

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KUALITAS UDARA DAN RISIKO
KESEHATAN LINGKUNGAN PAPARAN PM₁₀ DAN
PM_{2,5} DI KABUPATEN SRAGEN PROVINSI JAWA
TENGAH**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S-1) Teknik Lingkungan**



MUHAMMAD ARYA PRATAMA

19513128

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

2024

TUGAS AKHIR

ANALISIS KUALITAS UDARA DAN RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAPARAN PM_{10} DAN $PM_{2,5}$ DI KABUPATEN SRAGEN PROVINSI JAWA TENGAH

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S-1) Teknik Lingkungan



MUHAMMAD ARYA PRATAMA
19513119

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc.
NIK. 875110107
Tanggal: 27/12/2024

Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.
NIK. 19513010
Tanggal: 27/12/2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Any Juliani, S.T., M. Sc (Res.Eng.), Ph.D.
NIK. 045130401
Tanggal: 27/12/2024

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KUALITAS UDARA DAN RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAPARAN PM_{10} DAN $PM_{2,5}$ DI KABUPATEN SRAGEN PROVINSI JAWA TENGAH

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Jum'at

Tanggal: 27 Desember 2024

Disusun Oleh:

MUHAMMAD ARYA PRATAMA

19513128

Tim Penguji:

Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowivono, M.Sc.

(27 Des 2024)

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

()

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

() 27/12/24

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

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. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Desember 2024

Yang membuat pernyataan,

Muhammad Arya Pratama
NIM: 19513128

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "Analisis Kualitas Udara dan Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan PM₁₀ dan PM_{2,5} di Kabupaten Sragen Provinsi Jawa Tengah". Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan tingkat Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, doa, dan dukungan. Oleh karena itu, perkenankanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam proses ini.

Dengan tulus hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Imamuddin, S.H. dan Ibu Putri Emilia, S.Pd., selaku orang tua penulis, yang dengan penuh kasih sayang tiada henti memberikan doa, dukungan, dan semangat yang sangat berarti selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan arahan dan masukan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan masukan dan saran dan masukan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji, yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat berharga dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.

5. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Lingkungan UII atas kesempatan, pelajaran, bimbingan, dan bantuan yang telah diberikan.
6. Nadhifah Wafir Zahrah yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuan yang tak ternilai dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Jum'at Berkah yang selalu menemani, memberikan dukungan, dan membantu sepanjang proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Rekan-rekan seperjuangan, Teknik Lingkungan angkatan 2019, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan kebersamaan yang tak ternilai sepanjang perjalanan ini.
9. Pihak-pihak terkait lainnya, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Demikianlah prakata ini disusun sebagai pengantar untuk laporan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dalam segi penulisan maupun substansi. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan di masa mendatang. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi para pembaca, khususnya bagi pihak-pihak yang berkepentingan dengan topik yang dibahas.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, Desember 2024

Penulis



Muhammad Arya Pratama

NIM: 19513128

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

MUHAMMAD ARYA PRATAMA. “Analisis Kualitas Udara dan Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan PM₁₀ dan PM_{2,5} di Kabupaten Sragen Provinsi Jawa Tengah”. Dibimbing oleh Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc. dan Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

Pencemaran udara akibat *Particulate Matter* (PM) menjadi salah satu isu lingkungan yang serius, terutama PM₁₀ dan PM_{2,5} yang dapat mengganggu kesehatan manusia. PM₁₀ dan PM_{2,5} merupakan partikel udara berukuran sangat kecil yang dapat terhirup ke dalam sistem pernapasan manusia dan menyebabkan berbagai masalah kesehatan, seperti penyakit pernapasan hingga gangguan kardiovaskular. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas udara di Kabupaten Sragen serta mengkaji risiko kesehatan yang diakibatkan oleh paparan PM₁₀ dan PM_{2,5}. Pengukuran kualitas udara dilakukan di tiga titik di Kabupaten Sragen pada bulan Mei 2024. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan alat *MiniVol Air Sampler*, dan analisis dilakukan terhadap konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5}, yang dibandingkan dengan baku mutu udara ambien nasional. Selain itu, data meteorologi seperti suhu, kelembaban, dan kecepatan angin juga dikumpulkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi PM₁₀ tertinggi sebesar 7,3 µg/Nm³ dan PM_{2,5} sebesar 2,2 µg/Nm³, keduanya masih di bawah baku mutu nasional. Analisis risiko kesehatan dilakukan dengan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), yang menunjukkan bahwa paparan PM₁₀ dan PM_{2,5} tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan bagi masyarakat. Namun demikian, penting untuk meningkatkan kesadaran masyarakat dan pengendalian pencemaran udara guna mencegah peningkatan polusi di masa mendatang.

Kata kunci: Kabupaten Sragen, Kualitas Udara, PM₁₀, PM_{2,5}, Risiko Kesehatan.

ABSTRACT

MUHAMMAD ARYA PRATAMA. *"Analysis of Air Quality and Environmental Health Risks of PM₁₀ and PM_{2.5} Exposure in Sragen Regency, Central Java Province". Supervised by Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc. and Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.*

Air pollution caused by Particulate Matter (PM) is a serious environmental issue, particularly PM₁₀ and PM_{2.5}, which can harm human health. PM₁₀ and PM_{2.5} are fine airborne particles that can be inhaled into the respiratory system, causing various health problems such as respiratory diseases and cardiovascular disorders. This study aims to analyze air quality in Sragen Regency and assess the health risks caused by PM₁₀ and PM_{2.5} exposure. Air quality measurements were taken at three points in Sragen Regency in May 2024. Samples were collected using the MiniVol Air Sampler, and the concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} were analyzed and compared to national ambient air quality standards. Additionally, meteorological data such as temperature, humidity, and wind speed were gathered. The study results showed that the highest concentrations of PM₁₀ reached 7,3 µg/Nm³ and PM_{2.5} reached 2,2 µg/Nm³, both below the national air quality standards. Health risk analysis using the Environmental Health Risk Analysis (EHRA) method revealed that exposure to PM₁₀ and PM_{2.5} does not pose significant health risks to the local population. However, it is crucial to raise public awareness and enhance air pollution control to prevent future increases in pollution levels.

Keywords: Air Quality, Health Risk, PM₁₀, PM_{2.5}, Sragen Regency.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	v
PRAKATA.....	vii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN	24
1.1 Latar Belakang	24
1.2 Rumusan Masalah	26
1.3 Tujuan Penelitian	26
1.4 Manfaat Penelitian	26
1.5 Ruang Lingkup.....	27
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	30
2.1 Pencemaran Udara	30
2.2 Sumber Pencemaran Udara	30
2.3 <i>Particulate Matter</i> (PM)	32
2.3.1 <i>Particulate Matter</i> 10 (PM ₁₀).....	33
2.3.2 <i>Particulate Matter</i> 2,5 (PM _{2,5})	34
2.4 Dampak PM ₁₀ dan PM _{2,5} terhadap Kesehatan Manusia.....	35
2.5 Faktor yang mempengaruhi Persebaran Polutan.....	36
2.5.1 Stabilitas Atmosfer.....	36
2.5.2 Kelembaban Udara.....	37
2.5.3 Kecepatan Angin.....	38
2.5.4 Tekanan Udara	38

2.6 Ketentuan Teknis Pemantauan Kualitas Udara Ambien.....	40
2.6.1 Klasifikasi Lokasi Pemantauan	40
2.6.2 Kriteria Penempatan Alat Pemantauan	41
2.7 Pengukuran Konsentrasi Polutan (PM ₁₀ dan PM _{2,5}) di Udara	41
2.8 Baku Mutu Udara Ambien	43
2.9 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).....	43
2.9.1 Identifikasi Bahaya (<i>Hazard Identification</i>)	44
2.9.2 Penilaian Dosis-Respon (<i>Dose-Response Assessment</i>).....	44
2.9.3 Penilaian Paparan (<i>Exposure Assessment</i>)	45
2.9.4 Karakterisasi Risiko (<i>Risk Characterization</i>)	45
2.9.5 Manajemen Risiko (<i>Risk Management</i>).....	46
2.9.6 Komunikasi Risiko (<i>Risk Communication</i>).....	46
2.10 Penelitian Terdahulu	47
BAB III METODE PENELITIAN.....	50
3.1 Tahapan Penelitian	50
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	51
3.3 Alat dan Bahan	55
3.4 Populasi dan Sampel Penelitian	55
3.5 Metode Pengumpulan Data	56
3.5.1 Metode Pengambilan Sampel PM ₁₀ dan PM _{2,5}	56
3.5.2 Metode Pengambilan Data Meteorologi	58
3.5.3 Metode Pengumpulan Data Responden	58
3.6 Metode Pengolahan Data	58
3.6.1 Metode Pengolahan Data Meteorologi.....	58
3.6.2 Metode Pengolahan Sampel PM ₁₀ dan PM _{2,5}	59
3.7 Analisis Data	60
3.7.1 Meteorologi	60
3.7.2 Perbandingan Baku Mutu.....	61
3.7.3 Analisis Risiko Paparan PM ₁₀ dan PM _{2,5} terhadap Kesehatan Masyarakat	61

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	66
4.1 Gambaran Umum	66
4.2 Perbandingan Konsentrasi.....	66
4.2.1 Konsentrasi PM ₁₀ dan PM _{2,5}	66
4.2.2 Perbandingan Meteorologi	68
4.2.3 Perbandingan Baku Mutu.....	75
4.3 Analisis Data Responden	76
4.3.1 Waktu Paparan	76
4.3.2 Frekuensi Paparan	77
4.3.3 Durasi Paparan	78
4.3.4 Umur	79
4.3.5 Berat Badan.....	80
4.3.6 Status Merokok	81
4.3.7 Keluhan Kesehatan.....	82
4.4 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) PM ₁₀ dan PM _{2,5}	85
4.4.1 Konsentrasi Paparan	85
4.4.2 Penilaian Dosis-Respon	86
4.4.3 Penilaian Paparan PM ₁₀ dan PM _{2,5}	86
4.4.4 Estimasi Risiko Kesehatan Paparan PM ₁₀ dan PM _{2,5} pada Masyarakat menggunakan Data Rata-rata	92
4.4.5 Manajemen Risiko Non-Karsinogenik	96
4.4.6 Komunikasi Risiko.....	96
4.4.7 Risiko Kesehatan akibat Paparan PM ₁₀ dan PM _{2,5}	97
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	100
5.1 Kesimpulan	100
5.2 Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA	102
LAMPIRAN.....	109
RIWAYAT HIDUP	130

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien	43
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu.....	47
Tabel 3.1 Rincian Titik Sampling.....	52
Tabel 4.1 Konsentrasi PM ₁₀ dan PM _{2,5}	67
Tabel 4.2 Perbandingan Konsentrasi PM ₁₀ dan PM _{2,5} dengan Baku Mutu	75
Tabel 4.3 Data Waktu Paparan Responden	76
Tabel 4.4 Data Durasi Paparan Responden	78
Tabel 4.5 Data Umur Responden	79
Tabel 4.6 Data Berat Badan Responden.....	80
Tabel 4.7 Data Status Merokok Responden	81
Tabel 4.8 Data Keluhan Kesehatan Responden	82
Tabel 4.9 Sepuluh Jenis Penyakit di Puskesmas Sragen	83
Tabel 4.10 Sepuluh Jenis Penyakit di Puskesmas Sidoharjo.....	84
Tabel 4.11 Persentase Nilai <i>Risk Quotient</i> (RQ) Paparan PM ₁₀	91
Tabel 4.12 Persentase Nilai <i>Risk Quotient</i> (RQ) Paparan PM _{2,5}	91
Tabel 4.13 Nilai Rata-rata Sampel dan Estimasi Risiko Kesehatan Paparan PM ₁₀	94
Tabel 4. 14 Nilai Rata-rata Sampel dan Estimasi Risiko Kesehatan Paparan PM _{2,5}	95

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan Ukuran PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dengan Rambut Manusia dan Butir Pasir	32
Gambar 2.2 <i>MiniVol Air Sampler</i> (MAS-02) dan Komponennya.....	42
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian.....	50
Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian.....	51
Gambar 3. 3 Tahapan Pelaksanaan Pengambilan Sampel PM_{10} dan $PM_{2.5}$	56
Gambar 4.1 Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2.5}$	67
Gambar 4.2 Perbandingan Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dengan Suhu	69
Gambar 4.3 Perbandingan Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dengan Kelembaban Udara	70
Gambar 4.4 Perbandingan Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dengan Kecepatan Angin.....	72
Gambar 4.5 Perbandingan Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dengan Tekanan Udara.....	74
Gambar 4.6 Persentase Data Waktu Paparan Responden.....	77
Gambar 4.7 Persentase Data Durasi Paparan Responden.....	79
Gambar 4.8 Persentase Data Umur Responden.....	80
Gambar 4.9 Persentase Data Berat Badan Responden	81
Gambar 4.10 Persentase Data Status Merokok Responden.....	82
Gambar 4. 11 Persentase Data Keluhan Kesehatan Responden.....	83

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Penelitian Bersama.....	109
Lampiran 2 Alat dan Bahan Sampling	111
Lampiran 3 Pengambilan Sampel di Titik A (Perempatan Pilangsari)	113
Lampiran 4 Pengambilan Sampel di Titik B (Alun-alun Kabupaten Sragen)...	114
Lampiran 5 Pengambilan Sampel di Titik C (Exit Tol Pungruk)	115
Lampiran 6 Data Hasil Lab	116
Lampiran 7 Kuesioner Wawancara Responden	121
Lampiran 8 Data Responden	122
Lampiran 9 Perhitungan Analisis Risiko Paparan PM_{10}	125
Lampiran 10 Perhitungan Analisis Risiko Paparan $PM_{2,5}$	127

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udara merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kesehatan dan kelangsungan hidup makhluk hidup. Oleh karena itu, udara tidak bisa dipisahkan dari kehidupan (Soedomo, 1999). Udara yang sehat dan aman untuk dihirup adalah yang tidak terlihat, tidak memiliki warna, tidak memiliki bau, dan tidak memiliki rasa (Wardhana, 2001), dengan komposisi didalamnya terdiri dari campuran 20% oksigen, 78% nitrogen, 0,03% karbon dioksida, serta metana, helium, neon, dan hidrogen. Namun, jika ada kehadiran dari komponen lain yang tidak sesuai, yang mengganggu komposisi udara, maka udara dapat dikatakan telah mengalami pencemaran (Soedomo, 1999).

Pencemaran udara telah menjadi salah satu masalah lingkungan global yang mendapat perhatian serius di seluruh dunia (Mulyadi, 2015). Pencemaran udara merupakan permasalahan besar yang memiliki dampak serius terhadap kesehatan manusia dan kualitas lingkungan (Nur et al., 2021). Pencemaran udara adalah proses masuknya atau tercampurnya unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan penurunan kualitas udara. Pencemaran udara dapat disebabkan oleh berbagai macam sumber, baik yang terjadi secara alami maupun dari aktivitas manusia (Sugiarti, 2009). Pencemaran udara menghasilkan berbagai macam polutan (Khairina, 2019). Di antara polutan yang biasa ditemukan adalah PM_{10} dan $PM_{2,5}$.

PM_{10} merupakan partikulat dengan diameter ≤ 10 mikrometer, sedangkan $PM_{2,5}$ merupakan partikulat dengan diameter $\leq 2,5$ mikrometer. Partikulat ini merupakan campuran kompleks dan heterogen dari berbagai komponen seperti asap, jelaga, debu, garam, asam, dan logam (Donno et al., 2018). Di Indonesia, sumber utama PM_{10} dan $PM_{2,5}$ berasal dari sektor transportasi (71%) dan sektor industri (25%), sedangkan sisanya (4%) berasal dari sektor rumah tangga atau domestik (Mursinto & Kusumawardani, 2016). Sejumlah senyawa yang dapat

terkandung di dalam PM_{10} dan $PM_{2,5}$ meliputi sulfat, amonium, nitrat, unsur karbon, dan senyawa organik terkondensasi (Alias et al., 2007). Sebagian besar partikulat ini terbentuk bersamaan dengan polutan lain, terutama sulfur dioksida dan nitrogen oksida, yang secara kimiawi berubah menjadi zat nitrat dan sulfat. Zat nitrat yang terbentuk dari oksida nitrogen dapat menyumbang sepertiga atau lebih dari total partikulat di udara (Moore, 2007).

Dari berbagai jenis pencemar udara, PM_{10} dan $PM_{2,5}$ mendapat perhatian khusus karena dinilai memiliki pengaruh besar terhadap kesehatan manusia, terutama terkait dengan gangguan pernapasan (Mursinto & Kusumawardani, 2016). Partikulat ini dapat bertahan di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang, sehingga dapat terhirup masuk ke dalam saluran pernapasan dan menyebabkan gangguan pernapasan (Sutra, 2009). Baik PM_{10} maupun $PM_{2,5}$ dapat terhirup, dan dapat mengendap di saluran pernapasan. Tempat mengendapnya partikulat ditentukan berdasarkan ukuran partikulat tersebut. Partikulat yang lebih besar, seperti PM_{10} , cenderung mengendap di paru-paru bagian atas, sedangkan partikulat yang lebih kecil, seperti $PM_{2,5}$, lebih mungkin masuk dan mengendap di paru-paru bagian dalam (Arba, 2019).

Kabupaten Sragen merupakan kabupaten yang terletak di Provinsi Jawa Tengah dengan luas wilayah sebesar 941,55 km² dan jumlah penduduk sebanyak 1.005.566 jiwa. Sebagai gerbang utama sebelah timur Provinsi Jawa Tengah yang terletak di Jalan Raya Ngawi-Solo, sektor transportasi di Kabupaten Sragen menyumbang polusi yang signifikan terhadap lingkungan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, selama periode 2019-2021, jumlah kendaraan bermotor di Kabupaten Sragen telah bertambah sebanyak 52.446 unit atau meningkat 9,25%. Kenaikan jumlah kendaraan bermotor yang signifikan ini menyebabkan penurunan kualitas udara, terutama melalui peningkatan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Penelitian ini sangat penting mengingat tingginya aktivitas transportasi di Kabupaten Sragen serta kurangnya data spesifik mengenai konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan guna memperoleh data spesifik konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di Kabupaten Sragen, untuk menganalisis kualitas udara dan risiko terhadap kesehatan masyarakat. Selain itu, hasil penelitian ini

diharapkan dapat memberikan informasi dan rekomendasi yang berguna untuk merumuskan kebijakan pengendalian pencemaran udara yang lebih efektif di Kabupaten Sragen, sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran udara, meminimalisir risiko kesehatan bagi masyarakat, dan meningkatkan kualitas udara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ pada udara ambien di sekitar Jalan Raya Ngawi-Solo?
2. Bagaimana pengaruh paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ terhadap risiko kesehatan masyarakat di sekitar Jalan Raya Ngawi-Solo?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui dan menganalisis konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ pada udara ambien di sekitar Jalan Raya Ngawi-Solo.
2. Mengetahui dan menganalisis risiko kesehatan masyarakat terhadap paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di sekitar Jalan Raya Ngawi-Solo.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Mendukung penelitian lebih lanjut mengenai dampak polusi udara terhadap kesehatan di daerah-daerah lain.
2. Memberikan masukan dalam analisis akademik dalam kegiatan pengelolaan kualitas udara.
3. Meningkatkan kesadaran masyarakat akan bahaya paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ serta pentingnya menjaga kualitas udara.
4. Sebagai acuan untuk masyarakat dalam memperhatikan lingkungan tinggal yang sehat.

5. Menyediakan basis data dan informasi mengenai konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ untuk analisis risiko kesehatan terhadap paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di Kabupaten Sragen.
6. Menyediakan rekomendasi bagi pengambil kebijakan dan instansi terkait pengendalian pencemaran udara dan meningkatkan kualitas udara di Kabupaten Sragen.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini merupakan penelitian kolaboratif. Penelitian kolaboratif yang dimaksud adalah penelitian yang dilakukan secara bersama-sama dengan salah satu mahasiswa jenjang pendidikan Magister (S-2) dari Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
2. Lokasi penelitian dilakukan pada tiga titik di Jalan Raya Ngawi-Solo, Kabupaten Sragen.
3. Waktu penelitian berlangsung selama 6 bulan, dimulai dari bulan Mei hingga Oktober 2024.
4. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas udara dan menganalisis risiko kesehatan masyarakat terhadap paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang berada di titik lokasi penelitian.
5. Penelitian ini menggunakan data primer meliputi konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$, data meteorologi, dan data responden, yang semuanya diperoleh dari hasil sampling lapangan.
6. Data PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diambil menggunakan alat *MiniVol Air Sampler*.
7. Prinsip pengujian parameter PM_{10} dan $PM_{2,5}$ adalah dengan menggunakan metode gravimetri.
8. Data meteorologi yang digunakan yaitu suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, dan tekanan udara.
9. Baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Udara Ambien.

10. Penelitian ini menggunakan studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) berdasarkan Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan Kementerian Kesehatan tentang Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Tahun 2012.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menyebutkan bahwa pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui Baku Mutu Udara Ambien yang telah ditetapkan. Pencemaran udara merujuk pada hadirnya komponen atau zat berbahaya dalam udara yang mengubah komposisinya dari keadaan normal. Kehadiran bahan atau zat berbahaya dalam udara dengan jumlah, intensitas, dan durasi tertentu dapat mengganggu aktivitas serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya (Sharma & Singh, 2018).

2.2 Sumber Pencemaran Udara

PP No. 22 tahun 2021 menyebutkan bahwa sumber pencemaran udara adalah setiap kegiatan manusia yang mengeluarkan pencemar udara ke dalam udara ambien. Secara umum terdapat dua sumber pencemaran udara, yaitu pencemaran yang terjadi secara alami (*natural sources*) dan yang berasal dari aktivitas manusia (*anthropogenic sources*) (Sugiarti, 2009). Sumber alami meliputi aktivitas vulkanik, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, spora tumbuhan dan lain sebagainya. Di sisi lain, secara kuantitatif, sumber pencemaran dari aktivitas manusia seringkali lebih besar, mencakup transportasi, pembakaran bahan bakar fosil, industri, persampahan (baik dari proses dekomposisi maupun pembakaran), dan aktivitas rumah tangga (Achmadi, 2008).

Menurut PP No. 22 Tahun 2021, sumber pencemaran udara dikelompokkan ke dalam lima kategori, yaitu:

1. Sumber Bergerak: Emisi yang berasal dari sumber yang tidak tetap di suatu tempat, seperti kendaraan bermotor.
2. Sumber Bergerak Spesifik: Emisi dari sumber bergerak yang mencakup pesawat terbang, kapal laut, kereta api, dan kendaraan berat lainnya.
3. Sumber Tidak Bergerak: Emisi yang berasal dari sumber yang tetap di suatu tempat, seperti bengkel atau pabrik.
4. Sumber Tidak Bergerak Spesifik: Emisi dari sumber tidak bergerak yang kejadiannya tidak terduga, seperti pembakaran sampah dan kebakaran hutan.
5. Sumber Gangguan: Pencemaran yang disebabkan oleh media udara atau padat sebagai penyebarannya, seperti kebisingan, kebakaran, dan bau.

Sebagian besar polusi udara berasal dari emisi transportasi. Berdasarkan penelitian Liao et al. (2015), survei tentang pemahaman publik mengenai sumber pencemaran udara, menunjukkan bahwa kendaraan bermotor dianggap sebagai penyumbang utama pencemaran udara. Dengan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor, kontribusi gas buang dari kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara di kota-kota besar telah meningkat, mencapai 60-70%. Kontribusi ini merupakan yang paling dominan dibandingkan dengan sumber pencemar lainnya. Cerobong asap industri menyumbang sekitar 10-15% dari total pencemaran udara, sedangkan sisanya berasal dari berbagai sumber pembakaran lain, seperti rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan lain-lain (Sugiarti, 2009).

