemeritah dapat mempertahankan atau menjaga kualitas udara ambien

khususnya PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang berada disekitar stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian, terdapat saran yang dapat diberikan oleh peneliti guna menunjang dan menyempurnakan penelitian selanjutnya, diantaranya:

1. Peneliti selanjut terkait analisis risiko PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di stadion Maguwoharjo, Kabupaten Sleman. Penelitian berikutnya dapat dilakukan lebih mendetail dengan populasi berdasarkan klasifikasi aktivitas sehari-hari seperti pada pelajar, olahragawan, pekerja kantoran, pedagang, maupun tukang ojek dengan sumber dan lokasi yang lebih mendetail dan memberikan dampak apa saja yang didapat akibat pajanan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ tersebut.
2. Bagi para pedagang atau satpam Sebaiknya dalam bekerja menggunakan masker untuk mencegah adanya risiko penurunan fungsi paru akibat polusi udara. melakukan pemeriksaan kesehatan rutin minimal 6 bulan sekali untuk mengetahui dan menjaga kondisi Kesehatan.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

Af'idah, N. (2012). Analisis Hubungan Konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) di Dalam dan Di Luar Ruangan dan Faktor-Faktor yang Berhubungan (Studi Kasus: PT. Japfa So Good Food Sidoarjo). *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699. http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.02.007

Agus, A., Ahmad, M., & Kusumaningtyas, S. D. A. (2019). Analisis Dampak Diterapkannya Kebijakan *Working from Home* Saat Pandemi Covid-19 Terhadap Kondisi Kualitas Udara di Jakarta. Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, 6(3), 6–14.

Agusnar. 2008. Analisa Pencemaran dan Pengendalian Pencemaran. Medan: USU Press

Arya, D., & Suci, B. (2021). Uji Emisi untuk Meningkatkan Kualitas Udara di Ibu Kota. April 2020.

Budiyono, A. (2010). Pencemaran Udara: Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. Dirgantara, 2 (1), 21–27.

Chaloulakou, A., P. Kassomenos, N. Spyrellis, P. Demokritou, & P. Koutrakis. 2003. *Measurements of PM10 and PM2,5 particle concentrations in Athens, Greece. J. Atmospheric Environment*. 37: 649-660

Cholianawati, N. (2019). Partikulat Halus (PM2,5) dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Manusia. Berita Dirgantara, 20(1), 15–20.

Fardiaz Srikandi. 1992. polusi air & udara. penerbit kanisius. Yogyakarta.

Fitria, L., Wulandari, R. A., Hermawati, E., & Susanna, D. (2008). Kualitas Udara Dalam Ruang Perpustakaan. Makara, Kesehatan, 12(2), 77–83.

Gusnita, D. and Cholianawati, N. (2019) '*Pollutant Concentration and Trajectory Patterns of PM2.5 including Meteo Factors in Jakarta City'*, JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia), 4(3), p. 152. *Available at*: https://doi.org/10.20961/jkpk.v4i3.35028

Haruna, H., Lahming, L., Amir, F., & Asrib, A. R. (2019). Pencemaran Udara Akibat Gas Buang Kendaraan Bermotor Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. UNM *Environmental Journals*, 2(2), 57. https://doi.org/10.26858/uej.v2i2.10092

Ismiyati, Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog), 01(03).

Jiang, J., Zhou, W., Cheng, Z., Wang, S., He, K., & Hao, J. (2015). *Particulate Matter Distributions in China during a Winter Period with Frequent Pollution Episodes (January 2013). 10(2), 494–503.* https://doi.org/10.4209/aaqr.2014.04.0070

Louvar, F.L. 1998. *Health and Environmental Risk Analysis: Fundamental with Applicationvolume 2. New Jersey: Prentice Hall PTR*

Mukhtar, R., Hamonangan Panjaitan, E., Wahyudi, H., Santoso, M., & Kurniawati, S. (2013). Komponen Kimia Pm2,5 Dan Pm10 di Udara Ambien Di Serpong – Tangerang. Jurnal Ecolab, 7(1), 1–7. https://doi.org/10.20886/jklh.2013.7.1.1-7

Puspitasari, Anita Dwi. 2011. Pola spasial pencemaran udara dari sumber pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang [skripsi]. Universitas Indonesia, Depok

Prayudi, T., & Susanto, J. P. (2001). Kualitas Debu dalam Udara sebagai Dampak Industri Pengecoran Logam Ceper. Jurnal Teknologi Lingkungan, *2*(2), 168–174.

