

TA/TL/2022/1498

TUGAS AKHIR

**ANALISIS RISIKO PAJANAN TIMBAL (Pb),
KADMIUM (Cd), KROMIUM (Cr), DAN BESI (Fe)
DALAM PM_{2,5} TERHADAP MASYARAKAT SEKITAR
TPST PIYUNGAN, BANTUL**

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



**SYAHRINA AZKA HANIYA
18513186**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

TUGAS AKHIR
**ANALISIS RISIKO PAJANAN TIMBAL (Pb),
KADMIUM (Cd), KROMIUM (Cr), DAN BESI (Fe)
DALAM PM_{2,5} TERHADAP MASYARAKAT SEKITAR
TPST PIYUNGAN, BANTUL**

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

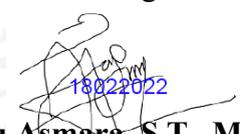


SYAHRINA AZKA HANIYA
18513186

Disetujui:

Pembimbing 1:

Pembimbing 2:


Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng.

NIK. 195130101

Tanggal:


Fina Binazir Maziya, S.T., M.T.

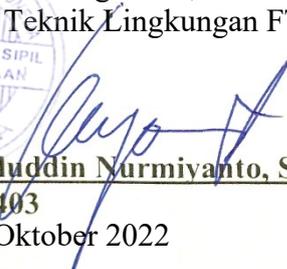
NIK. 165131305

Tanggal:



Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII


Dr. Eng. Awaluddin Nurmianto, S.T., M.Eng.

NIK. 095130403

Tanggal= 18 Oktober 2022

HALAMAN PENGESAHAN
**ANALISIS RISIKO PAJANAN TIMBAL (Pb),
KADMIUM (Cd), KROMIUM (Cr), DAN BESI (Fe)
DALAM PM_{2,5} TERHADAP MASYARAKAT SEKITAR
TPST PIYUNGAN, BANTUL**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Senin

Tanggal : 17 Oktober 2022

Disusun Oleh:

**SYAHRINA AZKA HANIYA
18513186**

Tim Penguji :

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

Fina Binazir Maziva, S.T., M.T.

Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.



(*[Signature]*)
(*[Signature]*)
(*[Signature]*)

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

Yogyakarta, 17 Oktober 2022

Yang membuat pernyataan,



PRAKATA

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur peneliti panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Risiko Paparan Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), dan Besi (Fe) Terhadap Masyarakat Sekitar TPST Piyungan, Bantul”. Penyusunan laporan tugas akhir ini dilaksanakan sebagai prasyarat untuk memperoleh gelar sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Peneliti ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang membantu kelancaran dalam penyusunan laporan ini baik dukungan moril maupun materiil. Sehingga pada kesempatan ini, peneliti ingin menyampaikan rasa terimakasih yang tak terhingga kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat dan karunia-Nya sehingga mempermudah kelancaran proses penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua peneliti, Mama Ika Trismaryanti dan Papa Heru Subiyantoko, Kakak Zhara, Naura, dan Abrisam yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dan doa demi kelancaran penulisan tugas akhir ini.
3. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, Bapak Dr.Eng Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.
4. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Ibu Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng., Ibu Fina Binazir Maziya, S.T., M.T., Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T., dan Bapak Azham Umar Abidin, S.K.M., M.P.H. yang telah membimbing serta berkenan memberikan waktu dan masukan selama proses penyusunan laporan tugas akhir.
5. Seluruh dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang sudah membagikan ilmu yang bermanfaat bagi peneliti.
6. Pihak pengelola dan masyarakat sekitar TPST Piyungan yang telah membantu peneliti dalam proses pengambilan data di lapangan.

7. Rekan tugas akhir peneliti, Tim Bocah Piyungan, yang telah berjuang bersama-sama, membantu, dan saling memberikan semangat selama proses penyusunan laporan tugas akhir ini.
8. Kepada Ega, Andifa, Husna, Amara, Citra, dan Mahfudz selaku teman seperjuangan yang menemani masa perkuliahan peneliti dan bersama-sama saling memberi motivasi untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
9. Keluarga Besar Teknik Lingkungan Angkatan 2018 yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu dan memberi dukungan kepada peneliti.
10. Seluruh keluarga, teman, dan pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Peneliti berharap semoga amal baik dari seluruh pihak yang terlibat dalam penyusunan laporan tugas ini mendapat balasan berupa pahala dari Allah SWT. Penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 17 Oktober 2022

Syahrina Azka Haniya



ABSTRAK

SYAHRINA AZKA HANIYA. Analisis Risiko Paparan Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), dan Besi (Fe) dalam PM_{2,5} Terhadap Kesehatan Masyarakat Sekitar TPST Piyungan, Bantul. Dibimbing oleh ADELIA ANJU ASMARA, S.T., M.Eng. dan FINA BINAZIR MAZIYA, S.T., M.T.

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat di D.I Yogyakarta berdampak pada peningkatan volume sampah di TPST Piyungan, Bantul. Beroperasinya TPST memberi dampak lingkungan salah satunya pencemaran udara berupa PM_{2,5}. PM_{2,5} yang terhirup dapat menembus paru-paru dan kandungannya seperti logam berat dapat masuk ke dalam aliran darah berpotensi menyebabkan Infeksi Saluran Pernafasan Atas (ISPA), kanker paru-paru, bahkan kematian. Penelitian ini bertujuan mendapat gambaran konsentrasi PM_{2,5} dan logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe yang terkandung dalam PM_{2,5} di udara serta mengetahui tingkat risiko pajanannya terhadap kesehatan masyarakat sekitar TPST Piyungan, Bantul. Pengukuran PM_{2,5} mengacu pada SNI 7119.14:2016. Instrumen pengujian logam menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi PM_{2,5} di udara sekitar TPST Piyungan, Bantul masih memenuhi baku mutu PP 22 Tahun 2021 dengan hasil 31,74 µg/m³ untuk titik lokasi 1; 11,51 µg/m³ untuk titik lokasi 2; dan 23,56 µg/m³ untuk titik lokasi 3. Konsentrasi rata-rata logam Pb, Cd, Cr, dan Fe berturut-turut sebesar 0,00182 µg/m³; 0,00145 µg/m³; 0,00041 µg/m³; dan 0,08225 µg/m³. Hasil analisis tingkat risiko menunjukkan menunjukkan tidak adanya kemungkinan risiko kanker dan non kanker *lifetime* akibat paparan logam Pb, Cd, dan Cr dalam PM_{2,5} di udara ambien kawasan TPST Piyungan, Bantul.

Kata Kunci: Analisis Risiko, Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), Besi (Fe), PM_{2,5}, Pencemaran Udara, Masyarakat, TPST Piyungan.

ABSTRACT

SYAHRINA AZKA HANIYA. *Risk Analysis of Lead (Pb), Cadmium (Cd), Chromium (Cr), and Iron (Fe) Exposure in PM_{2,5} to The Health of The Communities Around Piyungan Landfill, Bantul. Supervised by ADELIA ANJU ASMARA, S.T., M.Eng. and FINA BINAZIR MAZIYA, S.T., M.T.*

The population growth that continues to increase in D.I Yogyakarta has an impact on the volume of waste in Piyungan Landfill, Bantul. The operation of landfill has an impact to the environment, one of which is air pollution of PM_{2,5}. Inhaled PM_{2,5} can penetrate the lungs and its content such as heavy metals can enter the bloodstream have the potential to cause Acute Respiratory Infections (ARI), lung cancer, even death. This study aims to analyze the concentrations of PM_{2,5} and Pb, Cd, Cr, and Fe metals in PM_{2,5} in the air also determine the risk level exposures on public health around Piyungan Landfill, Bantul. Measurement of PM_{2,5} refers to SNI 7119.14:2016. Metal testing instruments using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed the concentration of PM_{2,5} in the ambient air around Piyungan Landfill area, Bantul still meets the quality standards based on PP Number 22 of 2021 with successive results 31,74 µg/m³ for location point 1; 11,51 µg/m³ for location point 2; and 23,56 µg/m³ for location point 3. The average concentration of Pb, Cd, Cr, and Fe metals in order 0,00182 µg/m³; 0,00145 µg/m³; 0,00041 µg/m³; dan 0,08225 µg/m³. The results of the risk level analysis showed that there was no possible risk of cancer and non cancer lifetime due to Pb, Cd, and Cr metal exposure in PM_{2,5} in the ambient air around Piyungan Landfill, Bantul.

Keywords: Risk analysis, lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), iron (Fe), PM_{2,5}, air pollution, community, Piyungan Landfill.



DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan.....	6
2.2 Pencemaran Udara.....	7
2.3 <i>Particulate Matter 2,5</i>	8
2.4 Logam Berat.....	9
2.4.1 Timbal (Pb).....	9
2.4.2 Kadmium (Cd).....	9
2.4.3 Kromium (Cr).....	10
2.4.4 Besi (Fe).....	10
2.5 Analisis Risiko.....	11
1. Identifikasi Bahaya.....	11

2.	Analisis Dosis Respon	11
3.	Analisis Paparan.....	11
4.	Karakterisasi Risiko	12
2.6	<i>High Volume Air Sampler</i> (HVAS).....	13
2.7	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS).....	13
2.8	Penelitian Terdahulu.....	14
BAB III METODE PENELITIAN.....		19
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	20
3.3	Metode Pengambilan Data	21
3.3.1	Konsentrasi PM _{2,5}	21
3.3.2	Konsentrasi Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM _{2,5}	22
3.3.3	Data Responden	22
3.4	Prosedur Analisis Data	23
3.4.1	Penetapan Konsentrasi Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM _{2,5}	23
3.4.2	Analisis Risiko Paparan Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM _{2,5} Terhadap Kesehatan Masyarakat	27
3.4.3	Data Responden	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Kondisi Lingkungan Lokasi Penelitian	29
4.2	Konsentrasi PM _{2,5} dan Logam Berat	32
4.2.1	Konsentrasi PM _{2,5}	32
4.2.2	Konsentrasi Logam Berat.....	36
4.3	Karakteristik Responden	42
4.3.1	Karakteristik Responden Berdasarkan Jenis Kelamin	42
4.3.2	Karakteristik Responden Berdasarkan Usia.....	43

4.3.3	Karakteristik Responden Berdasarkan Berat Badan	44
4.3.4	Karakteristik Responden Berdasarkan Lama Tinggal.....	44
4.3.5	Karakteristik Responden Berdasarkan Riwayat Merokok	45
4.4	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.....	46
4.4.1	Analisis Paparan (<i>Exposure Assessment</i>)	46
4.4.2	Karakteristik Risiko (<i>Risk Characterization</i>).....	49
4.4.3	Hubungan Paparan dengan Keluhan Subjektif Kesehatan Masyarakat	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA		54
LAMPIRAN.....		59



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

C	: Konsentrasi agen pada media udara	[mg/m ³]
C	: Konsentrasi logam di udara	[μg/m ³]
C _t	: Kadar logam dalam larutan contoh uji yang <i>dispike</i>	[μg/ml]
C _b	: Kadar logam dalam larutan blanko	[μg/ml]
C ₁	: Konsentrasi udara rata-rata dengan lama pencuplikan t ₁	[μg/m ³]
C ₂	: Konsentrasi udara rata-rata hasil pengukuran dengan lama t ₂	[μg/m ³]
D _t	: Jumlah tahun terjadinya pajanan (<i>realtime exposure</i>)	[tahun]
e	: Koreksi ketelitian pengambilan sampel yang masih ditolerir	
ECR	: Tingkat risiko efek karsinogenik	
Fe	: Jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	[hari/tahun]
I	: Intake atau asupan	[mg/kg.hari]
N	: Jumlah total responden	[orang]
n	: Jumlah responden yang dibutuhkan	[orang]
p	: Faktor konversi, 0,159	
P _o	: Tekanan barometik dimana Q _o ditentukan	[kPa]
P _s	: Tekanan barometik standar, 101, 3 kPa (760 mmHg)	[kPa]
Q _o	: Laju alir volume uji, 1,1 – 1,7 m ³ /menit	[m ³ /menit]
Q _s	: Laju alir volume dikoreksi pada kondisi standar	[m ³ /menit]
Q _{s1}	: Laju alir awal terkoreksi pada pengukuran pertama	[m ³ /menit]
Q _{s2}	: Laju alir akhir terkoreksi pada pengukuran kedua	[m ³ /menit]
R	: Laju inhalasi atau volume udara yang masuk per jam	[m ³ /jam]
R _{fC}	: Nilai referensi agen risiko pada pemajanan inhalasi	
RQ	: Tingkat risiko efek non karsinogenik	
S	: Luas contoh uji yang terpapar debu pada permukaan filter	[mm ²]
SF	: Nilai referensi agen risiko dengan efek karsinogenik	
St	: Luas contoh uji yang digunakan	[mm ²]
T	: Durasi pengambilan contoh uji	[menit]
t _{avg}	: Periode waktu rata-rata	[hari]
T _e	: Lama pajanan setiap harinya	[jam/hari]

To	: Temperatur absolut	[K]
Ts	: Temperatur standar, 298 K	[K]
t1	: Lama pencuplikan contoh 1, 24 jam	[jam]
t2	: Lama pencuplikan contoh 2 dari hasil pengukuran contoh udara	[jam]
V	: Volume udara yang diambil	[m ³]
Vt	: Volume larutan contoh uji	[ml]
Wb	: Berat badan manusia yang terpajan	[kg]





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi Literatur Terdahulu.....	15
Tabel 4.1 Koordinat Lokasi Penelitian.....	29
Tabel 4.2 Kondisi Cuaca Rata-Rata Saat Pengambilan Sampel	31
Tabel 4.3 Berat Partikulat PM _{2,5} pada Kertas Filter.....	32
Tabel 4.4 Konsentrasi PM _{2,5} di Udara Ambien.....	33
Tabel 4.5 Konsentrasi Timbal (Pb)	36
Tabel 4.6 Konsentrasi Kadmium (Cd)	38
Tabel 4.7 Konsentrasi Kromium (Cr)	40
Tabel 4.8 Konsentrasi Besi (Fe).....	41
Tabel 4.9 Karakteristik Responden Berdasarkan Jenis Kelamin	42
Tabel 4.10 Karakteristik Responden Berdasarkan Usia.....	43
Tabel 4.11 Karakteristik Responden Berdasarkan Berat Badan	44
Tabel 4.12 Karakteristik Responden Berdasarkan Lama Tinggal	44
Tabel 4.13 Karakteristik Responden Berdasarkan Riwayat Merokok	45
Tabel 4.14 Analisis Paparan Risiko Non Karsinogenik	47
Tabel 4.15 Analisis Risiko Non Karsinogenik.....	49
Tabel 4.16 Keluhan Kesehatan	50



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

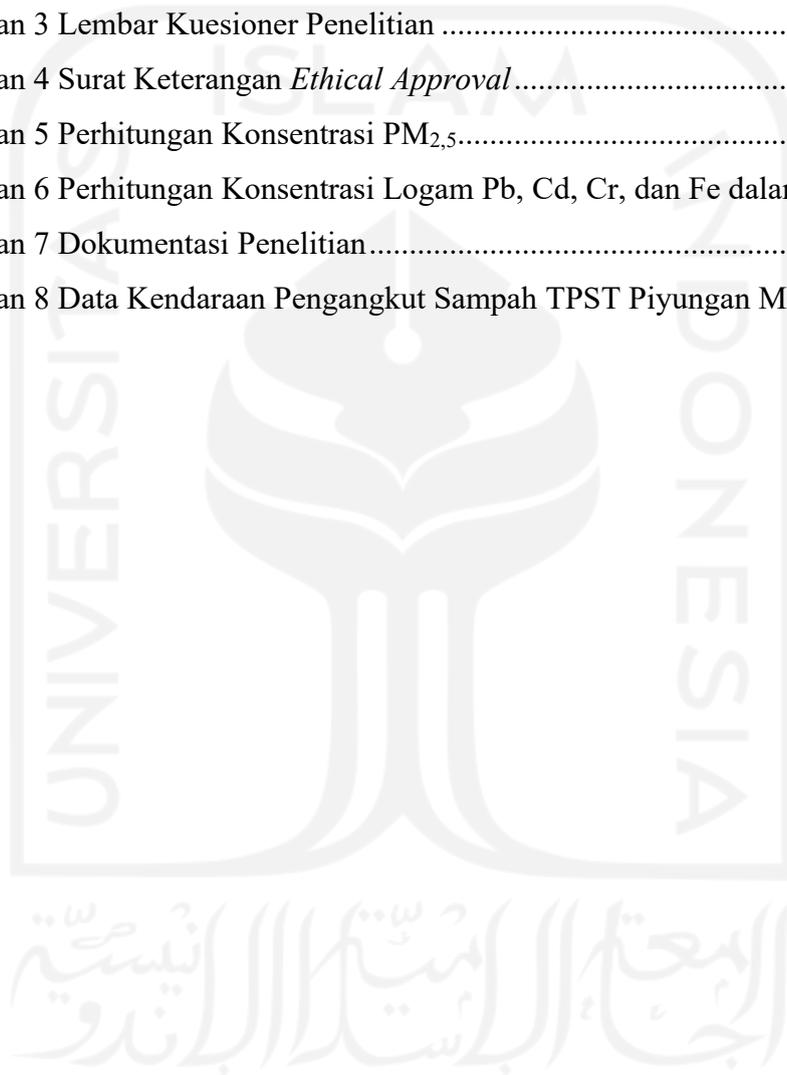
Gambar 2.1 Kondisi Lokasi TPST Piyungan.....	7
Gambar 2.2 <i>High Volume Air Sampler</i> (HVAS).....	13
Gambar 2.3 <i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS) <i>Flame</i>	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2 Peta Lokasi Sampling.....	20
Gambar 3.3 Tahapan Pengambilan Data Konsentrasi $PM_{2,5}$	21
Gambar 3.4 Tahapan Preparasi Sampel Uji Logam.....	24
Gambar 3.5 Tahapan Penetapan Konsentrasi Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam $PM_{2,5}$	25
Gambar 4.1 Kondisi Lokasi Saat Pengambilan Sampel.....	30
Gambar 4.2 Kondisi Lokasi <i>Unloading</i> Sampah	34



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat dan Bahan Penelitian	59
Lampiran 2 Tahapan Analisis Logam Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM _{2,5} dengan Metode Destruksi Basah	60
Lampiran 3 Lembar Kuesioner Penelitian	63
Lampiran 4 Surat Keterangan <i>Ethical Approval</i>	66
Lampiran 5 Perhitungan Konsentrasi PM _{2,5}	67
Lampiran 6 Perhitungan Konsentrasi Logam Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM _{2,5}	73
Lampiran 7 Dokumentasi Penelitian	81
Lampiran 8 Data Kendaraan Pengangkut Sampah TPST Piyungan Maret 2022	86





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) merupakan tempat akhir dimana sampah dikumpulkan untuk dipilah, diolah, maupun dilakukan pemrosesan akhir atau dimusnahkan. TPST Piyungan yang berlokasi di Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul menampung sampah dari wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan luas lahan sebesar 12,5 Ha. Sampah di TPST Piyungan diolah sampai tahap pemrosesan akhir. TPST dengan pemrosesan akhir, memusnahkan sampah melalui proses pemadatan, penimbunan dengan tanah secara berkala (*sanitary landfill*), pembakaran tertutup (insinerasi), dan lainnya (Yatim, 2013 dalam Fitriana & Siwiendrayanti, 2019).