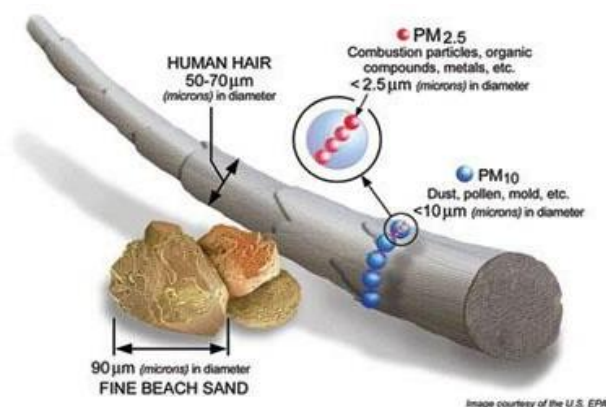
Emisi merupakan salah satu sumber utama pencemaran udara. Emisi adalah pencemar udara yang dihasilkan dari kegiatan manusia yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara, mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi pencemaran udara (PP No. 22, 2021). Emisi merujuk pada pelepasan zat atau partikel ke atmosfer dari berbagai sumber, termasuk sumber alami dan antropogenik (aktivitas manusia). Emisi gas buang kendaraan adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin kendaraan yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin, sedangkan proses pembakaran adalah reaksi kimia antara oksigen di dalam udara dengan senyawa hidrokarbon di dalam bahan bakar

untuk menghasilkan tenaga. Emisi kendaraan bermotor di setiap daerah dapat berbeda-beda karena tergantung pada desain jalan dan kondisi lalu lintas. Faktor yang mempengaruhi tingkat emisi di jalan meliputi jumlah total kendaraan, karakteristik kendaraan, dan kondisi umum lalu lintas (Jalaluddin, 2013). Emisi kendaraan bermotor telah diprediksikan menjadi sumber utama polusi udara di kota.

2.3 *Particulate Matter (PM)*

Particulate Matter (PM) merupakan polutan udara dengan tingkat toksisitas tinggi yang berperan dalam kerusakan kualitas udara ambien serta dapat menimbulkan masalah kesehatan (Bedah & Latifah, 2017). PM terdiri dari partikulat dengan berbagai ukuran, bentuk, dan komposisi kimia (Pertiwi et al., 2024). Karakteristik partikulat, seperti ukuran, bentuk, dan komposisi kimia, sangat berhubungan dengan dampaknya terhadap kesehatan dan lingkungan (Bakri, 2013).

Ukuran partikulat dapat menggambarkan seberapa jauh partikulat tersebut terdispersi, dampak yang ditimbulkan, sumber pencemarannya, serta berapa lama partikulat tersebut dapat bertahan di udara (Bakri, 2013). *Particulate Matter (PM)* terbagi menjadi partikulat kasar (*coarse particles*) dengan diameter $\leq 10 \mu\text{m}$ yang dikenal sebagai PM_{10} , dan partikulat halus (*fine particles*) dengan diameter $\leq 2,5 \mu\text{m}$ yang disebut $\text{PM}_{2,5}$ (metode.pdf). Perbandingan ukuran PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ dapat dilihat pada **Gambar 2.1**



Gambar 2.1 Perbandingan Ukuran PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ dengan Rambut Manusia dan Butir Pasir

2.3.1 *Particulate Matter* 10 (PM₁₀)

Particulate Matter 10 (PM₁₀) adalah partikulat dengan diameter 10 mikrometer atau lebih kecil (Chandra, 2006). PM₁₀ merupakan campuran kompleks dan heterogen yang terdiri dari berbagai komponen, seperti asap, jelaga, debu, garam, asam, dan logam (Donno et al., 2018). Beberapa partikulat tersebut bersifat higroskopis dan mengandung partikel yang terikat air. PM₁₀ dapat berupa partikel padat, cair, atau kombinasi keduanya, di mana beberapa partikulat memiliki inti padat yang dikelilingi oleh cairan (Bakri, 2013).

Menurut *Environtmental Protection Agency* (EPA), umumnya, keberadaan PM₁₀ dipengaruhi oleh udara dari luar. Partikulat ini dapat berasal dari berbagai sumber, seperti pada jalan (baik yang diaspal maupun yang tidak diaspal), kegiatan konstruksi, proses pembakaran, kegiatan pertambangan, proses industri, aktivitas pertanian, dan pembakaran biomassa. Sumber lainnya meliputi debu yang terbawa angin, serbuk sari, garam, serta debu yang dihasilkan dari pengereman kendaraan dan keausan ban. Sumber primer PM₁₀ dapat berasal dari berbagai aktivitas manusia maupun sumber alami. Sebagian besar PM₁₀ dihasilkan oleh aktivitas manusia, seperti aktivitas pertanian, proses industri, pembakaran kayu dan bahan bakar fosil, serta pekerjaan konstruksi dan proses pembongkaran. Di sisi lain, sumber alami juga berkontribusi terhadap total PM₁₀, termasuk debu yang terbawa angin, kebakaran hutan, serta letusan gunung berapi. Selain itu, partikulat secara alami dapat berasal dari aktivitas biologis seperti bakteri, virus, jamur, ragi, serbuk sari, dan partikulat garam dari evaporasi air laut (Bakri, 2013). Proses alami lainnya yang menghasilkan PM₁₀ mencakup badai debu dan proses penyerbukan (Cooper & Alley, 2002). Sumber sekunder PM₁₀ tidak secara langsung memancarkan partikulat ke atmosfer, tetapi berperan dalam pembentukan partikulat tersebut. Polutan ini dianggap sebagai bahan awal yang memicu pembentukan PM₁₀. Polutan tersebut meliputi sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), senyawa organik volatil (VOC), dan amonia. Semua sumber ini menambah beban partikulat di udara dan mempengaruhi kualitas udara secara keseluruhan.

Keberagaman sumber yang berkontribusi pada PM_{10} menyebabkan partikulat ini dapat mengandung berbagai unsur kimia. Sejumlah senyawa yang dapat terkandung di dalam PM_{10} meliputi sulfat, amonium, nitrat, unsur karbon, dan senyawa organik terkondensasi (Alias et al., 2007). Sebagian besar partikulat ini terbentuk bersamaan dengan polutan lain, terutama sulfur dioksida dan nitrogen oksida, yang secara kimiawi berubah menjadi zat nitrat dan sulfat. Zat nitrat, yang terbentuk dari oksida nitrogen, dapat menyumbang sepertiga atau lebih dari total benda partikulat di udara (Moore, 2007). Kandungan zat kimia dalam PM_{10} dapat menyebabkan partikulat ini bersifat karsinogenik maupun non-karsinogenik (Wulandari et al., 2016), tergantung pada jenis logam berbahaya yang terkandung di dalamnya, seperti Na, Ca, Mg, Fe, Al, Zn, Ni, K, Si, Pb, Cu, Mn, dan Cd (Ruslinda & Wiranata, 2009).

2.3.2 Particulate Matter 2,5 ($PM_{2,5}$)

Particulate Matter 2.5 ($PM_{2,5}$) adalah partikulat dengan diameter 2,5 mikrometer atau lebih kecil, yang sering kali tidak terlihat dengan mata telanjang karena ukurannya yang sangat kecil. $PM_{2,5}$ terdiri dari berbagai bentuk, dapat berupa partikel padat, tetesan cairan, atau kombinasi keduanya (EPA, 2020). Karena ukurannya yang kecil, $PM_{2,5}$ sering kali bersifat higroskopis, yaitu mampu menyerap kelembapan dari udara, yang dapat mempengaruhi sifat dan dampaknya (Kurtz, 2019).

$PM_{2,5}$ dapat berasal dari berbagai sumber, baik alami maupun antropogenik. Sumber alami termasuk debu dari tanah, erupsi vulkanik, dan partikel laut (EPA, 2020). Sumber antropogenik mencakup pembakaran bahan bakar fosil dari kendaraan bermotor dan proses industri, serta aktivitas lain seperti pembakaran sisa tanaman dalam pertanian dan penggunaan produk pembersih berbasis kimia di rumah tangga (Berman & Brook, 2018).

$PM_{2,5}$ mengandung berbagai senyawa yang bervariasi tergantung pada sumbernya. Senyawa tersebut meliputi zat organik seperti karbon hitam dan hidrokarbon (Pope & Dockery, 2006), logam berat seperti timbal, kadmium, dan arsenik (Berman & Brook, 2018), serta senyawa anorganik seperti sulfat, nitrat, dan amonia (Kurtz, 2019).

2.4 Dampak PM₁₀ dan PM_{2,5} terhadap Kesehatan Manusia

Dalam daftar efek kesehatan yang disusun oleh EPA, disebutkan bahwa peningkatan konsentrasi partikulat berhubungan dengan:

- a. Peningkatan angka kematian secara keseluruhan.
- b. Peningkatan kematian akibat penyakit kardiovaskular.
- c. Peningkatan kematian akibat penyakit saluran pernapasan.
- d. Peningkatan kematian akibat kanker.
- e. Peningkatan risiko kematian bayi dan kelahiran prematur.
- f. Peningkatan risiko pneumonia.
- g. Peningkatan risiko kematian post-neonatal akibat penyakit pernapasan dan sindrom kematian bayi mendadak.
- h. Peningkatan kasus pneumonia, bronkitis, dan penyakit paru obstruktif kronis (PPOK).
- i. Peningkatan gejala pada saluran pernapasan atas dan saluran pernapasan bawah.
- j. Penurunan fungsi paru-paru.
- k. Peningkatan kejadian rhinitis.

Secara umum, dampak kesehatan dari konsentrasi PM₁₀ meliputi gangguan pada sistem kardiovaskular, masalah pernapasan, dan kematian (Mursinto & Kusumawardani, 2016). Menurut WHO (2011), paparan PM₁₀ dalam jangka pendek dapat memicu reaksi peradangan di paru-paru, infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), gangguan pada sistem kardiovaskular, peningkatan perawatan ke unit gawat darurat, serta peningkatan penggunaan obat, bahkan berpotensi menyebabkan kematian. Sementara itu, dampak jangka panjang dari PM₁₀ meliputi peningkatan gejala gangguan saluran pernapasan bawah, eksaserbasi asma, penurunan fungsi paru-paru pada anak-anak, peningkatan penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), penurunan fungsi paru-paru pada orang dewasa, penurunan rata-rata harapan hidup, serta peningkatan risiko kematian akibat penyakit *cardiopulmonary* dan kemungkinan terjadinya kanker paru-paru (Nurjanah, 2014).

Berbeda dengan PM_{10} , ukuran $PM_{2,5}$ yang sangat kecil memungkinkannya untuk masuk dan menembus organ tubuh manusia, termasuk paru-paru, dan bahkan berpotensi mencapai aliran darah (Agency, 2018). $PM_{2,5}$ yang terakumulasi di saluran pernapasan dapat menyumbat alveolus, menyebabkan kerusakan sel, serta mengganggu fungsi paru-paru dengan mengakibatkan gangguan ventilasi. Ini dapat menurunkan kapasitas paru dan menyebabkan obstruksi, seperti lambatnya aliran udara akibat peningkatan produksi mukus (Azizah, 2019). Paparan $PM_{2,5}$ dalam jangka pendek dapat menimbulkan gejala pernapasan seperti batuk, bersin, dan sesak napas, serta gejala lain seperti pusing, nyeri dada, dan penurunan fisik (AH, 2008). Dalam jangka panjang, paparan $PM_{2,5}$ dapat meningkatkan risiko terhadap masalah sistem kardiovaskular dan menyebabkan gangguan fisiologis pada sistem pernapasan, seperti penurunan fungsi paru-paru dan gangguan pada rongga pernapasan, terutama pada individu dengan riwayat asma (Pui et al., 2014). Selain itu, paparan berkepanjangan terhadap $PM_{2,5}$ dapat mengakibatkan infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), kanker paru-paru, penyakit kardiovaskular, kematian dini, serta penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) (WHO, 2010).

Alasan untuk membedakan antara $PM_{2,5}$ dan PM_{10} adalah berdasarkan persentase pengendapan partikulat di paru-paru. Persentase pengendapan $PM_{2,5}$ di paru-paru lebih tinggi dibandingkan dengan PM_{10} (Yang et al., 2018). Partikulat yang mengendap di paru-paru dapat terdistribusi melalui aliran darah ke seluruh organ tubuh. Dengan kata lain, $PM_{2,5}$ memiliki dampak kesehatan yang lebih serius dibandingkan dengan PM_{10} .

2.5 Faktor yang mempengaruhi Persebaran Polutan

Persebaran polutan udara dipengaruhi oleh berbagai faktor meteorologi yang perlu dipertimbangkan, karena mempengaruhi penyebaran, konsentrasi, dan transformasi polutan di udara (Bakri, 2013).

2.5.1 Stabilitas Atmosfer

Stabilitas atmosfer berkaitan dengan pergerakan udara secara vertikal, yang dipengaruhi oleh suhu dan tekanan atmosfer. Pergerakan vertikal udara dapat menyebabkan terjadinya konveksi atau pencampuran vertikal udara.

Pemanasan bumi yang bervariasi mempengaruhi udara di atasnya. Udara yang terpapar langsung dengan permukaan panas akan ikut menjadi panas dan bergerak ke area yang lebih dingin. Proses pemanasan ini terjadi melalui dua prinsip utama, yaitu konduksi dan konveksi. Konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi ketika sesuatu menyentuh permukaan panas, sedangkan konveksi adalah pencampuran vertikal udara akibat perbedaan suhu (Franek & DeRose, 2003). Stabilitas atmosfer memengaruhi pola pergerakan udara yang bisa berupa konveksi atau aliran vertikal lainnya.

Stabilitas atmosfer diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu stabil, tidak stabil, dan netral (Almethen & Aldaithan, 2017). Penjelasan tentang stabilitas atmosfer adalah sebagai berikut:

- Atmosfer stabil: Atmosfer stabil terjadi ketika udara lebih dingin pada ketinggian yang lebih tinggi dibandingkan udara di bawahnya, sehingga udara yang naik akan cenderung turun kembali ke posisi semula. Hal ini dapat menyebabkan penumpukan polutan di dekat permukaan.
- Atmosfer Tidak Stabil: Atmosfer tidak stabil terjadi ketika udara lebih hangat di bawah dibandingkan udara di atasnya, menyebabkan udara yang lebih panas naik dan menciptakan konveksi. Ini dapat meningkatkan pencampuran polutan dan menyebarkaninya lebih jauh dari sumbernya.
- Atmosfer Netral: Dalam kondisi netral, perbedaan suhu antara udara di berbagai ketinggian tidak signifikan, sehingga udara dapat bergerak secara vertikal tanpa mengalami perubahan besar dalam stabilitas.

2.5.2 Kelembaban Udara

Kelembaban udara relatif memiliki hubungan signifikan dengan konsentrasi pencemar udara. Ketika kelembaban udara relatif menurun, sering kali terjadi peningkatan dalam konsentrasi pencemar di atmosfer. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme terkait dengan sifat fisik dan dinamis udara (Cahyadi et al., 2016).

Pada kondisi kelembaban udara relatif rendah, udara menjadi kering. Kelembaban yang rendah mengurangi kemampuan udara untuk menahan uap air, yang dapat menyebabkan partikel-partikel kecil di udara menjadi lebih mudah terangkat dan terdispersi. Dalam keadaan kering, partikel-partikel yang awalnya terikat dalam bentuk kondensat atau terlarut dalam uap air, cenderung menjadi lebih ringan dan lebih mudah terbang. Proses ini mempermudah partikel-partikel tersebut untuk melayang di udara bebas, menyebabkan konsentrasi partikulat di atmosfer meningkat (Cahyadi et al., 2016).

Dalam kondisi kelembaban tinggi, partikel-partikel kecil dapat mengikat uap air, membentuk partikel yang lebih besar dan lebih berat, yang kemudian cenderung mengendap atau turun ke permukaan tanah. Namun, ketika kelembaban rendah, proses pengikatan ini berkurang, sehingga partikel tetap lebih kecil dan lebih ringan, yang meningkatkan kemungkinan mereka untuk tetap terdispersi di udara dalam jangka waktu yang lebih lama (Cahyadi et al., 2016).

2.5.3 Kecepatan Angin

Kecepatan angin, yang terkait dengan pergerakan horizontal atmosfer, juga mempengaruhi konsentrasi polutan di udara secara signifikan. Umumnya, semakin tinggi kecepatan angin, semakin rendah konsentrasi polutan karena angin yang lebih kencang mempercepat penyebaran polutan dan mengurangi konsentrasinya di lokasi tertentu (Godish, 1997). Sebaliknya, kecepatan angin yang lemah dapat menyebabkan polutan menumpuk dan konsentrasinya meningkat di sekitar sumber pencemar (Chandra, 2006). Baik arah maupun kecepatan angin dipengaruhi oleh jenis lokasi dan kondisi atmosfer setempat (Sharma & Singh, 2018).

2.5.4 Tekanan Udara

Tekanan udara, atau tekanan atmosfer, adalah gaya yang diberikan oleh berat udara yang berada di atas suatu titik tertentu di permukaan bumi. Tekanan udara ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk ketinggian dan kondisi cuaca. Secara umum, udara yang mengembang cenderung menghasilkan tekanan udara yang lebih rendah, sedangkan udara yang berat menghasilkan

tekanan yang lebih tinggi. Hal ini berhubungan erat dengan bagaimana udara berperilaku dan bagaimana polutan tersebar di atmosfer (Yulkifli et al., 2014).

Ketika kita berbicara tentang tekanan udara, penting untuk memahami bahwa tekanan ini tidak hanya bergantung pada ketinggian, tetapi juga pada kondisi cuaca seperti suhu dan kelembaban. Di daerah dengan tekanan udara tinggi, udara lebih padat dan sering kali lebih kering. Sebaliknya, di daerah dengan tekanan udara rendah, udara cenderung lebih ringan dan seringkali lebih lembab (Yulkifli et al., 2014).

Tekanan udara tinggi sering kali terkait dengan sistem cuaca stabil, di mana kondisi atmosfer cenderung tenang dan kurang banyak pergerakan. Dalam kondisi ini, laju konveksi udara cenderung lebih rendah. Konveksi udara adalah proses di mana udara yang lebih panas dan kurang padat naik dari permukaan bumi, sementara udara yang lebih dingin dan lebih padat turun untuk menggantikan ruang yang kosong. Proses ini sangat penting dalam menyebarkan dan menghilangkan polutan dari atmosfer. Ketika tekanan udara tinggi dan laju konveksi rendah, pergerakan udara vertikal yang membantu dalam mendistribusikan dan menghilangkan polutan dari udara menjadi tidak efektif. Dengan kata lain, udara tidak bergerak cukup untuk mengusir atau mencampur polutan, sehingga polutan dapat terakumulasi di atmosfer dengan lebih mudah (Zeng & Zhang, 2017).

Sebaliknya, pada kondisi tekanan udara rendah, sering kali terdapat sistem cuaca yang lebih dinamis dengan laju konveksi yang lebih tinggi. Dalam situasi ini, udara yang panas dan kurang padat dapat naik dengan lebih efektif, memungkinkan pencemar untuk tersebar lebih luas dan menghilang dari atmosfer. Proses konveksi ini membantu mencampur udara dan mendistribusikan polutan secara lebih merata, sehingga mengurangi konsentrasi pencemar di udara (Zeng & Zhang, 2017).

2.6 Ketentuan Teknis Pemantauan Kualitas Udara Ambien

Ketentuan teknis pemantauan kualitas udara ambien diatur dalam Lampiran VI Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah. Regulasi ini membahas, antara lain, klasifikasi lokasi pemantauan dan kriteria penempatan alat pemantau kualitas udara ambien.

2.6.1 Klasifikasi Lokasi Pemantauan

Prinsip dasar dalam penempatan stasiun pemantau kualitas udara, yaitu lokasi yang kemungkinan akan terkena dampak pencemaran dan area yang diperkirakan memiliki sumber serta konsentrasi pencemar yang tinggi. Jenis lokasi pemantauan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- 1) Pusat kota: Area yang mencerminkan pajanan khas terhadap populasi akibat aktivitas di pusat kota, seperti daerah perbelanjaan, perdagangan, jasa, dan area publik.
- 2) Latar kota (*urban background*): Lokasi di kawasan perkotaan yang cukup jauh dari sumber polusi, sehingga tidak terpengaruh langsung dan dapat memberikan gambaran umum tentang kualitas udara latar perkotaan, seperti daerah pemukiman.
- 3) *Sub urban*: Lokasi yang terletak di pinggir kota, biasanya di daerah pemukiman.
- 4) Tepi jalan (*roadside*): Tempat pengukuran yang berada pada jarak 1-5 meter dari pinggir jalan raya.
- 5) Sisi jalan (*kerbside*): Lokasi pengukuran yang berada sekitar 1 meter dari tepi jalan raya.
- 6) Industri: Area di mana kegiatan industri menjadi sumber utama polutan yang mempengaruhi total beban pencemaran.
- 7) Pedesaan (*rural*): Lokasi pemantauan yang berada di area pedesaan dengan kepadatan penduduk rendah dan berada sejauh mungkin dari sumber pencemaran seperti jalan raya, industri, dan kawasan padat penduduk.

- 8) Lainnya: Pemantauan yang fokus pada sumber pencemar spesifik, seperti rumah sakit dan tempat pembuangan akhir (TPA).

2.6.2 Kriteria Penempatan Alat Pemantauan

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

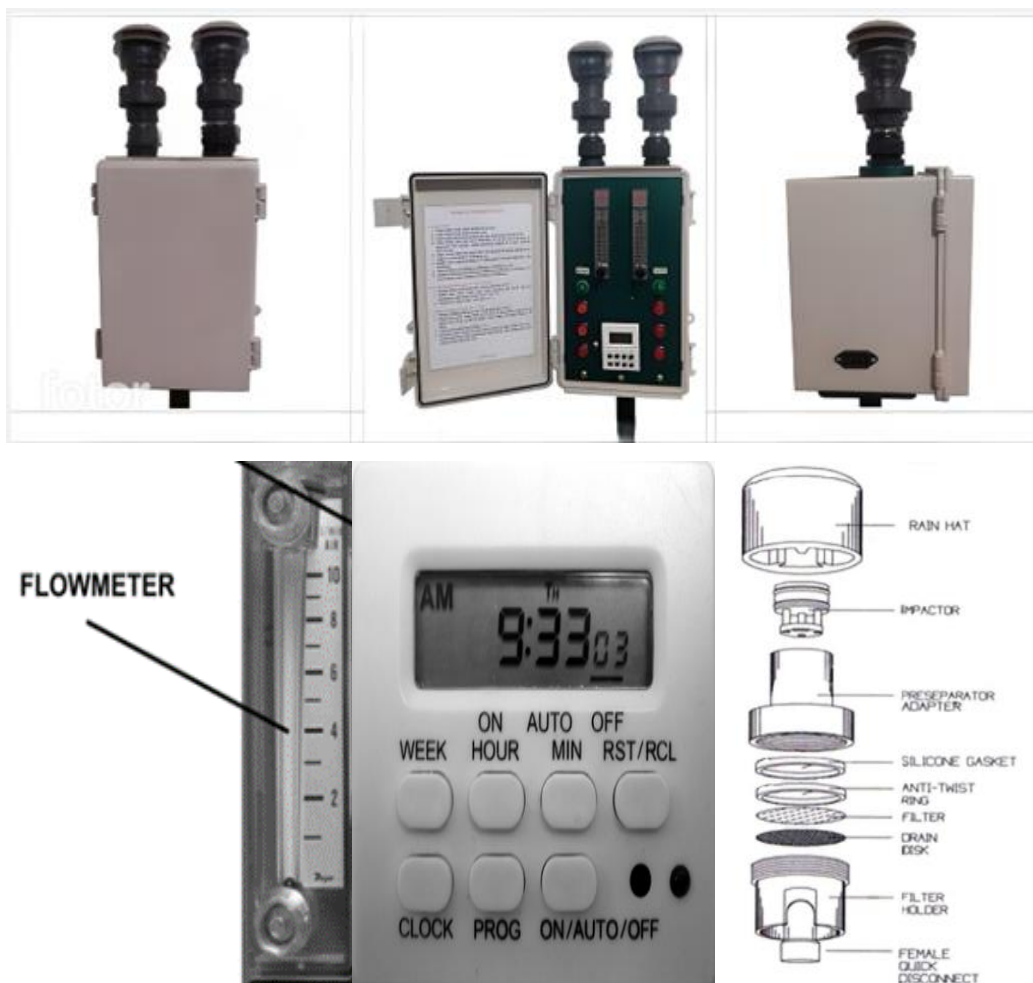
- a. Alat harus ditempatkan di udara terbuka dengan sudut pandang 120° terhadap penghalang seperti bangunan dan pohon yang tinggi.
- b. Ketinggian inlet pengambilan sampel dari permukaan tanah harus minimal 2 meter untuk pengukuran partikel dan gas.
- c. Alat pemantau harus ditempatkan minimal 20 meter dari sumber emisi terdekat.

2.7 Pengukuran Konsentrasi Polutan (PM₁₀ dan PM_{2,5}) di Udara

Pengukuran kadar polutan di udara bertujuan untuk menentukan tingkat atau konsentrasi polutan yang ada dalam suatu area tertentu. Proses ini disesuaikan dengan kondisi lingkungan setempat dan kemudian dibandingkan dengan Nilai Ambang Batas (NAB) atau standar baku mutu partikulat udara. Pengukuran konsentrasi polutan, seperti PM₁₀ dan PM_{2,5}, memberikan dasar bagi lembaga untuk merumuskan kebijakan guna menciptakan lingkungan yang lebih sehat.