Rahman, Abdur. 2007. Bahan Ajar Pelatihan Analisis Risiko Kesehatan (Program Intensif Tingkat Dasar). Depok: FK UI.

Riad Syech, Usman Malik, R. F. (2017). Analisis Pengaruh Partikulat Matter Pm10 Terhadap Suhu, Kelembapan Udara dan Kecepatan Angin di Daerah Kulim Kota Pekanbaru. Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia, *14*(2), 1032–1036.

Ruslinda, Y., Gunawan, H., Nugraha, N. 2015. Analisis Konsentrasi PM10 di Udara Ambien Roadside Jaringan Jalan Sekunder Kota Padang. *Prosiding 2nd National Conference* Padang. Universitas Andalas: 95 100.

Soedomo, M., 2001, Pencemaran Udara (Kumpulan karya ilmiah), ITB press, Bandung.

Seprianto, S. M., & Sainab, S. (2015). Studi Kadar CO Udara & Kadar COHB Darah Karyawan Mekanik Otomotif Bengkel Perawatan & Perbaikan. Jurnal Bionature, 16 (1), 49-53.

Sianturi, O. (2004). Evaluasi Emisi Karbon Monoksida dan Partikel Halus dari Kendaraan Bermotor di Kota Semarang. Tesis. Universitas Diponegoro.

Syamsoedin, I. 2010. Kajian Status Iptek Dan Pengembangan Ekosistem Hutan DiPerkotaan. Bogor: Badan Penelitian Dan Pengembangan Kehutanan.

Turyanti, A. (2011). analisis pengaruh faktor meteorologi terhadap konsentrasi PM10 menggunakan regresi linier berganda (Studi. Journal Agromet, 25(1), 24–28.

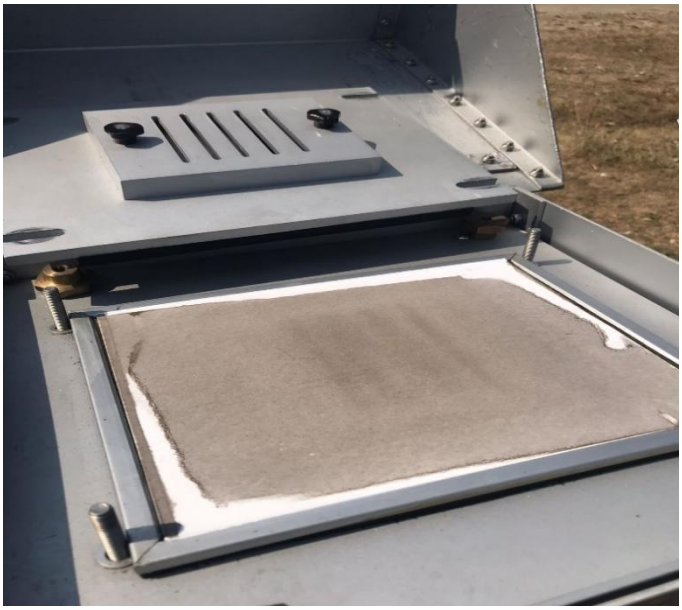
US. Enironmental Protetection Agency, 2004. Air Quality Criteria for Particulate Matter. Vol 1. North Carolina: National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development Research Triangle Park.

Wijayanti, R. N. 2010. Analisis Pengaruh Kepadatan Lalu Lintas Terhadap Konsentrasi PM10. Teknik Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.