Tingginya laju pertumbuhan penduduk sebanding dengan tingkat konsumsi produk atau material yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini memberi dampak terhadap volume sampah yang dihasilkan sehingga berimbas pada semakin besarnya volume tumpukan sampah di TPST yang perlu diproses setiap tahunnya. Di sisi lain, beroperasinya TPST memberi dampak terhadap kesehatan, lingkungan, dan ekonomi-sosial masyarakat (Yusmiati et al., 2017).

Menurut Hidayatullah (2020), salah satu dampak keberadaan TPST bagi lingkungan adalah pencemaran udara. Pencemaran udara yang timbul dapat berupa bau yang tidak sedap, meningkatnya konsentrasi debu, partikulat, dan senyawa gas di udara. Pencemaran udara umumnya berwujud partikel berupa debu dan partikulat, aerosol, serta berwujud gas seperti CO, NO_x, SO_x, H₂S, dan hidrokarbon (Gunawan, 2015). Menurut Cholianawati (2019), berdasarkan ukurannya di atmosfer, partikulat diklasifikasikan menjadi partikulat kasar atau PM₁₀ dengan diameter <10 µm dan partikulat halus atau PM_{2,5} dengan diameter <2,5 µm. Salah satu zat pencemar udara yang terkandung dalam PM_{2,5} adalah logam berat.

Menurut Santoso et al. (2016), sumber-sumber pencemaran logam berat di udara sekitar TPST dapat berasal dari sampah yang dihasilkan, misalnya logam

timbal (Pb) dihasilkan oleh bahan-bahan seperti baterai, cat, dan kaleng. Sampah yang menghasilkan logam kadmium (Cd) adalah baterai. Sedangkan alat-alat berbahan dasar besi menghasilkan logam besi (Fe). Selain itu, menurut (Sutyasmi & Supraptiningsih, 2014), logam kromium (Cr) dihasilkan oleh sampah berbahan kulit tersamak (*leather*) dan limbah padat *shaving* samak krom. Paparan logam berat memiliki dampak yang sangat berbahaya bagi kesehatan.

Logam berat Pb dapat mencemari udara dalam dua wujud yaitu gas dan partikel. Logam Pb bersifat racun bagi syaraf, kardiovaskuler, dan ginjal. Seseorang akan mengalami keracunan timbal jika terpapar sekitar 0,2 sampai 2 mg/hari. Beberapa dampak yang ditimbulkan dari paparan Pb diantaranya, gangguan sistem syaraf dan kecerdasan, gangguan pada sistem reproduksi, kelainan tulang, dan efek sistemik (Gusnita, 2012).

Selain logam berat Pb, menurut Sembel (2015) dalam (Latifah, 2018), menghirup debu dengan kandungan logam Cd adalah masalah yang berbahaya karena dapat menimbulkan gangguan pernafasan. Dampak lain dari paparan kadmium berlebih dalam tubuh antara lain, pneumonitis, bronkitis, kerusakan ginjal, kerusakan hati, kanker, bahkan kematian.

Jenis logam berat selanjutnya adalah Cr. Menurut Larashati (2004) dalam (Latifah, 2018), jika kadar logam kromium melebihi baku mutu dan terhirup masuk ke dalam tubuh, dapat menimbulkan kerusakan struktur DNA hingga terjadi mutasi, memperlambat pertumbuhan janin, dan mutagen, bahkan kematian. Selain itu, akumulasi krom dalam jumlah besar di tubuh memberikan dampak negatif pada organ ginjal dan hati.

Terakhir, jenis logam berat Fe. Besi merupakan logam berat yang sifatnya esensial bagi tubuh karena perannya yang penting untuk menjaga metabolisme tubuh dalam jumlah tertentu. Apabila jumlahnya berlebihan maka menimbulkan sifat toksik bagi tubuh (Agustina, 2014). Menurut Slamet (2011) dalam (Harliyanti et al., 2016), jika kandungan logam berat Fe dalam tubuh >1 mg/l dapat menyebabkan kerusakan dinding usus, mual, iritasi, dan pusing.

Kegiatan pengelolaan sampah di TPST hampir seluruhnya dipastikan memberikan dampak risiko pada kesehatan, baik kepada pihak yang terlibat secara

langsung seperti pekerja maupun bagi masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi TPA (Rimantho, 2015). Berdasarkan hasil survei langsung di area pemukiman sekitar TPST Piyungan, ditemukan bahwa para masyarakat tidak menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) berupa masker untuk mengurangi paparan debu dan partikulat dari TPST. Menurut Fitriyah (2016) dalam Hidayatullah (2020), dari hasil wawancara yang dilakukan terhadap masyarakat yang tinggal di sekitar TPST terkait keluhan kesehatan, sebagian besar dari masyarakat mengalami infeksi saluran pernafasan atas (ISPA). Keluhan lain yang dialami seperti batuk, pilek, faringitis, serta gejala lain seperti mual, demam, pusing, sakit tenggorokan, dan mata berair.

Melihat dari besarnya dampak yang ditimbulkan dari pajanan logam berat yang terkandung dalam $PM_{2,5}$, maka penting untuk mengetahui besarnya risiko yang ditimbulkan dari pajanan logam timbal (Pb), kadmium (Cd), kromium (Cr), dan besi (Fe) terhadap kesehatan masyarakat di sekitar lokasi TPST Piyungan, Bantul. Hal ini perlu dilakukan agar dapat ditentukan langkah terbaik untuk mencegah risiko kesehatan yang ditimbulkan dari pajanan logam berat di udara sekitar TPST khususnya kawasan TPST Piyungan, Bantul.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian di atas maka dapat dirumuskan beberapa masalah berikut ini:

1. Berapa besar konsentrasi $PM_{2,5}$ di udara sekitar Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul?
2. Berapa besar konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam $PM_{2,5}$ di udara sekitar Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul?
3. Bagaimana tingkat risiko pajanan logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam $PM_{2,5}$ di udara terhadap kesehatan masyarakat sekitar Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul?

1.3 Tujuan

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan dengan tujuan berikut:

1. Menganalisis konsentrasi $PM_{2,5}$ di udara sekitar Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul.
2. Menganalisis konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam $PM_{2,5}$ di udara sekitar Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul.
3. Menganalisis tingkat risiko dan dampak paparan logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam $PM_{2,5}$ terhadap kesehatan masyarakat sekitar Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang diperoleh dari dilakukannya penelitian ini, diantaranya:

1. Menambah wawasan terkait konsentrasi $PM_{2,5}$ pada kualitas udara sekitar Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul.
2. Menambah wawasan terkait konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam $PM_{2,5}$ di udara sekitar Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul.
3. Menambah wawasan terkait risiko paparan logam Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam $PM_{2,5}$ terhadap kesehatan pemulung di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul.

1.5 Ruang Lingkup

Berikut merupakan ruang lingkup dalam penelitian ini:

1. Titik lokasi pengambilan sampel ditentukan berdasarkan jarak pemukiman terhadap lokasi TPST Piyungan yaitu jarak <50 m, 50-100 m, dan >100 m serta mempertimbangkan syarat pemilihan lokasi berdasarkan SNI 19-7119.6 : 2005 Tentang Penentuan Lokasi Pengambilan Uji Pemantauan Kualitas Udara Ambien.
2. Pengambilan sampel $PM_{2,5}$ berdasarkan SNI 7119.14 : 2016 Tentang Cara Uji $PM_{2,5}$ menggunakan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dengan Metode Gravimetri dan waktu pengambilan sampel selama 24 jam. Pengukuran dilakukan dengan sekali sampling dan dilakukan saat musim penghujan.

3. Analisis kandungan logam Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5} mengacu pada SNI 7119-4:2017 Tentang Cara Uji Kadar Timbal (Pb) dengan Metode Destruksi Basah Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Nyala. Selain itu, λ logam Cd mengacu pada SNI 6989.16 : 2009, λ logam Cr mengacu pada SNI 6989.17 : 2009, dan λ logam Fe mengacu pada SNI 6989.4 : 2009.
4. Acuan baku mutu yang digunakan pada penelitian ini antara lain:
 - Konsentrasi PM_{2,5} dan logam Pb mengacu pada Lampiran VII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
 - Konsentrasi logam Cd dan Cr mengacu pada Ontario Ministry of the Environment Ambient Air Quality Criteria/Texas Commission on Environment Quality (OAQC/TCEQ) karena belum ada peraturan atau standar terkait konsentrasi logam Cd dan Cr dalam udara ambien di Indonesia maupun kawasan Asia.
5. Perhitungan analisis risiko dilakukan pada logam berat Pb, Cd, dan Cr mengacu pada Pedoman Analisis Risiko Lingkungan Kementerian Kesehatan Tahun 2012 yang terdiri atas beberapa tahap berikut:
 - Identifikasi Bahaya
 - Analisis Dosis Respon
 - Analisis Paparan
 - Karakterisasi Risiko
6. Acuan nilai RfC dan IUR logam berat Pb, Cd, dan Cr mengacu pada Unites States Environmental Protection Agency (US-EPA).
7. Pengumpulan data responden dilakukan dengan metode kuesioner. Jumlah responden pada penelitian ini sebanyak 50 responden. Data yang diperlukan meliputi berat badan, durasi paparan, frekuensi paparan, waktu rata-rata kerja perhari, serta keluhan yang dialami. Penelitian sudah sesuai dengan prosedur *ethical clearance* pada Lampiran 4.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan

Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) merupakan tempat dilakukannya proses pengumpulan, pemilahan, penggunaan ulang, pendauran ulang, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah untuk tujuan mengelola dan memusnahkan sampah (Sahwan, 2018). Proses pemusnahan sampah dilakukan dengan cara pemadatan, penimbunan dengan tanah secara berkala (*sanitary landfill*), pembakaran tertutup (insinerasi), dan lain-lain (Yatim, 2013 dalam Fitriana & Siwiendrayanti, 2019). Lokasi TPST dapat berada di sumber sampah maupun di lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) apabila TPST menyertakan tahap pemrosesan akhir sampah (Sahwan, 2018).

TPST Piyungan terletak di Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Dibangun pada tahun 1994 hingga 1996 dan beroperasi pada tahun 1996, TPST Piyungan berdiri pada lahan seluas 12,5 Ha. Volume sampah yang masuk ke TPST Piyungan berkisar antara 400 hingga 500 ton perharinya. Pada awal masa beroperasinya, TPST Piyungan dikelola oleh Sub Dinas Cipta Karya Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Namun, sejak terbitnya Undang-Undang No. 22 Tahun 1999 tentang Pemerintah Daerah, mulai sejak tahun 2000 TPST Piyungan dikelola bersama oleh Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul, dan Kota Yogyakarta. Pada tahun 2015, pengelolaan TPST Piyungan diambil alih oleh Balai Pengelolaan Infrastruktur Sanitasi dan Air Minum di bawah Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan, dan Energi Sumber Daya Mineral. Kemudian, sejak tahun 2019 TPST Piyungan dialihkan pada Balai Pengelolaan Sampah di bawah Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Daerah Istimewa Yogyakarta (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan DIY, 2022).

Berikut ini merupakan dokumentasi kondisi TPST Piyungan yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kondisi Lokasi TPST Piyungan

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022

TPST sampah yang tidak dikelola dengan baik dapat menjadi sumber pencemar bagi lingkungan dan sumber penyakit bagi manusia. Keberadaan TPST memberikan dampak bagi lingkungan, salah satunya penurunan kualitas udara (Hidayatullah, 2020). Pemrosesan akhir sampah di TPST memberikan kontribusi berupa gas, debu dan partikulat, serta bau yang sehingga kualitas udara di sekitar lokasi TPST menjadi tercemar (Sachnaz & Rasman, 2019).

2.2 Pencemaran Udara

Menurut (Muliadi, 2016), pencemaran udara adalah masuknya suatu substrat fisik atau bahan atau senyawa kimia ke dalam lingkungan udara dengan kondisi normal hingga mencapai jumlah tertentu sehingga dapat dideteksi oleh manusia dan dapat membahayakan manusia dan makhluk hidup lain. Pencemaran udara dapat pula disebut sebagai perubahan atmosfer akibat dari masuknya kontaminan alami atau buatan ke atmosfer.

Pencemar atau polutan di udara diklasifikasikan menjadi polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer merupakan polutan yang dikeluarkan dari sumber tertentu secara langsung. Contoh polutan primer adalah gas, partikel, asap, debu, uap, kabut, dan aerosol. Berdasarkan ukurannya, polutan primer terbagi menjadi,

partikel debu kasar (ukuran $>10 \mu\text{m}$), partikel debu, uap, dan asap (ukuran $1-10 \mu\text{m}$), dan aerosol (ukuran $<1 \mu\text{m}$). Sedangkan polutan sekunder merupakan polutan akibat terjadinya reaksi antara dua atau lebih bahan kimia di udara. Contohnya reaksi fotokimia dan reaksi disosiasi NO_2 (Muliadi, 2016).

2.3 Particulate Matter 2,5

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

PM merupakan campuran dari unsur fisika dan kimia yang bervariasi tergantung sumbernya. Unsur yang umumnya terkandung dalam PM diantaranya ion sulfat, ion nitrat, ion amonium, ion inorganik (sodium, kalsium, potasium, magnesium, dan klorida), ion organik, elemen karbon, material padat, partikel air, dan logam (tembaga, nikel, kadmium, vanadium, dan seng), serta hidrokarbon aromatik polisiklik. Selain itu, terdapat unsur biologi berupa alergen dan senyawa bakteri. Sumber PM dihasilkan dari kegiatan manusia maupun sumber alami. Sumber kontribusi PM lainnya dapat berasal dari tanah dan debu (Agus et al., 2019)

Menurut ukuran di atmosfer, partikulat diklasifikasikan menjadi partikulat kasar (*coarse*) atau PM_{10} dengan ukuran diameter $<10 \mu\text{m}$ dan partikulat halus (*fine*) atau $\text{PM}_{2,5}$ dengan ukuran diameter $<2,5 \mu\text{m}$. $\text{PM}_{2,5}$ merupakan jenis partikulat yang jika terhirup tidak dapat disaring oleh sistem pernafasan atas dan dapat menembus hingga paru-paru bagian dalam serta kandungannya dapat masuk ke aliran darah (Cholianawati, 2019).

Menurut Lampiran VII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu $\text{PM}_{2,5}$ di udara ambien adalah $55 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk pengukuran 24 jam. Kandungan material dalam $\text{PM}_{2,5}$ berpotensi menimbulkan gangguan pernafasan seperti Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA), kardiovaskular, kanker paru-paru, penyakit paru-paru obstruktif kronis, dan kematian dini (Novirsa et al., 2012 dalam Sembiring, 2020).

2.4 Logam Berat

2.4.1 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) adalah suatu zat pencemar udara yang berwujud partikulat. Menurut Lampiran VII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu kandungan logam timbal (Pb) ialah sejumlah $2 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk durasi pengukuran 24 jam. Sedangkan standar kadar timbal di udara yang ditetapkan WHO ialah $0,5 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk durasi tahunan dan $1 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk durasi pengukuran 24 jam (Mukhtar et al., 2014).

Timbal ditemukan dalam produk-produk seperti mainan, miniatur, tempat lilin, peralatan makanan, pipa, tirai, bahan dan alat dekorasi, maupun barang-barang yang membutuhkan solder (European Commission, 2002). Timbal (Pb) dapat masuk ke dalam tubuh manusia dalam wujud partikulat maupun gas. Secara umum, partikulat memiliki ukuran <5 mikron sehingga mudah masuk ke dalam paru-paru. Timbal yang masuk ke tubuh dapat menyerang otak, menurunkan kemampuan tubuh untuk menyerap kalsium, dan menyebabkan kerusakan pada enzim-enzim esensial (Gunawan, 2015).

2.4.2 Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan logam dengan tingkat toksisitas tinggi terutama dalam bentuk oksidanya. Waktu paruh logam kadmium berkisar 10 sampai 30 tahun (Sudarmaji, 2006 dalam Latifah, 2018). Kadar kadmium pada udara sekitar pabrik baterai dapat mencapai $4\text{-}5 \text{ mg}/\text{m}^3$, sedangkan pada udara ambien di area pedesaan berkisar $0,001\text{-}0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan di area perkotaan dapat mencapai $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sembel, 2015 dalam Latifah, 2018). Dari data yang dimiliki Ontario Ministry of the Environment Ambient Air Quality Criteria/Texas Commission on Environment Quality (OAQC/TCEQ), baku mutu kadmium dalam $\text{PM}_{2,5}$ bernilai $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk pengukuran 24 jam (Mukhtar et al., 2014).

Kadmium yang terhirup oleh manusia melalui debu merupakan masalah yang berbahaya karena dapat mengakibatkan pneumonitis atau pembengkakan paru-paru bahkan kematian. Selain itu, menghirup gas kadmium dengan jumlah tinggi dapat menyebabkan bronkitis saluran pernapasan, radang paru-paru, dan pembengkakan

paru-paru dengan gejala seperti batuk, iritasi hidung, iritasi tenggorokan, sakit kepala, demam, hipertensi, pembesaran jantung, nyeri dada, dan bahkan kematian prematur. Di samping itu, menghirup gas kadmium dapat merusak ginjal dan hati (Sembel, 2015 dalam Latifah, 2018).

2.4.3 Kromium (Cr)

Kromium merupakan suatu logam berat yang apabila konsentrasinya berlebihan di dalam tubuh dapat bersifat karsinogenik. Hal ini karena pada manusia dan hewan, kromium merupakan mikronutrien esensial yang dibutuhkan tubuh dalam konsentrasi yang rendah. Batas konsumsi kromium dianjurkan sebesar 50-200 µg/hari (Jaludin dan Ambeng, 2005 dalam Wulaningtyas, 2018). Berdasarkan data baku mutu Ontario Ministry of the Environment Ambient Air Quality Criteria/Texas Commission on Environment Quality (OAQC/TCEQ), baku mutu Cr bernilai 1,5 µg/m³ untuk waktu pengukuran waktu pengukuran 24 jam (Mukhtar et al., 2014).

Logam kromium dapat berada di berbagai strata lingkungan seperti air, udara, dan tanah. Dibandingkan dengan ion kromium Cr²⁺ dan Cr³⁺, kromium heksavalen merupakan logam kromium dengan tingkat toksis paling tinggi (Wulaningtyas, 2018). Menurut European Commission (2002), kromium (VI) relatif lebih stabil di udara dan air, sedangkan ketika mengalami kontak dengan material organik akan cenderung berubah menjadi kromium (III). Kromium (VI) dapat berdampak bagi kesehatan diantaranya ruam kulit, gangguan perut, masalah pernafasan, menurunkan kekebalan tubuh, ginjal dan kerusakan hati, permasalahan keturunan, kanker paru-paru, bahkan hingga kematian (Mukhtar, 2014).

2.4.4 Besi (Fe)

Zat besi (Fe) merupakan suatu komponen yang penting bagi tubuh dan mempengaruhi seluruh reaksi kimia meskipun sukar diserap. Besi juga merupakan komponen hemoglobin pada darah yaitu sekitar 75% yang memungkinkan terikatnya oksigen pada sel darah merah dan membawanya ke jaringan tubuh. Kelebihan zat besi (Fe) dapat mengakibatkan keracunan dengan gejala muntah, pusing, hipertensi, sakit liver, kerusakan usus, penuaan dini, gangguan penyerapan

vitamin dan mineral, hemokromatis, kanker, bahkan kematian mendadak (Arifin, 2010 dalam Amina, 2012). Debu besi (Fe) juga dapat terakumulasi di alveolus sehingga berdampak pada menurunnya fungsi paru-paru (Lopo, 2011 dalam Amina, 2012).