Dalam upaya untuk mengukur konsentrasi polutan udara secara akurat, alat yang digunakan adalah *MiniVol Air Sampler* (MAS-02). MiniVol adalah alat portabel yang dirancang untuk mengambil sampel udara, termasuk partikulat. Prinsip dasar dari MiniVol melibatkan penggunaan pompa yang dikendalikan oleh pengatur waktu (*timer*) dan *flow meter* untuk mengatur volume aliran udara yang dihisap. Pompa dapat diatur untuk beroperasi dalam berbagai durasi, mulai dari beberapa jam hingga satu minggu, tergantung pada kebutuhan penelitian. Saat digunakan di luar ruangan, MiniVol dapat digantung pada penyangga yang dipasang pada tiang, pohon, atau menggunakan tripod. Alat ini dioperasikan dengan sumber listrik AC yang berasal dari genset. Dalam proses pengambilan sampel partikulat, udara ditarik melalui separator yang memisahkan partikel berdasarkan ukuran, kemudian melewati *filter*. Pemisahan partikel terjadi melalui

proses *impaction*, di mana partikel-partikel yang lebih besar tertangkap dan terpisah dari aliran udara. Pengumpulan ukuran partikel yang tepat sangat bergantung pada pengaturan volume aliran udara yang ditarik melalui *impactor*. Volume aliran udara yang disarankan untuk MiniVol adalah 5 liter per menit (L/min) pada kondisi ambien, memastikan pengambilan sampel yang konsisten dan akurat. Nilai toleransi kesalahan (*margin of error*) untuk MiniVol sendiri yaitu $\pm 5\text{-}10\%$ dibandingkan dengan alat referensi, tergantung pada kondisi pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun MiniVol cukup akurat, perbedaan kecil dalam hasil pengukuran dapat terjadi tergantung pada faktor-faktor seperti kondisi lingkungan, kalibrasi alat, dan metode pengukuran yang digunakan.



Gambar 2.2 MiniVol Air Sampler (MAS-02) dan Komponennya

2.8 Baku Mutu Udara Ambien

PP No. 22 Tahun 2021 mengatur baku mutu udara ambien sebagai nilai batas maksimum pencemar udara yang diperbolehkan dalam udara ambien. Regulasi ini menetapkan standar baku mutu udara ambien pada tingkat nasional.

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien

Parameter	Baku Mutu sesuai PP No. 22 Tahun 2021
PM ₁₀ (Partikulat $\leq 10 \mu\text{m}$)	75 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
PM _{2,5} (Partikulat $\leq 2,5 \mu\text{m}$)	55 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

2.9 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan Kementerian Kesehatan tentang Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Tahun 2012 menyebutkan bahwa risiko adalah kemungkinan yang mungkin dapat atau tidak terjadi, salah satu cara untuk mengetahui besaran risiko dilakukan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). ARKL merupakan model matematis yang telah digunakan di sebagian negara maju untuk menentukan besaran risiko akibat pencemaran lingkungan yang memberikan paparan kepada manusia (Basri et al., 2014).

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) adalah pendekatan yang digunakan untuk menilai potensi risiko terhadap kesehatan manusia yang timbul dari masalah lingkungan. Proses ini dimulai dengan mendeskripsikan masalah lingkungan yang ada dan melibatkan penetapan risiko kesehatan terkait dengan masalah tersebut. ARKL bertujuan untuk mengevaluasi risiko kesehatan manusia akibat paparan bahaya lingkungan dengan cara yang sistematis (Nengsi, 2018).

Saat ini, analisis risiko diterapkan untuk menilai risiko kesehatan manusia yang disebabkan oleh paparan bahaya lingkungan. Bahaya di sini merujuk pada sifat yang melekat pada suatu agen risiko atau situasi tertentu, yang memiliki potensi untuk menimbulkan efek merugikan jika organisme, sistem, atau (sub) populasi

terkena paparan oleh agen risiko tersebut (Soedomo, 2001). Tahapan analisis risiko dimulai dari identifikasi bahaya, penilaian dosis respon, penilaian paparan, dan karakterisasi risiko (Dirjen PP & PL, 2012).

2.9.1 Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Tahapan ini bertujuan untuk mengidentifikasi secara spesifik agen risiko yang memiliki potensi menyebabkan gangguan kesehatan jika terpapar ke tubuh manusia. Dalam proses ini, penting untuk menentukan jenis bahaya yang ada di lingkungan dan memahami sifat atau karakteristik dari agen risiko tersebut. Sebagai pelengkap, identifikasi bahaya juga mencakup penambahan informasi mengenai gejala-gejala gangguan kesehatan yang mungkin terkait erat dengan agen risiko yang sedang dianalisis. Hal ini membantu dalam mengaitkan agen risiko dengan efek kesehatan spesifik yang mungkin ditimbulkan, sehingga memudahkan dalam penilaian risiko yang lebih mendetail dan akurat (Nengsi, 2018).

2.9.2 Penilaian Dosis-Respon (*Dose-Response Assessment*)

Setelah melakukan identifikasi bahaya, yang meliputi agen risiko, konsentrasi, dan media lingkungan, tahap selanjutnya yakni penilaian dosis-respon. Pada tahap ini, nilai dosis referensi (RfD), konsentrasi referensi (RfC), dan/atau slope faktor (SF) dari agen risiko tersebut ditentukan untuk menilai dampaknya pada tubuh manusia.

Langkah penilaian dosis-respon dalam ARKL memiliki tujuan penting sebagai berikut:

- 1) Mengetahui Jalur Paparan (*Pathways*): Untuk memahami bagaimana suatu agen risiko masuk ke tubuh manusia melalui berbagai jalur paparan, seperti inhalasi, konsumsi, atau kontak kulit.
- 2) Memahami Perubahan Gejala atau Efek Kesehatan: Untuk menilai bagaimana peningkatan konsentrasi atau dosis dari agen risiko dapat mempengaruhi kesehatan dan menyebabkan perubahan gejala atau efek kesehatan pada tubuh manusia.

- 3) Mengetahui Dosis Referensi (RfD), Konsentrasi Referensi (RfC), atau Slope Faktor (SF): Untuk menentukan nilai dosis atau konsentrasi yang dianggap aman (RfD/RfC) atau, dalam kasus agen risiko karsinogenik, faktor karsinogenisitas (SF) yang mengindikasikan potensi karsinogenisitas dari agen risiko tersebut (Nengsi, 2018).

2.9.3 Penilaian Paparan (*Exposure Assessment*)

Penilaian paparan dilakukan dengan menghitung *intake* (asupan) dari agen risiko. *Intake* mengacu pada jumlah agen risiko yang diterima rata-rata oleh sampel per satuan berat badan rata-rata sampel per hari (Dirjen PP & PL, 2012). Menghitung *intake* dari agen risiko memerlukan penggunaan persamaan atau rumus tersendiri. Perhitungan *intake* dapat dilakukan dengan menggunakan data primer, yaitu hasil pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan secara langsung, atau dengan menggunakan data sekunder, yang diperoleh dari pihak, badan, atau instansi lain yang terpercaya dalam bidangnya. Jika data primer atau sekunder tidak tersedia, dapat digunakan asumsi yang didasarkan pada pertimbangan logis atau nilai *default* yang tersedia (Nengsi, 2018).

2.9.4 Karakterisasi Risiko (*Risk Characterization*)

Karakterisasi risiko dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko, atau dengan kata lain, menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat atau tidak, berdasarkan karakteristik seperti berat badan, laju inhalasi/konsumsi, waktu, frekuensi, dan durasi paparan. Dalam karakterisasi risiko, terdapat dua jenis, yaitu karakterisasi risiko untuk efek non-karsinogenik dan untuk efek karsinogenik. Karakterisasi risiko untuk efek non-karsinogenik dilakukan dengan membandingkan atau membagi *intake* dengan dosis referensi (RfD) atau konsentrasi referensi (RfC) agen risiko tersebut. Sedangkan, karakterisasi risiko untuk efek karsinogenik dilakukan dengan mengalikan *intake* dengan faktor karsinogenisitas (SF) (Nengsi, 2018).

2.9.5 Manajemen Risiko (*Risk Management*)

Setelah menyelesaikan keempat langkah ARKL di atas, dapat diketahui apakah suatu agen risiko aman atau tidak. Manajemen risiko bukanlah bagian dari langkah-langkah ARKL, melainkan tindak lanjut yang diperlukan jika hasil karakterisasi risiko menunjukkan tingkat risiko yang tidak aman atau tidak dapat diterima. Dalam manajemen risiko, perlu dibedakan antara strategi manajemen risiko dan cara manajemen risiko.

Strategi manajemen risiko mencakup penentuan batas aman, yang meliputi:

- a. Konsentrasi agen risiko (C), dan/atau
- b. Jumlah konsumsi (R), dan/atau
- c. Waktu paparan (t_E), dan/atau
- d. Frekuensi paparan (f_E), dan/atau
- e. Durasi paparan (D_t).

Setelah batas aman ditentukan, perlu dilakukan penapisan alternatif untuk memilih batas aman yang akan dijadikan target atau sasaran dalam manajemen risiko. Batas aman yang dipilih haruslah rasional dan realistis untuk dicapai.

Cara manajemen risiko adalah metode yang akan digunakan untuk mencapai batas aman tersebut. Pendekatan dalam cara manajemen risiko meliputi pendekatan teknologi, sosial-ekonomi, dan institusional. Manajemen risiko memerlukan strategi yang tepat serta metode yang sesuai untuk efektivitas implementasinya (Nengsi, 2018).

2.9.6 Komunikasi Risiko (*Risk Communication*)

Komunikasi risiko bertujuan untuk menyampaikan informasi mengenai risiko kepada masyarakat (populasi yang berisiko), pemerintah, dan pihak berkepentingan lainnya. Ini merupakan tindak lanjut dari pelaksanaan ARKL dan merupakan tanggung jawab dari pemrakarsa atau pihak yang menyebabkan terjadinya risiko. Komunikasi risiko dapat dilakukan dengan berbagai teknik atau metode, seperti ceramah atau diskusi interaktif, serta menggunakan media komunikasi yang tersedia, termasuk media massa, televisi, radio, atau dalam

format pemetaan dengan menggunakan *Geographic Information System* (GIS) (Dirjen PP & PL, 2012).

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya diharapkan dapat berguna sebagai referensi serta perbandingan untuk penelitian yang sedang dilakukan saat ini. Hasil-hasil dari penelitian-penelitian tersebut dapat dilihat pada berikut:

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis	Tahun	Judul	Hasil
1	Hendra Gunawan, Yenni Ruslinda, Vera Sutria Bachtiar, Annisa Dwinta	2018	Model Hubungan Konsentrasi <i>Particulate Matter</i> 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Jl. M. Yunus sebagai jalan lokal primer 103,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan Jl. Imam Bonjol yang mewakili jalan kolektor primer 100,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
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 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tingkat risiko rata-rata menunjukkan hasil $RQ \leq 1$, yang mana risiko masih rendah dan belum berbahaya. Namun, pada perhitungan tingkat risiko per individu terdapat 15 pekerja yang masuk dalam kategori berisiko ($RQ \geq 1$) dan perlu dilakukan pengendalian risiko.
3	Avita Falahdina	2017	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan PM _{2.5} pada Pedagang Tetap di Terminal Kampung Rambutan	PM _{2.5} merupakan salah satu polutan yang dikeluarkan dari emisi kendaraan, disebut sebagai debu respirable karena dapat berpenetrasi ke parenkim paru dan dapat menyebabkan penurunan kapasitas vital paru. Pedagang di terminal merupakan populasi berisiko yang

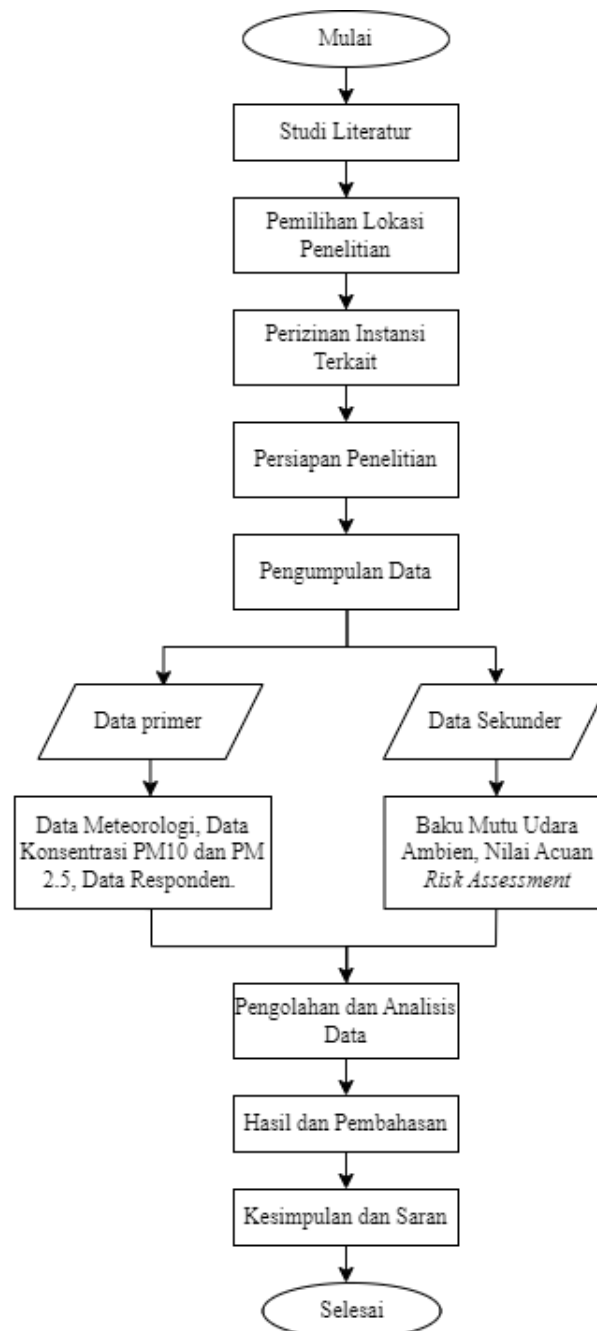
				diasumsikan terpajan dengan konsentrasi polutan yang tinggi dan dalam waktu yang lama.
4	Marko Vallius	2005	Characteristics and Sources of Fine Particulate Matter in Urban Air	Hasil dari peneitian ini menunjukan bahwa hasil dari materi partikel disuspensi ulang dapat dihasilkan secara besar dari aktivitas antropogenik.
5	Khariza Dwi Sepriani	2015	Sebaran Partikulat (PM ₁₀) pada Musim Kemarau di Kabupaten Tangerang dan Sekitarnya	Hasil analisis menunjukkan konsentrasi PM ₁₀ tinggi di daerah sekitar Kotamadya Tangerang. Banyaknya industri dan padatnya kendaraan bermotor serta angin dominan yang menuju timur pada musim kemarau menyebabkan konsentrasi PM ₁₀ di Kota Tangerang Selatan hingga Kota Tangerang lebih tinggi dari pada di sekitarnya, yakni mencapai 26-28µg/m ³ . Nilai korelasi antara kecepatan angin dan konsentrasi partikulat sebesar -0.46 menunjukkan kecepatan angin cukup mempengaruhi tingkat konsentrasi PM ₁₀ .

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

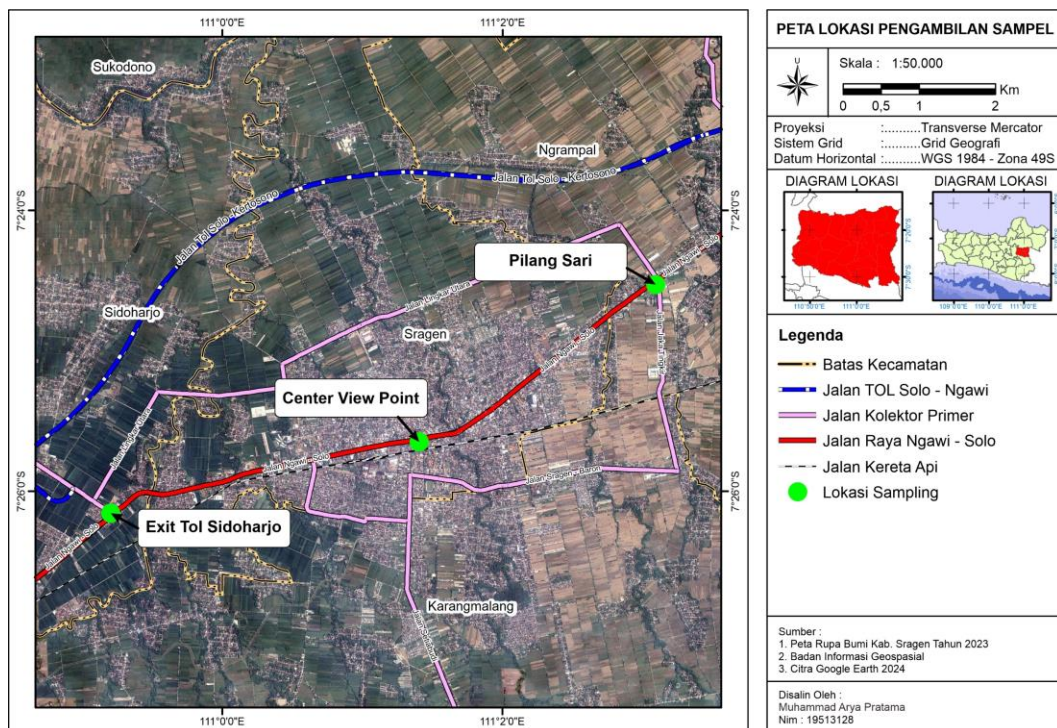
3.1 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu penelitian berlangsung selama 6 bulan, dimulai dari bulan Mei hingga Oktober 2024. Lokasi penelitian dilakukan pada tiga titik di Jalan Raya Ngawi-Solo, Kabupaten Sragen. Penentuan lokasi titik sampling mengacu pada SNI 19-7119.6-2005 tentang Penentuan Lokasi Pengambilan Contoh Uji Pemantauan Kualitas Udara Ambien. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian

Pada peta diatas terdapat tiga titik sampling, untuk rincian titik sampling dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Rincian Titik Sampling

Titik Sampling	Lokasi	Koordinat	Deskripsi	Gambar
A	Perempatan Pilangsari	S:07°24'30.392" E:111°03'5.723"	Perempatan Pilangsari merupakan titik persimpangan strategis yang menghubungkan Jalan Raya Ngawi-Solo dengan jalan-jalan lain ke berbagai arah. Kawasan ini cukup ramai, terutama pada jam-jam sibuk, dengan aktivitas masyarakat yang melintas untuk perjalanan antar kota maupun kegiatan ekonomi lokal. Di sekitar Perempatan Pilangsari terdapat pemukiman rumah penduduk, serta sejumlah toko dan warung yang memenuhi kebutuhan sehari-hari. Meskipun berada di jalur utama, kawasan ini tetap asri dengan pohon-pohon besar yang memberikan keteduhan, menjadikannya tempat yang sering dijadikan pemberhentian bagi kendaraan yang melintas.	 

B	Alun-alun Kabupaten Sragen	S:07°42'72.075" E:111°02'31.921"	Alun-alun Kabupaten Sragen terletak di pusat kota dan menjadi titik strategis yang menghubungkan Jalan Raya Ngawi-Solo dengan jalan-jalan lain ke berbagai arah. Kawasan ini ramai dengan aktivitas masyarakat, baik yang melintas antar kota maupun yang berkunjung untuk berbelanja atau bersantai. Di sekitar alun-alun, terdapat kantor-kantor pemerintahan Kabupaten Sragen, seperti kantor Bupati, yang menjadikan area ini pusat kegiatan administrasi dan pemerintahan daerah. Selain itu, banyak toko, warung makan, dan kios yang memenuhi kebutuhan sehari-hari, sementara pemukiman rumah penduduk menciptakan suasana yang hidup namun tetap nyaman. Meskipun berada di pusat kota, alun-alun ini tetap asri dengan pohon-pohon besar yang memberikan keteduhan, menjadikannya tempat yang sering dijadikan titik pemberhentian dan ruang terbuka untuk berkumpul, berolahraga, atau sekadar bersantai.	 
---	----------------------------	-------------------------------------	---	--

C	Exit Tol Pungkruk	S:07°43'59.878" E:110°98'69.418"	Exit Tol Pungkruk terletak di kawasan sibuk yang menghubungkan Jalan Raya Ngawi-Solo dengan jalan-jalan lain ke berbagai arah. Sebagai titik persimpangan utama, kawasan ini sering dipadati kendaraan, terutama pada jam-jam sibuk. Lingkungannya cenderung kering dan minim pepohonan, sehingga suhu sering terasa lebih panas dan suasananya kurang nyaman. Meskipun demikian, kawasan ini tetap ramai dengan berbagai fasilitas, seperti toko, warung makan, dan kios yang melayani kebutuhan warga dan pengendara. Walaupun tidak se-asri kawasan lain, Exit Tol Pungkruk tetap menjadi titik penting yang menghubungkan berbagai arah dan sering dijadikan tempat pemberhentian bagi mereka yang melintas.	 
---	-------------------	-------------------------------------	---	--

Ketiga lokasi tersebut dipilih sebagai titik sampling karena masing-masing memiliki relevansi yang strategis. Titik A merupakan jalan utama yang menghubungkan Sragen dengan Jawa Timur, sehingga memiliki trafik tinggi dan signifikan bagi pergerakan antar kota. Titik B berada di jalan utama yang melintasi pusat pemerintahan dan kegiatan ekonomi Kabupaten Sragen, menjadikannya representatif untuk menggambarkan aktivitas sosial dan ekonomi di daerah

tersebut. Titik C adalah jalur utama keluar dari Kabupaten Sragen, yang mewakili pergerakan arus barang dan mobilitas masyarakat menuju wilayah lain.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk menunjang penelitian ini meliputi:

1. *MiniVol Air Sampler* (MAS-02) untuk pengambilan sampel PM_{10} dan $PM_{2,5}$.
2. *Heat Stress Meter* (Extech HT30) untuk mengukur suhu dan kelembaban.
3. Anemometer (Lutron LM-8102) untuk mengukur arah angin dan kecepatan angin.
4. Barometer (LIOOBO Dial) untuk mengukur tekanan udara.
5. GPS Garmin (GPS 73) untuk mengetahui koordinat dan elevasi.
6. Alat penunjang lainnya seperti alat tulis, *handphone* dan laptop.

3.4 Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah masyarakat Kabupaten Sragen yang beraktivitas di sekitar lokasi penelitian, mencakup berbagai individu dari ketiga titik sampling, termasuk pedagang, tukang parkir, tukang ojek pangkalan, security, tukang becak, dan polisi. Jumlah keseluruhan populasi dari ketiga titik sampling adalah 157 orang. Populasi di setiap titik diambil dalam radius 100 meter. Radius 100 meter dipilih karena dianggap optimal untuk mencakup aktivitas masyarakat yang relevan di sekitar lokasi penelitian, memastikan keterwakilan data yang konsisten dan praktis, serta memberikan gambaran yang memadai mengenai dampak lingkungan tanpa menjangkau area yang terlalu luas. Para individu ini mewakili spektrum aktivitas yang signifikan di area tersebut, memberikan gambaran yang komprehensif tentang dampak lingkungan di sekitar lokasi penelitian. Dengan melibatkan berbagai profesi dan peran dalam masyarakat, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik mengenai pengaruh konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ terhadap kesehatan masyarakat di Kabupaten Sragen.

Sampel dalam penelitian ini diperoleh dari total keseluruhan populasi yang ada. Untuk menentukan jumlah sampel yang representatif, digunakan rumus Slovin. Rumus ini membantu menghitung jumlah sampel yang diperlukan untuk mendapatkan gambaran yang akurat dari populasi dengan *margin of error* yang telah ditentukan. Setelah melakukan perhitungan menggunakan rumus Slovin, didapatkan jumlah sampel yang optimal, yaitu sebanyak 61 orang. Dengan demikian, sampel ini diharapkan dapat mewakili karakteristik populasi secara efektif dan memberikan data yang relevan untuk analisis penelitian.