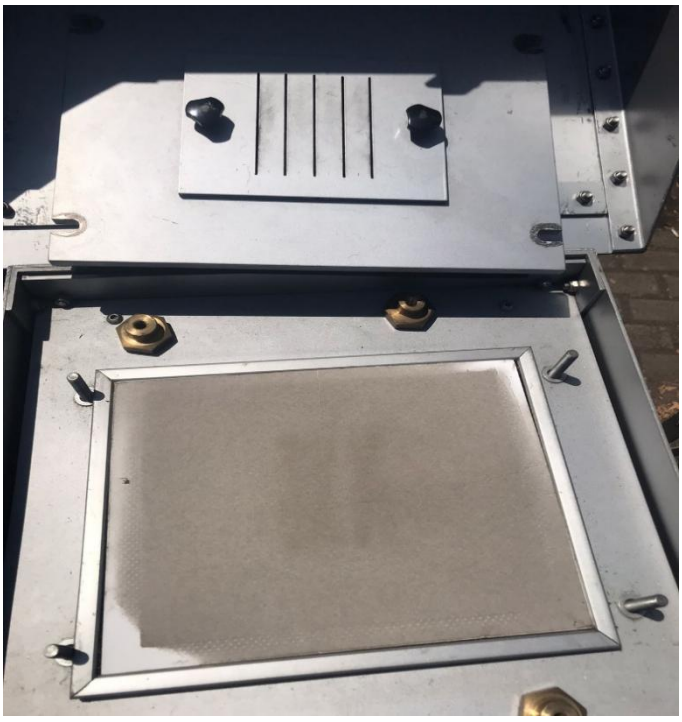
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengambilan sampel pada titik 1



Lampiran 2 Pengambilan sampel pada titik 2



Lampiran 3 Pengambilan sampel pada titik 3

Lampiran 4 Pengambilan data responden

Lampiran 5 Alat dan Bahan sampling

High Volume Air Sampler (HVAS)

Genset

Anemometer

Termohygrometer

Roll Kabel

Safety cone

Box Penyimpanan

Safety Line

Desikator

Kertas Saring

Amplop

Timbangan Analitik

Lampiran 6 Data responden dan perhitungan analisis risiko PM10 pada pedagang di stadion Maguwoharjo