2.5 Analisis Risiko

Menurut Kemenkes, (2012) analisis risiko adalah suatu proses dengan tujuan melakukan pengendalian terhadap situasi atau kondisi dimana sistem, organisme, atau sub/populasi mungkin terpapar suatu bahaya. Terdapat 4 (empat) langkah dalam tahapan analisis risiko diantaranya :

1. Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya merupakan tahapan awal untuk mengetahui agen risiko secara spesifik yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan apabila tubuh terpajan.

2. Analisis Dosis Respon

Tahapan ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi jalur paparan agen risiko jika masuk ke tubuh manusia, memahami efek kesehatan atau perubahan gejala yang timbul akibat terakumulasinya konsentrasi agen risiko yang masuk ke tubuh, mengetahui nilai konsentrasi referensi (RfC) agen risiko yang dianalisis.

3. Analisis Paparan

Analisis paparan adalah tahapan menghitung intake dari agen risiko yang dianalisis. Data yang diperlukan dapat berupa hasil pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan dan asumsi berdasarkan pertimbangan yang logis ataupun dengan menggunakan nilai default yang ada. Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

- Perhitungan Intake Non Karsinogenik Jalur Pemajanan Inhalasi (I_{NK})

$$I = \frac{C \times R \times T_e \times F_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad (2.1)$$

dimana :

I = Intake/asupan (mg/kg.hari)

C = Konsentrasi agen pada media udara (mg/m³)

R = Laju inhalasi atau volume udara yang masuk per jam (m³/jam)

- Te = Lamanya pajanan satiap harinya (jam/hari)
- Fe = Jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya (hari/tahun)
- Dt = Jumlah tahun pajanan (*realtime exposure*) (tahun)
- Wb = Berat badan manusia (kg)
- tavg = Periode waktu rata-rata (30 tahun x 365 hari/tahun untuk efek non-karsinogen)

4. Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko dimaksudkan untuk menentukan tingkat risiko dari agen untuk menimbulkan gangguan kesehatan dengan karakteristik seperti berat badan, laju intake, waktu, durasi paparan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Perhitungan Tingkat Risiko Non Karsinogenik (HQ)

$$HQ = \frac{I}{RfC} \quad (2.2)$$

dimana :

HQ = Tingkat risiko efek non karsinogenik

I = Intake/asupan

RfC = Nilai referensi pajanan inhalasi dari agen risiko

- Perhitungan Tingkat Risiko Karsinogenik (ECR)

$$ECR = I \times SF \quad (2.3)$$

dimana :

ECR = Tingkat risiko efek karsinogenik

I = Intake/asupan

SF = Nilai referensi efek karsinogenik dari agen risiko

2.6 *High Volume Air Sampler (HVAS)*

Untuk mengukur kadar $PM_{2,5}$ di udara, penggunaan *High Volume Air Sampler* saat ini sangat umum digunakan. Berdasarkan SNI 7119.14:2016 tentang Cara Uji $PM_{2,5}$ menggunakan *High Volume Air Sampler (HVAS)* dengan Metode Gravimetri, HVAS menghisap udara dengan kecepatan volumetrik berkisar $1,1 \text{ m}^3/\text{menit}$ sampai $1,7 \text{ m}^3/\text{menit}$. Pengambilan udara melalui inlet selektif $PM_{2,5}$ lalu dilewatkan melalui filter berdimensi 8×10 inch dengan efisiensi penyaringan minimum 98,5% yang setara dengan porositas $0,3 \mu\text{m}$ (SNI 7119.4, 2016)



Gambar 2.2 *High Volume Air Sampler (HVAS)*

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022

2.7 *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)*

Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) atau disebut Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) digunakan dalam analisis secara kuantitatif unsur logam baik dalam jumlah yang kecil maupun sangat kecil. Metode ini dapat menentukan kadar total logam dalam suatu sampel tanpa pengaruh bentuk molekul logam dalam sampel tersebut. Tingkat kepekaan alat ini cukup tinggi dengan limit deteksi <1 ppm. Spektrofotometri Serapan Atom berprinsip terhadap penyerapan energi sinar tampak atau sinar ultraviolet (Rohman, 2007 dalam Manuhutu, 2009).



Gambar 2.3 *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) Flame*

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022

2.8 Penelitian Terdahulu

Salah satu acuan penulis dalam melaksanakan penelitian adalah dengan membaca referensi penelitian sebelumnya. Dari beberapa referensi tersebut, tidak ditemukan judul yang sama dengan penelitian yang direncanakan. Hasil referensi penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Studi Literatur Terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
1	Kasam	2011	Analisis Resiko Lingkungan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Piyungan, Bantul)	Menilai resiko lingkungan total komponen tata guna lahan (tanah), kualitas udara, kualitas air permukaan, kualitas air tanah, flora darat dan air, fauna darat dan air, tingkat kesehatan masyarakat, dan estetika lingkungan.	Metode analisis kualitatif dan semi kuantitatif.	Komponen dengan nilai resiko tinggi : pencemaran udara, pencemaran air tanah, dan berkurangnya estetika lingkungan. Komponen dengan nilai resiko sedang : pencemaran air permukaan, penurunan jumlah flora air, penurunan jumlah fauna air, dan penurunan tingkat kesehatan masyarakat. Komponen dengan nilai resiko rendah : penggunaan tata guna lahan, penurunan jumlah flora darat, dan penurunan jumlah fauna darat.
2	Falahdina, A	2017	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan PM _{2,5} pada Pedagang Tetap di Terminal Kampung Rambutan	Mengetahui estimasi tingkat risiko paparan PM _{2,5} pada pedagang tetap di Terminal Kampung Rambutan.	Pengukuran parameter PM _{2,5} menggunakan alat ukur Haz-Dust EPAM 5000. Pengumpulan data lainnya dilakukan melalui kuesioner dan wawancara. Analisis mengacu pada Pedoman	Konsentrasi PM _{2,5} pada pengukuran siang hari diperoleh nilai minimum dengan rentang 0-0,266 mg/m ³ dan nilai maksimum dengan rentang 1,116-3,964 mg/m ³ . Nilai tingkat risiko (RQ) maksimum paparan <i>realtime</i> dengan nilai 1,79-13,56 yang berarti berisiko. Sedangkan untuk paparan <i>lifespan</i> , RQ

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
					Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.	maksimum diperoleh nilai >! atau seluruh lokasi berisiko.
3	Latifah, N R	2018	Analisis Karakteristik Logam Berat dalam <i>Particulate Matter 10 Mikron</i> (PM ₁₀) di Kawasan Industri Medan (KIM) Tahap 1	Mengetahui konsentrasi PM ₁₀ udara ambien, mengkarakterisasi logam berat dalam PM ₁₀ , dan menganalisis korelasi kandungan logam berat dalam PM ₁₀ dengan sumber pencemar di Kawasan Industri Medan (KIM).	Pengambilan sampel PM ₁₀ menggunakan <i>High Volume Air Sampler</i> (HVAS). Analisis pengujian logam menggunakan alat <i>Inductively Couple Plasma Atomic Emission Spectrometry</i> (ICP-AES). Analisis data secara kuantitatif, komparatif, dan statistik.	Konsentrasi PM ₁₀ di tiga titik sampling dengan pengukuran 24 jam secara berurut adalah 305,05 µg/Nm ³ ; 66,04 µg/Nm ³ ; dan 382,55 µg/Nm ³ . Hasil karakterisasi logam berat menggunakan ICP-AES menunjukkan terdapat 23 jenis logam yaitu, Ag, Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, La, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, Sn, Sr, dan Zn. Korelasi logam berat dengan sumber pencemar kendaraan, rata-rata memiliki keeratan rendah kecuali logam Hg. Sedangkan korelasi logam berat dengan industri, semuanya memiliki keeratan yang sangat kuat.
4	Zikayah, H	2019	Risiko Paparan Timbal (Pb) dalam PM _{2,5} di	Mengetahui perbandingan konsentrasi timbal (Pb) di udara	Pengambilan sampel PM _{2,5} menggunakan <i>High Volume Air</i>	Konsentrasi timbal (Pb) dalam PM _{2,5} pada hari kerja rata-rata di perempatan kentungan adalah

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
			Udara Ambien Terhadap Polisi di Jalan Ringroad Utara Kabupaten Sleman	ambien di jalan protokol Sleman perempatan Kentungan dan perempatan Condong Catur pada hari kerja dan akhir pekan. Mengetahui intake inhalasi dan risiko logam berat timbal (Pb) dalam PM _{2,5} di udara ambien terhadap kesehatan polisi di perempatan Kentungan dan perempatan Condong Catur. Mengetahui konsentrasi logam berat timbal (Pb) di dalam tubuh polisi yang terekskresi melalui urin.	<i>Sampler</i> (HVAS) dengan metode gravimetri, Analisis timbal (Pb) dengan metode destruksi basah menggunakan alat Spektrofotometri Serapan Atom.	0,0179 µg/Nm ³ dan di perempatan Condong Catur adalah 0,0183 µg/Nm ³ . Sementara konsentrasi timbal (Pb) dalam PM _{2,5} pada akhir pekan di perempatan Kentungan adalah 0,0164 µg/Nm ³ dan di perempatan Condong Catur adalah 0,0175 µg/Nm ³ . Rata-rata intake inhalasi di perempatan kentungan 8,72096E-07 mg/kg.hari sedangkan pada perempatan Condong Catur 9,15736E-07 mg/kg.hari. Tingkat risiko responden aman karena nilai RQ<1.
5	Sodikin, D	2020	Kualitas Udara Ambien di Kawasan Puspitek Serpong	Memperoleh konsentrasi hasil pengukuran TSP, PM _{2,5} , PM ₁₀ , Cl ⁻ , dan NH ₃ di Kawasan Puspitek Serpong. Mengetahui perbandingan hasil	Pengambilan sampel TSP menggunakan HVAS, sampel PM _{2,5} dan PM ₁₀ menggunakan HVAS dan <i>Gent Sampler</i> , sedangkan parameter Cl ⁻ dan NH ₃	Pengujian parameter TSP, PM _{2,5} , PM ₁₀ , Cl ⁻ , dan NH ₃ pada umumnya konsentrasu masih di bawah baku mutu yaitu PP 41/1999. Namun, beberapa nilai konsentrasi PM _{2,5} dengan alat HVAS pada minggu ke 2, 5, dan 6 dengan konsentrasi 70,6

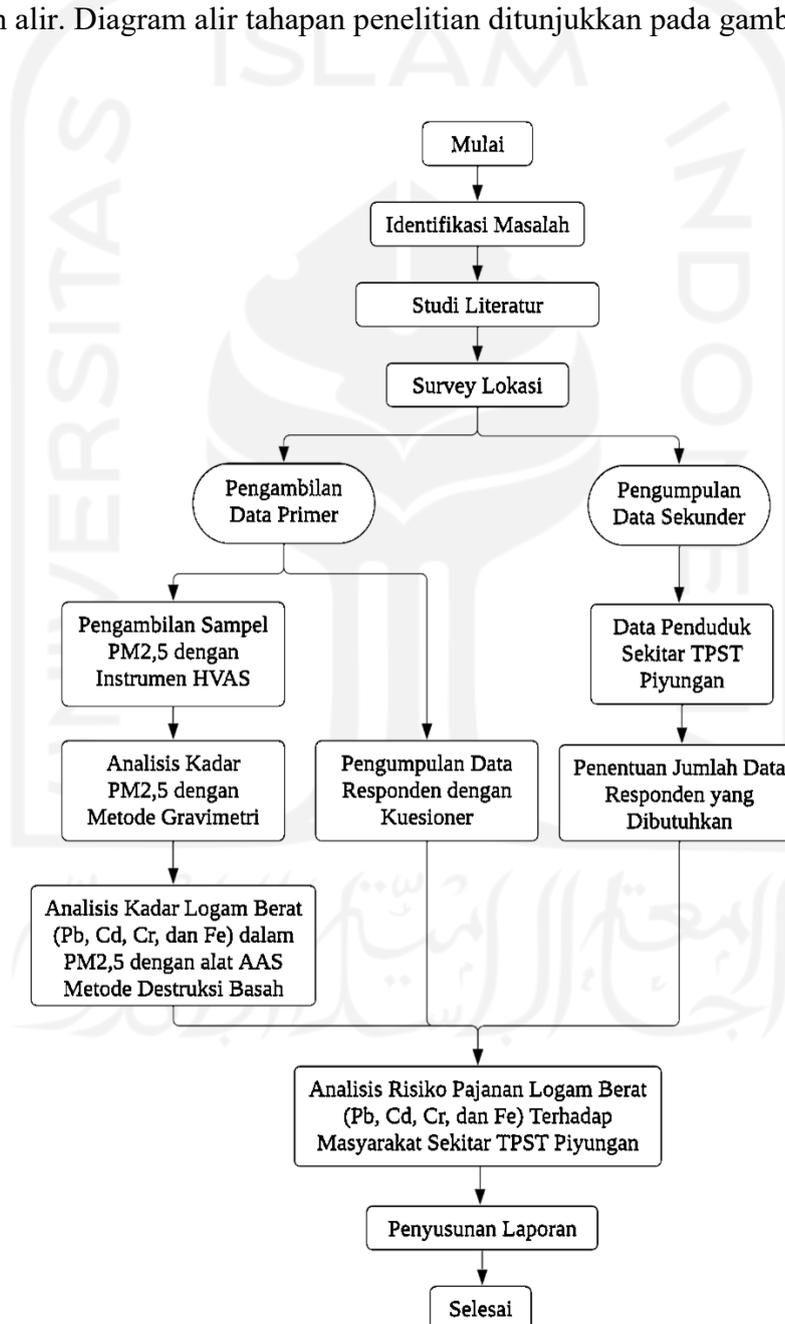
No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil
				pengukuran PM _{2,5} dan PM ₁₀ antara alat HVAS dan LVAS jenis <i>Gent Sampler</i> .	menggunakan <i>four stage filter</i> .	μg/Nm ³ , 75,6 μg/Nm ³ , dan 72,8 μg/Nm ³ telah melebihi baku mutu. Perbandingan hasil pengukuran PM _{2,5} dan PM ₁₀ antara alat HVAS dan LVAS memiliki kecenderungan pola yang sama.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

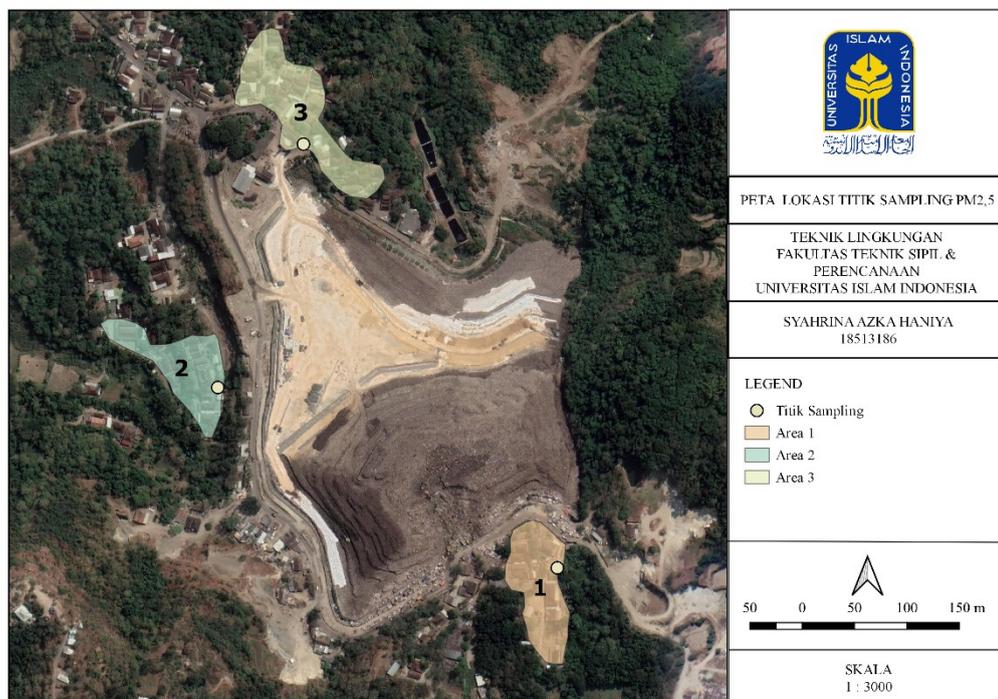
Tahapan yang akan dilakukan pada proses penelitian ini digambarkan dengan diagram alir. Diagram alir tahapan penelitian ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di pemukiman sekitar Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul untuk tahap pengambilan sampel uji dan Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia untuk tahap analisis uji $PM_{2,5}$ dan logam Pb, Cd, Cr, dan Fe. Penentuan titik lokasi sampling ditentukan berdasarkan pertimbangan radius pemukiman masyarakat terhadap lokasi TPST dan tata guna lahan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui distribusi $PM_{2,5}$ berdasarkan jarak antara pemukiman responden dengan lokasi TPST. Titik lokasi dibagi menjadi 3 yaitu titik sampling pada jarak <50 m, jarak 50-100 m, dan jarak >100 m dari TPST. Selain itu, penentuan titik sampling juga mempertimbangkan syarat pemilihan lokasi berdasarkan SNI 19-7119.6-2005 Tentang Penentuan Lokasi Pengambilan Uji Pemantauan Kualitas Udara Ambien. Titik koordinat lokasi pengambilan sampel $PM_{2,5}$ pada penelitian ini berada di koordinat -7.8714723, 110.4312088 untuk titik 1; -7.8698582, 110.4283342 untuk titik 2; dan -7.8677266, 110.4290225 untuk titik 3. Berikut merupakan peta titik lokasi pengambilan sampel pada penelitian ini.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Sampling

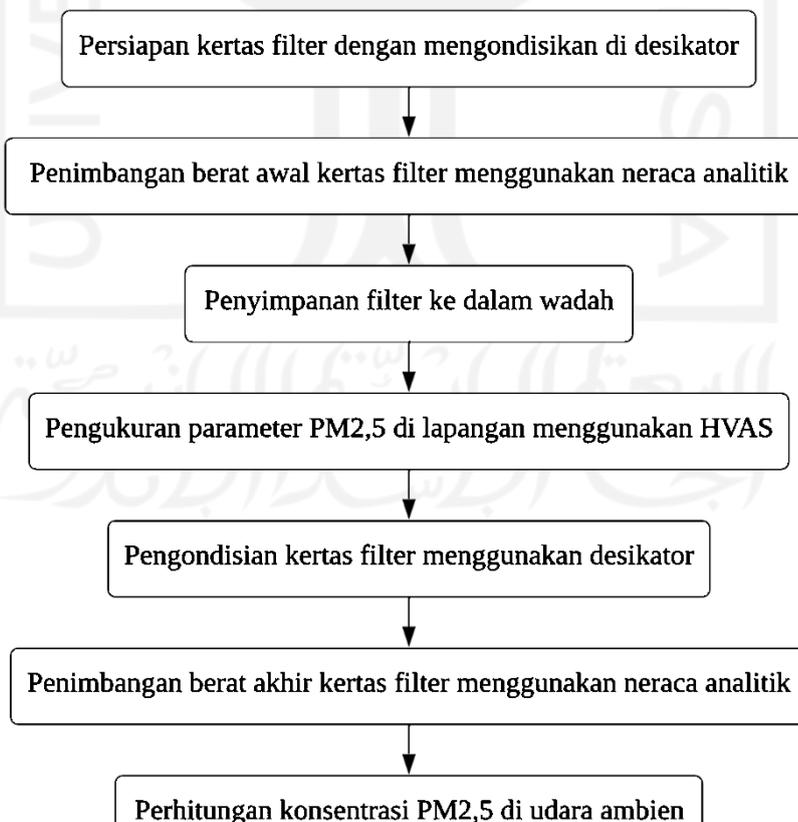
Sumber: SAS Planet, 2022

3.3 Metode Pengambilan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer pada penelitian ini berupa konsentrasi $PM_{2,5}$, konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe, dan data responden dalam bentuk kuesioner. Data sekunder pada penelitian ini berupa data jumlah penduduk di kawasan TPST Piyungan. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian terlampir pada Lampiran 1.