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

$$n = \frac{157}{1 + 157(0,1)^2} = 61$$

Keterangan:

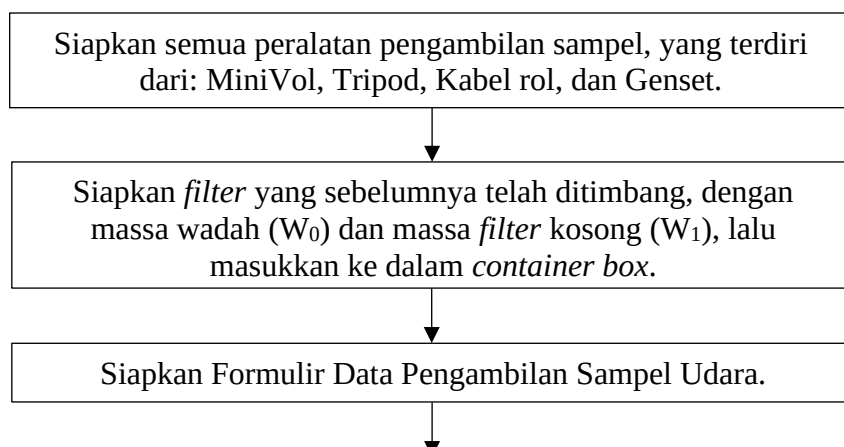
- n = Jumlah sampel
 N = Jumlah populasi
 e = *Margin of error* atau toleransi kesalahan (*error tolerance*)

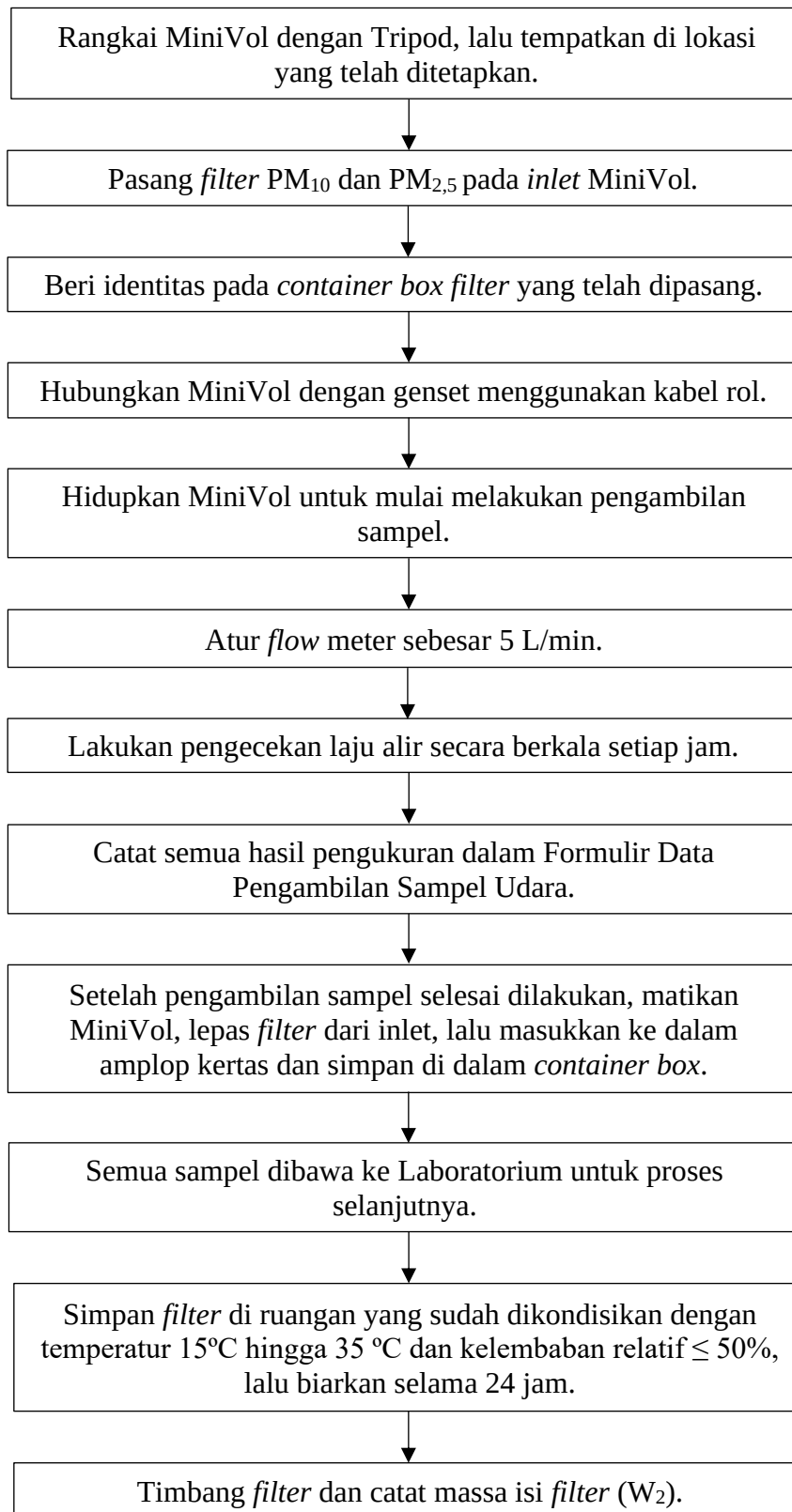
3.5 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif. Data yang digunakan adalah data primer, meliputi konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5}, data meteorologi, dan data responden.

3.5.1 Metode Pengambilan Sampel PM₁₀ dan PM_{2,5}

Pengambilan sampel PM₁₀ dan PM_{2,5} dilakukan pada tiga titik menggunakan alat *MiniVol Air Sampler* (MAS-02). Pengambilan sampel di setiap titik berlangsung selama 24 jam, dengan tahapan pelaksanaan sebagai berikut:





Gambar 3.3 Tahapan Pelaksanaan Pengambilan Sampel PM₁₀ dan PM_{2,5}

3.5.2 Metode Pengambilan Data Meteorologi

Pengambilan data meteorologi dilakukan dengan mengukur suhu dan kelembaban udara menggunakan alat *Heat Stress Meter*, mengukur arah angin dan kecepatan angin menggunakan Anemometer, mengukur tekanan udara menggunakan Barometer, serta mengetahui koordinat dan elevasi titik sampling menggunakan GPS Garmin. Pengambilan data ini dilakukan selama 24 jam dengan interval waktu 1 jam.

3.5.3 Metode Pengumpulan Data Responden

Pengumpulan data responden dilakukan melalui wawancara langsung menggunakan kuesioner yang dirancang untuk memperoleh informasi terkait berbagai faktor penting. Kuesioner ini mencakup pertanyaan tentang umur, berat badan, waktu paparan, frekuensi paparan, dan durasi paparan. Penelitian ini melibatkan total 61 responden yang dipilih berdasarkan perhitungan sampel menggunakan rumus Slovin. Untuk memastikan representativitas dan keberagaman data, responden dipilih dari tiga titik sampling yang telah ditetapkan di Kabupaten Sragen. Dari jumlah total sampel, Titik A menyumbang 27 responden, Titik B 15 responden, dan Titik C 19 responden.

3.6 Metode Pengolahan Data

3.6.1 Metode Pengolahan Data Meteorologi

Dalam pengolahan data meteorologi yang diperoleh di lapangan, meliputi suhu, kelembaban udara, arah angin, kecepatan angin, dan tekanan udara, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai rata-rata, nilai minimum, dan nilai maksimum, yang akan digunakan dalam perhitungan konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5}. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai-nilai tersebut adalah sebagai berikut:

- Rata-rata

$$\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

- Maksimum minimum

$$(X_1 + X_2 + \dots + X_n)$$

3.6.2 Metode Pengolahan Sampel PM₁₀ dan PM_{2,5}

Untuk mengetahui konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5}, perhitungan dilakukan menggunakan metode gravimetri. Namun, terlebih dahulu perlu menghitung nilai rata-rata, nilai minimum, dan maksimum dari data meteorologi yang diperoleh. Setelah itu, menghitung koreksi laju alir dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = Q_o \times \left(\frac{T_s \times P_o}{T_o \times P_s} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan:

- Q_s = Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar (Nm³/menit)
 Q_o = Laju alir volume uji (m³/menit)
 T_s = Temperatur standar (298 K)
 T_o = Temperatur rata-rata aktual (273 + T ukur)
 P_s = Tekanan barometrik standar (101,3 kPa = 760 mmHg)
 P_o = Tekanan barometrik rata-rata aktual

Selanjutnya, menghitung volume contoh uji udara dengan rumus sebagai berikut:

$$V_{std} = \frac{\sum_{s=1}^n Q_s}{n} \times t \quad \sum_{s=1}^n Q_s = 28, \text{ (jika } n = 24)$$

Keterangan:

- V_{std} = Volume contoh uji udara dalam keadaan standar (Nm³)
 Q_s = Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar (Nm³/menit)
 n = Jumlah pencatatan laju alir
 t = Durasi pengambilan contoh uji (menit)

Setelah itu, menghitung konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} tersuspensi di udara dengan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{(W_2 - W_1) \times 10^6}{V_{\text{std}}}$$

Keterangan:

- C = Konsentrasi massa partikel tersuspensi (µg/Nm³)
V_{std} = Volume contoh uji udara dalam keadaan standar (Nm³)
W₁ = Berat *filter* awal (g)
W₂ = Berat *filter* akhir (g)
10⁶ = Konversi gram ke mikrogram

3.7 Analisis Data

3.7.1 Meteorologi

Dalam penelitian ini, parameter meteorologi yang diamati meliputi suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, dan tekanan udara. Pengaruh faktor meteorologi sangat penting dalam memahami bagaimana partikel pencemar udara, seperti PM₁₀ dan PM_{2,5}, dapat tersebar di udara ambien.

Suhu dan kelembaban udara berperan dalam mengontrol kondisi atmosfer yang mempengaruhi pembentukan dan dispersi partikel-partikel tersebut. Penelitian menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat evaporasi air dari permukaan partikel, yang pada akhirnya mempengaruhi ukurannya dan kemampuannya untuk melayang di udara. Kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan partikel-partikel tersebut menyerap uap air, meningkatkan ukuran partikel, dan mempengaruhi proses sedimentasi.

Kecepatan angin berfungsi sebagai penggerak utama dalam penyebaran polutan. Angin dapat memindahkan partikel polutan dari satu tempat ke tempat lain, dan kecepatan yang lebih tinggi memungkinkan partikel PM₁₀ dan PM_{2,5} tersebar lebih jauh dari sumber emisi. Tekanan udara juga memiliki peran penting, di mana perbedaan tekanan antar lokasi dapat mempengaruhi pola

pergerakan udara, sehingga berdampak pada konsentrasi dan dispersi partikel polutan di area tersebut.

Oleh karena itu, analisis data meteorologi bertujuan untuk memahami keterkaitan antara faktor-faktor meteorologi dengan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di lokasi penelitian, serta bagaimana perubahan kondisi cuaca dapat mempengaruhi pola dispersi dan intensitas polusi udara.

3.7.2 Perbandingan Baku Mutu

PP No. 22 Tahun 2021 mengatur baku mutu udara ambien sebagai nilai batas maksimum pencemar udara yang diperbolehkan dalam udara ambien. Regulasi ini menetapkan standar baku mutu udara ambien pada tingkat nasional. Baku mutu untuk konsentrasi PM_{10} adalah $75 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, dengan waktu pengukuran selama 24 jam. Sedangkan untuk konsentrasi $PM_{2,5}$, baku mutunya adalah $55 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, juga dengan waktu pengukuran selama 24 jam.

Data konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dalam penelitian ini akan dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan dalam regulasi tersebut, untuk mengetahui apakah nilai tersebut menunjukkan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di Kabupaten Sragen memenuhi baku mutu atau tidak, serta untuk menilai dampaknya terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan.

3.7.3 Analisis Risiko Paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ terhadap Kesehatan Masyarakat

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis risiko yang ditimbulkan terhadap kesehatan masyarakat. Dalam metode ini, data konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dianalisis bersama dengan data responden yang telah diperoleh sebelumnya. Langkah-langkah perhitungan analisis risiko kesehatan lingkungan adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times t_{avg}}$$

Keterangan:

Data	Keterangan	Sumber Data
I	Asupan (<i>intake</i>), mg/kg/hari	-
C	Konsentrasi <i>risk agent</i> , mg/m ³ untuk media udara, mg/L untuk air minum, mg/kg untuk makanan atau pangan	Konsentrasi PM ₁₀ dan PM _{2,5} 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
tE	Waktu pajanan	Kuesioner wawancara
fE	Frekuensi pajanan	Kuesioner wawancara
Dt	Durasi pajanan, tahun (<i>realtime</i> atau proyeksi, 30 tahun untuk nilai <i>default</i> residensial)	Kuesioner wawancara
Wb	Berat badan	Kuesioner wawancara
t _{avg}	Periode waktu rata-rata	(D _t × 365 hari/tahun untuk zat non-karsinogenik, 70 tahun × 365 hari/tahun untuk zat karsinogenik)

Selanjutnya, untuk menentukan manajemen risiko, perlu dihitung karakteristik risiko atau RQ, yang mengukur potensi terjadinya risiko. Jika nilai $RQ \geq 1$, maka kemungkinan risiko tersebut terjadi cukup tinggi. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai RQ:

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

Keterangan:

Ink = Intake non-karsinogenik (mg/kg/hari)

RfC = Konsentrasi referensi (mg/kg/hari)

Manajemen risiko melibatkan langkah-langkah untuk mengurangi dampak paparan dengan menerapkan strategi pengelolaan risiko. Proses ini mencakup penetapan batas aman yang melibatkan berbagai faktor, seperti konsentrasi agen risiko (C), jumlah konsumsi/laju inhalasi (R), waktu paparan (tE), frekuensi paparan (fE), dan durasi paparan (Dt). Metode perhitungan untuk manajemen risiko dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$C \text{ aman} = \frac{RfC \times Wb \times t_{avg}}{R \times tE \times fE \times Dt}$$

$$tE \text{ aman} = \frac{RfC \times Wb \times t_{avg}}{C \times R \times fE \times Dt}$$

$$fE \text{ aman} = \frac{RfC \times Wb \times t_{avg}}{C \times R \times tE \times Dt}$$

$$Dt \text{ aman} = \frac{RfC \times Wb \times t_{avg}}{C \times R \times tE \times fE}$$

Berikut adalah penjelasan tentang manajemen risiko dengan mengurangi *risk agent*:

1. Mengurangi konsentrasi *risk agent* jika pola dan waktu konsentrasi tidak dapat diubah. Metode ini menerapkan prinsip $RfC = Ink$, dengan rumus sebagai berikut:

$$RfC = \frac{C \times R \times fE \times Dt}{Wb \times t_{avg}} \text{ mg/m}^3$$

2. Mengurangi pola (laju) asupan jika konsentrasi *risk agent* dan waktu konsumsi tidak dapat diubah. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$R = \frac{RfC \times Wb \times t_{avg}}{C \times fE \times Dt} \text{ m}^3/\text{hari}$$

3. Mengurangi waktu kontak jika konsentrasi *risk agent* dan pola konsumsi tidak dapat diubah. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$Dt = \frac{RfD \times Wb \times t_{avg}}{C \times R \times fE} \text{ tahun}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Penelitian ini dilakukan di berbagai lokasi di Kabupaten Sragen, menggunakan data primer yang dikumpulkan melalui pengambilan sampel langsung di lapangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di udara ambien Kabupaten Sragen, dengan berpedoman pada standar SNI 19-7119.6-2005 tentang penentuan lokasi pemantauan kualitas udara ambien. Selama penelitian, juga dilakukan analisis terhadap kondisi meteorologi di lokasi-lokasi pengambilan sampel.

Titik-titik pemantauan dipilih berdasarkan lokasi yang merupakan pusat aktivitas ekonomi atau jalur lalu lintas utama yang sering dilalui masyarakat dalam kegiatan sehari-hari. Pemilihan titik pemantauan didasarkan pada kondisi aktual di setiap lokasi.

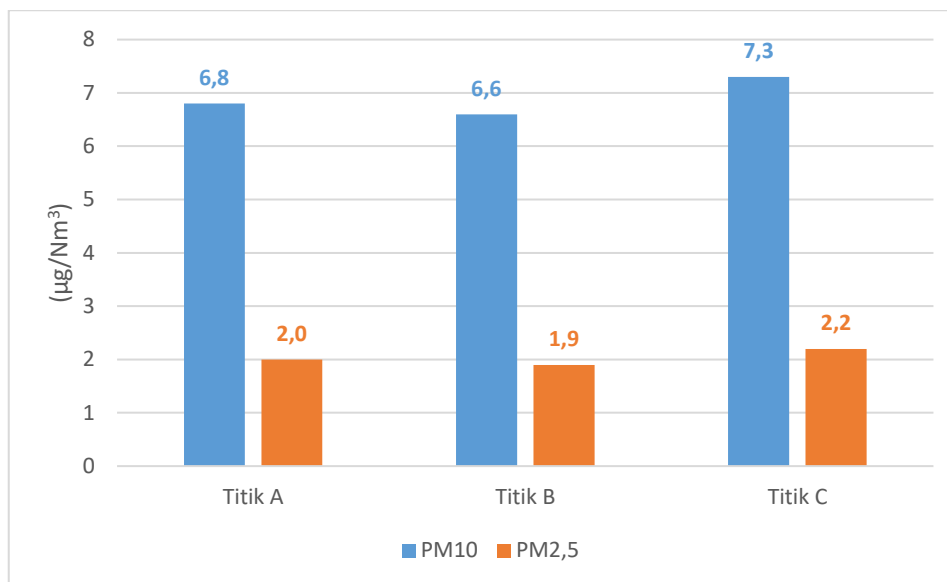
4.2 Perbandingan Konsentrasi

4.2.1 Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Kabupaten Sragen, pengukuran konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di udara ambien dilakukan di 3 titik pemantauan pada bulan Mei 2024. Lokasi pemantauan mencakup tiga titik yang berbeda, yaitu di Perempatan Pilangsari, Alun-alun Kabupaten Sragen, dan Exit Tol Pungkruk. Pemantauan dilakukan di beberapa titik strategis di Kabupaten Sragen dengan tingkat konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang bervariasi. Data konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 4.1** dan **Gambar 4.1**.

Tabel 4.1 Konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5}

Titik Sampling	Parameter	
	PM ₁₀	PM _{2,5}
Titik A	6,8 µg/Nm ³	2,0 µg/Nm ³
Titik B	6,6 µg/Nm ³	1,9 µg/Nm ³
Titik C	7,3 µg/Nm ³	2,2 µg/Nm ³

**Gambar 4.1** Konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5}

Hasil pengukuran menunjukkan variasi konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} di setiap lokasi. Di Titik A (Perempatan Pilangsari), konsentrasi PM₁₀ tercatat sebesar 6,8 µg/Nm³ dan PM_{2,5} sebesar 2,0 µg/Nm³. Di Titik B (Alun-alun Sragen), nilai konsentrasi PM₁₀ sedikit lebih rendah, yaitu 6,6 µg/Nm³, dengan PM_{2,5} sebesar 1,9 µg/Nm³. Sementara itu, di Titik C (Exit Tol Pungruk), konsentrasi PM₁₀ mencapai nilai tertinggi yaitu 7,3 µg/Nm³, dengan konsentrasi PM_{2,5} sebesar 2,2 µg/Nm³. Variasi ini diduga dipengaruhi oleh perbedaan aktivitas manusia, volume lalu lintas kendaraan, serta faktor meteorologi di setiap lokasi. Titik C yang berada di dekat Exit Tol Pungruk menunjukkan konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} yang lebih tinggi, kemungkinan besar disebabkan oleh tingginya volume kendaraan yang melintas di area tersebut. Sebaliknya, Titik B yang berada di sekitar Alun-alun Kabupaten Sragen mencatat konsentrasi yang lebih rendah, sejalan dengan intensitas lalu lintas dan aktivitas manusia yang lebih sedikit. Hasil ini mengindikasikan

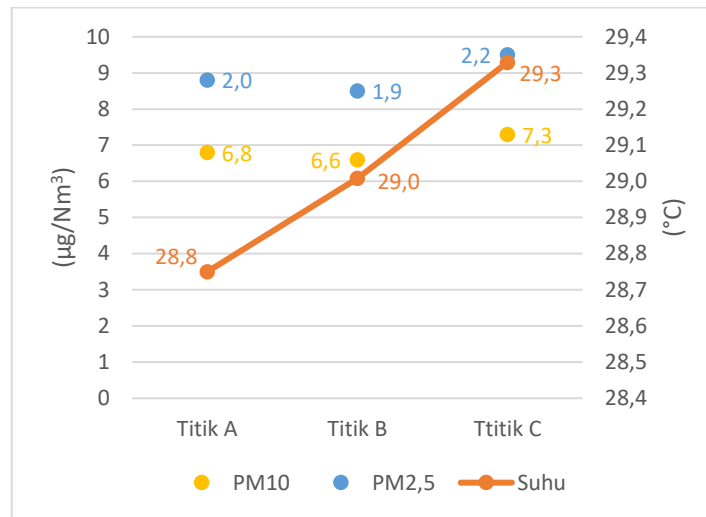
bahwa variasi konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di Kabupaten Sragen dipengaruhi oleh aktivitas manusia dan kondisi lingkungan di setiap lokasi. Secara keseluruhan, analisis ini menegaskan bahwa lokasi dengan lalu lintas lebih tinggi cenderung memiliki kadar polutan yang lebih besar.

4.2.2 Perbandingan Meteorologi

Meteorologi adalah faktor penting yang mempengaruhi transformasi dan pergerakan polutan di atmosfer. Variabel meteorologi seperti suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, dan tekanan udara memiliki peran signifikan dalam menentukan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di Kabupaten Sragen dengan kondisi meteorologi di daerah tersebut. Berikut adalah perbandingan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan beberapa faktor meteorologi yang mungkin mempengaruhi konsentrasi polutan tersebut.

A. Suhu

Suhu di atmosfer dipengaruhi secara signifikan oleh radiasi matahari, yang menyebabkan suhu mengalami fluktuasi. Suhu memiliki peran penting dalam menentukan jumlah partikel di udara ambien. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Cahyadi et al. (2016), suhu yang tinggi dapat menciptakan kondisi lingkungan yang panas dan kering, sehingga memudahkan polutan untuk menyebar dan terangkat ke udara. Perbandingan antara konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan suhu dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2 Perbandingan Konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} dengan Suhu

Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} di tiga titik pengukuran mengalami variasi. Pada Titik A, konsentrasi PM₁₀ sebesar 6,8 µg/Nm³ dan PM_{2,5} sebesar 2,0 µg/Nm³, dengan suhu 28,8°C. Di Titik B, konsentrasi PM₁₀ sedikit menurun menjadi 6,6 µg/Nm³ dan PM_{2,5} menjadi 1,9 µg/Nm³, sementara suhu meningkat menjadi 29,0°C. Pada Titik C, konsentrasi PM₁₀ mencapai 7,3 µg/Nm³, dan PM_{2,5} sebesar 2,2 µg/Nm³, dengan suhu yang lebih tinggi, yaitu 29,3°C.

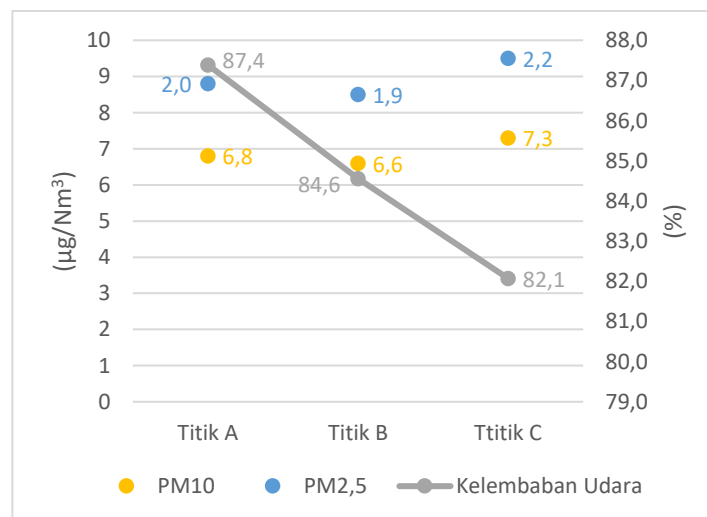
Dari grafik tersebut, terlihat bahwa terdapat hubungan antara kenaikan suhu dengan peningkatan konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5}, meskipun perbedaan suhu antar titik relatif kecil. Walaupun variasi suhu tidak menunjukkan tren yang sangat signifikan, hal ini sejalan dengan studi Puspitasari (2011), yang menyatakan bahwa konsentrasi PM cenderung lebih tinggi pada suhu yang lebih tinggi karena pengaruh penurunan kadar air dalam partikel, yang mempermudah proses dispersinya di udara. Kecepatan angin juga menjadi faktor yang memengaruhi perpindahan partikel, seperti yang terlihat pada peningkatan suhu dan konsentrasi partikel di Titik C, yang mungkin terkait dengan kondisi angin yang lebih kencang di lokasi tersebut.