Nomor Responden	Konsentrasi PM10 di Udara / C (mg/m3)	Waktu Pajanan / tE (jam/hari)	Frekuensi Pajanan / fE (hari/tahun)	Durasi Pajanan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / Wb (kg)	Inhalation Rate/R	Intake Realtime (mg/kg/hari)	Intake Lifetime (mg/kg/hari)	(RQ) Realtime	Tingkat Resiko	(RQ) Lifetime	Tingkat Resiko
1	0,0482	12	312	7	32	62	0,83	0,0015	0,0066	0,1103	TB	0,4728	TB
2	0,0482	12	312	6	28	71	0,83	0,0012	0,0058	0,0826	TB	0,4128	TB
3	0,0482	12	312	17	45	58	0,83	0,0040	0,0071	0,2864	TB	0,5054	TB
4	0,0482	8	312	2	24	70	0,83	0,0003	0,0039	0,0186	TB	0,2792	TB
5	0,0482	8	312	3	39	67	0,83	0,0004	0,0041	0,0292	TB	0,2917	TB
6	0,0482	8	312	4	26	55	0,83	0,0007	0,0050	0,0474	TB	0,3553	TB
7	0,0482	8	312	14	41	74	0,83	0,0017	0,0037	0,1232	TB	0,2641	TB
8	0,0482	6	312	6	36	66	0,83	0,0006	0,0031	0,0444	TB	0,2221	TB
9	0,0482	8	312	1	29	77	0,83	0,0001	0,0036	0,0085	TB	0,2538	TB
10	0,0482	8	312	11	47	59	0,83	0,0017	0,0046	0,1214	TB	0,3312	TB
11	0,0482	6	312	1	24	76	0,83	0,0001	0,0027	0,0064	TB	0,1928	TB
12	0,0482	8	312	8	33	60	0,83	0,0012	0,0046	0,0868	TB	0,3257	TB
13	0,0482	8	312	2	42	73	0,83	0,0002	0,0037	0,0178	TB	0,2677	TB
14	0,0482	9	312	5	31	57	0,83	0,0009	0,0054	0,0643	TB	0,3857	TB
15	0,0482	7	312	1	22	68	0,83	0,0001	0,0035	0,0084	TB	0,2514	TB
16	0,0482	12	312	7	38	75	0,83	0,0013	0,0055	0,0912	TB	0,3908	TB
17	0,0482	8	312	13	43	63	0,83	0,0019	0,0043	0,1344	TB	0,3102	TB
18	0,0482	6	312	4	27	78	0,83	0,0004	0,0026	0,0251	TB	0,1879	TB
19	0,0482	7	312	10	44	65	0,83	0,0012	0,0037	0,0877	TB	0,2631	TB
20	0,0482	8	312	3	35	55	0,83	0,0005	0,0050	0,0355	TB	0,3553	TB
21	0,0482	8	312	9	48	72	0,83	0,0011	0,0038	0,0814	TB	0,2714	TB
22	0,0482	8	312	14	30	61	0,83	0,0021	0,0045	0,1495	TB	0,3203	TB
23	0,0482	8	312	6	25	69	0,83	0,0008	0,0040	0,0566	TB	0,2832	TB
24	0,0482	12	312	1	38	80	0,83	0,0002	0,0051	0,0122	TB	0,3664	TB
25	0,0482	12	312	6	34	70	0,83	0,0012	0,0059	0,0837	TB	0,4187	TB
26	0,0482	9	312	1	21	70	0,83	0,0001	0,0044	0,0105	TB	0,3141	TB
27	0,0482	9	312	8	40	58	0,83	0,0014	0,0053	0,1011	TB	0,3790	TB
28	0,0482	8	312	2	40	76	0,83	0,0002	0,0036	0,0171	TB	0,2571	TB
29	0,0482	8	312	15	31	59	0,83	0,0023	0,0046	0,1656	TB	0,3312	TB
30	0,0482	8	312	1	22	62	0,83	0,0001	0,0044	0,0105	TB	0,3152	TB
31	0,0482	8	312	7	47	77	0,83	0,0008	0,0036	0,0592	TB	0,2538	TB