3.3.1 Konsentrasi $PM_{2,5}$

Pengambilan sampel $PM_{2,5}$ dilakukan di 3 (tiga) titik pada lokasi TPST Piyungan, Bantul yang ditentukan berdasarkan radius letak pemukiman terhadap TPST dan mempertimbangkan syarat pemilihan lokasi berdasarkan SNI 19-7119.6-2005 Tentang Penentuan Lokasi Pengambilan Uji Pemantauan Kualitas Udara Ambien. Pengambilan sampel dilakukan selama 24 jam di setiap titik sampling. Berikut ini merupakan diagram alir tahapan pengambilan data konsentrasi $PM_{2,5}$.



Gambar 3.3 Tahapan Pengambilan Data Konsentrasi $PM_{2,5}$

Pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan tahapan pengambilan sampel dalam SNI Nomor 7119.14 : 2016 Tentang Cara Uji Partikel dengan Ukuran $\leq 2,5$ μm (PM_{2,5}) Menggunakan Peralatan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dengan Metode Gravimetri. Pengambilan sampel PM_{2,5} menggunakan instrumen *High Volume Air Sampler* (HVAS) dan kertas filter dengan porositas $<0,3$ μm pada kecepatan aliran 1,1 m³/menit sampai dengan 1,7 m³/menit. Kertas filter yang terpapar PM_{2,5} selanjutnya dianalisa jumlah partikel yang terakumulasi dengan metode gravimetri.

3.3.2 Konsentrasi Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5}

Uji kandungan logam berat pada kertas filter dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometric* (AAS) dan metode destruksi basah yang dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Acuan pengujian konsentrasi logam Pb, Cd, Cr, dan Fe berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 19-7119-4:2005 mengenai Cara Uji Kadar Timbal (Pb) dengan Metode Destruksi Basah Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom Nyala. Tahapan analisis logam dalam PM_{2,5} dapat dilihat pada Lampiran 2.

3.3.3 Data Responden

Metode pengambilan data responden yang akan digunakan untuk analisis risiko kesehatan menggunakan kuesioner pada Lampiran 3. Kuesioner berisi pertanyaan terkait data diri meliputi usia, berat badan, durasi bekerja dalam satu hari, lama bekerja, dan ada tidaknya riwayat merokok, serta keluhan pernafasan. Kriteria inklusi pada penelitian ini antara lain, masyarakat yang menetap di kawasan TPST Piyungan dengan rentang usia 15 sampai 70 tahun (responden dengan usia di bawah 18 tahun harus didampingi dan atas sepengetahuan orang tua), bersedia menjadi subjek penelitian, dan tidak mengalami gangguan komunikasi. Sedangkan kriteria eksklusi pada penelitian ini adalah masyarakat yang tidak menetap di kawasan TPST Piyungan, tidak bersedia menjadi subjek penelitian, dan mengalami gangguan komunikasi.

Jumlah total responden diperoleh dari data jumlah penduduk tingkat RT di kawasan sekitar TPST Piyungan. Diketahui jumlah penduduk tingkat RT di lokasi penelitian adalah 506 jiwa sehingga dengan mempertimbangkan kriteria inklusi dan eksklusi maka jumlah responden pada penelitian ini adalah 50 responden. Jumlah responden pada masing-masing titik pengambilan sampel adalah sebanyak 15 responden pada titik 1, 15 responden pada titik 2, dan 20 responden pada titik 3. Penentuan jumlah responden dihitung berdasarkan Persamaan Slovine, yaitu:

$$n = \frac{N}{1+N(e^2)} \quad (3.1)$$

dimana :

n = Jumlah responden yang dibutuhkan

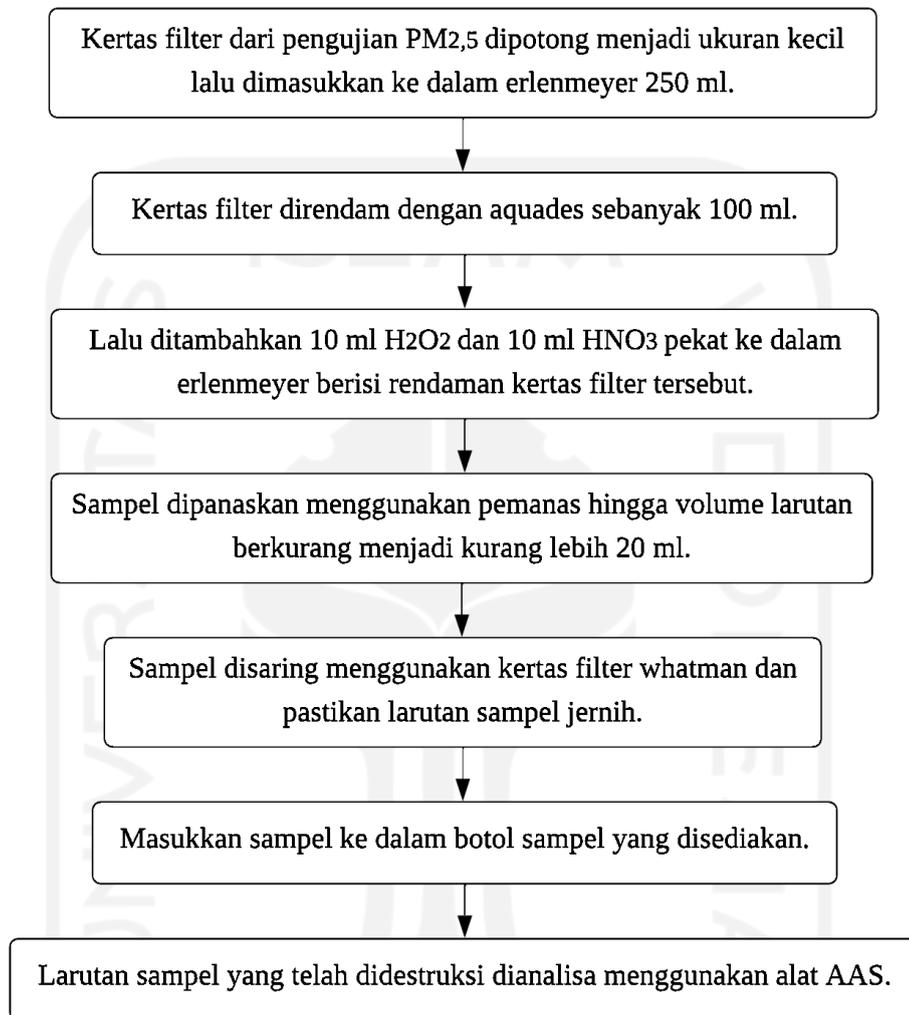
N = Jumlah total responden

e = Koreksi kelonggaran ketelitian kesalahan pengambilan sampel yang masih bisa ditolerir (0,1)

3.4 Prosedur Analisis Data

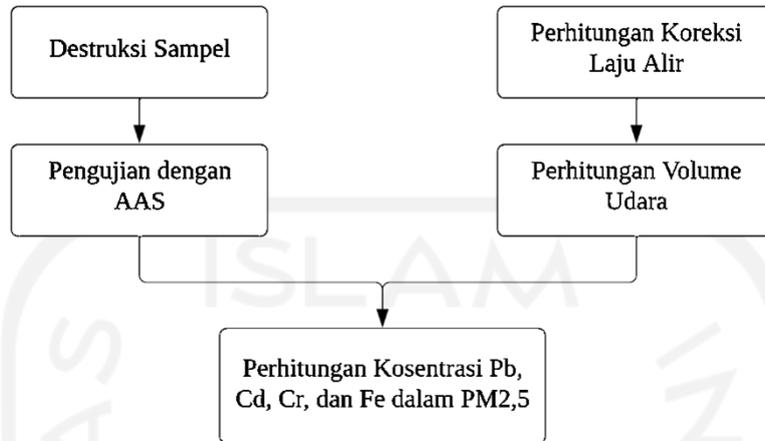
3.4.1 Penetapan Konsentrasi Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5}

Sampel PM_{2,5} dari hasil pengukuran dianalisis dengan mengacu Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 19.7119-4:2005 mengenai cara uji kadar timbal (Pb) dengan metode destruksi basah menggunakan spektrofotometer serapan atom nyala. Berikut merupakan tahapan preparasi sampel untuk pengujian logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe pada penelitian ini:



Gambar 3.4 Tahapan Preparasi Sampel Uji Logam

Tahapan penetapan konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5} adalah sebagai berikut:



Gambar 3.5 Tahapan Penetapan Konsentrasi Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5}

Untuk mendapatkan konsentrasi yang setara dengan waktu pencuplikan 24 jam, konsentrasi PM_{2,5} maupun konsentrasi logam yang diperoleh dikonversikan ke persamaan model konversi Canter (Suhariyono, 2004) dengan tahapan berikut :

- Koreksi laju alir

$$Q_s = Q_o \left[\frac{T_s \times P_o}{T_o \times P_s} \right]^{1/2} \quad (3.2)$$

Q_s = laju alir volume pada kondisi standar(m³/menit)

Q_o = laju alir volume uji(m³/menit), dengan batas bawah sebesar 1,1 m³/menit dan batas atas sebesar 1,7 m³/menit

T_s = temperatur standar, 298 K

T_o = temperatur absolut (293 + t ukur) dimana Q_o c ditentukan

P_s = tekanan barometrik standar, 101,3 kPa (760 mmHg)

P_o = tekanan barometrik dimana Q_o ditentukan

- Volume udara yang diambil

$$V = \frac{Q_{s1} \times Q_{s2}}{2} \times T \quad (3.3)$$

V = volume udara yang diambil (m³)

Q_{s1} = laju alir awal pada pengukuran pertama (m³/menit)

Q_{s2} = laju alir akhir pada pengukuran kedua (m³/menit)

T = durasi pengambilan contoh uji (menit)

- Konversi Canter, untuk membandingkan konsentrasi $PM_{2,5}$ dengan baku mutu, menggunakan persamaan:

$$C1 = C2 \left(\frac{t2}{t1} \right)^p \quad (3.4)$$

C1 = konsentrasi rerata udara dengan lama pencuplikan t1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C2 = konsentrasi rerata udara hasil pengukuran dengan lama pencuplikan t2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

t1 = lama pengambilan contoh 1 (24 jam)

t2 = lama pengambilan contoh 2 dari hasil pengukuran contoh udara (jam)

p = faktor konversi dengan nilai 0,159

- Konsentrasi logam, dengan persamaan:

$$C = \frac{(Ct - Cb) \times Vt \times \frac{S}{St}}{V} \quad (3.5)$$

C = kadar logam di udara ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ct = kadar logam dalam larutan contoh uji yang di spike ($\mu\text{g}/\text{ml}$)

Cb = kadar logam dalam larutan blanko ($\mu\text{g}/\text{ml}$)

Vt = volume larutan contoh uji (ml)

S = luas permukaan filter contoh uji yang terpapar debu (mm^2)

St = luas contoh uji yang digunakan (mm^2)

V = volume udara hisap yang dikoreksi pada kondisi normal 25°C ,
760 mmHg (m^3)

Data kualitas udara ambien berupa konsentrasi $PM_{2,5}$ dan konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel. Data tersebut kemudian dikaitkan dengan data responden untuk dilakukan perhitungan analisis risiko pajanan. Lalu hasilnya akan dibandingkan dengan hasil data responden yang berupa keluhan dan penyakit yang sudah dirasakan. Pengolahan data yang digunakan pada penelitian ini berupa analisis kuantitatif dan data hasil penelitian dipresentasikan dalam bentuk hasil perhitungan matematis.

3.4.2 Analisis Risiko Paparan Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5} Terhadap Kesehatan Masyarakat

Analisis risiko dilakukan dengan mengikuti Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Direktorat Jendral PPPL Kementerian Kesehatan, meliputi:

- 1) *Hazard Identification* (Identifikasi Bahaya)
- 2) *Dose-response Assessment* (Analisis Dosis-Respon)
- 3) *Exposure Assessment* (Analisis Paparan)

Pada penelitian ini, intake logam berat melalui inhalasi. Sehingga, perhitungan intake dihitung menggunakan persamaan :

$$I = \frac{C \times R \times T_e \times F_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \quad (3.6)$$

I = Intake/asupan (mg/kg.hari)

C = Konsentrasi agen pada media udara (mg/m³)

R = Laju inhalasi atau volume udara yang masuk perjam (m³/jam)

T_e = Lamanya paparan setiap harinya (jam/hari)

F_e = Jumlah hari terjadinya paparan setiap tahunnya (hari/tahun)

D_t = Jumlah tahun paparan (*realtime exposure*) (tahun)

W_b = Berat badan manusia (kg)

t_{avg} = Periode waktu rata-rata (30 tahun x 365hari/tahun untuk efek non-karsinogen)

- 4) *Risk Characterization* (Karakterisasi Risiko)

Dalam penelitian ini, tingkat risiko dihitung berdasarkan efek non karsinogenik menggunakan persamaan:

$$HQ = \frac{I}{RfC} \quad (3.7)$$

I = Intake (mg/kg.hari)

HQ = Hazard Quotien

RfC = Reference Concentration (mg/kg.hari)

3.4.3 Data Responden

Data responden yang digunakan dalam penentuan tingkat risiko diantaranya terdiri atas karakteristik berat badan, durasi pajanan, frekuensi pajanan, waktu rata-rata kerja per hari, serta keluhan yang dialami didapat melalui kuesioner. Data responden yang terkumpul kemudian dibandingkan terhadap hasil analisis tingkat risiko dan dampak pajanan logam Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5} terhadap masyarakat sekitar.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Lingkungan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada area pemukiman sekitar TPST Piyungan. Lokasi ini berada pada wilayah RT 02 Desa Bawuran, RT 06 Desa Bawuran 1, dan RT 03 Desa Ngablak. Koordinat lokasi penelitian ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Koordinat Lokasi Penelitian

Titik Lokasi	Titik Koordinat
1	-7.8714723, 110.4312088
2	-7.8698582, 110.4283342
3	-7.8677266, 110.4290225

Titik lokasi penelitian ditentukan berdasarkan jarak lokasi penelitian dengan TPST Piyungan. Lokasi penelitian dibagi menjadi 3 (tiga) yaitu titik 1 dengan jarak <50 meter, titik 2 berjarak 50-100 meter, dan titik 3 dengan jarak >100 meter. Penentuan lokasi juga mengacu pada SNI 19-7119.6-2005 Tentang Penentuan Lokasi Pengambilan Uji Pemantauan Kualitas Udara Ambien dan mempertimbangkan tata guna lahan pemukiman yang ada di kawasan TPST Piyungan.

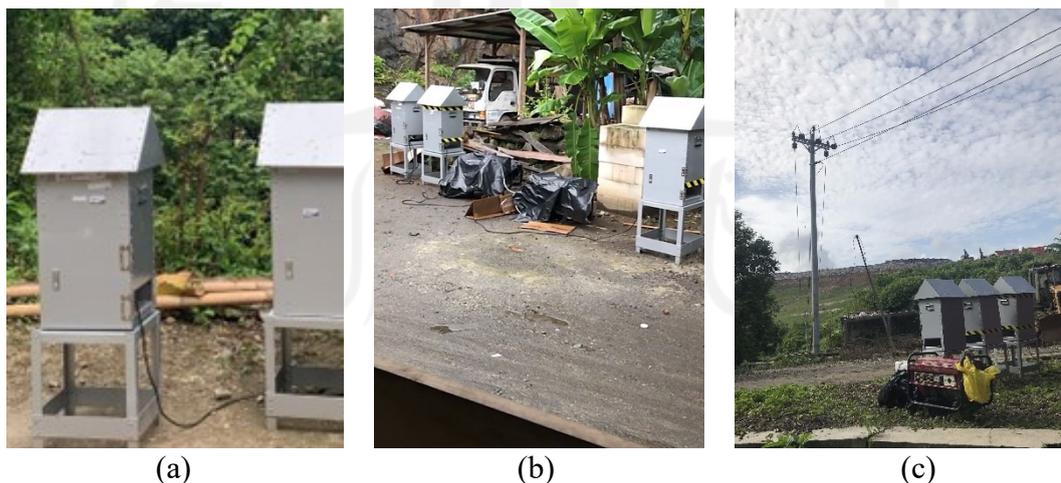
Selama pengambilan sampel uji, dilakukan juga pengukuran dan pencatatan kondisi lingkungan setiap jam. Data kondisi lingkungan yang diukur adalah suhu, kelembapan udara, tekanan udara, dan kecepatan angin. Alat yang digunakan pada saat pencuplikan suhu, kelembapan udara, dan tekanan udara adalah alat Thermo Hygro Barometer, sedangkan untuk pengukuran kecepatan angin menggunakan Anemometer. Pengukuran data tersebut dilakukan karena kondisi lingkungan saat dilakukannya pengambilan sampel memberikan pengaruh pada kondisi kualitas udara ambien sehingga dapat mempengaruhi data hasil pengukuran udara.

Titik lokasi penelitian yang pertama berada di wilayah RT 02 Desa Bawuran dengan jarak area pemukiman terhadap TPST adalah kurang dari 50 meter. Hal tersebut menyebabkan pemukiman pada wilayah ini sangat dekat dengan lokasi

unloading sampah sehingga kondisi pemukiman sangat kotor, banyak lumpur dan genangan, dan juga menjadi tempat lalu lalang sapi. Area ini juga merupakan area terdekat yang terdampak debu dan bau dari sampah. Sebagian besar pemukiman pada lokasi ini ialah tempat tinggal atau asrama pemulung dan hanya sedikit rumah milik masyarakat setempat.

Titik lokasi penelitian kedua berada di wilayah RT 06 Desa Bawuran 1. Jarak lokasi kedua terhadap TPST berkisar 50-100 meter. Lokasinya berada pada bagian barat TPST dan didominasi oleh pemukiman milik masyarakat asli setempat. Hanya sedikit rumah warga yang menjadi tempat pengumpulan sampah sehingga kondisi wilayah ini lebih bersih dibandingkan dengan lokasi pertama.