Secara keseluruhan, meskipun suhu udara tidak memiliki pengaruh langsung yang signifikan terhadap pembentukan partikel PM_{10} dan $PM_{2,5}$, faktor meteorologi seperti kecepatan angin pada suhu yang lebih tinggi dapat memengaruhi distribusi dan pergerakan partikel di atmosfer, seperti terlihat pada pola konsentrasi di ketiga titik pemantauan ini.

B. Kelembaban Udara

Kelembaban udara mengacu pada jumlah uap air yang terdapat di atmosfer. Meskipun uap air ini juga dipengaruhi oleh suhu, keduanya memiliki perbedaan yang signifikan, karena kelembaban biasanya berbanding terbalik dengan suhu; artinya, semakin tinggi kelembaban udara, suhu cenderung lebih rendah. Sebuah penelitian oleh Fardiaz (2003) menunjukkan bahwa udara yang lembab dapat membantu proses pengendapan polutan, karena kondisi ini memungkinkan partikel-partikel berikatan dengan uap air di udara, membentuk partikel yang lebih besar yang akhirnya jatuh ke tanah. Perbandingan antara konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan kelembaban udara dapat dilihat pada

Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perbandingan Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan Kelembaban Udara

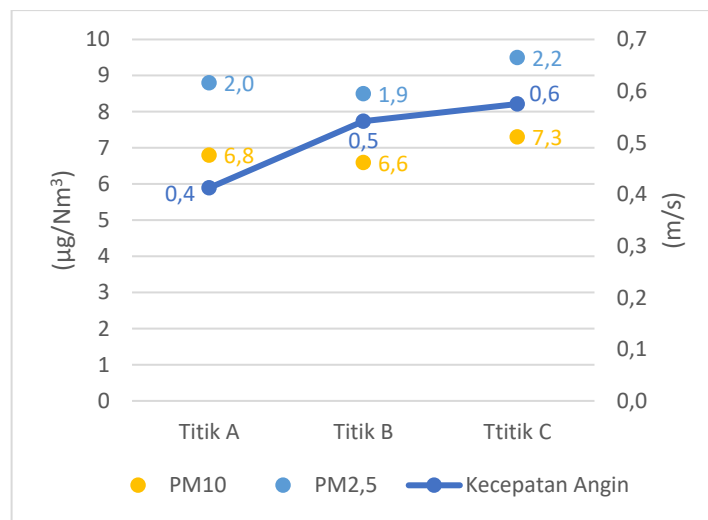
Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di tiga titik pengukuran menunjukkan hubungan terbalik dengan tingkat kelembaban udara. Pada Titik A, konsentrasi PM_{10} sebesar 6,8 $\mu g/Nm^3$ dan $PM_{2,5}$ sebesar 2,0 $\mu g/Nm^3$, sementara kelembaban udara berada di titik tertinggi, yaitu 87,4%. Di Titik B, konsentrasi PM_{10} sedikit menurun menjadi 6,6 $\mu g/Nm^3$ dan $PM_{2,5}$ menjadi 1,9 $\mu g/Nm^3$, dengan kelembaban yang juga menurun ke 84,6%. Pada Titik C, meskipun konsentrasi PM_{10} meningkat menjadi 7,3 $\mu g/Nm^3$ dan $PM_{2,5}$ sebesar 2,2 $\mu g/Nm^3$, kelembaban udara justru berada pada titik terendah, yaitu 82,1%.

Penurunan kelembaban udara sejalan dengan peningkatan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$, yang menunjukkan adanya korelasi negatif antara kedua variabel ini. Kelembaban udara yang lebih tinggi cenderung menahan partikel debu atau partikel halus di udara, sehingga konsentrasinya lebih rendah. Sebaliknya, kelembaban yang lebih rendah memungkinkan partikel PM_{10} dan $PM_{2,5}$ untuk lebih bebas bergerak dan tersebar di atmosfer, sehingga konsentrasinya meningkat.

Hasil ini konsisten dengan temuan di berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa kondisi kelembaban yang lebih tinggi dapat mengurangi konsentrasi partikel PM di udara. Faktor-faktor seperti penyerapan kelembaban oleh partikel dapat menurunkan konsentrasi partikel di atmosfer, sedangkan kelembaban yang lebih rendah mengurangi ukuran partikel akibat penguapan air, sehingga partikulat lebih mudah terdispersi di udara. Secara keseluruhan, grafik ini mengindikasikan bahwa penurunan kelembaban udara di tiga lokasi pengamatan berpotensi memicu peningkatan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$.

C. Kecepatan Angin

Angin adalah faktor meteorologis yang berperan penting dalam distribusi dan dispersi polutan di atmosfer. Angin dapat mengangkut polutan dari sumbernya ke lokasi yang jauh. Jarak penyebaran polutan ini dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin; semakin tinggi kecepatan angin, semakin jauh polutan dapat menyebar. Perbandingan antara konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan kecepatan angin dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Perbandingan Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan Kecepatan Angin

Berdasarkan grafik di atas, terlihat hubungan antara konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan kecepatan angin pada tiga titik pengukuran. Pada Titik A, konsentrasi PM_{10} adalah $6,8 \mu g/Nm^3$ dan $PM_{2,5}$ sebesar $2,0 \mu g/Nm^3$, dengan kecepatan angin yang relatif rendah, yaitu $0,4 m/s$. Pada Titik B, konsentrasi PM_{10} sedikit menurun menjadi $6,6 \mu g/Nm^3$ dan $PM_{2,5}$ sebesar $1,9 \mu g/Nm^3$, sementara kecepatan angin meningkat menjadi $0,5 m/s$. Di Titik C, konsentrasi PM_{10} meningkat menjadi $7,3 \mu g/Nm^3$ dan $PM_{2,5}$ mencapai $2,2 \mu g/Nm^3$, bersamaan dengan kecepatan angin yang mencapai titik tertinggi, yaitu $0,6 m/s$.

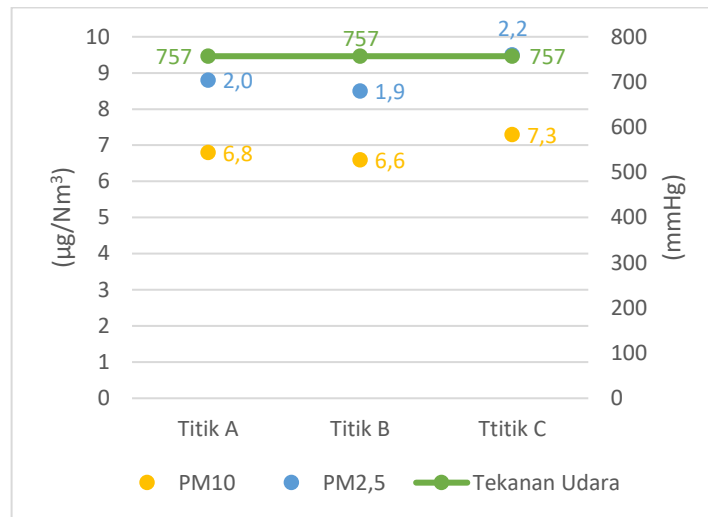
Secara umum, terlihat adanya kecenderungan peningkatan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ seiring dengan peningkatan kecepatan angin. Kecepatan angin yang lebih tinggi dapat menyebabkan partikel-partikel debu dan polutan lebih mudah terdispersi ke udara, sehingga meningkatkan konsentrasi PM di lokasi tersebut. Meskipun angin dapat berperan dalam menyebarkan partikel, pada tingkat kecepatan yang lebih rendah, partikel cenderung lebih lama mengendap di permukaan tanah, sehingga konsentrasinya lebih rendah.

Namun, hubungan antara kecepatan angin dan konsentrasi PM di grafik ini juga menunjukkan bahwa pada kecepatan angin yang lebih tinggi, seperti di Titik C, konsentrasi partikel juga meningkat. Hal ini mungkin menunjukkan bahwa angin yang lebih kuat mampu mengangkat partikel yang sebelumnya mengendap, terutama di daerah dengan aktivitas kendaraan atau industri yang tinggi, seperti di sekitar Exit Tol Pungkruk (Titik C).

Kesimpulannya, kecepatan angin berperan penting dalam menentukan seberapa jauh dan cepat partikel PM_{10} dan $PM_{2,5}$ tersebar di udara. Dengan meningkatnya kecepatan angin, konsentrasi partikel cenderung meningkat karena perpindahan udara yang lebih besar, terutama di area dengan sumber polusi tinggi.

D. Tekanan Udara

Perbedaan tekanan udara secara mendasar memengaruhi pola pergerakan dan kecepatan angin. Variasi dalam sumber dan arah angin dapat mempengaruhi perubahan suhu dan tekanan udara, yang selanjutnya berpengaruh pada dispersi polutan. Penurunan suhu dan tekanan udara seiring meningkatnya ketinggian polutan dapat terlihat sebagai akibat dari interaksi ini. Fenomena di mana suhu berbanding terbalik dengan konsentrasi polutan di atmosfer merupakan hal signifikan yang memengaruhi lingkungan. Perbandingan antara konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan tekanan udara dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Perbandingan Konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} dengan Tekanan Udara

Berdasarkan grafik di atas, terdapat perbandingan antara konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} dengan tekanan udara di tiga titik pengukuran. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa tekanan udara di semua titik (Titik A, B, dan C) cenderung stabil, berada pada angka yang sama yaitu 757 mmHg. Meskipun demikian, konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} di setiap titik pengukuran menunjukkan variasi.

Pada Titik A, dengan tekanan udara 757 mmHg, konsentrasi PM₁₀ tercatat sebesar 6,8 µg/Nm³ dan PM_{2,5} sebesar 2,0 µg/Nm³. Pada Titik B, dengan tekanan yang sama, konsentrasi PM₁₀ menurun menjadi 6,6 µg/Nm³ dan PM_{2,5} menjadi 1,9 µg/Nm³. Di Titik C, tekanan udara tetap pada 757 mmHg, namun konsentrasi PM₁₀ meningkat menjadi 7,3 µg/Nm³, sementara konsentrasi PM_{2,5} juga meningkat menjadi 2,2 µg/Nm³.

Hasil ini menunjukkan bahwa tekanan udara yang relatif konstan tidak secara langsung memengaruhi variasi konsentrasi partikel PM₁₀ dan PM_{2,5} di udara ambien pada lokasi-lokasi tersebut. Variasi konsentrasi PM di ketiga titik lebih mungkin dipengaruhi oleh faktor lain seperti aktivitas manusia, lalu lintas, dan kondisi lingkungan lokal. Seperti yang terlihat pada grafik-grafik sebelumnya, konsentrasi PM₁₀

dan $PM_{2,5}$ kemungkinan lebih dipengaruhi oleh kecepatan angin, kelembaban udara, dan sumber polusi setempat daripada tekanan udara. Secara keseluruhan, grafik ini memperkuat temuan bahwa tekanan udara yang stabil tidak memiliki dampak signifikan terhadap perubahan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$, dan bahwa faktor-faktor lain, seperti yang telah disebutkan, lebih berperan dalam menentukan tingkat polusi udara.

4.2.3 Perbandingan Baku Mutu

Berdasarkan hasil pemantauan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di tiga titik pengukuran yang terletak di Kabupaten Sragen, data ini kemudian dibandingkan dengan standar kualitas udara ambien yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk menentukan titik pemantauan yang telah memenuhi atau tidak memenuhi standar kualitas udara terkait konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$. Hasil pengamatan ini disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan analisis lebih lanjut terkait status kualitas udara di setiap lokasi pengukuran.

Tabel 4.2 Perbandingan Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dengan Baku Mutu

Titik Sampling	Parameter					
	PM_{10}			$PM_{2,5}$		
	Data	Baku Mutu sesuai PP No. 22 Tahun 2021		Data	Baku Mutu sesuai PP No. 22 Tahun 2021	
Titik A	6,8 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	75 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Memenuhi	2,0 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	55 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Memenuhi
Titik B	6,6 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$			1,9 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		
Titik C	7,3 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$			2,2 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		

Berdasarkan tabel perbandingan antara konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di tiga titik sampling di Kabupaten Sragen dengan baku mutu yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021, konsentrasi PM_{10} di Titik A tercatat sebesar 6,8 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, yang masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan yaitu 75 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sehingga memenuhi standar kualitas udara ambien. Demikian pula, konsentrasi $PM_{2,5}$ di Titik A tercatat sebesar 2,0 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, yang juga masih jauh

di bawah batas maksimum 55 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sehingga memenuhi standar kualitas udara untuk $\text{PM}_{2,5}$. Pada Titik B, konsentrasi PM_{10} tercatat sebesar 6,6 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, yang juga berada di bawah baku mutu 75 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sehingga memenuhi standar kualitas udara. Konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ di Titik B tercatat sebesar 1,9 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, yang lebih rendah dari baku mutu 55 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sehingga dapat disimpulkan bahwa Titik B juga memenuhi standar kualitas udara untuk $\text{PM}_{2,5}$. Konsentrasi PM_{10} di Titik C tercatat sebesar 7,3 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, yang masih di bawah batas baku mutu 75 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sehingga memenuhi standar. Konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ di Titik C tercatat sebesar 2,2 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, yang juga memenuhi baku mutu 55 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Pemilihan standar baku mutu nasional ini dianggap lebih relevan dengan kondisi lingkungan di Indonesia saat ini. Dengan mengacu pada standar tersebut, penelitian ini dapat lebih terfokus pada situasi lokal dan tantangan yang dihadapi Indonesia dalam pemantauan serta peningkatan kualitas udara.

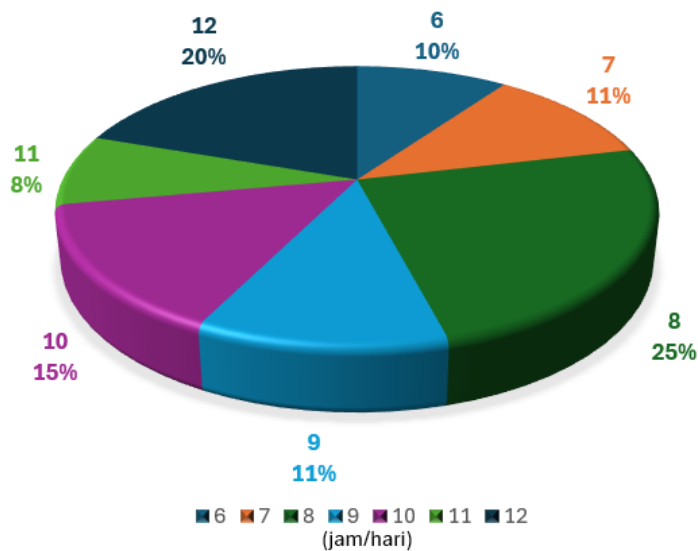
4.3 Analisis Data Responden

4.3.1 Waktu Paparan

Waktu paparan (tE) merujuk pada waktu di mana seseorang terpapar suatu faktor, seperti polutan atau polusi udara, serta lingkungan tertentu. Waktu paparan diperoleh berdasarkan data kuisioner dari berbagai kelompok responden yang terpapar polutan udara di lokasi penelitian. Setiap kelompok memiliki rentang waktu kerja dan paparan yang berbeda-beda, dengan durasi paparan mulai dari 6 hingga 12 jam per hari. Waktu paparan responden dapat dilihat pada **Tabel 4.3** dan **Gambar 4.6**.

Tabel 4.3 Data Waktu Paparan Responden

Waktu Paparan (tE) (jam/hari)	Jumlah	Persentase (%)
6	6	10%
7	7	11%
8	15	25%
9	7	11%
10	9	15%
11	5	8%
12	12	20%
Total	61	100%



Gambar 4.6 Persentase Data Waktu Paparan Responden

Variasi waktu paparan ini bergantung pada aktivitas dan lokasi pekerjaan responden, yang memengaruhi tingkat risiko terhadap paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di lingkungan tempat mereka berada. Data ini digunakan untuk menghitung tingkat risiko kesehatan berdasarkan intensitas paparan yang berbeda antar responden, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif terkait dampak kualitas udara di Kabupaten Sragen terhadap berbagai kelompok masyarakat.

4.3.2 Frekuensi Paparan

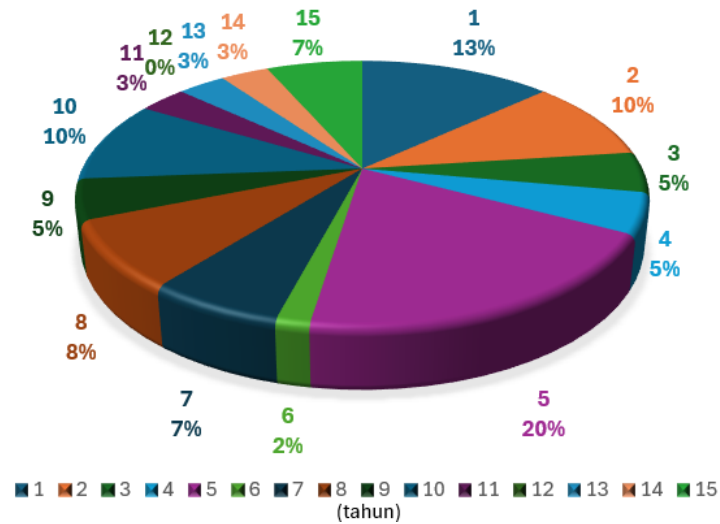
Frekuensi paparan (fE) merupakan indikator yang menghitung jumlah hari dalam setahun di mana para responden terpapar polutan selama mereka bekerja. Setiap responden memiliki jadwal kerja yang bervariasi, sesuai dengan kebijakan atau pola kerja yang mereka tentukan sendiri. Berdasarkan hasil kuesioner dan wawancara, mayoritas responden bekerja 6 hari dalam seminggu. Oleh karena itu, frekuensi paparan selama setahun dihitung sebanyak 312 hari. Data ini sangat penting dalam memperkirakan tingkat risiko kesehatan akibat paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di Kabupaten Sragen.

4.3.3 Durasi Paparan

Durasi paparan (Dt) merupakan periode lama seseorang bekerja atau menjalani aktivitas tertentu dalam satuan tahun, yang diperoleh berdasarkan data kuisioner dari berbagai kelompok responden di Kabupaten Sragen. Untuk menghitung paparan secara *realtime*, durasi bekerja bervariasi tergantung kapan responden tersebut mulai beraktivitas di lokasi yang terpapar polutan. Durasi paparan responden dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dan **Gambar 4.7**.

Tabel 4.4 Data Durasi Paparan Responden

Durasi Paparan (Dt) (tahun)	Jumlah	Persentase (%)
1	8	13%
2	6	10%
3	3	5%
4	3	5%
5	12	20%
6	1	2%
7	4	7%
8	5	8%
9	3	5%
10	6	10%
11	2	3%
12	0	0%
13	2	3%
14	2	3%
15	4	7%
Total	61	100%



Gambar 4.7 Persentase Data Durasi Paparan Responden

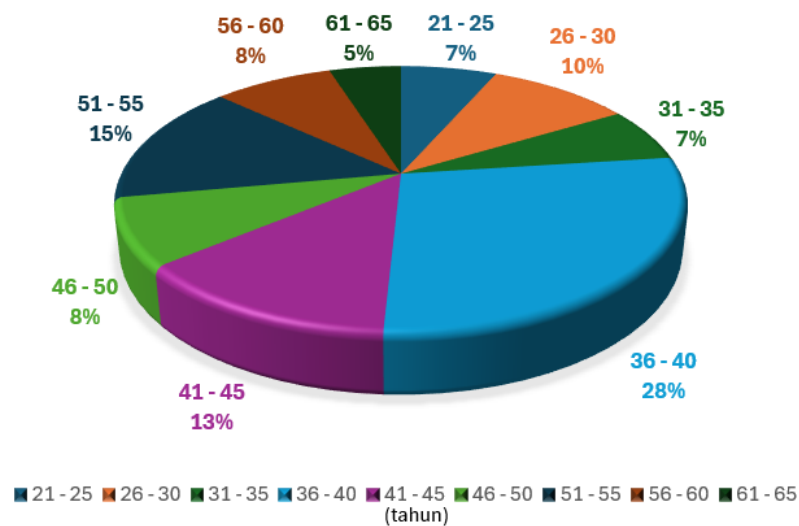
Pengukuran paparan juga memperhitungkan paparan seumur hidup (*lifetime*), yang dalam penelitian ini diestimasi selama 30 tahun, sesuai dengan standar residensial *default* residensial dari U.S. EPA. Data ini digunakan untuk menganalisis dampak paparan jangka panjang terhadap kesehatan masyarakat, khususnya dalam kaitannya dengan paparan PM₁₀ dan PM_{2,5} di lingkungan sekitar.

4.3.4 Umur

Rentang usia responden yang telah diperoleh dari berbagai kelompok bervariasi antara 21 hingga 65 tahun, dengan rincian dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dan **Gambar 4.8**.

Tabel 4.5 Data Umur Responden

Umur (tahun)	Jumlah	Persentase (%)
21 - 25	4	7%
26 - 30	6	10%
31 - 35	4	7%
36 - 40	17	28%
41 - 45	8	13%
46 - 50	5	8%
51 - 55	9	15%
56 - 60	5	8%
61 - 65	3	5%
Total	61	100%



Gambar 4.8 Persentase Data Umur Responden

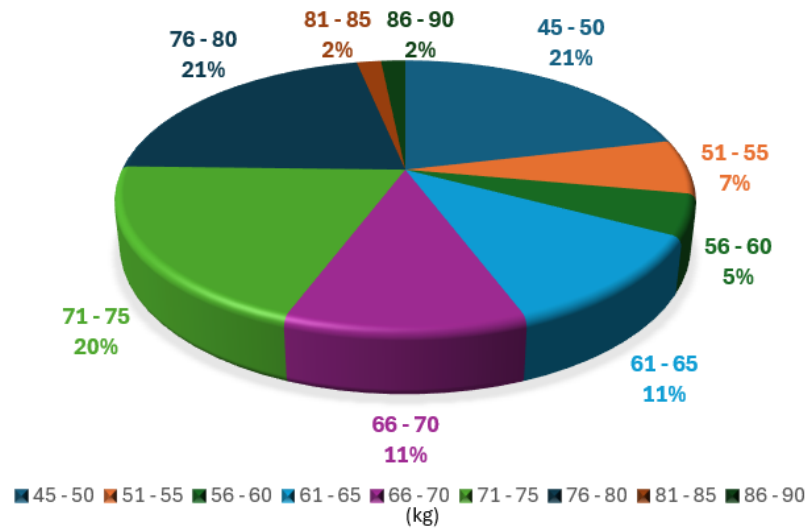
Data usia ini diperoleh melalui kuesioner yang ditanyakan langsung kepada para responden di berbagai lokasi di Kabupaten Sragen. Pengumpulan data ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif terkait faktor usia dan hubungannya dengan durasi paparan terhadap polutan udara di lokasi penelitian.

4.3.5 Berat Badan

Rentang berat badan (Wb) responden yang telah diperoleh dari berbagai kelompok bervariasi antara 45 hingga 90 kg, dengan rincian dapat dilihat pada **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.9**.

Tabel 4.6 Data Berat Badan Responden

Berat Badan (Wb) (kg)	Jumlah	Persentase (%)
45 - 50	13	21%
51 - 55	4	7%
56 - 60	3	5%
61 - 65	7	11%
66 - 70	7	11%
71 - 75	12	20%
76 - 80	13	21%
81 - 85	1	2%
86 - 90	1	2%
Total	61	100%



Gambar 4.9 Persentase Data Berat Badan Responden

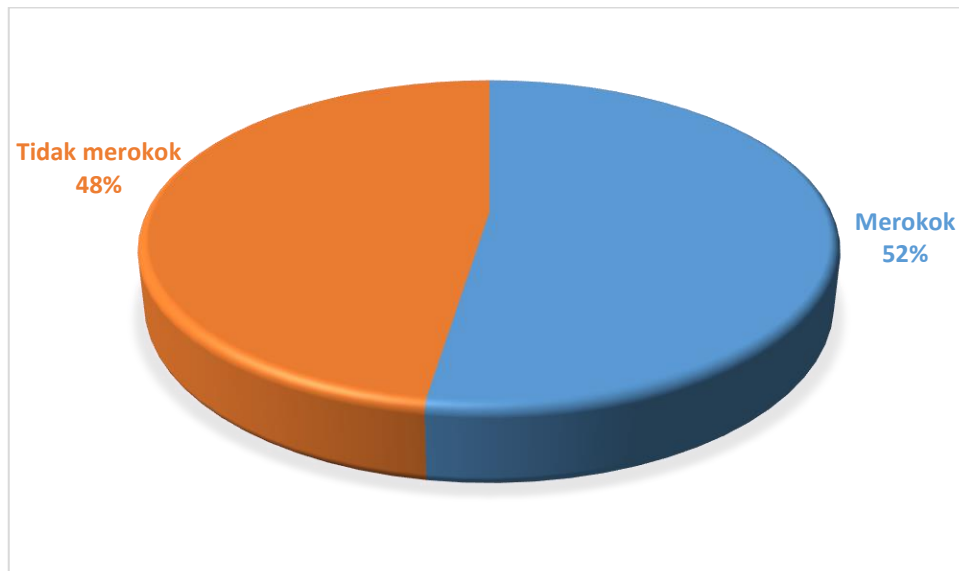
Berat badan dapat memengaruhi kesehatan dan respon individu terhadap paparan polutan. Pemahaman yang lebih baik tentang hubungan ini penting untuk mengidentifikasi risiko kesehatan dalam populasi yang terpapar.