32	0,0482	8	312	13	44	67	0,83	0,0018	0,0041	0,1264	TB	0,2917	TB
33	0,0482	8	312	4	26	56	0,83	0,0007	0,0049	0,0465	TB	0,3489	TB
34	0,0482	6	312	10	32	75	0,83	0,0009	0,0027	0,0651	TB	0,1954	TB
35	0,0482	6	312	3	48	71	0,83	0,0003	0,0029	0,0206	TB	0,2064	TB
36	0,0482	9	312	9	38	60	0,83	0,0015	0,0051	0,1099	TB	0,3664	TB
37	0,0482	8	312	2	23	74	0,83	0,0002	0,0037	0,0176	TB	0,2641	TB
38	0,0482	8	312	6	43	68	0,83	0,0008	0,0040	0,0575	TB	0,2874	TB
39	0,0482	8	312	1	25	65	0,83	0,0001	0,0042	0,0100	TB	0,3006	TB
40	0,0482	8	312	11	34	72	0,83	0,0014	0,0038	0,0995	TB	0,2714	TB
41	0,0482	8	312	5	42	63	0,83	0,0007	0,0043	0,0517	TB	0,3102	TB
42	0,0482	12	312	8	29	80	0,83	0,0014	0,0051	0,0977	TB	0,3664	TB
43	0,0482	8	312	2	36	57	0,83	0,0003	0,0048	0,0229	TB	0,3428	TB
44	0,0482	8	312	5	31	73	0,83	0,0006	0,0037	0,0446	TB	0,2677	TB
45	0,0482	8	312	12	45	66	0,83	0,0017	0,0041	0,1184	TB	0,2961	TB
46	0,0482	12	312	7	31	75	0,83	0,0013	0,0055	0,0912	TB	0,3908	TB
47	0,0482	7	312	4	28	61	0,83	0,0005	0,0039	0,0374	TB	0,2803	TB
48	0,0482	6	312	4	40	80	0,83	0,0003	0,0026	0,0244	TB	0,1832	TB
49	0,0482	6	312	5	30	69	0,83	0,0005	0,0030	0,0354	TB	0,2124	TB
50	0,0482	6	312	3	39	70	0,83	0,0003	0,0029	0,0209	TB	0,2094	TB
51	0,0482	8	312	1	25	70	0,83	0,0001	0,0039	0,0093	TB	0,2792	TB
52	0,0482	8	312	14	38	55	0,83	0,0023	0,0050	0,1658	TB	0,3553	TB
53	0,0482	8	312	6	33	58	0,83	0,0009	0,0047	0,0674	TB	0,3369	TB
54	0,0482	12	312	1	35	77	0,83	0,0002	0,0053	0,0127	TB	0,3807	TB
55	0,0482	6	312	2	24	72	0,83	0,0002	0,0028	0,0136	TB	0,2036	TB
56	0,0482	8	312	5	41	61	0,83	0,0007	0,0045	0,0534	TB	0,3203	TB
57	0,0482	7	312	4	27	76	0,83	0,0004	0,0031	0,0300	TB	0,2250	TB
58	0,0482	8	312	2	40	70	0,83	0,0003	0,0039	0,0186	TB	0,2792	TB
59	0,0482	12	312	15	47	63	0,83	0,0033	0,0065	0,2326	TB	0,4653	TB
60	0,0482	12	312	1	22	67	0,83	0,0002	0,0061	0,0146	TB	0,4375	TB
Rata-rata	0,0482	8	312	6	34	68	0,83	0,0009	0,0043	0,0610	TB	0,3049	TB

B = Berisiko terkena efek kesehatan non karsinogenik

TB = Tidak berisiko terkena kesehatan non karsinogenik

Lampiran 7 Data responden dan perhitungan analisis risiko $PM_{2,5}$ pada pedagang di stadion Maguwoharjo