Lokasi penelitian ketiga berada di wilayah RT 03 Desa Ngablak dengan jarak area pemukiman terhadap TPST adalah lebih dari 100 meter. Lokasi ketiga berada pada bagian utara TPST dan letaknya dekat dengan jalan tempat lalu lalang kendaraan ataupun sapi. Namun, jalan tersebut merupakan jalan buntu sehingga kendaraan yang lewat tidak banyak karena hanya berupa kendaraan proyek atau kendaraan pengepul sampah. Selain itu, tidak banyak pepohonan di area ini. Kondisi lokasi penelitian pada saat pengambilan sampel ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 4.1 Kondisi Lokasi Saat Pengambilan Sampel

(a) Titik 1; (b) Titik 2; (c) Titik 3

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022

Kondisi lokasi penelitian saat dilakukan pengambilan sampel uji udara ambien secara keseluruhan berawan dan hujan. Pengambilan sampel uji udara ambien pada ketiga titik lokasi penelitian dilakukan pada tanggal 07 Maret 2022 hingga 11 Maret 2022. Kondisi cuaca pada saat pengambilan sampel uji secara rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kondisi Cuaca Rata-Rata Saat Pengambilan Sampel

Titik Lokasi	Hari, Tanggal	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Tekanan Udara (mmHg)	Kondisi
1	Kamis, 10 Maret 2022 - Jumat, 11 Maret 2022	27.3	84.0	742.6	Cerah berawan; mendung; hujan pukul 18.00-23.00 WIB
2	Selasa, 08 Maret 2022 - Rabu, 09 Maret 2022	28.1	83.8	746.1	Cerah berawan; hujan pukul 01.30-03.00 WIB
3	Senin, 07 Maret 2022 - Selasa 08 Maret 2022	28.1	79.1	741.6	Cerah berawan; hujan pukul 16.00-19.30 WIB

Kondisi cuaca saat pengambilan sampel uji udara ambien didapatkan rata-rata suhu udara terendah sebesar 27,3°C tepatnya pada titik 1 yang diambil pada hari Kamis, 10 Maret 2022 sampai Jumat, 11 Maret 2022 dan rata-rata suhu udara tertinggi sebesar 28,1 °C pada pengambilan sampel di titik 2 dan titik 3 yaitu pada hari Senin, 07 Maret 2022 sampai Selasa 08, Maret 2022 dan Selasa, 08 Maret 2022 sampai Rabu, 09 Maret 2022. Kelembaban udara terendah yaitu 79,1% pada pengambilan sampel di titik 3 tepatnya pada hari Senin, 07 Maret 2022 dan kelembaban tertinggi yaitu dengan kandungan uap air 84,0% pada pengambilan sampel di titik 1 hari Kamis, 10 Maret 2022 sampai Jumat, 11 Maret 2022.

Sedangkan tekanan udara tertinggi didapat pada pengambilan sampel di titik 2 hari Selasa, 08 Maret 2022 sampai Rabu, 09 Maret 2022 sebesar 746,1 mmHg dan tekanan udara terendah pada pengambilan sampel di titik 3 pada hari Senin, 07 Maret 2022 sampai Rabu, 08 Maret 2022.

Menurut Harisuryo (2015), suhu dan kelembapan memiliki relasi yang saling mempengaruhi. Apabila suhu mengalami kenaikan maka akan diikuti dengan turunnya kelembapan udara. Jika hasil pengukuran kondisi lingkungan dikaitkan dengan penelitian tersebut, menunjukkan hasil bahwa apabila suhu tinggi maka kelembapan udara rendah, begitu juga sebaliknya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suryatika (2019), tekanan udara memiliki korelasi kuat yang saling meniadakan terhadap curah hujan. Apabila curah hujan rendah maka tekanan udara akan cenderung tinggi. Hal ini selaras dengan kondisi di lapangan ketika kondisi curah hujan rendah maka tekanan udara tinggi, begitu pula sebaliknya. Sehingga apabila hasil penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya maka memiliki hasil yang sama.

4.2 Konsentrasi PM_{2,5} dan Logam Berat

4.2.1 Konsentrasi PM_{2,5}

Pengambilan contoh uji dilakukan dengan metode gravimetri dengan menggunakan alat *High Volume Air Sampler* (HVAS) yang merujuk pada SNI 7119-14-2016. Kertas filter hasil pengambilan contoh uji dianalisis di Laboratorium Kualitas Udara Program Studi Teknik Lingkungan UII. Berat kertas filter awal sebelum dilakukan pengambilan sampel berkisar 4,16 hingga 4,17 gram. Setelah dilakukan pengambilan contoh uji, kertas filter ditimbang kembali untuk mengetahui berat partikulat yang terperangkap di kertas filter. Berat partikulat yang terperangkap pada kertas filter ditampilkan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Berat Partikulat PM_{2,5} pada Kertas Filter

Titik Lokasi	Berat Kertas Filter Awal (g)	Berat Kertas Filter Setelah Pengukuran (g)	Berat PM _{2,5} (g)
1	4,1724	4,2264	0,0540
2	4,1619	4,1815	0,0196
3	4,1552	4,1952	0,0400

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh data berat partikulat PM_{2,5} seperti yang disajikan pada tabel di atas. Dapat dilihat bahwa berat partikulat PM_{2,5} tertinggi didapat pada lokasi 1 sebesar 0,0540 gram. Sedangkan lokasi dengan partikulat PM_{2,5} terendah didapat pada lokasi 2 sebesar 0,0196 gram. Pada saat penimbangan kertas filter, instrumen neraca analitik yang digunakan untuk menimbang kertas filter titik lokasi 3 berbeda dari penimbangan kertas filter titik lokasi 1 dan 2 sehingga mempengaruhi hasil timbangan.

Untuk membandingkan konsentrasi PM_{2,5} dengan baku mutu, maka dilakukan konversi menggunakan konversi Canter. Perhitungan konsentrasi PM_{2,5} terlampir pada Lampiran 5. Hasil analisis konsentrasi PM_{2,5} ditampilkan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Konsentrasi PM_{2,5} di Udara Ambien

Titik Lokasi	Konsentrasi PM_{2,5} di Udara (µg/m³)	Baku Mutu PM_{2,5} di Udara Ambien Berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021 (µg/m³)	Keterangan
1	31,74	55	Masih memenuhi standar
2	11,51	55	Masih memenuhi standar
3	23,56	55	Masih memenuhi standar

Berdasarkan hasil analisis konsentrasi PM_{2,5} pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa konsentrasi PM_{2,5} tertinggi diperoleh pada lokasi 1 yaitu 31,74 µg/m³, sedangkan lokasi dengan konsentrasi PM_{2,5} terendah diperoleh pada lokasi 2 yaitu sebesar 11,51 µg/m³. Pada lokasi 1 diperoleh konsentrasi partikulat tertinggi dikarenakan beberapa faktor antara lain, lokasi tersebut sangat dekat dengan TPST Piyungan yaitu >50 meter yang mana tanah dan debu TPST sangat mungkin bertebaran. Selain itu, lokasi 1 juga dekat dengan titik *unloading* TPST Piyungan yaitu <20 meter dimana banyak kendaraan yang lalu lalang sehingga menyebabkan konsentrasi PM_{2,5} tinggi dibandingkan lokasi penelitian lainnya tetapi masih memenuhi standar baku mutu.

Berdasarkan data jumlah kendaraan yang keluar masuk TPST Piyungan periode Maret 2022, terdapat rata-rata 281 kendaraan yang keluar masuk kawasan ini setiap harinya. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Azhar et al. (2016) dimana jumlah kendaraan yang lalu lalang mempengaruhi kadar $PM_{2,5}$ di udara sekitar. Wilayah yang berdekatan dengan jalan yang ramai memiliki rata-rata kadar $PM_{2,5}$ lebih tinggi dibanding wilayah lain dengan kondisi yang tidak seramai wilayah sebelumnya. Hal ini karena kendaraan merupakan salah satu sumber polutan di udara.



Gambar 4.2 Kondisi Lokasi *Unloading* Sampah

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022

Pada lokasi 2 diperoleh konsentrasi $PM_{2,5}$ terendah dibandingkan lokasi lainnya. Hal ini karena pada lokasi tersebut terdapat lebih banyak pepohonan. Kondisi lokasi yang memiliki banyak vegetasi memberikan pengaruh terhadap penyerapan radiasi di sekitar lokasi sehingga menghambat naiknya suhu pada udara di atasnya. Suhu yang cenderung rendah akan menyebabkan kecenderungan udara menjadi lebih stabil dan polutan tidak mudah jatuh sehingga konsentrasi polutan lebih rendah (Turyanti, 2011).

Pada penelitian terdahulu lainnya yang meneliti terkait pengaruh keberadaan pohon terhadap pengurangan $PM_{2,5}$ ditemukan bahwa pohon dapat memberikan pengaruh terhadap kecepatan aliran udara. Daun dan cabang pohon akan

menghambat pergerakan udara dan meningkatkan intensitas turbulensi melalui difusi turbulen sehingga dapat meningkatkan penyisihan partikel di udara. Selain itu, pohon juga dapat mengurangi konsentrasi $PM_{2,5}$ melalui penyerapan dan pemindahan (Ji & Zhao, 2018). Tanaman dapat menyerap polutan melalui bagian tajuk tanaman terutama daunnya. Penyerapan polutan dapat melalui dua cara yaitu diserap (absorp) atau dijerap (adsorp). Absorp berarti polutan masuk ke struktur daun melalui stomata, sedangkan adsorp berarti hanya menempel di permukaan daun (Direktorat Jenderal Hortikultura Direktorat Budidaya dan Pascapanen Florikultura, 2012 dalam Papuangan & Djurumudi, 2014). Selain sebagai tempat pertukaran gas, stomata juga menjadi salah satu jalur masuknya polutan dari udara. Polutan seperti timbal berukuran partikel $<2 \mu m$ akan masuk melalui stomata yang ukurannya lebih besar yaitu sekitar $10 \mu m$ (Ebadi, 2005 dalam Sulistiana & Setijorini, 2016).

Di samping itu, kondisi cuaca yang hujan pada saat pengukuran mempengaruhi rendahnya konsentrasi $PM_{2,5}$ pada titik lokasi penelitian tersebut. Menurut Hutaeruk et al. (2020), berdasarkan pola musiman, konsentrasi $PM_{2,5}$ mengalami kenaikan pada bulan peralihan musim kemarau dan saat musim kemarau. Sebaliknya, ketika musim hujan konsentrasi $PM_{2,5}$ memiliki kecenderungan rendah. Rendahnya konsentrasi $PM_{2,5}$ ketika musim hujan dikarenakan kecepatan angin yang cenderung tinggi pada saat hujan sehingga menentukan seberapa jauh polutan terbawa. Sedangkan ketika musim kemarau, curah hujan sedikit dan kecepatan angin cenderung rendah menyebabkan polutan terperangkap di bawah dan terjadi penumpukan partikulat di udara sehingga konsentrasi $PM_{2,5}$ cenderung tinggi.

Kemudian, konsentrasi $PM_{2,5}$ yang didapat pada lokasi 3 adalah sebesar $23,56 \mu g/m^3$. Lokasi ini berjarak >100 meter dari TPST Piyungan dan berdekatan dengan jalan dimana menjadi tempat lalu lalang kendaraan seperti truk. Konsentrasi $PM_{2,5}$ pada titik lokasi 3 mengalami kenaikan karena arah angin pada saat pengambilan sampel cenderung bergerak ke arah barat laut dan utara dimana sesuai dengan lokasi titik 3 yang berada di barat laut TPST Piyungan. Menurut Turyanti (2011), sebaran polutan di udara dipengaruhi oleh arah angin dan kecepatan angin. Arah angin

memberi pengaruh terhadap arah daerah paparan, sedangkan kecepatan angin mempengaruhi seberapa jauh polutan akan terbawa.

4.2.2 Konsentrasi Logam Berat

Pada penelitian ini parameter logam berat yang diuji adalah timbal (Pb), kadmium (Cd), kromium (Cr), dan besi (Fe). Kertas filter hasil pengukuran PM_{2,5} didestruksi kemudian dilakukan pembacaan konsentrasi logam beratnya menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) yang mengacu pada SNI 19-7119-4:2005 Tentang Cara Uji Kadar Timbal (Pb) dengan Metode Destruksi Basah Menggunakan AAS nyala. Pembacaan konsentrasi logam berat dilakukan secara duplo dan diuji pada hari yang berbeda yaitu pada tanggal 31 Maret 2022 dan 14 April 2022. Hasil uji logam berat dalam PM_{2,5} ini akan dijadikan sebagai salah satu faktor dalam perhitungan analisis risiko paparan terhadap kesehatan masyarakat setempat.

4.2.2.1 Konsentrasi Timbal (Pb)

Pembacaan konsentrasi timbal (Pb) dilakukan dengan panjang gelombang λ 283,3 nm dan dilakukan secara duplo. Hasil pembacaan AAS dan tabel perhitungan konsentrasi logam Pb dalam PM_{2,5} terdapat pada Lampiran 6. Hasil perhitungan konsentrasi logam Pb dalam PM_{2,5} ditampilkan pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Konsentrasi Timbal (Pb)

Kode Sampel	Konsentrasi Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Baku Mutu Pb Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Pembacaan AAS ke-1	Pembacaan AAS ke-2	Rata-Rata	
Titik 1	0,00134	0,00172	0,00153	2
Titik 2	0,00195	0,00202	0,00199	2
Titik 3	0,00113	0,00275	0,00194	2
	Rata-Rata		0,00182	2

Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa konsentrasi Pb dalam PM_{2,5} pada udara sekitar TPST Piyungan memperoleh rata-rata sebesar 0,00182 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Titik lokasi dengan konsentrasi Pb rata-rata tertinggi adalah titik 2 yaitu

0,00199 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan titik lokasi dengan konsentrasi Pb terendah adalah titik 1 yaitu 0,00153 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari hasil pembacaan konsentrasi Pb tersebut, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi Pb di kawasan TPST Piyungan masih memenuhi baku mutu Pb di udara ambien berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 yaitu sebesar 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Salah satu sumber Pb di kawasan TPST Piyungan berasal dari kendaraan pengangkut sampah yang berlalu lalang mulai pukul 06.00 sampai 17.00 WIB tanpa henti dengan rata-rata kendaraan yang keluar masuk berjumlah 281 kendaraan dalam sehari. Data jumlah kendaraan yang keluar masuk TPST Piyungan terlampir pada Lampiran 8.

Konsentrasi Pb di udara secara alami berkisar 0,0001 – 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pb yang bercampur dengan oli dan bahan bakar melalui proses di dalam mesin, akan menghasilkan Pb dan gas buang lainnya melalui knalpot. Senyawa alkil Pb digunakan sebagai campuran untuk meningkatkan bilangan oktan bahan bakar (Kumaat, 2012). Pb digunakan sebagai campuran untuk meningkatkan bilangan oktan bahan bakar. Menurut *Environmental Protection Agency* (EPA), 75% kandungan timbal pada bahan bakar kendaraan bermotor akan keluar bersama gas buang lain melalui asap knalpot (Gustiara et al., 2019). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Utami (2021) terkait kadar timbal pada bahan bakar di SPBU Kota Makassar menunjukkan bahwa beberapa jenis bahan bakar pada beberapa SPBU tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan Dirjen Migas.

Hal tersebut membuat area *unloading* sampah dan jalan sebagai sumber terbesar sebaran Pb di kawasan tersebut. Konsentrasi rata-rata Pb pada titik 2 bernilai tinggi hal ini dikarenakan lokasi tersebut berada pada arah barat laut dari jalan yang mana sesuai dengan arah angin ketika pengambilan sampel. Salah satu faktor yang mempengaruhi sebaran polutan adalah arah angin. Arah angin menentukan arah daerah paparan polutan (Turyanti, 2011). Sebaliknya, titik 1 memiliki konsentrasi Pb terendah karena lokasi tersebut meskipun dekat dengan area *unloading* sampah tetapi terletak di bagian tenggara sehingga berlawanan dari arah angin.

Berdasarkan data hasil analisis konsentrasi Pb dalam $\text{PM}_{2,5}$ pada udara ambien kawasan TPST Piyungan, Bantul tersebut, jika dibandingkan dengan studi

terdahulu terkait konsentrasi Pb dalam PM_{2,5} di Jalan Ringroad Utara, Sleman oleh Zikayah (2019), besar konsentrasi Pb dalam PM_{2,5} pada rentang 0,0117-0,0212 µg/m³. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi Pb dalam PM_{2,5} pada udara ambien TPST Piyungan pada saat pengukuran masih cenderung lebih rendah dikarenakan jumlah kendaraan yang berlalu lalang lebih sedikit dibandingkan pada udara ambien sekitar Jalan Ringroad Utara, Sleman.

4.2.2.2 Konsentrasi Kadmium (Cd)

Pembacaan konsentrasi kadmium (Cd) dilakukan secara duplo dengan panjang gelombang λ 228,8 nm. Konsentrasi logam Cd dalam PM_{2,5} dan tabel perhitungan konsentrasi logam Cd dalam PM_{2,5} terdapat pada Lampiran 6. Hasil perhitungan konsentrasi logam Cd dalam PM_{2,5} ditampilkan pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Konsentrasi Kadmium (Cd)

Kode Sampel	Konsentrasi Cd (µg/m ³)			Baku Mutu Cd Berdasarkan OAQC/TCEQ (µg/m ³)
	Pembacaan AAS ke-1	Pembacaan AAS ke-2	Rata-Rata	
Titik 1	0,00143	0,00161	0,00152	2
Titik 2	0,00144	0,00151	0,00147	2
Titik 3	0,00127	0,00146	0,00136	2
	Rata-Rata		0,00145	2

Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa konsentrasi Cd dalam PM_{2,5} pada udara sekitar TPST Piyungan berkisar antara 0,00127 – 0,00161 µg/m³ dengan nilai rerata sebesar 0,00145 µg/m³. Titik lokasi dengan konsentrasi Cd rata-rata tertinggi adalah titik 1 yaitu 0,00152 µg/m³ dan titik lokasi dengan konsentrasi Cd terendah adalah titik 3 yaitu 0,00136 µg/m³. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa konsentrasi logam Cd masih memenuhi standar baku mutu Cd di udara ambien menurut OAQC/TCEQ yaitu 2 µg/m³.

Titik lokasi 1 memiliki konsentrasi rata-rata Cd tertinggi karena lokasi tersebut jaraknya sangat dekat dengan TPST dan sumber sampah. Sebaliknya titik lokasi 3 memiliki konsentrasi Cd terendah karena merupakan titik dengan jarak terjauh dari TPST dan sumber sampah. Sumber logam Cd di udara kawasan TPST

Piyungan berasal dari sampah. Menurut Adhani (2017) kandungan Cd dapat ditemukan pada bahan-bahan produksi seperti baterai, zat pewarna atau tinta, dan bahan yang mengandung Polyvinil Chlorida (PVC). Selain itu, Cd juga banyak digunakan pada proses produksi industri ringan seperti pada proses pengolahan tekstil, pengolahan minuman, pengolahan roti, dan pengolahan ikan. Sumber logam berat Cd juga diduga dapat berasal dari proses pembakaran sampah-sampah yang mengandung Cd yang dilakukan di sekitar kawasan TPST Piyungan juga memberikan kontribusi pelepasan logam berat ke udara ambien.