4.3.6 Status Merokok

Status merokok merupakan salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan. Kebiasaan merokok dapat berkontribusi pada berbagai masalah kesehatan dan dapat memengaruhi dampak paparan polutan di lingkungan. Oleh karena itu, mengetahui status merokok responden menjadi krusial untuk memahami hubungan antara perilaku ini dan kesehatan individu. Status merokok responden dapat dilihat pada **Tabel 4.7** dan **Gambar 4.10**.

Tabel 4.7 Data Status Merokok Responden

Status Merokok	Jumlah	Persentase (%)
Merokok	32	52%
Tidak merokok	29	48%
Total	61	100%



Gambar 4.10 Persentase Data Status Merokok Responden

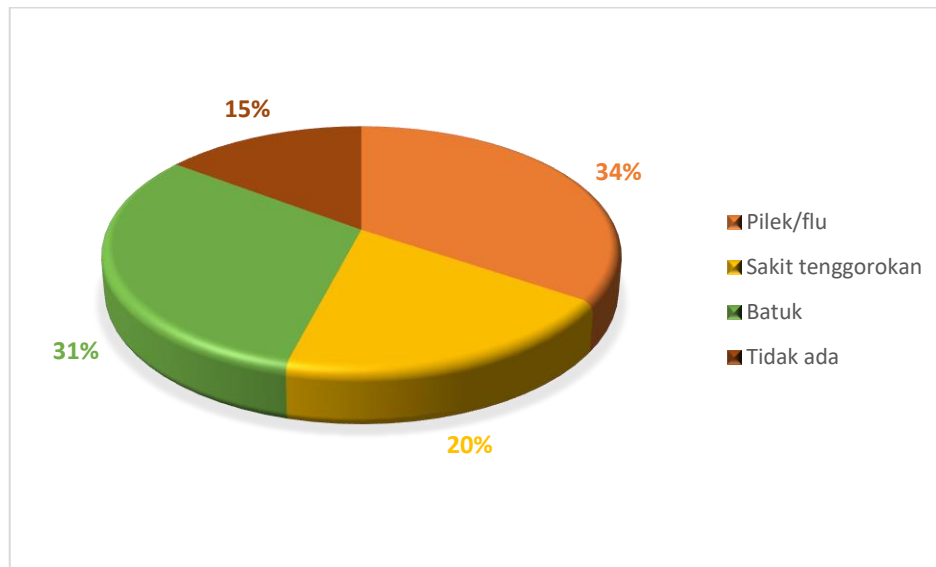
Status merokok ini menunjukkan bahwa mayoritas responden merupakan perokok, yang dapat meningkatkan risiko kesehatan terkait dengan paparan polutan. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan kebiasaan merokok dalam upaya pencegahan dan pengendalian risiko kesehatan di populasi ini.

4.3.7 Keluhan Kesehatan

Keluhan kesehatan adalah indikator penting yang dapat mencerminkan dampak lingkungan, termasuk paparan polutan. Dengan mengetahui keluhan kesehatan yang dialami responden untuk memahami hubungan antara faktor lingkungan dan kesehatan individu. Beberapa keluhan kesehatan responden dapat dilihat pada **Tabel 4.8** dan **Gambar 4.11**.

Tabel 4.8 Data Keluhan Kesehatan Responden

Keluhan Kesehatan	Jumlah	Persentase (%)
Pilek/flu	21	34%
Sakit tenggorokan	12	20%
Batuk	19	31%
Tidak ada	9	15%
Total	61	100%



Gambar 4.11 Persentase Data Keluhan Kesehatan Responden

Tingginya angka keluhan seperti pilek dan batuk dapat mengindikasikan adanya masalah pernapasan yang mungkin terkait dengan kualitas udara dan paparan polutan. Selain itu, faktor-faktor lain seperti status merokok juga dapat berkontribusi terhadap prevalensi keluhan ini.

Selain data primer yang diperoleh langsung melalui wawancara responden terkait keluhan kesehatan, terdapat pula data sekunder yang diperoleh dari instansi kesehatan daerah setempat. Data sekunder ini mencakup informasi dari Puskesmas Sragen yang mewakili Titik A (Perempatan Pilangsari) dan Titik B (Alun-alun Kabupaten Sragen), serta Puskesmas Sidoharjo yang mewakili Titik C (Exit Tol Pungkruk). Jenis-jenis penyakit dapat dilihat pada **Tabel 4.9** dan **Tabel 4.10**.

Tabel 4.9 Sepuluh Jenis Penyakit di Puskesmas Sragen

No	Jenis Penyakit	Kode ICD-X	Jumlah Kasus
1	<i>Influenza with other manifestations, virus not identified</i>	J11.8	1.509
2	<i>Acute upper respiratory infection, unspecified</i>	J06.9	1.306
3	<i>Myalgia</i>	M79.1	1.106
4	<i>Injury of unspecified body region</i>	T14	605
5	<i>Necrosis of pulp</i>	K04.1	581
6	<i>Essential (primary) hypertension</i>	I10	558

7	<i>Non-insulin-dependent diabetes mellitus with renal complications</i>	E11.2	557
8	<i>Acute nasopharyngitis [common cold]</i>	J00	410
9	<i>Influenza, virus not identified</i>	J11	370
10	<i>Disturbances in tooth eruption</i>	K00.6	327

Sumber: Puskemas Sragen, 2024

Tabel 4.10 Sepuluh Jenis Penyakit di Puskesmas Sidoharjo

No	Jenis Penyakit	Kode ICD-X	Jumlah Kasus
1	<i>Acute upper respiratory infection, unspecified</i>	J06.9	2.275
2	<i>Essential (primary) hypertension</i>	I10	1.504
3	<i>Myalgia</i>	M79.1	1.369
4	<i>General medical examination</i>	Z00.0	1.039
5	<i>Acute nasopharyngitis [common cold]</i>	J00	944
6	<i>Arthritis, unspecified</i>	M13.9	929
7	<i>Gastritis, unspecified</i>	K29.7	837
8	<i>Superficial injury of unspecified body region</i>	T14.0	622
9	<i>Headache</i>	R51	461
10	<i>Supervision of other normal pregnancy</i>	Z34.8	432

Sumber: Puskemas Sidoharjo, 2024

Dari **Tabel 4.9** dan **Tabel 4.10** mengenai sepuluh jenis penyakit terbanyak di Puskesmas Sragen dan Puskesmas Sidoharjo, terlihat perbedaan pola penyakit yang dominan di kedua wilayah. Di Puskesmas Sragen, penyakit influenza dengan manifestasi lain (*Influenza with other manifestations, virus not identified*, J11.8) menempati peringkat pertama dengan jumlah 1.509 kasus. Hal ini menunjukkan bahwa penyakit pernapasan yang disebabkan oleh virus masih menjadi masalah kesehatan utama di Sragen. Diikuti oleh infeksi saluran pernapasan atas akut (*Acute upper respiratory infection, unspecified*, J06.9) sebanyak 1.306 kasus, yang juga menunjukkan tingginya prevalensi penyakit pernapasan di wilayah ini.

Sementara itu, Puskesmas Sidoharjo mencatat penyakit infeksi saluran pernapasan atas akut sebagai yang tertinggi dengan 2.275 kasus, jauh lebih tinggi dibandingkan di Puskesmas Sragen. Penyakit hipertensi primer (*Essential (primary) hypertension*, I10) menduduki peringkat kedua di Puskesmas Sidoharjo dengan 1.504 kasus, sementara di Puskesmas Sragen berada di peringkat keenam dengan 558 kasus. Hal ini mengindikasikan adanya

kemungkinan perbedaan faktor risiko, seperti pola konsumsi makanan, gaya hidup, atau akses ke layanan kesehatan.

Selain itu, penyakit masalah otot (*Myalgia*, M79.1) berada di peringkat ketiga di kedua wilayah, dengan jumlah kasus 1.106 di Puskesmas Sragen dan 1.369 di Puskesmas Sidoharjo. Kondisi ini menunjukkan bahwa keluhan otot sering menjadi alasan utama masyarakat mengunjungi puskesmas.

Data ini menggarisbawahi pentingnya program kesehatan yang berfokus pada pencegahan penyakit pernapasan, pengendalian hipertensi, dan edukasi terkait keluhan muskuloskeletal untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat di Kabupaten Sragen.

4.4 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) PM₁₀ dan PM_{2,5}

Untuk mengevaluasi risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh paparan PM₁₀ dan PM_{2,5}, dilakukan studi analisis risiko. Proses ini memerlukan beberapa informasi penting, seperti agen paparan, data antropometri, dan pola aktivitas individu. Namun, dalam penelitian ini, hanya data mengenai agen paparan yang tersedia, sehingga analisis risiko harus dilakukan melalui simulasi. Data antropometri dan pola aktivitas diambil dari referensi yang paling mendekati kondisi aktual untuk mendukung analisis tersebut.

4.4.1 Konsentrasi Paparan

Penelitian ini bergantung pada data konsentrasi paparan yang diperoleh dari pemantauan kualitas udara ambien. Data yang dianalisis mencakup konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5}, yang dikumpulkan melalui pengambilan sampel di tiga titik pemantauan berbeda. Konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} yang digunakan dalam analisis ini berasal dari Titik C, yang terletak di Exit Tol Pungkruk. Titik ini dipilih karena memiliki konsentrasi tertinggi dibandingkan titik lainnya, disebabkan oleh lokasinya yang strategis di dekat jalan tol dengan lalu lintas kendaraan yang padat, serta tingginya aktivitas manusia di sekitar area tersebut. Faktor-faktor ini menjadikan Titik C representatif dalam menggambarkan tingkat paparan polutan udara di wilayah yang padat aktivitas transportasi.

4.4.2 Penilaian Dosis-Respon

Dalam penelitian ini, dosis referensi dibedakan antara pajanan oral (ingesti, untuk makanan dan minuman) yang disebut RfD, dan pajanan melalui inhalasi (udara) yang dikenal sebagai RfC. Dalam analisis dosis-respon, dosis diukur sebagai agen risiko yang terhirup (*inhaled*), tertelan (*ingested*), atau diserap melalui kulit (*absorbed*) per kilogram berat badan per hari (mg/kg/hari) (U.S. EPA, 1997). Nilai RfC dihitung dengan cara membagi NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*) dengan faktor ketidakpastian (*Uncertainty Factor*) serta faktor modifikasi (*Modifying Factor*). Namun, penelitian ini tidak melakukan perhitungan tersebut karena nilai RfC untuk PM₁₀ dan PM_{2,5} telah ditetapkan oleh U.S. EPA, masing-masing sebesar 0,014 dan 0,0102 mg/kg/hari (Nukman et al., 2005). Nilai RfC ini digunakan untuk mengevaluasi karakteristik risiko yang terkait.

4.4.3 Penilaian Pajanan PM₁₀ dan PM_{2,5}

Untuk mengetahui jumlah pajanan PM₁₀ dan PM_{2,5} yang masuk ke dalam tubuh responden, diperlukan analisis mengenai pajanan kedua partikel tersebut. Berikut adalah metode perhitungan yang digunakan:

$$I = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times t_{avg}}$$

Keterangan:

Data	Keterangan	Sumber Data
I	Asupan (<i>intake</i>), mg/kg/hari	-
C	Konsentrasi <i>risk agent</i> , mg/m ³ untuk media udara, mg/L untuk air minum, mg/kg untuk makanan atau pangan	Konsentrasi PM ₁₀ dan PM _{2,5} 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
tE	Waktu pajanan	Kuesioner wawancara

fE	Frekuensi pajanan	Kuesioner wawancara
Dt	Durasi pajanan, tahun (<i>realtime</i> atau proyeksi, 30 tahun untuk nilai <i>default</i> residensial)	Kuesioner wawancara
Wb	Berat badan	Kuesioner wawancara
t _{avg}	Periode waktu rata-rata	(D _t × 365 hari/tahun untuk zat non-karsinogenik, 70 tahun × 365 hari/tahun untuk zat karsinogenik)

Penilaian pajanan dilakukan dengan menghitung asupan PM₁₀ dan PM_{2,5} dengan memasukkan nilai variabel yang diperlukan untuk perhitungan. Konsentrasi yang digunakan mengacu pada data PM₁₀ dan PM_{2,5} yang diperoleh dari pemantauan udara ambien melalui proses pengambilan sampel langsung di lapangan.

1. Perhitungan *Intake* Pajanan Non-Karsinogenik

Penilaian pajanan bertujuan untuk menghitung dosis *risk agent* PM₁₀ dan PM_{2,5} yang diterima oleh setiap responden sebagai asupan atau *intake* (I). Perhitungan pajanan non-karsinogenik digunakan untuk memperkirakan dampak non-kanker yang mungkin terjadi pada responden selama masa hidup mereka. Berdasarkan data primer yang telah dikumpulkan, berikut adalah contoh perhitungan untuk salah satu responden yaitu tukang parkir yang bekerja selama 12 jam.

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

Diketahui:

$$C_{PM_{10}} = 0,0073 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{PM_{2,5}} = 0,0022 \text{ mg/m}^3$$

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

$$t_E = 12 \text{ jam/hari}$$

$$f_E = 312 \text{ hari/tahun}$$

$$D_t = 2 \text{ tahun}$$

$$W_b = 65 \text{ kg}$$

$$t_{avg} = 30 \times 365 \text{ hari/tahun}$$

- PM_{10}

$$I_{Realtime} = \frac{0,0073 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 12 \text{ jam/hari} \times 312 \text{ hari/tahun} \times 2 \text{ tahun}}{65 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ hari/tahun}}$$

$$= 0,0001 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{Lifetime} = \frac{0,0073 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 12 \text{ jam/hari} \times 312 \text{ hari/tahun} \times 30 \text{ tahun}}{65 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ hari/tahun}}$$

$$= 0,0010 \text{ mg/kg/hari}$$

- $PM_{2,5}$

$$I_{Realtime} = \frac{0,0022 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 12 \text{ jam/hari} \times 312 \text{ hari/tahun} \times 2 \text{ tahun}}{65 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ hari/tahun}}$$

$$= 0,0000 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I_{Lifetime} = \frac{0,0022 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 12 \text{ jam/hari} \times 312 \text{ hari/tahun} \times 30 \text{ tahun}}{65 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ hari/tahun}}$$

$$= 0,0003 \text{ mg/kg/hari}$$

2. Karakterisasi Risiko

Karakteristik risiko diukur menggunakan *Risk Quotient* (RQ) untuk efek non-karsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek karsinogenik. RQ dihitung dengan membagi *Intake* non-karsinogenik (Ink) dengan RfD atau RfC nya (ATSDR, 1998). Berikut adalah langkah-langkah untuk menghitung RQ:

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

Keterangan:

Ink = *Intake* non-karsinogenik (mg/kg/hari)

RfC = Konsentrasi referensi (mg/kg/hari)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sukadi (2014), evaluasi paparan konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} dilakukan dengan menilai nilai *intake*. Untuk karakterisasi risiko, digunakan perhitungan *Risk Quotient* (RQ). Namun, dampak karsinogenik dari paparan PM₁₀ dan PM_{2,5} belum dapat ditentukan karena kedua partikel tersebut tidak memiliki *Cancer Slope Factor* (CSF). Selain itu, nilai RfC untuk PM₁₀ dan PM_{2,5} juga belum tersedia dalam *Integrated Risk Information System* (IRIS) atau *Minimum Risk Level* (MRL). Oleh karena itu, RfC ditetapkan berdasarkan baku mutu yang diatur dalam PP No. 22 Tahun 2021. Dengan mengacu pada konsentrasi aman dan menggunakan persamaan $I = RfC$, asupan yang aman bagi responden ditentukan oleh nilai RfC. Dalam perhitungan ini, digunakan nilai *default* $R = 0,83 \text{ m}^3/\text{jam}$, $tE = 24 \text{ jam}$, $fE = 350 \text{ hari/tahun}$, $Wb = 70 \text{ kg}$, dan $t_{avg} = 365 \text{ hari/tahun}$. Oleh karena itu, nilai RfC untuk PM₁₀ ditetapkan sebesar 0,014 mg/kg/hari, sedangkan untuk PM_{2,5} adalah 0,0102 mg/kg/hari (Ruslinda et al., 2015).

Berikut contoh perhitungan menggunakan *intake* pada titik pemantauan:

Diketahui:

Ink <i>Realtime</i> :	PM ₁₀ = 0,0001 mg/kg/hari
	PM _{2,5} = 0,0000 mg/kg/hari
Ink <i>Lifetime</i> :	PM ₁₀ = 0,0010 mg/kg/hari
	PM _{2,5} = 0,0003 mg/kg/hari
RfC:	PM ₁₀ = 0,014 mg/kg/hari
	PM _{2,5} = 0,0102 mg/kg/hari

- PM₁₀

$$\begin{aligned} RQ \text{ Realtime} &= \frac{0,0001 \text{ mg/kg/hari}}{0,014 \text{ mg/kg/hari}} \\ &= 0,0046 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RQ \text{ Lifetime} &= \frac{0,0010 \text{ mg/kg/hari}}{0,014 \text{ mg/kg/hari}} \\ &= 0,0683 \end{aligned}$$

- PM_{2,5}

$$\begin{aligned} RQ \text{ Realtime} &= \frac{0,0000 \text{ mg/kg/hari}}{0,0102 \text{ mg/kg/hari}} \\ &= 0,0019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RQ \text{ Lifetime} &= \frac{0,0003 \text{ mg/kg/hari}}{0,0102 \text{ mg/kg/hari}} \\ &= 0,0283 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan RQ, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Jika $RQ \leq 1$, maka konsentrasi zat berbahaya tidak berisiko untuk menyebabkan efek kesehatan non-karsinogenik.
- Jika $RQ \geq 1$, maka konsentrasi zat berbahaya berpotensi menimbulkan efek kesehatan non-karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan, konsentrasi *intake* di Titik C menunjukkan bahwa untuk paparan PM₁₀, RQ *Realtime* adalah 0,0046 dan RQ *Lifetime* adalah 0,0683. Sementara itu, untuk PM_{2,5}, RQ *Realtime* tercatat sebesar 0,0019 dan RQ *Lifetime* sebesar 0,0283. Persentase data karakterisasi risiko responden dapat dilihat pada **Tabel 4.11** dan **Tabel 4.12**.

Tabel 4.11 Persentase Nilai *Risk Quotient* (RQ) Paparan PM₁₀

PM ₁₀			
<i>Risk Quotient</i> (RQ)		Jumlah	Persentase (%)
RQ <i>Realtime</i>	$RQ \leq 1$	61	100%
	$RQ \geq 1$	0	0%
RQ <i>Lifetime</i>	$RQ \leq 1$	61	100%
	$RQ \geq 1$	0	0%

Tabel 4.12 Persentase Nilai *Risk Quotient* (RQ) Paparan PM_{2,5}

PM _{2,5}			
<i>Risk Quotient</i> (RQ)		Jumlah	Persentase (%)
RQ <i>Realtime</i>	$RQ \leq 1$	61	100%
	$RQ \geq 1$	0	0%
RQ <i>Lifetime</i>	$RQ \leq 1$	61	100%
	$RQ \geq 1$	0	0%

Hasil perhitungan *Risk Quotient* (RQ) untuk PM₁₀ dan PM_{2,5} menunjukkan bahwa baik untuk RQ *Realtime* maupun *Lifetime*, tidak ada responden yang berisiko mengalami efek kesehatan non-karsinogenik (B) dengan $RQ \geq 1$. Semua responden dinyatakan tidak berisiko terkena masalah kesehatan non-karsinogenik (TB) dengan $RQ \leq 1$. Oleh karena itu, tidak ada kebutuhan mendesak untuk mengambil langkah preventif dalam mengurangi dampak kesehatan yang diakibatkan oleh paparan PM₁₀ dan PM_{2,5}.

4.4.4 Estimasi Risiko Kesehatan Paparan PM₁₀ dan PM_{2,5} pada Masyarakat menggunakan Data Rata-rata

Estimasi risiko kesehatan merupakan analisis yang digunakan untuk menilai potensi bahaya dari paparan PM₁₀ dan PM_{2,5} berdasarkan nilai rata-rata. Data yang terdapat dalam tabel menunjukkan rata-rata konsentrasi di masing-masing lokasi. Untuk durasi paparan, menggunakan nilai *default* dari U.S. EPA, mengingat durasi kerja spesifik masyarakat tidak dapat dipastikan. Selain itu, laju inhalasi didasarkan pada rata-rata setiap responden. Estimasi risiko dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

- PM₁₀

$$\begin{aligned} I \text{ Realtime} &= \frac{0,0069 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 9 \text{ jam/hari} \times 312 \text{ hari/tahun} \times 7 \text{ tahun}}{66 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ hari/tahun}} \\ &= 0,0001 \text{ mg/kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ Lifetime} &= \frac{0,0069 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 9 \text{ jam/hari} \times 312 \text{ hari/tahun} \times 30 \text{ tahun}}{66 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ hari/tahun}} \\ &= 0,0007 \text{ mg/kg/hari} \end{aligned}$$

- PM_{2,5}

$$\begin{aligned} I \text{ Realtime} &= \frac{0,0020 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 9 \text{ jam/hari} \times 312 \text{ hari/tahun} \times 7 \text{ tahun}}{66 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ hari/tahun}} \\ &= 0,0000 \text{ mg/kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ Lifetime} &= \frac{0,0020 \text{ mg/m}^3 \times 0,83 \text{ m}^3/\text{jam} \times 9 \text{ jam/hari} \times 312 \text{ hari/tahun} \times 30 \text{ tahun}}{66 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ hari/tahun}} \\ &= 0,0002 \text{ mg/kg/hari} \end{aligned}$$

Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk menentukan karakteristik risiko atau *Risk Quotient* (RQ) sebagai berikut:

- PM₁₀

$$\begin{aligned} \text{RQ Realtime} &= \frac{0,0001 \text{ mg/kg/hari}}{0,014 \text{ mg/kg/hari}} \\ &= 0,0106 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RQ Lifetime} &= \frac{0,0007 \text{ mg/kg/hari}}{0,014 \text{ mg/kg/hari}} \\ &= 0,0486 \end{aligned}$$

- PM_{2,5}

$$\begin{aligned} \text{RQ Realtime} &= \frac{0,0000 \text{ mg/kg/hari}}{0,0102 \text{ mg/kg/hari}} \\ &= 0,0043 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RQ Lifetime} &= \frac{0,0002 \text{ mg/kg/hari}}{0,0102 \text{ mg/kg/hari}} \\ &= 0,0197 \end{aligned}$$

Nilai estimasi risiko dapat dilihat pada **Tabel 4.13** dan **Tabel 4.14**.

Tabel 4.13 Nilai Rata-rata Sampel dan Estimasi Risiko Kesehatan Paparan PM₁₀

PM ₁₀													
Rata-rata	Konsentrasi (C) (mg/m ³)	Waktu Paparan (tE) (jam/hari)	Frekuensi Paparan (fE) (hari/tahun)	Durasi Paparan (Dt) (tahun)	Umur (tahun)	Berat Badan (Wb) (kg)	Inhalation Rate (R) (m ³ /jam)	I Realtime (mg/kg/hari)	I Lifetime (mg/kg/hari)	RQ Realtime	Tingkat Risiko	RQ Lifetime	Tingkat Risiko
Titik A	0,0068	9	312	7	39	65	0,83	0,0002	0,0007	0,0109	TB	0,0495	TB
Titik B	0,0066	9	312	7	47	70	0,83	0,0001	0,0006	0,0095	TB	0,0420	TB
Titik C	0,0073	9	312	6	44	63	0,83	0,0002	0,0007	0,0109	TB	0,0531	TB
A B C	0,0069	9	312	7	42	66	0,83	0,0001	0,0007	0,0106	TB	0,0486	TB

Keterangan:

B = Berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik.