Nomor Responden	Konsentrasi PM2,5 di Udara / C (mg/m3)	Waktu Pajanan / tE (jam/hari)	Frekuensi Pajanan / fE (hari/tahun)	Durasi Pajanan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / Wb (kg)	Inhalation Rate/R	Intake Realtime (mg/kg/hari)	Intake Lifetime (mg/kg/hari)	(RQ) Realtime	Tingkat Resiko	(RQ) Lifetime	Tingkat Resiko
1	0,039876	12	312	7	32	62	0,83	0,0013	0,0055	0,125	TB	0,537	TB
2	0,039876	12	312	6	28	71	0,83	0,0010	0,0048	0,094	TB	0,469	TB
3	0,039876	12	312	17	45	58	0,83	0,0033	0,0059	0,325	TB	0,574	TB
4	0,039876	8	312	2	24	70	0,83	0,0002	0,0032	0,021	TB	0,317	TB
5	0,039876	8	312	3	39	67	0,83	0,0003	0,0034	0,033	TB	0,331	TB
6	0,039876	8	312	4	26	55	0,83	0,0005	0,0041	0,054	TB	0,403	TB
7	0,039876	8	312	14	41	74	0,83	0,0014	0,0031	0,140	TB	0,300	TB
8	0,039876	6	312	6	36	66	0,83	0,0005	0,0026	0,050	TB	0,252	TB
9	0,039876	8	312	1	29	77	0,83	0,0001	0,0029	0,010	TB	0,288	TB
10	0,039876	8	312	11	47	59	0,83	0,0014	0,0038	0,138	TB	0,376	TB
11	0,039876	6	312	1	24	76	0,83	0,0001	0,0022	0,007	TB	0,219	TB
12	0,039876	8	312	8	33	60	0,83	0,0010	0,0038	0,099	TB	0,370	TB
13	0,039876	8	312	2	42	73	0,83	0,0002	0,0031	0,020	TB	0,304	TB
14	0,039876	9	312	5	31	57	0,83	0,0007	0,0045	0,073	TB	0,438	TB
15	0,039876	7	312	1	22	68	0,83	0,0001	0,0029	0,010	TB	0,286	TB
16	0,039876	12	312	7	38	75	0,83	0,0011	0,0045	0,104	TB	0,444	TB
17	0,039876	8	312	13	43	63	0,83	0,0016	0,0036	0,153	TB	0,352	TB
18	0,039876	6	312	4	27	78	0,83	0,0003	0,0022	0,028	TB	0,213	TB
19	0,039876	7	312	10	44	65	0,83	0,0010	0,0030	0,100	TB	0,299	TB
20	0,039876	8	312	3	35	55	0,83	0,0004	0,0041	0,040	TB	0,403	TB
21	0,039876	8	312	9	48	72	0,83	0,0009	0,0031	0,092	TB	0,308	TB
22	0,039876	8	312	14	30	61	0,83	0,0017	0,0037	0,170	TB	0,364	TB
23	0,039876	8	312	6	25	69	0,83	0,0007	0,0033	0,064	TB	0,322	TB
24	0,039876	12	312	1	38	80	0,83	0,0001	0,0042	0,014	TB	0,416	TB
25	0,039876	12	312	6	34	70	0,83	0,0010	0,0048	0,095	TB	0,475	TB
26	0,039876	9	312	1	21	70	0,83	0,0001	0,0036	0,012	TB	0,357	TB
27	0,039876	9	312	8	40	58	0,83	0,0012	0,0044	0,115	TB	0,430	TB
28	0,039876	8	312	2	40	76	0,83	0,0002	0,0030	0,019	TB	0,292	TB
29	0,039876	8	312	15	31	59	0,83	0,0019	0,0038	0,188	TB	0,376	TB
30	0,039876	8	312	1	22	62	0,83	0,0001	0,0037	0,012	TB	0,358	TB
31	0,039876	8	312	7	47	77	0,83	0,0007	0,0029	0,067	TB	0,288	TB