Logam berat lepas ke udara karena proses berupa pelapukan, pemutusan rantai polimer, korosi, dan lain sebagainya. Terdapat tiga fraksi logam berat dalam proses ekstraksinya. Pertama, proses ekstraksi yang melibatkan pelarutan atau peluruhan logam menjadi bentuk karbonat dan Fe sulfida yang kemudian teradsorpsi dan mengalami pengompleksan menjadi fase padat lainnya. Kedua, proses ekstraksi yang melibatkan Fe dalam bentuk oksida atau hidroksida dan Zn sulfida. Ketiga, proses ekstraksi yang melibatkan senyawa organik dan sulfida. Logam berat Cd di udara dihasilkan oleh barang-barang yang memiliki kandungan kadmium. Kadmium akan cenderung berubah dari bentuk lemah menjadi lebih kuat dengan bantuan sulfida dan senyawa organik (Flyhammar, 1997). Logam berat akan melekat pada partikulat di udara ambien. Permukaan partikel yang sangat halus cenderung lebih mudah dilekati oleh logam berat dibandingkan partikel dengan permukaan kasar (Popoola et al., 2018).

4.2.2.3 Konsentrasi Kromium (Cr)

Pembacaan konsentrasi kromium (Cr) dilakukan dengan panjang gelombang λ 357,9 nm dan dilakukan secara duplo. Hasil pembacaan AAS konsentrasi logam Cr dalam PM_{2,5} dan tabel perhitungan konsentrasi logam Cr dalam PM_{2,5} terdapat pada Lampiran 6. Hasil perhitungan konsentrasi logam Cr dalam PM_{2,5} ditampilkan pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Konsentrasi Kromium (Cr)

Kode Sampel	Konsentrasi Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Baku Mutu Cr Berdasarkan OAQC/TCEQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Pembacaan AAS ke-1	Pembacaan AAS ke-2	Rata-Rata	
Titik 1	0,00034	0,00019	0,00026	1,5
Titik 2	0,00060	0,00024	0,00042	1,5
Titik 3	0,00079	0,00030	0,00054	1,5
	Rata-Rata		0,00041	1,5

Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa konsentrasi Cr dalam $\text{PM}_{2,5}$ pada udara sekitar TPST Piyungan berkisar antara 0,00019 – 0,00079 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai rerata sebesar 0,00041 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Titik lokasi dengan konsentrasi Cr rata-rata tertinggi adalah titik 3 yaitu 0,00054 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan titik lokasi dengan konsentrasi Cr terendah adalah titik 1 yaitu 0,00026 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Rendahnya konsentrasi Cr di titik 1 diduga disebabkan oleh kondisi cuaca saat pengambilan sampel di titik tersebut yang menunjukkan suhu rata-rata terendah yaitu 27,3°C dibandingkan titik lain. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Turyanti (2011), dimana suhu yang cenderung rendah akan menyebabkan udara cenderung lebih stabil dan polutan tidak mudah jatuh sehingga konsentrasi polutan cenderung lebih rendah. Dari hasil pembacaan konsentrasi Cr tersebut, konsentrasi rata-rata Cr di ketiga titik lokasi pengambilan sampel masih memenuhi baku mutu Cr di udara ambien menurut OAQC/TCEQ yaitu 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Salah satu sumber sebaran Cr terbesar di udara kawasan TPST Piyungan berasal dari tumpukan sampah. Menurut Sutyasmi & Supraptiningsih (2014), logam Cr dihasilkan oleh sampah dengan bahan kulit tersamak (*leather*) dan limbah pada *shaving* samak krom. Selain itu, bahan yang mengandung Cr lainnya seperti pewarna, cat, pengawet kayu, bahan-bahan perlengkapan seni grafis dan melukis, peralatan las, dan peralatan rumah tangga yang mengandung bahan pelapis (*plating*). Senyawa krom dapat berubah menjadi bentuk senyawa lainnya dengan melalui fase oksida atau hidroksida dengan melibatkan senyawa sulfida dan senyawa organik (Flyhammar, 1997).

4.2.2.4 Konsentrasi Besi (Fe)

Pembacaan konsentrasi besi (Fe) dilakukan secara duplo dengan panjang gelombang λ 248,3 nm. Konsentrasi logam Fe dalam PM_{2,5} hasil pembacaan AAS dan tabel perhitungan konsentrasi logam Fe dalam PM_{2,5} terdapat pada Lampiran 6. Hasil perhitungan konsentrasi logam Fe dalam PM_{2,5} ditampilkan pada Tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 Konsentrasi Besi (Fe)

Kode Sampel	Konsentrasi Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	Pembacaan AAS ke-1	Pembacaan AAS ke-2	Rata-Rata
Titik 1	0,0654	0,0727	0,0690
Titik 2	0,0723	0,0782	0,0753
Titik 3	0,0987	0,1062	0,1025
	Rata-Rata		0,0823

Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa konsentrasi Fe dalam PM_{2,5} pada udara sekitar TPST Piyungan berkisar antara 0,0654 – 0,1062 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai rerata sebesar 0,0823 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Titik lokasi dengan konsentrasi Fe rata-rata tertinggi adalah titik 3 yaitu 0,1025 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan titik lokasi dengan konsentrasi Fe terendah adalah titik 1 yaitu 0,0690 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi logam Fe di titik 3 memiliki rata-rata tertinggi hal ini karena lokasi tersebut sangat dekat lokasi proyek perluasan TPST yang mana banyak dilakukan pekerjaan menggunakan mesin dan alat berat. Pekerjaan mesin dan alat berat merupakan salah satu sumber pencemar debu logam keras (Prayudi, 2005). Sumber sebaran logam Fe di udara kawasan TPST Piyungan lainnya berasal dari alat-alat berbahan dasar besi (Santoso et al., 2016).

Dari hasil uji konsentrasi logam Pb, Cd, Cr, dan Fe pada penelitian ini, diketahui bahwa logam dengan konsentrasi tertinggi hingga terendah di udara ambien kawasan TPST Piyungan adalah logam Fe (0,0823 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Pb (0,00182 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Cd (0,00145 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > Cr (0,00041 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Terdapat penelitian sebelumnya yang mengukur konsentrasi Pb, Cd, Cr, dan Ni dalam PM_{2,5} menggunakan *bag dust collector* dari udara ambien di sekitar tempat pengolahan sampah kota di Shanghai dengan hasil yang menunjukkan urutan konsentrasi logam

dari yang tertinggi hingga terendah adalah logam $Pb > Cd > Cr > Ni$ (Shang et al., 2019). Selain itu, sebuah studi serupa lainnya terkait konsentrasi logam dalam $PM_{2,5}$ di udara ambien area insinerator sampah di Zhejiang, Cina menunjukkan konsentrasi logam secara berturut-turut dari terbesar hingga terendah adalah logam $Pb > Mn > Cd > Cr > As > Ni > Hg$ (Xu et al., 2020). Hal ini sejalan dengan hasil konsentrasi logam berat yang diperoleh pada penelitian ini. Senyawa besi akan berubah menjadi bentuk senyawa lainnya melalui fase oksida atau hidroksida dengan melibatkan senyawa karbonat dan sulfida ketika kondisi lingkungan berubah dari oksik menjadi anoksik (Flyhammar, 1997).

4.3 Karakteristik Responden

Jumlah responden yang diambil sebanyak 50 ditentukan oleh persamaan Slovine dan dengan mempertimbangkan kriteria inklusi dan eksklusi responden. Kriteria inklusi pada penelitian ini antara lain, masyarakat yang menetap di kawasan TPST Piyungan dengan rentang usia 10 sampai 70 tahun, bersedia menjadi subjek penelitian, dan tidak mengalami gangguan komunikasi. Sedangkan kriteria eksklusi pada penelitian ini adalah masyarakat yang tidak menetap di kawasan TPST Piyungan, tidak bersedia menjadi subjek penelitian, dan mengalami gangguan komunikasi. Responden dalam penelitian ini memiliki rentang usia 15 tahun hingga 70 tahun, rentang berat badan responden adalah 39 kg hingga 89 kg, rentang lama tinggal responden di kawasan TPST Piyungan adalah 2 tahun hingga 70 tahun, serta sebanyak 17 dari 50 responden memiliki riwayat merokok.

4.3.1 Karakteristik Responden Berdasarkan Jenis Kelamin

Keragaman responden berdasarkan jenis kelamin dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut ini:

Tabel 4.9 Karakteristik Responden Berdasarkan Jenis Kelamin

Jenis Kelamin	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Jumlah	Persentase
Laki-Laki	9	6	13	28 orang	56%
Perempuan	6	9	7	22 orang	44%
Total	15	15	20	50 orang	100%

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa responden yang paling banyak dalam penelitian ini berdasarkan jenis kelamin adalah laki-laki yaitu sebanyak 28 orang atau 56%. Sedangkan responden perempuan berjumlah 22 orang atau 44%.

4.3.2 Karakteristik Responden Berdasarkan Usia

Karakteristik responden berdasarkan usia menguraikan gambaran mengenai usia responden dalam penelitian ini. Karakteristik responden berdasarkan usia ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 4.10 Karakteristik Responden Berdasarkan Usia

Usia	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Jumlah	Persentase
< 20 tahun	1	1	1	3 orang	6%
21 - 30 tahun	4	4	4	12 orang	24%
31 - 40 tahun	1	5	6	12 orang	24%
41 - 50 tahun	5	1	4	10 orang	20%
51 - 60 tahun	2	1	2	5 orang	10%
> 60 tahun	2	3	3	8 orang	16%
Total	15	15	20	50 orang	100%

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa kelompok usia dengan jumlah paling sedikit adalah responden berusia kurang dari 20 tahun yang berjumlah 3 orang atau 6%. Sedangkan kelompok usia responden yang paling banyak terdapat di usia 21-30 tahun dan 31-40 tahun yang masing-masing berjumlah 12 orang atau 24%. Untuk responden berusia 41-50 tahun memiliki jumlah 10 orang atau 20%. Kemudian, responden berusia 51-60 tahun berjumlah 5 orang atau 10%. Terakhir, kelompok responden berusia lebih dari 60 tahun berjumlah 8 orang atau 16%. Usia responden termuda pada penelitian ini adalah 15 tahun, sedangkan usia responden tertua adalah 70 tahun. Hal tersebut karena lokasi penelitian dilakukan di area pemukiman dan waktu dilakukannya penelitian didominasi pada pagi hingga siang hari, sehingga responden yang diambil kebanyakan adalah orang dewasa yang berada di rumah atau bekerja di sekitar tempat tinggalnya.

4.3.3 Karakteristik Responden Berdasarkan Berat Badan

Karakteristik responden berdasarkan berat badan memberi gambaran keragaman berat badan responden. Berikut ditampilkan karakteristik responden berdasarkan berat badan dalam penelitian ini:

Tabel 4.11 Karakteristik Responden Berdasarkan Berat Badan

Berat Badan	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Jumlah	Persentase
< 40 kg	1	0	0	1 orang	2%
41 - 50 kg	5	3	6	14 orang	28%
51 - 60 kg	2	5	9	16 orang	32%
61 - 70 kg	5	5	3	13 orang	26%
71 - 80 kg	2	1	1	4 orang	8%
> 80 kg	0	1	1	2 orang	4%
Total	15	15	20	50 orang	100%

Berdasarkan Tabel 4.11 di atas, diketahui bahwa kelompok berat badan responden dengan jumlah tertinggi pada penelitian ini adalah berat badan 51-60 kg yang berjumlah 16 orang atau 32%. Sedangkan kelompok berat badan responden dengan jumlah terendah pada penelitian ini adalah berat badan kurang dari 40 kg yang berjumlah 1 orang atau 2%. Untuk kelompok berat badan 41-50 kg berjumlah 14 orang atau 28%. Sedangkan kelompok berat badan 61-70 kg memiliki jumlah 13 orang atau 26%. Kemudian, responden dengan berat badan 71-80 kg pada penelitian ini berjumlah 4 orang atau 8%.

4.3.4 Karakteristik Responden Berdasarkan Lama Tinggal

Keragaman responden berdasarkan lama tinggal di kawasan sekitar TPST Piyungan ditampilkan pada Tabel 4.12 berikut ini:

Tabel 4.12 Karakteristik Responden Berdasarkan Lama Tinggal

Lama Tinggal	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Jumlah	Persentase
< 5 tahun	2	0	0	2 orang	4%
5 - 10 tahun	1	1	0	2 orang	4%

Lama Tinggal	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Jumlah	Persentase
11 - 15 tahun	2	4	0	6 orang	12%
16 - 20 tahun	0	0	3	3 orang	6%
21 - 25 tahun	1	3	2	6 orang	12%
> 26 tahun	9	7	15	31 orang	62%
Total	15	15	20	50 orang	100%

Berdasarkan Tabel 4.12 di atas, dapat diketahui bahwa kelompok lama tinggal responden dengan jumlah terbanyak adalah responden dengan lama tinggal lebih dari 26 tahun yang artinya didominasi oleh masyarakat yang sudah menetap di kawasan Piyungan sebelum TPST Piyungan beroperasi yaitu sebanyak 31 orang atau 62%. Sedangkan jumlah responden terendah adalah dengan lama tinggal kurang dari 5 tahun dan dengan rentang 5-10 tahun berjumlah masing-masing sebanyak 2 orang atau 4% yang mana merupakan pendatang dan keduanya berprofesi sebagai ibu rumah tangga. Kelompok lama tinggal responden dengan rentang 11-15 tahun dan 21-25 tahun berjumlah masing-masing 6 orang atau 12%. Kemudian, jumlah responden dengan lama tinggal 16-20 tahun berjumlah 3 orang atau 6%.

4.3.5 Karakteristik Responden Berdasarkan Riwayat Merokok

Riwayat merokok mempengaruhi risiko kesehatan masyarakat. Karakteristik responden berdasarkan riwayat merokok memberi gambaran jumlah responden yang memiliki dan tidak memiliki riwayat merokok. Berikut ditampilkan karakteristik responden berdasarkan riwayat merokok dalam penelitian ini:

Tabel 4.13 Karakteristik Responden Berdasarkan Riwayat Merokok

Riwayat Merokok	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Jumlah	Persentase
Ya	4	6	7	17 orang	34%
Tidak	11	9	13	33 orang	66%
Total	15	15	20	50 orang	100%

Berdasarkan Tabel 4.13 di atas, dapat diketahui bahwa terdapat 17 orang atau sebanyak 34% responden dalam penelitian ini memiliki riwayat merokok. Sedangkan 33 responden atau 66% lainnya tidak memiliki riwayat merokok. Dari 17 responden yang memiliki riwayat merokok, 1 diantaranya sudah berhenti merokok. Rata-rata lama waktu responden merokok adalah 24 tahun dan rata-rata konsumsi rokok perhari adalah 15 batang rokok.

4.4 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

4.4.1 Analisis Paparan (*Exposure Assessment*)

Analisis paparan (*Exposure Assessment*) merupakan penilaian kontak untuk mengenali jalur paparan agen risiko agar dapat mengetahui konsentrasi agen risiko yang masuk ke dalam tubuh. Analisis paparan dilakukan dengan menghitung jumlah asupan agen risiko yang masuk tubuh melalui paparan inhalasi. Perhitungan *intake* menggunakan persamaan (3.6).

Intake yang dihitung meliputi *intake lifetime* yang merupakan perhitungan paparan dengan durasi seumur hidup. Durasi paparan standar yang digunakan dalam paparan *lifetime* adalah 30 tahun yang mana menjadi nilai standar waktu diperkirakan efek non karsinogenik terwujud pada manusia. Perhitungan paparan dikategorikan menjadi paparan pada anak dan paparan pada dewasa. Selanjutnya, merupakan contoh perhitungan *intake lifetime* logam berat Pb untuk dewasa di titik 1:

$$I = \frac{0,00000153 \frac{mg}{m^3} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 24 \frac{jam}{hari} \times 350 \frac{hari}{tahun} \times 30 tahun}{55 kg \times 365 \frac{hari}{tahun} \times 30 tahun}$$

$$I = 0,00000053 mg/kg.hari$$

Tabel 4.14 Analisis Pajanan Risiko Non Karsinogenik

Rumusan	Satuan	Kategori								
		Titik 1		Titik 2		Titik 3				
		Anak	Dewasa	Anak	Dewasa	Anak	Dewasa	Anak	Dewasa	
Konsentrasi Pb	µg/m ³	0,00153		0,00199		0,00194				
Konsentrasi Cd		0,00152		0,00147		0,00136				
Konsentrasi Cr		0,00026		0,00042		0,00054				
Konsentrasi Fe		0,06903		0,07526		0,10247				
Laju Kontak (R)	m ³ /jam	0,5	0,83	0,5	0,83	0,5	0,83			
Waktu Pajanan (Te)	jam/hari	24								
Frekuensi Pajanan (Fe)	hari/tahun	350								
Durasi Pajanan Non Kanker (Dt)	tahun	6	30	6	30	6	30			
Durasi Pajanan Kanker (Dt)	tahun	6	64	70	6	64	70	6	64	70
Berat Badan (Wb)	kg	15	55	55	15	55	55	15	55	55
Intake Non Karsinogenik Pb	mg/kg/hari	0,00000117	0,00000053	0,00000153	0,00000069	0,00000149	0,00000067			
Intake Non Karsinogenik Cd		0,00000117	0,00000053	0,00000113	0,00000051	0,00000105	0,00000047			
Intake Non Karsinogenik Cr		0,00000020	0,00000009	0,00000032	0,00000015	0,00000042	0,00000019			
Intake Non Karsinogenik Fe		0,00005296	0,00002397	0,00005773	0,00002614	0,00007861	0,00003559			

Berdasarkan hasil analisis pajanan logam di masing-masing titik, nilai *intake* non karsinogenik dan karsinogenik besarnya sebanding dengan nilai konsentrasi logam. Nilai *intake* Pb tertinggi diterima masyarakat di titik 2 dan nilai *intake* terendah diterima masyarakat di titik 3. Pajanan tertinggi untuk logam Cd diterima oleh masyarakat di titik 1 sedangkan pajanan Cd terendah diterima oleh masyarakat di titik 3. *Intake* Cr yang diperoleh masyarakat paling tinggi di titik 3 sedangkan nilai paling rendah di titik 1. Terakhir, nilai *intake* logam Fe tertinggi diperoleh masyarakat di titik 3 dan nilai *intake* logam Fe terendah diperoleh masyarakat di titik 2.

Nilai *intake* dipengaruhi oleh durasi pajanan atau lama tinggal masyarakat di sekitar kawasan TPST Piyungan. Semakin lama durasi pajanan atau lama tinggal maka semakin tinggi nilai *intake* logam ke dalam tubuh manusia. Selain itu, faktor berat badan juga mempengaruhi nilai *intake*, karena semakin besar berat badan seseorang maka nilai *intake* semakin kecil. Begitupun sebaliknya, semakin kecil berat badan seseorang maka semakin besar nilai *intake* logam ke dalam tubuh manusia.

Besar risiko pajanan logam berat tidak hanya bergantung pada faktor berat badan dan durasi pajanan. Faktor lain yang dapat memperbesar efek pajanan adalah kebiasaan merokok. Responden dengan besar pajanan yang rendah, kemungkinan dapat menerima efek yang lebih besar karena memiliki kebiasaan merokok. Hal ini karena merokok dapat meningkatkan risiko kesehatan. Menurut hasil studi Puett (2014), paparan partikulat dari udara ambien terhadap seorang perokok dan seorang yang tidak merokok menghasilkan peningkatan risiko bagi seorang perokok. Studi lain juga menemukan adanya perbedaan besar pajanan antara perokok aktif dan pasif serta kondisi-kondisi tertentu seperti adanya perbedaan pajanan setiap merek rokok dan pola merokok (Deng et al., 2022).