TB = Tidak berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik.

Tabel 4.14 Nilai Rata-rata Sampel dan Estimasi Risiko Kesehatan Paparan PM_{2,5}

PM _{2,5}													
Rata-rata	Konsentrasi (C) (mg/m ³)	Waktu Paparan (tE) (jam/hari)	Frekuensi Paparan (fE) (hari/tahun)	Durasi Paparan (Dt) (tahun)	Umur (tahun)	Berat Badan (Wb) (kg)	Inhalation Rate (R) (m ³ /jam)	I Realtime (mg/kg/hari)	I Lifetime (mg/kg/hari)	RQ Realtime	Tingkat Risiko	RQ Lifetime	Tingkat Risiko
Titik A	0,0020	9	312	7	39	65	0,83	0,0000	0,0002	0,0044	TB	0,0200	TB
Titik B	0,0019	9	312	7	47	70	0,83	0,0000	0,0002	0,0038	TB	0,0166	TB
Titik C	0,0022	9	312	6	44	63	0,83	0,0000	0,0002	0,0045	TB	0,0220	TB
A B C	0,0020	9	312	7	42	66	0,83	0,0000	0,0002	0,0043	TB	0,0197	TB

Keterangan:

B = Berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik.

TB = Tidak berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik.

4.4.5 Manajemen Risiko Non-Karsinogenik

Berdasarkan perhitungan *RQ Lifetime* di Kabupaten Sragen, tidak diperlukan pengendalian atau manajemen risiko untuk mengurangi tingkat risiko. Dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), prinsip pengelolaan risiko diterapkan ketika nilai $RQ \geq 1$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tingkat risiko untuk individu dan masyarakat di Kabupaten Sragen memiliki nilai $RQ \leq 1$. Ini menandakan bahwa masyarakat di Kabupaten Sragen tidak mengalami paparan risiko yang signifikan terkait PM_{10} dan $PM_{2,5}$, sehingga belum diperlukan penerapan manajemen risiko pada tahap ini.

4.4.6 Komunikasi Risiko

Untuk mencegah pencemaran PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di Kabupaten Sragen, disarankan agar pihak terkait, termasuk instansi pemerintah yang bertanggung jawab atas kebijakan lingkungan, mengambil langkah-langkah teknis, administratif, dan penerapan Alat Pelindung Diri (APD). Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sragen dapat melakukan rekayasa teknis, seperti program penanaman pohon di area dengan potensi pencemaran udara yang tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Alerich (1995), sebagaimana diungkapkan oleh Syamsoedin (2010), menunjukkan bahwa tanaman berperan penting dalam mengurangi partikel polutan, karena tajuk pohon dapat menyerap partikel padat yang ada di atmosfer, sehingga mengurangi jumlah debu di udara. Selain itu, langkah administratif perlu diambil, seperti pengeluaran regulasi yang mendukung pengelolaan lingkungan hidup dan mengurangi risiko pencemaran. Regulasi tersebut bisa mencakup pengendalian emisi kendaraan bermotor, rekayasa lalu lintas, dan kebijakan yang melindungi masyarakat, sambil tetap memperhatikan pendataan dan kesehatan masyarakat. Selain itu, masyarakat juga disarankan untuk menggunakan alat pelindung diri (APD), seperti masker, guna mengurangi paparan terhadap partikel pencemar udara.

4.4.7 Risiko Kesehatan akibat Paparan PM₁₀ dan PM_{2,5}

Berdasarkan perhitungan *Risk Quotient* (RQ) di Kabupaten Sragen, tidak diperlukan pengendalian atau manajemen risiko tambahan untuk mengurangi risiko kesehatan, karena nilai RQ untuk PM₁₀ dan PM_{2,5} menunjukkan $RQ \leq 1$. Ini menandakan bahwa tingkat risiko terhadap paparan partikulat tersebut masih dalam batas aman. Berdasarkan prinsip Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), manajemen risiko hanya diperlukan jika nilai $RQ \geq 1$, yang menunjukkan risiko signifikan terhadap kesehatan. Dengan demikian, masyarakat dan pemerintah disarankan untuk menjaga kualitas udara ambien agar tetap baik di Kabupaten Sragen.

Meskipun saat ini risiko terpantau rendah, paparan PM₁₀ dan PM_{2,5} masih dapat memberikan dampak kesehatan serius baik dalam jangka pendek maupun panjang. Menurut WHO (2011), paparan jangka pendek dapat memicu Infeksi Saluran Pernapasan Atas (ISPA), radang paru-paru, serta gangguan kardiovaskular. Dalam jangka panjang, paparan dapat meningkatkan risiko asma kronis, penurunan fungsi paru-paru, dan bahkan kanker paru-paru. Intensitas dan durasi paparan turut memengaruhi dampaknya, di mana pekerja yang terpapar lebih dari 8 jam sehari memiliki risiko yang lebih tinggi terhadap gangguan pernapasan (Faridawati, 1995; Johanson, 2000).

Menurut U.S. EPA, partikel debu yang dihirup dapat menimbulkan berbagai gangguan pada fungsi paru-paru tergantung pada ukuran partikel debu, serta karakteristik kimia, biologi, dan fisiknya. Partikel-partikel ini berpotensi menyebabkan asma, pneumonia, bronkitis, penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), dan penurunan fungsi paru-paru. Langkah pencegahan penting mencakup pengendalian lalu lintas untuk mengurangi emisi kendaraan, serta penerapan uji emisi berkala untuk semua jenis kendaraan agar memenuhi batasan operasional yang ditetapkan, termasuk umur maksimum kendaraan.

Upaya lanjutan untuk mengurangi polusi udara di perkotaan dapat dilakukan dengan reboisasi dan fitoremediasi. Penanaman pepohonan di ruang terbuka hijau membantu menyaring polusi dan debu, menciptakan iklim mikro yang menguntungkan, serta meningkatkan kadar oksigen. Jenis tanaman

seperti pohon angkana, ketapang, dan mahoni efektif dalam menurunkan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ karena daun mereka yang lebar mampu menangkap partikel udara melalui permukaan yang berbulu dan kasar, serta menyerap partikel melalui stomata daun. Langkah-langkah ini menjadi strategi penting dalam mempertahankan kualitas udara ambien yang baik dan melindungi masyarakat dari risiko kesehatan yang disebabkan oleh partikel PM_{10} dan $PM_{2,5}$.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di tiga lokasi penelitian, yakni Perempatan Pilangsari, Alun-alun Kabupaten Sragen, dan Exit Tol Pungkruk, berada di bawah baku mutu udara ambien nasional, dengan konsentrasi PM_{10} tertinggi sebesar $7,3 \mu g/Nm^3$ dan $PM_{2,5}$ sebesar $2,2 \mu g/Nm^3$.
2. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) menunjukkan bahwa paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di lokasi penelitian tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan bagi masyarakat setempat, berdasarkan data konsentrasi dan responden yang dikumpulkan.

5.2 Saran

1. Pemantauan rutin terhadap kualitas udara di Kabupaten Sragen sebaiknya dilakukan secara berkala, terutama di titik-titik yang memiliki konsentrasi PM tinggi, untuk memastikan kualitas udara tetap dalam batas aman.
2. Edukasi masyarakat perlu ditingkatkan terkait dengan potensi risiko kesehatan akibat paparan PM_{10} dan $PM_{2,5}$ serta langkah-langkah mitigasi yang dapat dilakukan, seperti mengurangi aktivitas di luar ruangan saat kualitas udara memburuk.
3. Pengkajian lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi sumber spesifik pencemar di daerah tersebut, khususnya terkait aktivitas transportasi dan industri, yang berpotensi meningkatkan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$.
4. Studi lanjutan dapat dilakukan untuk menguji kualitas udara di berbagai musim, terutama pada musim kemarau yang berpotensi meningkatkan konsentrasi partikulat di udara.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, U. F. (2008). Manajemen Penyakit Berbasis Wilayah. *Kesmas*, 3(4), 147-153. 10.21109/kesmas.v3i3.228
- Agency, P. E. (2018). Particulate Matter (PM) Pollution.
- AH, A., AV, D. R., & JT, D. (2008). Associations Between Recent Exposure to Ambient Fine Particulate Matter and Blood Pressure in the Multiethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Environmental Health Perspectives*, 1(1), 91-116.
- Alias, M., Hamzah, Z., & Kenn, L. S. (2007). PM₁₀ and Total Suspended Particulates (TSP) Measurement in Various Power Station. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 11(1), 255-261.
- Almethen, O. M., & Aldaithan, Z. S. (2017). The State of Atmosphere Stability and Instability Effects on Air Quality. *The International Journal of Engineering and Science*, 6(4), 74-79.
<https://doi.org/10.9790/1813-0604017479>
- Arba, S. (2019). Konsentrasi Respirable Debu Particulate Matter (PM_{2,5}) dan Gangguan Kesehatan pada Masyarakat di Pemukiman Sekitar PLTU. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9(2), 178-184.
- Azizah, I. (2019). Analysis the Level of PM_{2,5} and Lung Function of Organic Fertilizer Industry Workers in Nganjuk. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(2).
- Bakri, J. B. (2013). Analisis Konsentrasi PM₁₀ di Lingkungan Pemukiman terhadap Gejala ISPA pada Penduduk di Kelurahan Rawa Makmur Kecamatan Palaran. *Universitas Mulawarman*.
- Basri, S., Bujawati, E., Amansyah, M., Habibi., & Samsiana. (2014). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (Model Pengukuran Risiko Pencemaran Udara terhadap Kesehatan). *Jurnal Kesehatan*, 7(2), 427-429.
- Bedah, S., & Latifah, I. (2017). Risiko Paparan Konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} di Kecamatan Ciwandan, Cilegon, Jawa Barat Tahun 2014. *Jurnal*

Ilmiah Kesehatan, 9(1), 93-102.

- Berman, J. D., & Brook, R. D. (2018). Air Pollution and Cardiovascular Disease: A Review of the Evidence. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(10), 1180-1189.
- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R. V., Mittleman, M. A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S. C., Whitsel, L., & Kaufman, J. D. (2010). Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease: An Update to the Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331-2378. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d8e3e1>
- Cahyadi, W., Achmad, B., Suhartono, E., & Razie, F. (2016). Pengaruh Faktor Meteorologis dan Konsentrasi Partikulat (PM₁₀) terhadap Kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) (Studi Kasus Kecamatan Banjarbaru Selatan, Kota Banjarbaru Tahun 2014-2015). *Enviro Scientiae*, 12(3), 302-311. <http://dx.doi.org/10.20527/es.v12i3.2455>
- Chandra, B. (2006). Pengantar Kesehatan Lingkungan. *Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC*.
- Cooper, C. D., & Alley, F. C. (2002). *Air pollution control: A design approach* (3rd edition). *Waveland Press, Inc*.
- Donno, A. D., Giorgi, M. D., Bagordo, F., Grassi, T., Idolo, A., Serio, F., Ceretti, E., Feretti, D., Villarini, M., Moretti, M., Carducci, A., Verani, M., Bonetta, S., Pignata, C., Bonizzoni, S., Bonetti, A., & Gelatti, U. (2018). Health Risk Associated with Exposure to PM₁₀ and Benzene in Three Italian Towns. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8), 1-13. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081672>
- Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan Kementerian Kesehatan. (2012). Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

- Franek, W., & DeRose, L. (2003). Principles and Practices of Air Pollution Control. *Environmental Protection Agency (EPA)*.
- Godish, T. (1997). Air Quality. *New York: Academic Press*.
- Khairina, M. (2019). The Description of CO Levels, COHb Levels, and Blood Pressure of Basement Workers X Shopping Centre, Malang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(2), 150-157.
<https://doi.org/10.20473/jkl.v11i2.2019.150-157>
- Kurtz, M. (2019). Air Quality and Health: PM_{2.5} and the Effects on the Human Body. *Environmental Health Perspectives*, 127(8).
- Liao, X., Tu, H., Maddock, J. E., Fan, S., Lan, G., Wu, Y., Yuan, Z. K., & Lu, Y. (2015). Residents' Perception of Air Quality, Pollution Sources, and Air Pollution Control in Nanchang, China. *Atmospheric Pollution Research*, 6(5), 835-841. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.092>
- Moore, C. (2007). Mutu Udara Kota: Makalah Hijau.
- Mulyadi. (2015). Paparan Timbal Udara terhadap Timbal Darah, Hemoglobin, Cystatin C Serum Pekerja Pengecatan Mobil. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11 (1).
<https://doi.org/10.15294/kemas.v11i1.3519>
- Mursinto, D., & Kusumawardani, D. (2016). Estimasi Dampak Ekonomi dari Pencemaran Udara terhadap Kesehatan di Indonesia. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11 (2), 163-172.
<https://doi.org/10.15294/kemas.v11i2.3677>
- Nengsi, R. (2018). Analisis Kadar Debu PM₁₀ di Udara dan Keluhan Subjektif Sistem Pernapasan pada Pekerja Bengkel Cat Mobil Wahana Andalas Prima Autobody, Ulak Karang Selatan, Kota Padang. Politeknik Kesehatan Kemenkes Padang.
- Nur, E., Seno, B. A., & Hidayanti, R. (2021). Risiko Gangguan Kesehatan Masyarakat Akibat Paparan PM₁₀ di Kota Padang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 20(2), 97-103.
<https://doi.org/10.14710/jkli.20.2.97-103>

- Nurjanah, K. L., & Mufid, A. (2014). Gangguan Fungsi Paru dan Kadar Cotinine pada Urin Karyawan yang Terpapar Asap Rokok Orang Lain. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(1)
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2010). Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah.
- Pertiwi, K. D., Lestari, I. P., & Afandi, A. (2024). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Debu PM₁₀ dan PM_{2.5} pada Relawan Lalu Lintas di Jalan Diponegoro Ungaran. *Pro Health: Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 6(2), 85-91.
- Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709-742.
- Pui, D. Y., Chen, S. C., & Zuo, Z. (2014). PM_{2.5} in China: Measurements, Sources, Visibility and Health Effects, and Mitigation. *Particulology*, 13, 1-26.
- Puspitasari, A. D. (2011). Pola Spasial Pencemaran Udara dari Sumber Pencemar PLTU dan PLTGU Muara Karang. *Universitas Indonesia, Depok*.
- Ruslinda, Y., & Wiranata, D. (2009). Karakteristik Fisik dan Kimia Partikulat di Udara Ambien Daerah Urban dan Non Urban Kota Padang. *Draf Artikel Penelitian. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas*.
- 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.

- Syamsoedin, I. (2010). Kajian Status Iptek dan Pengembangan Ekosistem Hutan di Perkotaan. *Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan*.
- Sharma, R., & Singh, D. (2018). A Review of Wind Speed and Wind Power Forecasting. *Journal of Engineering Research and Application*, 8(7), 1–9.
https://www.ijera.com/papers/Vol8_issue7/Part-3/A0807030109.pdf
- Soedomo, M. (1999). Pencemaran Udara: Kumpulan Karya Ilmiah. *Bandung: ITB Press*.
- Soedomo, M. (2001). Pencemaran Udara: Kumpulan Karya Ilmiah. *Bandung: ITB Press*.
- Sugiarti. (2009). Gas Pencemar Udara dan Pengaruhnya bagi Kesehatan Manusia. *Jurnal Ilmiah Kimia dan Pendidikan Kimia*, 10(1), 50-58.
- Sutra, D. E. (2009). Hubungan antara Pemajanan Particulate Matter 10 μ m (PM₁₀) dengan Gejala Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) pada Pekerja Pertambangan Kapur Tradisional. *Universitas Indonesia*.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2020). Particulate Matter (PM_{2.5}) Basics.
- Wardhana, W. A. (2001). Dampak Pencemaran Lingkungan. Yogyakarta.
- World Health Organization. (2010). Exposure to Air Pollution: Major Public Health Concern. *Geneva: WHO Document Production*.
- Wulandari, A., Darundiati, Y. H., & Raharjo, M. (2016). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Particulate Matter (PM₁₀) pada Pedagang Kaki Lima Akibat Aktivitas Transportasi (Studi Kasus : Jalan Kaligawe Kota Semarang). *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(3), 677-691.
- Yang, X., Jiang, L., Zhao, W., Xiong, Q., Zhao, W., & Yan X. (2018). Comparison of Ground-Based PM_{2.5} and PM₁₀ Concentrations in China, India, and the U.S. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7).
<https://doi.org/10.3390/ijerph15071382>

- Yulkifli., Asrizal., & Ardi, R. (2014). Pengukuran Tekanan Udara Menggunakan DT-Sense Barometric Pressure Berbasis Sensor HP03. *Jurnal Sainstek*, 6(2), 110–115.
- Zeng, S., & Zhang, Y. (2017). The Effect of Meteorological Elements on Continuing Heavy Air Pollution: A Case Study in the Chengdu Area During the 2014 Spring Festival. *Atmosphere*, 8(4).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Penelitian Bersama

SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andre Nur Fajar
NIM : 21/489346/PMU/10959
Status : Mahasiswa Jenjang S-2 Program Studi Magister Ilmu Lingkungan,
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Bersama:

Nama : Muhammad Arya Pratama
NIM : 19513128
Status : Mahasiswa Jenjang S-1 Program Studi Teknik Lingkungan,
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dengan ini menerangkan bahwa:

1. Melakukan penelitian kolaboratif untuk kepentingan Tugas Akhir mengenai kualitas udara, khususnya PM_{10} dan $PM_{2.5}$, serta kaitannya dengan kesehatan masyarakat di Kabupaten Sragen. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei hingga Oktober 2024.
2. Penelitian kolaboratif yang dimaksud adalah penelitian yang dilakukan secara bersama-sama, baik dalam aspek teknis pelaksanaan di lapangan maupun dalam pengumpulan data.
3. Data yang dimiliki tetap disebut data primer karena diperoleh secara langsung untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir.
4. Penelitian ini dibiayai bersama oleh dua pihak.

Demikian surat keterangan ini kami buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada paksaan dari pihak manapun, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Sragen, 22 Mei 2024

Yang membuat keterangan,

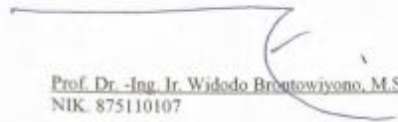


Andre Nur Fajar
21/489346/PMU/10959



Muhammad Arya Pratama
19513128

Mengetahui,
Dosen Pembimbing



Prof. Dr. -Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc.
NIK. 875110107



Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.
NIK. 195130102

Lampiran 2 Alat dan Bahan Sampling



MiniVol Air Sampler (MAS-02)



Heat Stress Meter (Extech HT30)



Anemometer (Lutron LM-8102)



Barometer (LIOOBO Dial)



GPS Garmin (GPS 73)

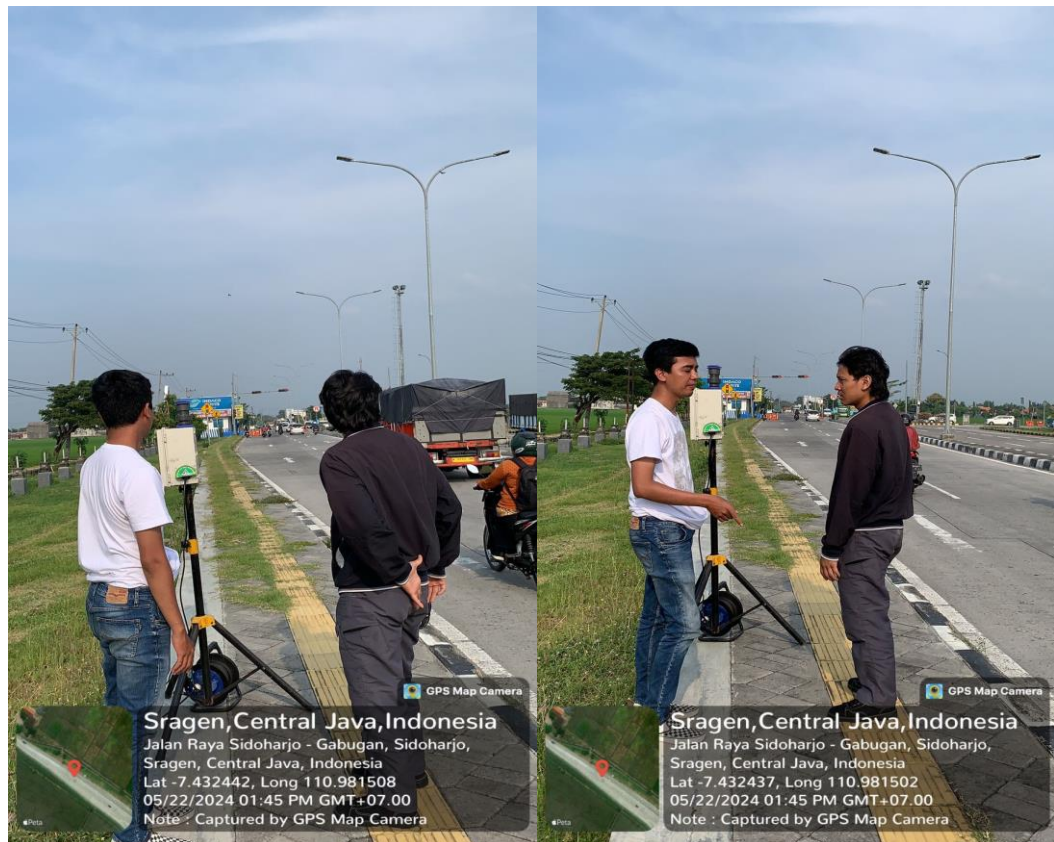
Lampiran 3 Pengambilan Sampel di Titik A (Perempatan Pilangsari)



Lampiran 4 Pengambilan Sampel di Titik B (Alun-alun Kabupaten Sragen)



Lampiran 5 Pengambilan Sampel di Titik C (Exit Tol Pungkruk)



Lampiran 6 Data Hasil Lab

ANALYTICAL REPORT

JOB NUMBER : ENV-2241479

Date : June 07, 2024

Customer:

Mr. ANDRE NUR FAJAR

Attention : -

Signature

Name : Muhamad Suhar

Title : Technical Manager

FR-EI-SML-65

SAMPLE INFORMATION								
Date : June 07, 2024								
Job Number : ENV-2241479			Sampling Plan Ref : FR-EI-SML-56					
Customer : Mr. ANDRE NUR FAJAR			Sampling Procedure : FR-EI-SML-7					
Attention : -			Sampled By : Mr. Anun Najib					
Job Number	Customer Sample ID	Sample Matrix	Date Sampled	Time Sampled	Date Received	Time Received	Interval Analysis	Location Coordinate
2241479-1	Exit Tol Sidoarjo	Ambient	22/05/2024	10:00	26/05/2024	08:00	26May - 05Jun	S:07°43'59.878" E:110°98'69.418"
2241479-2	Sragen View Point	Ambient	23/05/2024	09:00	26/05/2024	08:00	26May - 05Jun	S:07°42'72.075" E:111°02'31.921"
2241479-3	Parempatan Pilang Sari	Ambient	24/05/2024	09:00	26/05/2024	08:00	26May - 05Jun	S:07°24'30.392" E:111°03'5.723"

LABORATORY TEST RESULT					
JOB NUMBER : ENV-2241479			Date : June 07, 2024		
Customer : Mr. ANDRE NUR FAJAR			Attention: -		
Customer Sample ID.		: Exit Tol Sidoharjo		Laboratory Sample ID. : 2241479-1	
Location Coordinate		: S:07°43'59.878" E:110°58'59.418"		Date Received : 26/05/2024	
Date Sampled		: 22/05/2024		Time Received : 08:00	
Time Sampled		: 10:00		Interval Analysis : 26May - 05Jun	
Sample Matrix		: Ambient			
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT*	UNIT	METHOD
1	Ambient Air Quality: PM ₁₀	7.3	75 /24H	µg/Nm ³	IKM-EI-SML-64 (Gravimetry)
2	PM _{2.5}	2.2	55 /24H	µg/Nm ³	IKM-EI-SML-64 (Gravimetry)

* As per PPRI Nomor : 22 Tahun 2021 Appendix VII

Meteorology Data			
1	Temperature	25.3 - 35.6	°C
2	Relative Humidity	62.7 - 99.9	%
3	Wind Direction (to)	210	°
4	Wind Speed	0.2 - 2.7	m/s
5	Weather	Clear	-
6	Air Pressure	757	mmHg

LABORATORY TEST RESULT					
JOB NUMBER : ENV-2241479			Date : June 07, 2024		
Customer : Mr. ANDRE NUR FAJAR			Attention: -		
Customer Sample ID. : Sragen View Point Location Coordinate : S:07°42'72.075" E:111°02'31.921" Date Sampled : 23/05/2024 Time Sampled : 09:00 Sample Matrix : Ambient Laboratory Sample ID. : 2241479-2 Date Received : 26/05/2024 Time Received : 08:00 Interval Analysis : 26May - 05Jun					
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT*	UNIT	METHOD
1	Ambient Air Quality: PM ₁₀	6.6	75 /24H	µg/Nm ³	IKM-EI-SML-64 (Gravimetry)
2	PM _{2.5}	1.9	55 /24H	µg/Nm ³	IKM-EI-SML-64 (Gravimetry)

* As per PPRI Nomor : 22 Tahun 2021 Appendix VII

Meteorology Data			
1	Temperature	25.3 - 33.6	°C
2	Relative Humidity	63.2 - 99.9	%
3	Wind Direction (to)	180	°
4	Wind Speed	0.2 - 1.1	m/s
5	Weather	Clear	-
6	Air Pressure	757	mmHg

LABORATORY TEST RESULT					
JOB NUMBER : ENV-2241479			Date : June 07, 2024		
Customer : Mr. ANDRE NUR FAJAR			Attention: -		
Customer Sample ID. : Perempatan Piliang Sari Location Coordinate : 8:07°24'30.392" E:111°03'5.723" Date Sampled : 24/05/2024 Time Sampled : 09:00 Sample Matrix : Ambient Laboratory Sample ID. : 2241479-3 Date Received : 26/05/2024 Time Received : 08:00 Interval Analysis : 26May - 05Jun					
NO	TEST DESCRIPTION	SAMPLE RESULT	REGULATORY LIMIT*	UNIT	METHOD
1	Ambient Air Quality: PM ₁₀	6.8	75 /24H	µg/Nm ³	IKM-EI-SML-64 (Gravimetry)
2	PM _{2.5}	2.0	55 /24H	µg/Nm ³	IKM-EI-SML-64 (Gravimetry)

* As per PPRI Nomor : 22 Tahun 2021 Appendix VII

Meteorology Data			
1	Temperature	24.3 - 34.4	°C
2	Relative Humidity	62.6 - 99.9	%
3	Wind Direction (to)	135	°
4	Wind Speed	0.2 - 0.6	m/s
5	Weather	Clear	-
6	Air Pressure	757	mmHg

Lampiran 7 Kuesioner Wawancara Responden

KUESIONER

Nomor Responden	Tanggal/Bulan/Tahun

I. DATA UMUM

1. Nama Responden :
2. Umur :tahun
3. Jenis Kelamin : ☐ Laki-laki ☐ Perempuan
4. Pendidikan Terakhir :
5. Jumlah Anggota Keluarga :
6. Berat Badan (W_b) :kg
7. Waktu Paparan (t_e) :jam/hari
8. Frekuensi Paparan (f_e) :hari/tahun
9. Durasi Paparan (D) :tahun

II. KESEHATAN

1. Penyakit yang di derita dalam satu bulan terakhir?
2. Apakah pernah mengalami gejala gangguan pernafasan seperti pilek/flu?
0. Tidak 1. Ya ☐
3. Apakah pernah mengalami gejala gangguan pernafasan seperti sakit tenggorokan?
0. Tidak 1. Ya ☐
4. Apakah pernah mengalami gejala gangguan pernafasan seperti batuk?
0. Tidak 1. Ya ☐
5. Kemana Bapak/Ibu berobat jika sakit?