32	0,039876	8	312	13	44	67	0,83	0,0015	0,0034	0,144	TB	0,331	TB
33	0,039876	8	312	4	26	56	0,83	0,0005	0,0040	0,053	TB	0,396	TB
34	0,039876	6	312	10	32	75	0,83	0,0008	0,0023	0,074	TB	0,222	TB
35	0,039876	6	312	3	48	71	0,83	0,0002	0,0024	0,023	TB	0,234	TB
36	0,039876	9	312	9	38	60	0,83	0,0013	0,0042	0,125	TB	0,416	TB
37	0,039876	8	312	2	23	74	0,83	0,0002	0,0031	0,020	TB	0,300	TB
38	0,039876	8	312	6	43	68	0,83	0,0007	0,0033	0,065	TB	0,326	TB
39	0,039876	8	312	1	25	65	0,83	0,0001	0,0035	0,011	TB	0,341	TB
40	0,039876	8	312	11	34	72	0,83	0,0012	0,0031	0,113	TB	0,308	TB
41	0,039876	8	312	5	42	63	0,83	0,0006	0,0036	0,059	TB	0,352	TB
42	0,039876	12	312	8	29	80	0,83	0,0011	0,0042	0,111	TB	0,416	TB
43	0,039876	8	312	2	36	57	0,83	0,0003	0,0040	0,026	TB	0,389	TB
44	0,039876	8	312	5	31	73	0,83	0,0005	0,0031	0,051	TB	0,304	TB
45	0,039876	8	312	12	45	66	0,83	0,0014	0,0034	0,134	TB	0,336	TB
46	0,039876	12	312	7	31	75	0,83	0,0011	0,0045	0,104	TB	0,444	TB
47	0,039876	7	312	4	28	61	0,83	0,0004	0,0032	0,042	TB	0,318	TB
48	0,039876	6	312	4	40	80	0,83	0,0003	0,0021	0,028	TB	0,208	TB
49	0,039876	6	312	5	30	69	0,83	0,0004	0,0025	0,040	TB	0,241	TB
50	0,039876	6	312	3	39	70	0,83	0,0002	0,0024	0,024	TB	0,238	TB
51	0,039876	8	312	1	25	70	0,83	0,0001	0,0032	0,011	TB	0,317	TB
52	0,039876	8	312	14	38	55	0,83	0,0019	0,0041	0,188	TB	0,403	TB
53	0,039876	8	312	6	33	58	0,83	0,0008	0,0039	0,077	TB	0,383	TB
54	0,039876	12	312	1	35	77	0,83	0,0001	0,0044	0,014	TB	0,432	TB
55	0,039876	6	312	2	24	72	0,83	0,0002	0,0024	0,015	TB	0,231	TB
56	0,039876	8	312	5	41	61	0,83	0,0006	0,0037	0,061	TB	0,364	TB
57	0,039876	7	312	4	27	76	0,83	0,0003	0,0026	0,034	TB	0,255	TB
58	0,039876	8	312	2	40	70	0,83	0,0002	0,0032	0,021	TB	0,317	TB
59	0,039876	12	312	15	47	63	0,83	0,0027	0,0054	0,264	TB	0,528	TB
60	0,039876	12	312	1	22	67	0,83	0,0002	0,0051	0,017	TB	0,497	TB
Rata-rata	0,039876	8	312	6	34	68	0,83	0,0007	0,0035	0,069	TB	0,346	TB