Selain itu, pajanan inhalasi logam berat yang diterima responden tidak terbatas berasal dari udara ambien di sekitar tempat tinggal. Hal ini karena sumber pajanan inhalasi dapat berasal dari tempat responden bekerja, jalan raya, lingkungan tempat tinggal sebelumnya, atau lokasi lainnya. Sehingga jika dibandingkan dengan hasil analisis *intake* yang diperoleh responden, setiap responden masih memiliki

kemungkinan pajanan inhalasi logam lebih tinggi dan kemungkinan risiko yang lebih besar di dalam tubuhnya.

4.4.2 Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*)

Karakteristik risiko ditentukan dengan membandingkan intake terhadap dosis referensi yang diperbolehkan. Semakin besar intake maka semakin besar risiko. Pada penelitian ini, risiko non kanker yang dihitung meliputi risiko non kanker *lifetime*. *Intake lifetime* menghitung pajanan selama durasi seumur hidup dengan durasi pajanan standar yang digunakan adalah 30 tahun yang merupakan nilai standar waktu perkiraan efek non karsinogenik terwujud pada manusia. Studi terkait nilai *Reference Concentration* (RfC) logam Fe tidak tersedia, sehingga perhitungan risiko non kanker logam Fe tidak dilakukan. Berikut tabel hasil analisis nilai risiko non kanker untuk pajanan *lifetime* pada masing-masing titik lokasi penelitian:

Tabel 4.15 Analisis Risiko Non Karsinogenik

Logam Berat	RfC (mg/m ³)	HQ					
		Titik 1		Titik 2		Titik 3	
		Anak	Dewasa	Anak	Dewasa	Anak	Dewasa
Pb	0,0002	0,0059	0,0027	0,0076	0,0035	0,0074	0,0034
Cd	0,0009	0,0013	0,0006	0,0013	0,0006	0,0012	0,0005
Cr	0,0001	0,0020	0,0009	0,0032	0,0015	0,0042	0,0019

Berdasarkan hasil analisis perhitungan risiko non kanker *intake lifetime* tersebut, diketahui bahwa baik logam Pb, Cd, maupun Cr tidak menunjukkan adanya kemungkinan adanya risiko non karsinogenik bagi kesehatan masyarakat karena besar nilai HQ < 1. Berdasarkan Pedoman Analisis Risiko Lingkungan, nilai HQ > 1 menandakan bahwa nilai HQ non kanker dapat menimbulkan efek kesehatan non kanker sehingga pajanan logam berat tersebut memiliki risiko terhadap kesehatan. Sebaliknya, apabila nilai HQ < 1 maka risiko kesehatan akibat pajanan logam berat tersebut masih dianggap aman bagi manusia. Besar nilai HQ dipengaruhi oleh durasi pajanan, usia responden, dan laju kontak.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Alwi (2016), efek toksik yang timbul akibat pajanan logam sangat berkaitan dengan tingkat dan durasi pajanan. Semakin tinggi kadar suatu logam dan semakin lama durasi pajanan, maka efek

toksik yang ditimbulkan semakin besar. Hal ini sejalan dengan hasil perhitungan risiko non kanker *intake lifetime* pada penelitian ini yang nilainya semakin tinggi sejalan dengan semakin lama durasi responden menetap di lokasi tersebut.

Risiko non kanker yang dapat ditimbulkan akibat pajanan logam Pb diantaranya, tubuh mudah merasa lelah, pucat, dan lesu, sakit kepala, muntah, kejang, penurunan kemampuan tubuh untuk menyerap kalsium, penurunan fungsi otak, dan kerusakan enzim-enzim esensial (Gunawan, 2015). Kadmium yang terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan risiko non kanker berupa disfungsi ginjal, kerusakan penyerapan kalsium, dan penyakit paru-paru obstruktif (World Health Organization, 2019). Risiko non kanker yang dapat timbul akibat pajanan logam Cr antara lain ruam kulit, gangguan perut, gangguan pernafasan, penurunan kekebalan tubuh, kerusakan ginjal dan hati, serta permasalahan keturunan (Mukhtar, 2014). Pada masyarakat dengan riwayat merokok, risiko yang ditimbulkan dapat lebih tinggi akibat kebiasaan merokok tersebut (Puett, 2014).

Dari data analisis risiko tersebut, nilai HQ < 1 pada logam Pb, Cd, dan Cr menunjukkan bahwa tidak ada kemungkinan risiko non karsinogenik terhadap masyarakat akibat paparan logam di udara sekitar TPST Piyungan, Bantul. Oleh karena itu, analisis terkait risiko karsinogenik pada masyarakat tidak diperhitungkan karena nilai risiko non karsinogenik yang relatif rendah.

4.4.3 Hubungan Pajanan dengan Keluhan Subjektif Kesehatan Masyarakat

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat risiko dan dampak pajanan logam Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2.5} pada masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan TPST Piyungan, Bantul. Berikut merupakan data keluhan kesehatan masyarakat berdasarkan observasi yang telah dilakukan:

Tabel 4.16 Keluhan Kesehatan

No.	Variabel Keluhan Kesehatan	Ya		Tidak		Total %
		N	%	n	%	
1.	Mengalami keluhan kesehatan.	45	90%	5	10%	100%
2.	Pernah mengalami permasalahan kesehatan seperti batuk, dahak, dan	39	78%	11	22%	100%

No.	Variabel Keluhan Kesehatan	Ya		Tidak		Total
		N	%	n	%	%
	iritasi tenggorokan.					
3.	Pernah mengalami keluhan kesehatan pada sistem pernafasan seperti sesak nafas, berat bernafas, mengi, nyeri dada, gangguan pernafasan.	6	12%	44	88%	100%
4.	Pernah mengalami keluhan pada sistem pencernaan seperti mual, muntah, dan gangguan pencernaan.	10	20%	40	80%	100%
5.	Pernah mengalami permasalahan penglihatan seperti iritasi mata dan gangguan penglihatan.	27	54%	23	46%	100%
6.	Pernah mengalami keluhan kesehatan pada sistem peredaran darah seperti hipertensi.	6	12%	44	88%	100%
7.	Pernah mengalami keluhan sakit kepala.	41	82%	9	18%	100%
8.	Pernah mengalami demam.	27	54%	23	46%	100%
9.	Pernah mengalami ruam kulit.	12	24%	38	76%	100%
10.	Mengalami keluhan kesehatan seperti mudah lelah, mudah pecat, lesu, dan tidak kuat berjalan lama.	4	8%	46	92%	100%
11.	Memiliki riwayat penyakit asma.	3	6%	47	94%	100%
12.	Sifat penyakit hilang kambuh.	45	100%	0	0%	100%

Berdasarkan data hasil observasi keluhan subjektif kesehatan masyarakat diketahui bahwa sebanyak 78% responden tepatnya 39 dari 50 responden pernah mengalami permasalahan kesehatan seperti batuk, dahak, dan iritasi tenggorokan selama tinggal di sekitar kawasan TPST Piyungan, Bantul. Permasalahan kesehatan

tersebut kemungkinan disebabkan oleh debu dan partikulat di udara sekitar tempat tinggal masyarakat. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Abdiannor (2020) dimana ditemukan bahwa debu sangat berpotensi menyebabkan gangguan pada pernafasan maupun iritasi pada mata. Banyaknya kendaraan pengangkut sampah yang lalu lalang menyumbangkan asap kendaraan, debu, dan partikulat sehingga dapat masuk ke sistem pernafasan masyarakat dan menyebabkan batuk, dahak, dan iritasi tenggorokan.

Sebanyak 54% atau 27 dari 50 responden menyatakan pernah mengalami permasalahan seperti iritasi mata dan gangguan penglihatan. Melihat kondisi riil lokasi, iritasi mata yang dialami lebih dari 50% responden kemungkinan besar disebabkan oleh debu. Debu yang dimaksud berasal dari kendaraan pengangkut sampah yang berlalu lalang setiap hari dari pagi hingga sore hari atau berasal dari proyek di sekitar kawasan TPST Piyungan.

Dapat diketahui juga dari data di atas bahwa terdapat masyarakat yang menyatakan pernah mengalami keluhan sakit kepala yaitu sebesar 82% tepatnya 41 dari 50 responden. Menurut studi Rizzoli & Mullally (2018), terdapat beberapa faktor penyebab sakit kepala seperti faktor internal berupa faktor keturunan, gaya hidup, kondisi komorbid atau terdapat penyakit penyerta, kondisi tubuh stres, atau faktor eksternal contohnya akibat paparan logam berat. Laila & Shofwati (2013) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa sakit kepala merupakan salah satu gejala yang dapat timbul akibat keracunan logam Pb. Tingginya jumlah responden yang mengalami keluhan sakit kepala memiliki beragam kemungkinan penyebab. Namun, keluhan tersebut dapat diperparah akibat pajanan debu di udara yang mengandung logam Pb.

Berdasarkan hasil observasi terhadap responden, keluhan kesehatan masyarakat sekitar TPST Piyungan secara garis besar disebabkan oleh pajanan debu dan partikulat di udara. Pajanan logam berat tidak menunjukkan kemungkinan adanya efek kesehatan non kanker bagi tubuh karena nilai $HQ < 1$. Namun, apabila konsentrasi logam meningkat dan terdapat responden dengan kondisi rentan terhadap pajanan, maka tidak menutup kemungkinan adanya risiko non karsinogenik maupun risiko karsinogenik di dalam tubuh.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai “Analisis Risiko Paparan Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), dan Besi (Fe) Terhadap Kesehatan Masyarakat TPST Piyungan, Bantul” dapat disimpulkan bahwa:

1. Konsentrasi PM_{2,5} di udara ambien sekitar kawasan TPST Piyungan, Bantul memperoleh hasil berturut-turut 31,74 µg/m³ untuk titik lokasi 1; 11,51 µg/m³ untuk titik lokasi 2; dan 23,56 µg/m³ untuk titik lokasi 3. Dari ketiga lokasi tersebut, besar konsentrasi PM_{2,5} yang didapat masih memenuhi baku mutu PM_{2,5} di udara ambien berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021.
2. Berdasarkan hasil pengujian konsentrasi logam berat yang terkandung dalam PM_{2,5} menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), diperoleh konsentrasi logam rata-rata dari ketiga lokasi pengambilan sampel. Konsentrasi rata-rata logam Pb, Cd, Cr, dan Fe secara berturut-turut adalah sebesar 0,00182 µg/m³; 0,00145 µg/m³; 0,00041 µg/m³; dan 0,08225 µg/m³. Dari hasil tersebut, konsentrasi logam masih dinilai aman karena masih memenuhi ambang batas kualitas udara.
3. Hasil analisis tingkat risiko paparan logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5} terhadap masyarakat sekitar TPST Piyungan, Bantul menunjukkan tidak adanya kemungkinan risiko kanker dan non kanker *lifetime* akibat paparan logam Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5} di udara ambien kawasan TPST Piyungan, Bantul.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, peneliti memiliki beberapa saran untuk dapat diaplikasikan khususnya di kawasan TPST Piyungan, Bantul. Adapun saran yang peneliti berikan adalah sebagai berikut:

1. Bagi Masyarakat Sekitar TPST Piyungan

Diharapkan agar masyarakat setempat lebih memperhatikan kesehatan diri masing-masing. Terutama bagi masyarakat yang juga bekerja di TPST Piyungan

agar dapat menggunakan masker untuk meminimalisir pajanan $PM_{2,5}$ dan logam berat Pb, Cd, Cr, dan Fe melalui inhalasi. Masyarakat juga dihimbau untuk dapat meningkatkan penerapan pola hidup sehat dan bersih. Selain itu, masyarakat disarankan agar dapat berpartisipasi dalam program pengecekan kondisi kesehatan yang sudah diadakan oleh puskesmas atau pemerintah secara berkala.

2. Bagi Pemerintah Daerah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta

Pemerintah daerah setempat dapat melakukan perluasan lahan hijau pada kawasan TPST Piyungan agar penyerapan polutan di udara semakin meningkat sehingga diharapkan risiko pajanan berkurang atau setidaknya tidak mengalami peningkatan yang signifikan. Kemudian, pemerintah dapat melakukan pemantauan dan penyuluhan kepada masyarakat terkait risiko kesehatan yang ditimbulkan akibat kegiatan TPST Piyungan utamanya bahaya pajanan debu dan partikulat. Hal ini diharapkan agar dapat potensi dampak yang kemungkinan terjadi menjadi berkurang karena meningkatnya wawasan masyarakat terkait risiko tersebut. Selain itu, program pengecekan kesehatan masyarakat yang sudah dilaksanakan secara berkala dapat ditingkatkan frekuensinya.

3. Bagi Peneliti Selanjutnya

Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait logam berat pada urin masyarakat untuk mengetahui seberapa besar pajanan logam yang sudah masuk di dalam sistem tubuh. Penelitian bersifat tahunan juga diperlukan agar lebih mewakili konsentrasi konsentrasi partikulat dan logam berat di udara sekitar TPST Piyungan, Bantul. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai logam berat lainnya dengan menggunakan desain ARKL kepada masyarakat yang berisiko serta manajemen dan komunikasi risiko yang tepat.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdiannor, A Fauzan, E. (2020). Hubungan Pengetahuan Tentang Risiko Paparan Debu dan Tindakan Pencegahan dengan Gejala Sakit Mata pada Pekerja Industri Mebel di Kota Puruk Cahu Tahun 2020. *Public Health. Hygiene. Preventive Medicine*, 1–6.
- Adhani, Rosihan, H. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press.
- Agus, A., Ahmad, M., & Kusumaningtyas, S. D. A. (2019). Analisis Dampak Diterapkannya Kebijakan Working From Home Saat Pandemi Covid-19 Terhadap Kondisi Kualitas Udara Di Jakarta. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 6(3), 6–14.
- Agustina, T. (2014). Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan. *Teknobuga*, 1(1), 53–65.
- Amina. (2012). *Studi Kandungan Logam Berat Besi (Fe) dalam Sedimen dan Kerang Anodonta Woodiana di Sungai Pangkajene Kabupaten Pangkep*. Universitas Hasanuddin.
- Azhar, K., Dharmayanti, I., & Mufida, I. (2016). Kadar Debu Partikulat (PM_{2,5}) dalam Rumah dan Kejadian ISPA pada Balita di Kelurahan Kayuringin Jaya, Kota Bekasi Tahun 2014. *Media Penelitian Dan Pengembangan Kesehatan*, 26(1), 45–52.
- SNI 7119.4:2016 Tentang Cara Uji Partikel dengan Ukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2,5}) Menggunakan Peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan Metode Gravimetri, (2016).
- Cholianawati, N. (2019). Partikulat Halus (PM_{2,5}) dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Manusia. *Berita Dirgantara*, 20(1), 15–20.
- Deng, B., Wang, Y., Huang, H., Duan, X., & Liu, A. (2022). *Effects of Inhalation Frequency on Inhalation/Exposure Dose of Hazardous Nanoparticles and Toxic Gases During Cigarette Smoking*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 240(2), 113709.
- DIY, D. L. H. dan K. (2022). *No Title*. <http://dlhk.jogjaprovo.go.id/sekilas-info-tpst->

piyungan

- European Commission DG ENV. (2002). *Heavy Metals in Waste. Department for Environment, Food & Rural Affairs, February*, 1–83.
- Fitriana, D., & Siwiendrayanti, A. (2019). Kualitas udara dan keluhan sesak napas pemulung di Tempat Pembuangan Akhir. *Higeia Journal of Public Health Research and Development*, 1(3), 625–634.
- Flyhammar, P. (1997). *Heavy Metals in Municipal Solid Waste Deposits* (Issue 1019).
- Gunawan, G. (2015). Tingkat Pencemaran Udara Debu Dan Timbal Di Lingkungan Gerbang Tol. *Jurnal Kesehatan Lingkungan: Pusat Litbang Jalan Dan Jembatan*, 3(41), 5–13.
- Gusnita, D. (2012). Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) di Udara dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal. *Berita Dirgantara*, 13(3), 95–101.
- Gustiara, A., Alion, M., & Fahdiran, R. (2019). Analisis Distribusi Timbal Sebagai Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Dengan Teknik Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Jurnal) SNF2019, VIII*, 161–166.
- Harliyanti, S. M., Sarminingsih, A., & Nugraha, W. D. (2016). Analisis Risiko Logam Berat Fe, Cr, dan Cu Pada Aliran Sungai Garang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(2), 1–8.
- Hidayatullah, F., & Mulasari, S. A. (2020). Gangguan Saluran Pernapasan Akibat Pencemaran Udara di Lingkungan Tempat Pembuangan Akhir (TPA). *Jurnal Kesehatan*, 13(2), 119–130.
- Hutauruk, R. C. H., Rahmanto, E., & Pancawati, M. C. (2020). Variasi Musiman dan Harian PM2.5 di Jakarta Periode 2016-2019. *Buletin GAW Bariri*, 1(1), 20–28.
- Ida Bagus Suryatika. (2019). *Pengaruh Variabel Iklim Terhadap Curah Hujan Studi Kasus di Bali*.
- Ji, W., & Zhao, B. (2018). A Wind Tunnel Study On The Effect Of Trees On PM2.5 Distribution Around Buildings. *Journal of Hazardous Materials*, 346, 36–41.
- Juwitriani, Yasnani, Ainurafiq, A. (2016). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

- Akibat Paparan Timbal (Pb) Pada Masyarakat yang Mengonsumsi Kerang Kalandue (Polymesoda erosa) dari Tambak Sekitar Sungai Wanggu dan Muara Teluk Kendari. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Universitas Halu Oleo*, 1–15.
- Kemenkes. (2012). *Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)*. Direktorat Jenderal PP dan PL.
- Kumaat, M. (2012). Transportasi dan Polusi Pada Kawasan Pendidikan. *Tekno-Sipil*, 10(57), 27–32.
- Laila, N. N., & Shofwati, I. (2013). Kadar Timbal Darah Dan Keluhan Kesehatan Pada Operator Wanita Spbu. *Jurnal Kesehatan Reproduksi*, 4(1), 41–49.
- Latifah, N. R. (2018). Analisis Karakteristik Logam Berat dalam Particulate Matter 10 Mikron (PM10) di Kawasan Industri Medan (KIM) Tahap I. In *Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik*. Universitas Sumatera Utara.
- Manuhutu, O. (2009). Penetapan Kadar Lidokain HCl dalam Sediaan Injeksi Secara Spektrofotometri Serapan Atom Tidak Langsung. In *Universitas Sanata Dharma*. Universitas Sanata Dharma.
- Mukhtar, R., Lahtiani, S., Hamonangan Panjaitan, E., Wahyudi, H., Santoso, M., & Dwiana Lestiani, D. (2014). Kajian Baku Mutu Logam Berat di Udara Ambien Sebagai Bahan Masukan Lampiran Pp 41/1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. *Jurnal Ecolab*, 8(1), 32–42.
- Muliadi, D. (2016). Analisis Kualitas Udara dan Keluhan Kesehatan yang Berkaitan dengan Saluran Pernafasan pada Pemulung di Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA) Terjun Kecamatan Medan Marelan. In *Univeristas Sumatera Utara*. Universitas Sumatera Utara.
- Papuangan, N. N., & Djurumudi, M. (2014). Jumlah dan Distribusi Stomata Pada Tanaman Penghijauan Di Kota Ternate. *Jurnal SSIOeduKASI*, 3(1), 287–292.
- Popoola, L. T., Adebajo, S. A., & Adeoye, B. K. (2018). *Assessment of Atmospheric Particulate Matter and Heavy Metals: A Critical Review*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(5), 935–948.
- Prayudi, T. (2005). Dampak Industri Peleburan Logam Fe Terhadap Pencemaran Debu di Udara. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2), 385–390.