Lampiran 8 Data Responden

Jumlah Responden	Nomor Responden	Waktu Paparan (tE) (jam/hari)	Durasi Paparan (Dt) (tahun)	Umur (tahun)	Berat Badan (Wb) (kg)	Status Merokok	Keluhan	Jenis Kelamin
1	A1	8	3	29	48	Tidak merokok	Pilek/flu	P
2	A2	10	7	45	74	Merokok	Sakit tenggorokan	L
3	A3	7	5	34	50	Tidak merokok	Pilek/flu	P
4	A4	12	10	53	78	Merokok	Batuk	L
5	A5	9	1	24	48	Tidak merokok	Tidak ada	P
6	A6	11	8	36	50	Tidak merokok	Pilek/flu	P
7	A7	6	4	51	54	Tidak merokok	Batuk	P
8	A8	10	3	27	72	Merokok	Sakit tenggorokan	L
9	A9	8	9	48	76	Merokok	Batuk	L
10	A10	7	5	31	47	Tidak merokok	Pilek/flu	P
11	A11	9	15	56	80	Merokok	Batuk	L
12	A12	12	7	40	75	Merokok	Sakit tenggorokan	L
13	A13	11	5	30	71	Merokok	Sakit tenggorokan	L
14	A14	6	1	25	70	Merokok	Tidak ada	L
15	A15	10	8	42	65	Merokok	Batuk	L
16	A16	7	5	37	69	Tidak merokok	Pilek/flu	L
17	A17	10	10	48	50	Tidak merokok	Pilek/flu	P
18	A18	11	5	38	68	Merokok	Sakit tenggorokan	L
19	A19	9	1	23	65	Merokok	Tidak ada	L

20	A20	12	15	50	76	Merokok	Batuk	L
21	A21	6	5	39	75	Merokok	Sakit tenggorokan	L
22	A22	12	10	40	76	Tidak merokok	Pilek/flu	L
23	A23	8	9	52	55	Tidak merokok	Pilek/flu	P
24	A24	11	8	37	73	Merokok	Sakit tenggorokan	L
25	A25	12	5	37	71	Tidak merokok	Pilek/flu	L
26	A26	7	5	32	50	Tidak merokok	Pilek/flu	P
27	A27	12	10	49	76	Merokok	Batuk	L
28	B1	8	8	60	64	Merokok	Batuk	L
29	B2	8	5	56	78	Merokok	Batuk	L
30	B3	8	14	39	76	Tidak merokok	Pilek/flu	L
31	B4	8	10	35	72	Tidak merokok	Tidak ada	L
32	B5	12	15	55	90	Merokok	Batuk	L
33	B6	10	2	61	65	Merokok	Batuk	L
34	B7	9	7	45	58	Tidak merokok	Pilek/flu	P
35	B8	8	1	38	74	Tidak merokok	Tidak ada	L
36	B9	8	5	41	55	Tidak merokok	Pilek/flu	P
37	B10	6	2	27	50	Tidak merokok	Tidak ada	P
38	B11	10	1	59	67	Merokok	Batuk	L
39	B12	12	7	37	65	Merokok	Sakit tenggorokan	L
40	B13	7	11	54	72	Tidak merokok	Pilek/flu	P
41	B14	8	1	40	78	Tidak merokok	Pilek/flu	L
42	B15	9	13	55	80	Tidak merokok	Pilek/flu	P
43	C1	12	2	43	65	Merokok	Pilek/flu	L

44	C2	8	1	24	50	Merokok	Sakit tenggorokan	L
45	C3	12	15	62	48	Tidak merokok	Batuk	L
46	C4	8	5	38	64	Tidak merokok	Tidak ada	L
47	C5	7	3	36	79	Tidak merokok	Pilek/flu	P
48	C6	10	10	55	83	Merokok	Batuk	L
49	C7	8	4	29	50	Tidak merokok	Tidak ada	P
50	C8	8	1	52	45	Tidak merokok	Batuk	P
51	C9	9	14	41	55	Tidak merokok	Pilek/flu	P
52	C10	12	5	60	68	Merokok	Batuk	L
53	C11	6	2	27	45	Tidak merokok	Tidak ada	P
54	C12	10	9	48	73	Merokok	Batuk	L
55	C13	11	2	38	76	Merokok	Sakit tenggorokan	L
56	C14	9	11	54	60	Tidak merokok	Batuk	P
57	C15	8	6	37	80	Tidak merokok	Pilek/flu	P
58	C16	12	4	41	71	Merokok	Sakit tenggorokan	L
59	C17	7	8	43	69	Tidak merokok	Pilek/flu	P
60	C18	10	13	62	57	Tidak merokok	Batuk	L
61	C19	6	2	39	68	Merokok	Sakit tenggorokan	L

Lampiran 9 Perhitungan Analisis Risiko Paparan PM₁₀

PM ₁₀														
Jumlah Responden	Nomor Responden	Konsentrasi (C) (mg/m ³)	Waktu Paparan (tE) (jam/hari)	Frekuensi Paparan (fE) (hari/tahun)	Durasi Paparan (Dt) (tahun)	Umur (tahun)	Berat Badan (Wb) (kg)	Inhalation Rate (R) (m ³ /jam)	I Realtime (mg/kg/hari)	I Lifetime (mg/kg/hari)	RQ Realtime	Tingkat Risiko	RQ Lifetime	Tingkat Risiko
1	A1	0,0068	8	312	3	29	48	0,83	0,0001	0,0008	0,0057	TB	0,0574	TB
2	A2	0,0068	10	312	7	45	74	0,83	0,0002	0,0007	0,0109	TB	0,0466	TB
3	A3	0,0068	7	312	5	34	50	0,83	0,0001	0,0007	0,0080	TB	0,0482	TB
4	A4	0,0068	12	312	10	53	78	0,83	0,0002	0,0007	0,0177	TB	0,0530	TB
5	A5	0,0068	9	312	1	24	48	0,83	0,0000	0,0009	0,0022	TB	0,0646	TB
6	A6	0,0068	11	312	8	36	50	0,83	0,0003	0,0011	0,0202	TB	0,0758	TB
7	A7	0,0068	6	312	4	51	54	0,83	0,0001	0,0005	0,0051	TB	0,0383	TB
8	A8	0,0068	10	312	3	27	72	0,83	0,0001	0,0007	0,0048	TB	0,0479	TB
9	A9	0,0068	8	312	9	48	76	0,83	0,0002	0,0005	0,0109	TB	0,0363	TB
10	A10	0,0068	7	312	5	31	47	0,83	0,0001	0,0007	0,0086	TB	0,0513	TB
11	A11	0,0068	9	312	15	56	80	0,83	0,0003	0,0005	0,0194	TB	0,0388	TB
12	A12	0,0068	12	312	7	40	75	0,83	0,0002	0,0008	0,0129	TB	0,0551	TB
13	A13	0,0068	11	312	5	30	71	0,83	0,0001	0,0007	0,0089	TB	0,0534	TB
14	A14	0,0068	6	312	1	25	70	0,83	0,0000	0,0004	0,0010	TB	0,0295	TB
15	A15	0,0068	10	312	8	42	65	0,83	0,0002	0,0007	0,0141	TB	0,0530	TB
16	A16	0,0068	7	312	5	37	69	0,83	0,0001	0,0005	0,0058	TB	0,0350	TB
17	A17	0,0068	10	312	10	48	50	0,83	0,0003	0,0010	0,0230	TB	0,0689	TB
18	A18	0,0068	11	312	5	38	68	0,83	0,0001	0,0008	0,0093	TB	0,0557	TB
19	A19	0,0068	9	312	1	23	65	0,83	0,0000	0,0007	0,0016	TB	0,0477	TB
20	A20	0,0068	12	312	15	50	76	0,83	0,0004	0,0008	0,0272	TB	0,0544	TB
21	A21	0,0068	6	312	5	39	75	0,83	0,0001	0,0004	0,0046	TB	0,0276	TB
22	A22	0,0068	12	312	10	40	76	0,83	0,0003	0,0008	0,0181	TB	0,0544	TB
23	A23	0,0068	8	312	9	52	55	0,83	0,0002	0,0007	0,0150	TB	0,0501	TB
24	A24	0,0068	11	312	8	37	73	0,83	0,0002	0,0007	0,0138	TB	0,0519	TB
25	A25	0,0068	12	312	5	37	71	0,83	0,0001	0,0008	0,0097	TB	0,0582	TB
26	A26	0,0068	7	312	5	32	50	0,83	0,0001	0,0007	0,0080	TB	0,0482	TB
27	A27	0,0068	12	312	10	49	76	0,83	0,0003	0,0008	0,0181	TB	0,0544	TB
28	B1	0,0066	8	312	8	60	64	0,83	0,0002	0,0006	0,0111	TB	0,0418	TB
29	B2	0,0066	8	312	5	56	78	0,83	0,0001	0,0005	0,0057	TB	0,0343	TB
30	B3	0,0066	8	312	14	39	76	0,83	0,0002	0,0005	0,0164	TB	0,0352	TB
31	B4	0,0066	8	312	10	35	72	0,83	0,0002	0,0005	0,0124	TB	0,0372	TB
32	B5	0,0066	12	312	15	55	90	0,83	0,0003	0,0006	0,0223	TB	0,0446	TB
33	B6	0,0066	10	312	2	61	65	0,83	0,0000	0,0007	0,0034	TB	0,0515	TB
34	B7	0,0066	9	312	7	45	58	0,83	0,0002	0,0007	0,0121	TB	0,0519	TB

35	B8	0,0066	8	312	1	38	74	0,83	0,0000	0,0005	0,0012	TB	0,0362	TB
36	B9	0,0066	8	312	5	41	55	0,83	0,0001	0,0007	0,0081	TB	0,0487	TB
37	B10	0,0066	6	312	2	27	50	0,83	0,0000	0,0006	0,0027	TB	0,0401	TB
38	B11	0,0066	10	312	1	59	67	0,83	0,0000	0,0007	0,0017	TB	0,0499	TB
39	B12	0,0066	12	312	7	37	65	0,83	0,0002	0,0009	0,0144	TB	0,0617	TB
40	B13	0,0066	7	312	11	54	72	0,83	0,0002	0,0005	0,0119	TB	0,0325	TB
41	B14	0,0066	8	312	1	40	78	0,83	0,0000	0,0005	0,0011	TB	0,0343	TB
42	B15	0,0066	9	312	13	55	80	0,83	0,0002	0,0005	0,0163	TB	0,0376	TB
43	C1	0,0073	12	312	2	43	65	0,83	0,0001	0,0010	0,0046	TB	0,0683	TB
44	C2	0,0073	8	312	1	24	50	0,83	0,0000	0,0008	0,0020	TB	0,0592	TB
45	C3	0,0073	12	312	15	62	48	0,83	0,0006	0,0013	0,0462	TB	0,0925	TB
46	C4	0,0073	8	312	5	38	64	0,83	0,0001	0,0006	0,0077	TB	0,0462	TB
47	C5	0,0073	7	312	3	36	79	0,83	0,0000	0,0005	0,0033	TB	0,0328	TB
48	C6	0,0073	10	312	10	55	83	0,83	0,0002	0,0006	0,0149	TB	0,0446	TB
49	C7	0,0073	8	312	4	29	50	0,83	0,0001	0,0008	0,0079	TB	0,0592	TB
50	C8	0,0073	8	312	1	52	45	0,83	0,0000	0,0009	0,0022	TB	0,0658	TB
51	C9	0,0073	9	312	14	41	55	0,83	0,0004	0,0008	0,0283	TB	0,0605	TB
52	C10	0,0073	12	312	5	60	68	0,83	0,0002	0,0009	0,0109	TB	0,0653	TB
53	C11	0,0073	6	312	2	27	45	0,83	0,0000	0,0007	0,0033	TB	0,0493	TB
54	C12	0,0073	10	312	9	48	73	0,83	0,0002	0,0007	0,0152	TB	0,0507	TB
55	C13	0,0073	11	312	2	38	76	0,83	0,0000	0,0007	0,0036	TB	0,0535	TB
56	C14	0,0073	9	312	11	54	60	0,83	0,0003	0,0008	0,0203	TB	0,0555	TB
57	C15	0,0073	8	312	6	37	80	0,83	0,0001	0,0005	0,0074	TB	0,0370	TB
58	C16	0,0073	12	312	4	41	71	0,83	0,0001	0,0009	0,0083	TB	0,0625	TB
59	C17	0,0073	7	312	8	43	69	0,83	0,0001	0,0005	0,0100	TB	0,0375	TB
60	C18	0,0073	10	312	13	62	57	0,83	0,0004	0,0009	0,0281	TB	0,0649	TB
61	C19	0,0073	6	312	2	39	68	0,83	0,0000	0,0005	0,0022	TB	0,0326	TB

Keterangan:

B = Berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik.

TB = Tidak berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik.

Lampiran 10 Perhitungan Analisis Risiko Paparan PM_{2,5}

PM _{2,5}														
Jumlah Responden	Nomor Responden	Konsentrasi (C) (mg/m ³)	Waktu Paparan (tE) (jam/hari)	Frekuensi Paparan (fE) (hari/tahun)	Durasi Paparan (Dt) (tahun)	Umur (tahun)	Berat Badan (Wb) (kg)	Inhalation Rate (R) (m ³ /jam)	I Realtime (mg/kg/hari)	I Lifetime (mg/kg/hari)	RQ Realtime	Tingkat Risiko	RQ Lifetime	Tingkat Risiko
1	A1	0,0020	8	312	3	29	48	0,83	0,0000	0,0002	0,0023	TB	0,0232	TB
2	A2	0,0020	10	312	7	45	74	0,83	0,0000	0,0002	0,0044	TB	0,0188	TB
3	A3	0,0020	7	312	5	34	50	0,83	0,0000	0,0002	0,0032	TB	0,0195	TB
4	A4	0,0020	12	312	10	53	78	0,83	0,0001	0,0002	0,0071	TB	0,0214	TB
5	A5	0,0020	9	312	1	24	48	0,83	0,0000	0,0003	0,0009	TB	0,0261	TB
6	A6	0,0020	11	312	8	36	50	0,83	0,0001	0,0003	0,0082	TB	0,0306	TB
7	A7	0,0020	6	312	4	51	54	0,83	0,0000	0,0002	0,0021	TB	0,0155	TB
8	A8	0,0020	10	312	3	27	72	0,83	0,0000	0,0002	0,0019	TB	0,0193	TB
9	A9	0,0020	8	312	9	48	76	0,83	0,0000	0,0001	0,0044	TB	0,0146	TB
10	A10	0,0020	7	312	5	31	47	0,83	0,0000	0,0002	0,0035	TB	0,0207	TB
11	A11	0,0020	9	312	15	56	80	0,83	0,0001	0,0002	0,0078	TB	0,0157	TB
12	A12	0,0020	12	312	7	40	75	0,83	0,0001	0,0002	0,0052	TB	0,0223	TB
13	A13	0,0020	11	312	5	30	71	0,83	0,0000	0,0002	0,0036	TB	0,0216	TB
14	A14	0,0020	6	312	1	25	70	0,83	0,0000	0,0001	0,0004	TB	0,0119	TB
15	A15	0,0020	10	312	8	42	65	0,83	0,0001	0,0002	0,0057	TB	0,0214	TB
16	A16	0,0020	7	312	5	37	69	0,83	0,0000	0,0001	0,0024	TB	0,0141	TB
17	A17	0,0020	10	312	10	48	50	0,83	0,0001	0,0003	0,0093	TB	0,0278	TB
18	A18	0,0020	11	312	5	38	68	0,83	0,0000	0,0002	0,0038	TB	0,0225	TB
19	A19	0,0020	9	312	1	23	65	0,83	0,0000	0,0002	0,0006	TB	0,0193	TB
20	A20	0,0020	12	312	15	50	76	0,83	0,0001	0,0002	0,0110	TB	0,0220	TB
21	A21	0,0020	6	312	5	39	75	0,83	0,0000	0,0001	0,0019	TB	0,0111	TB
22	A22	0,0020	12	312	10	40	76	0,83	0,0001	0,0002	0,0073	TB	0,0220	TB
23	A23	0,0020	8	312	9	52	55	0,83	0,0001	0,0002	0,0061	TB	0,0202	TB
24	A24	0,0020	11	312	8	37	73	0,83	0,0001	0,0002	0,0056	TB	0,0210	TB
25	A25	0,0020	12	312	5	37	71	0,83	0,0000	0,0002	0,0039	TB	0,0235	TB
26	A26	0,0020	7	312	5	32	50	0,83	0,0000	0,0002	0,0032	TB	0,0195	TB
27	A27	0,0020	12	312	10	49	76	0,83	0,0001	0,0002	0,0073	TB	0,0220	TB
28	B1	0,0019	8	312	8	60	64	0,83	0,0000	0,0002	0,0044	TB	0,0165	TB
29	B2	0,0019	8	312	5	56	78	0,83	0,0000	0,0001	0,0023	TB	0,0136	TB
30	B3	0,0019	8	312	14	39	76	0,83	0,0001	0,0001	0,0065	TB	0,0139	TB
31	B4	0,0019	8	312	10	35	72	0,83	0,0000	0,0001	0,0049	TB	0,0147	TB
32	B5	0,0019	12	312	15	55	90	0,83	0,0001	0,0002	0,0088	TB	0,0176	TB
33	B6	0,0019	10	312	2	61	65	0,83	0,0000	0,0002	0,0014	TB	0,0203	TB
34	B7	0,0019	9	312	7	45	58	0,83	0,0000	0,0002	0,0048	TB	0,0205	TB

35	B8	0,0019	8	312	1	38	74	0,83	0,0000	0,0001	0,0005	TB	0,0143	TB
36	B9	0,0019	8	312	5	41	55	0,83	0,0000	0,0002	0,0032	TB	0,0192	TB
37	B10	0,0019	6	312	2	27	50	0,83	0,0000	0,0002	0,0011	TB	0,0159	TB
38	B11	0,0019	10	312	1	59	67	0,83	0,0000	0,0002	0,0007	TB	0,0197	TB
39	B12	0,0019	12	312	7	37	65	0,83	0,0001	0,0002	0,0057	TB	0,0244	TB
40	B13	0,0019	7	312	11	54	72	0,83	0,0000	0,0001	0,0047	TB	0,0128	TB
41	B14	0,0019	8	312	1	40	78	0,83	0,0000	0,0001	0,0005	TB	0,0136	TB
42	B15	0,0019	9	312	13	55	80	0,83	0,0001	0,0002	0,0064	TB	0,0149	TB
43	C1	0,0022	12	312	2	43	65	0,83	0,0000	0,0003	0,0019	TB	0,0283	TB
44	C2	0,0022	8	312	1	24	50	0,83	0,0000	0,0002	0,0008	TB	0,0245	TB
45	C3	0,0022	12	312	15	62	48	0,83	0,0002	0,0004	0,0191	TB	0,0383	TB
46	C4	0,0022	8	312	5	38	64	0,83	0,0000	0,0002	0,0032	TB	0,0191	TB
47	C5	0,0022	7	312	3	36	79	0,83	0,0000	0,0001	0,0014	TB	0,0136	TB
48	C6	0,0022	10	312	10	55	83	0,83	0,0001	0,0002	0,0061	TB	0,0184	TB
49	C7	0,0022	8	312	4	29	50	0,83	0,0000	0,0002	0,0033	TB	0,0245	TB
50	C8	0,0022	8	312	1	52	45	0,83	0,0000	0,0003	0,0009	TB	0,0272	TB
51	C9	0,0022	9	312	14	41	55	0,83	0,0001	0,0003	0,0117	TB	0,0250	TB
52	C10	0,0022	12	312	5	60	68	0,83	0,0000	0,0003	0,0045	TB	0,0270	TB
53	C11	0,0022	6	312	2	27	45	0,83	0,0000	0,0002	0,0014	TB	0,0204	TB
54	C12	0,0022	10	312	9	48	73	0,83	0,0001	0,0002	0,0063	TB	0,0210	TB
55	C13	0,0022	11	312	2	38	76	0,83	0,0000	0,0002	0,0015	TB	0,0221	TB
56	C14	0,0022	9	312	11	54	60	0,83	0,0001	0,0002	0,0084	TB	0,0230	TB
57	C15	0,0022	8	312	6	37	80	0,83	0,0000	0,0002	0,0031	TB	0,0153	TB
58	C16	0,0022	12	312	4	41	71	0,83	0,0000	0,0003	0,0034	TB	0,0259	TB
59	C17	0,0022	7	312	8	43	69	0,83	0,0000	0,0002	0,0041	TB	0,0155	TB
60	C18	0,0022	10	312	13	62	57	0,83	0,0001	0,0003	0,0116	TB	0,0268	TB
61	C19	0,0022	6	312	2	39	68	0,83	0,0000	0,0001	0,0009	TB	0,0135	TB

Keterangan:

B = Berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik.

TB = Tidak berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RIWAYAT HIDUP

Muhammad Arya Pratama, akrab disapa Arya, lahir di Dompu, 16 Maret 2001. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Imamuddin, S.H. dan Ibu Putri Emilia, S.Pd. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 1 Dompu (2007-2013), kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Dompu (2013-2016), dan SMAN 1 Dompu (2016-2019). Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi pada tahun 2019, di Universitas Islam Indonesia, Program Studi Teknik Lingkungan, dan menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S-1) pada tahun 2024.