B = Berisiko terkena efek kesehatan non karsinogenik

TB = Tidak berisiko terkena kesehatan non karsinogenik

Lampiran 8 Hasil kouseoner data responden pedagang di stadion Maguwoharjo

Nomor Responden	Waktu Pajanan / tE (jam/hari)	Durasi Pajanan / Dt (tahun)	Umur (Tahun)	Berat Badan / Wb (kg)	Status merokok	Riwayat Penyakit	Jenis Kelamin
1	12	7	32	62	Merokok	Hidung tersumbat	L
2	12	6	28	71	Merokok	Mudah lelah.	L
3	12	17	45	58	Merokok	Pilek.	L
4	8	2	24	70	Merokok	Mudah lelah.	L
5	8	3	39	67	Tidak Merokok	Besin.	P
6	8	4	26	55	Merokok	Pilek.	L
7	8	14	41	74	Merokok	Sesak napas saat melakukan aktivitas normal.	L
8	6	6	36	66	Tidak Merokok	Hidung tersumbat	P
9	8	1	29	77	Merokok	Mudah lelah.	L
10	8	11	47	59	Tidak Merokok	Pilek.	P
11	6	1	24	76	Merokok	Batuk Kronik	L
12	8	8	33	60	Tidak Merokok	Mudah lelah	P
13	8	2	42	73	Tidak Merokok	Mengi.	P
14	9	5	31	57	Merokok	Besin.	L
15	7	1	22	68	Tidak Merokok	Mudah lelah.	P
16	12	7	38	75	Merokok	Hidung tersumbat	L
17	8	13	43	63	Tidak Merokok	Mudah lelah	P
18	6	4	27	78	Merokok	Batuk Kronik	L
19	7	10	44	65	Merokok	Sakit kepala.	L
20	8	3	35	55	Tidak Merokok	Mudah lelah.	P
21	8	9	48	72	Tidak Merokok	Batuk Kronik	L
22	8	14	30	61	Tidak Merokok	Pilek.	P
23	8	6	25	69	Merokok	Mudah lelah.	L
24	12	1	38	80	Tidak Merokok	Besin.	P
25	12	6	34	70	Merokok	Mudah lelah.	L
26	9	1	21	70	Merokok	Batuk Kronik	L
27	9	8	40	58	Tidak Merokok	Mudah lelah.	L
28	8	2	40	76	Tidak Merokok	Pilek.	P
29	8	15	31	59	Merokok	Mudah lelah.	L
30	8	1	22	62	Merokok	Batuk Kronik	L
31	8	7	47	77	Merokok	Sesak napas saat melakukan aktivitas normal.	L
32	8	13	44	67	Merokok	Sesak napas saat melakukan aktivitas normal.	L
33	8	4	26	56	Tidak Merokok	Hidung tersumbat	P
34	6	10	32	75	Merokok	Besin.	L
35	6	3	48	71	Tidak Merokok	Mudah lelah.	P
36	9	9	38	60	Merokok	Sakit kepala.	L
37	8	2	23	74	Merokok	Pilek.	L
38	8	6	43	68	Tidak Merokok	Mudah lelah.	P
39	8	1	25	65	Merokok	Batuk Kronik	L
40	8	11	34	72	Tidak Merokok	Hidung tersumbat	P
41	8	5	42	63	Merokok	Sesak napas saat melakukan aktivitas normal.	L
42	12	8	29	80	Merokok	Pilek.	L
43	8	2	36	57	Tidak Merokok	Mudah lelah.	P
44	8	5	31	73	Merokok	Batuk Kronik	L
45	8	12	45	66	Tidak Merokok	Mudah lelah	P
46	12	7	31	75	Merokok	Batuk Kronik	L
47	7	4	28	61	Tidak Merokok	Mudah lelah	P
48	6	4	40	80	Tidak Merokok	Sesak napas saat melakukan aktivitas normal.	P
49	6	5	30	69	Merokok	Batuk Kronik	L
50	6	3	39	70	Tidak Merokok	Mudah lelah.	P
51	8	1	25	70	Tidak Merokok	Bersin	P
52	8	14	38	55	Merokok	Sesak napas saat melakukan aktivitas normal.	L
53	8	6	33	58	Tidak Merokok	Mudah lelah.	P
54	12	1	35	77	Merokok	Mudah lelah.	L
55	6	2	24	72	Merokok	Sakit kepala.	L
56	8	5	41	61	Merokok	Hidung tersumbat	L
57	7	4	27	76	Tidak Merokok	Mudah lelah.	P
58	8	2	40	70	Tidak Merokok	Sesak napas saat melakukan aktivitas normal.	L
59	12	15	47	63	Merokok	Sesak napas saat melakukan aktivitas normal.	L
60	12	1	22	67		Mudah lelah.	L

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

RIWAYAT HIDUP

Rahmat lahir di Melaju Kilo, Kabupaten Dompu, 6 September 2002, Putra ke 4 (empat) dari 4 (empat) bersaudara. Ayah penulis bernama Sarjan, ibu bernama Rita Suryani, saudara penulis bernama Fafi Rahmati, Juniarti Itasari, dan Mutmainah. Pendidikan penulis dimulai dari TK Pembina Kecematan Kilo, SD Negeri 7 (tujuh) Kilo, SMP Negeri 1 (satu) Kilo, dan SMA Negeri 1 (satu) Dompu, yang berlangsung selama 13 tahun. Pada tahun 2019, penulis melanjutkan studi sarjana (S1) di program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Selama berkuliah, penulis aktif mengikuti beberapa rekrutmen kepanitiaan. Kepenitiaan seperti staf bagian perlengkapan dan keamanan *Envirotation* pada tahun 2020, Koordinator *Organizing Committee* (oc) bagian perlengkapan Lintas Lingkungan pada tahun 2020, *Steering Committee* (sc) bagian perlengkapan Lintas Lingkungan pada tahun 2021, dan *Steering Committee* bagian Perlengkapan Pekan Ta'aruf (pekta) pada tahun 2022. Selain itu, penulis juga ikut melaksanakan kegiatan kerja praktek sebagai staf pengelolahan sampah Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Dompu pada tahun 2022.