- Puett, R. C., Hart, J. E., Yanosky, J. D., Spiegelman, D., Wang, M., Fisher, J. A., Hong, B., & Laden, F. (2014). *Particulate Matter Air Pollution Exposure, Distance To Road, And Incident Lung Cancer In The Nurses' Health Study Cohort. Environmental Health Perspectives, 122*(9), 926–932.
- Rafdito Harisuryo, Sumardi, B. S. (2015). Sistem Pengukuran Data Suhu dan Tekanan Udara Dengan Telemetri Berbasis Frekuensi Radio. *Transient, 4*(3), 9.
- Rimantho, D. (2015). Identifikasi Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja pada Pekerja Pengumpul Sampah Manual di Jakarta Selatan. *Jurnal Optimasi Sistem Industri, 14*(1), 1–15.
- Rizzoli, P., & Mullally, W. J. (2018). *Headache. American Journal of Medicine, 131*(1), 17–24.
- Sachnaz & Rasman, C. (2019). Studi Kualitas Udara Ambien Sulfur Dioksida (SO₂) di TPA Tamangapa Kota Makassar. *Jurnal Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika Dan Masyarakat, 19*(1), 83–88.
- Sahwan, F. L. (2018). Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (Tptst) Urgensi Dan Implementasinya. *Jurnal Rekayasa Lingkungan, 6*(2), 151–157.
- Santoso, Haumahu, J. P., & La Habi, M. (2016). *Spatial Analysis of Heavy Metals Pollution as the Impact of Waste Landfill Ambon at Wai Yori Watershed in Negeri Passo. Jurnal Budidaya Pertanian, 12*(2), 55–65.
- Sembiring, E. T. J. (2020). Risiko Kesehatan Pajanan Pm_{2,5} Di Udara Ambien Pada Pedagang Kaki Lima Di Bawah Flyover Pasar Pagi Asemka Jakarta. *Jurnal Teknik Lingkungan, 26*(1), 101–120.
- Shang, Y., Wu, M., Zhou, J., Zhang, X., Zhong, Y., An, J., & Qian, G. (2019). *Cytotoxicity Comparison Between Fine Particles Emitted From The Combustion Of Municipal Solid Waste And Biomass. Journal of Hazardous Materials, 367*, 316–324.
- Sulistiana, S., & Setijorini, L. E. (2016). Akumulasi Timbal (Pb) dan Struktur Stomata Daun Puring (*Codiaeum variegatum*). *Prosiding Seminar Nasional MIPA, 240–250*.
- Sutyasmi, S., & Supraptiningsih, S. (2014). Pemanfaatan Kembali Krom Limbah

- Shaving Untuk Penyamakan Kulit. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 30(2), 87.
- Turyanti, A. (2011). Analisis Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi PM10 Menggunakan Regresi Linier Berganda (Studi Kasus: Daerah Dago
- Utami, Y. T. (2021). *Analisis Timbal (Pb) dalam Bahan Bakar Pertalite dan Pertamina di SPBU Kota Makassar dan Sekitarnya Menggunakan Metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)*.
- World Health Organization. (2019). *Exposure to Cadmium: A Major Public Health Concern*. In *World Health Organization*. <http://www.who.int/ipcs/features/cadmium.pdf>
- Wulaningtyas, F. A. (2018). Karakteristik Pekerja Kaitannya dengan Kandungan Dalam Urine Pekerja di Industri Kerupuk Rambak X Magetan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 127.
- Xu, P., Chen, Y., He, S., Chen, W., Wu, L., Xu, D., Chen, Z., Wang, X., & Lou, X. (2020). *A Follow-Up Study On The Characterization And Health Risk Assessment Of Heavy Metals In Ambient Air Particles Emitted From A Municipal Waste Incinerator In Zhejiang, China*. *Chemosphere*, 246, 125777.
- Yusmiati, Y., Maulida, Y., & Eriyati, E. (2017). Dampak Keberadaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar Terhadap Sosial Ekonomi Masyarakat di Kelurahan Muara Fajar Kecamatan Rumbai Kota Pekanbaru. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Ekonomi*, 4(1), 172–186.
- Zikayah, H. (2019). *Risiko Paparan Timbal (Pb) dalam PM2,5 di Udara Ambien Terhadap Polisi di Jalan Ringroad Utara Kabupaten Sleman*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat dan Bahan Penelitian

A. Alat

1. HVAS dengan inlet selektif PM_{2,5} 1 buah
2. Neraca Analitik 1 buah
3. Termo Hygro Barometer 1 buah
4. Anemometer 1 buah
5. Desikator 1 buah
6. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) nyala 1 buah
7. Pemanas listrik dilengkapi dengan pengatur suhu 1 buah
8. Labu ukur 50 ml 1 buah
9. Gelas ukur 1000 ml 1 buah
10. Erlenmeyer 250 ml 3 buah
11. Pipet ukur 10 ml 1 buah
12. Botol sampel 20 ml 3 buah
13. Corong gelas 1 buah

B. Bahan

1. Kertas Filter 3 buah
2. Kertas saring berpori 80 µg diameter 125 atau 110 mm
3. Asam nitrat pekat (HNO₃ 67%)
4. Asam klorida pekat (HCl 37%)
5. Larutan asam nitrat (HNO₃)
6. Larutan asam nitrat (HNO₃)
7. Larutan asam klorida (HCl)
8. Aquades
9. Hydrogen peroxide (H₂O₂) pekat
10. Larutan induk timbal 1000 µg/mL

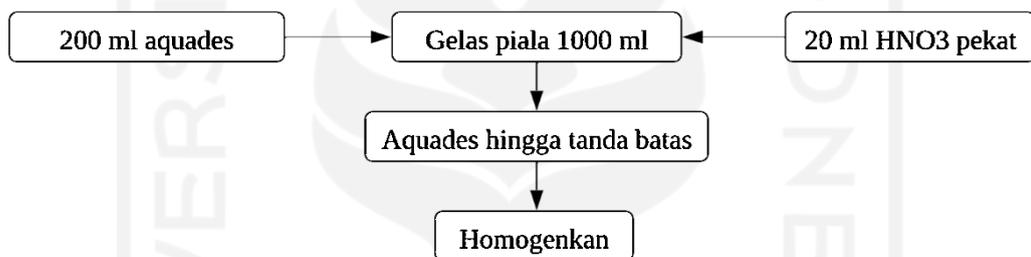
Lampiran 2 Tahapan Analisis Logam Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5} dengan Metode Destruksi Basah

A. Prinsip Kerja

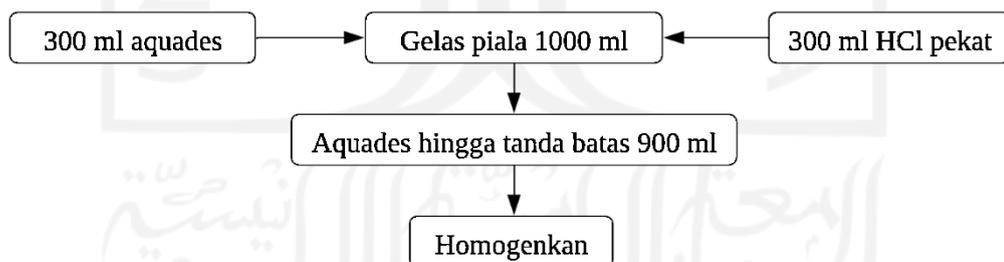
Partikel di udara ambien ditangkap dengan menggunakan alat HVAS dengan media penyaring atau filter. Logam Berat Pb, Cd, Cr, Fe yang terkandung di dalam partikel tersebut diekstraksi dengan menggunakan pelarut asal, kemudian diukur dengan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) nyala.

B. Langkah Kerja

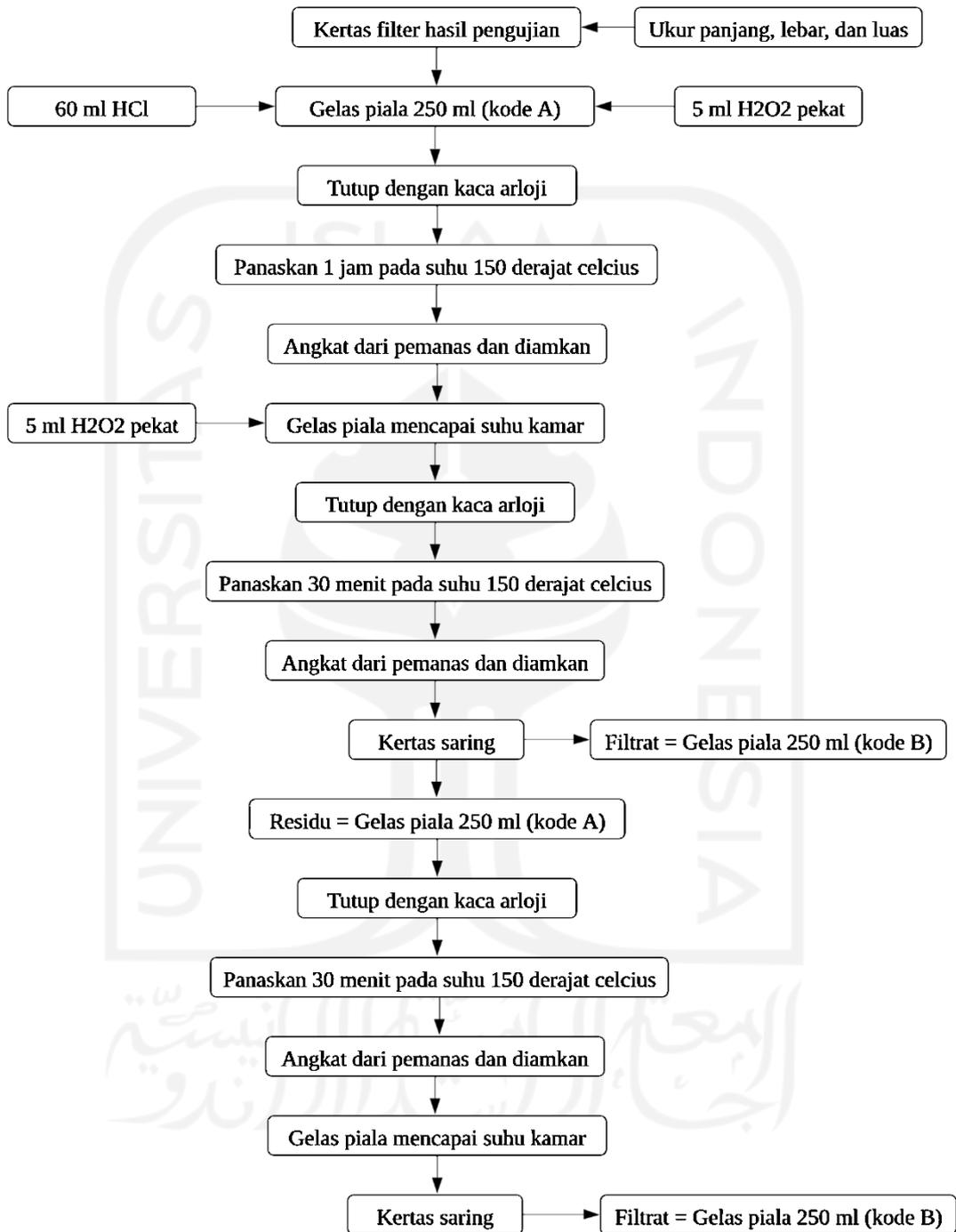
1) Pembuatan Larutan Asam Nitrat (HNO₃)

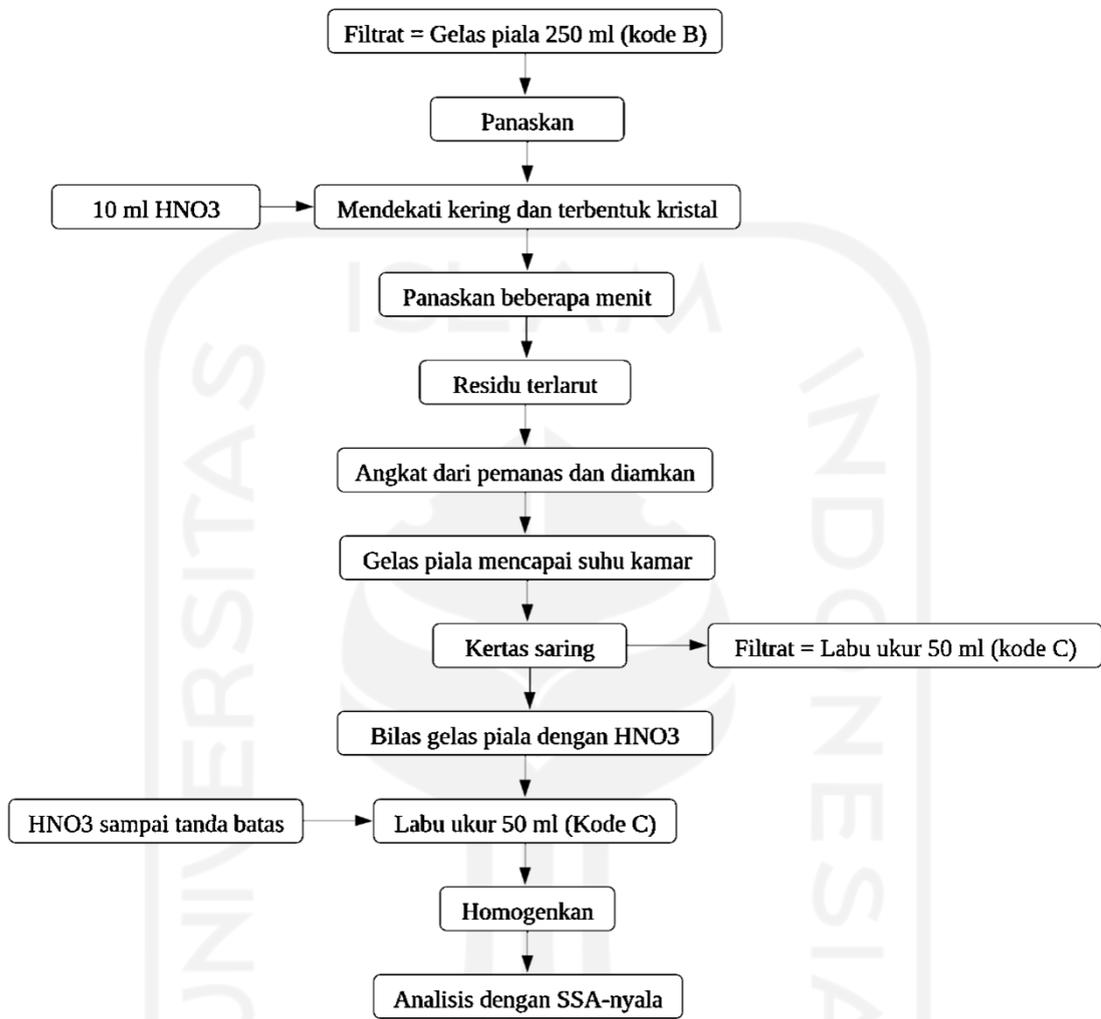


2) Pembuatan Larutan Asam Klorida (HCl)



3) Pengujian Contoh Uji





Lampiran 3 Lembar Kuesioner Penelitian

ANALISIS RISIKO PAJANAN TIMBAL (Pb), KADMIUM (Cd), KROMIUM (Cr), DAN BESI (Fe) DALAM PM_{2,5} TERHADAP MASYARAKAT SEKITAR TPST PIYUNGAN, BANTUL

Bapak/Ibu/Sdr Yth,

Dalam rangka keperluan penelitian Tugas Akhir, saya memohon kesediaan Bapak/Ibu/Sdr untuk mengisi kuesioner ini. Kuesioner ini berkaitan dengan pajanan logam berat terhadap masyarakat sekitar TPST Piyungan, Bantul. Dengan mengisi kuesioner ini, Bapak/Ibu/Sdr telah menyetujui data pribadi digunakan sebagai bahan penelitian. Hasil kuesioner ini tidak akan dipublikasikan, melainkan untuk kepentingan penelitian semata.

Atas partisipasinya, saya ucapkan terima kasih.

Hari/Tanggal :

Nomor :

A. Identitas Responden

Isilah sesuai dengan keadaan yang sebenarnya:

1. Nama :
2. Umur : tahun
3. Jenis Kelamin : **L / P**
4. Pekerjaan :
5. Alamat Tinggal :
6. Lama Tinggal : tahun
7. Berat Badan : kg
8. Riwayat Merokok : **Ya / Tidak**

Bila “Ya” sudah berapa lama? _____ tahun

9. Sumber Kebutuhan Air Minum :

- Sumur
- Lainnya, sebutkan

B. Keluhan Kesehatan

Petunjuk Pengisian : Berikan tanda centang (✓) pada kolom yang disediakan.

Selama tinggal di kawasan TPST Piyungan, Bantul, apakah Bapak/Ibu/Sdr merasakan keluhan kesehatan yang dirasakan pada tabel di bawah ini?

1. Gejala yang dialami:

- Sakit Kepala
- Sesak Nafas
- Batuk
- Demam
- Hipertensi
- Nyeri Dada
- Ruam Kulit
- Muntah
- Pusing
- Iritasi Hidung
- Iritasi Tenggorokan
- Gangguan Perut
- Gangguan Pernafasan
- Hipertensi

2. Permasalahan kesehatan yang dialami:

- ISPA
- Kardiovaskuler
- Kanker Paru-Paru
- Penyakit Paru-Paru Obstruktif Kronis
- Penurunan Kemampuan Tubuh Menyerap Kalsium
- Penurunan Fungsi Otak
- Kerusakan Enzim-Enzim Esensial
- Kerusakan Ginjal dan Hati
- Pneumonitis

- Pembengkakan Paru-Paru
- Penurunan Kekebalan Tubuh
- Permasalahan Keturunan
- Liver
- Kerusakan Usus
- Penuaan Dini
- Gangguan Penyerapan Vitamin dan Mineral
- Hemokromatis
- Kanker
- Penurunan Fungsi Paru-Paru



Lampiran 4 Surat Keterangan *Ethical Approval*



FAKULTAS
KEDOKTERAN

Gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 2096, 2097
F. (0274) 898459 ext.2007
E. fk@uii.ac.id
W. fk.uii.ac.id

Nomor : 11/Ka.Kom.Et/70/KE/IV/2022

KETERANGAN LOLOS KAJI ETIK ETHICAL APPROVAL

Komite Etik Penelitian Kedokteran dan Kesehatan Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia dalam upaya melindungi hak asasi dan kesejahteraan subyek penelitian kedokteran dan kesehatan, telah mengkaji dengan teliti protokol berjudul :

The Ethics Committee of the Faculty of Medicine, Islamic University of Indonesia, with regards of the protection of human rights and welfare in medical and health research, has carefully reviewed the research protocol entitled :

"Analisis Risiko Paparan Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), dan Besi (Fe) dalam Pm_{2,5} terhadap Masyarakat Sekitar TPST Piyungan, Bantul"

Peneliti Utama : Syahrina Azka Haniya
Principal Investigator

Nama Institusi : Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII
Name of the Institution

dan telah menyetujui protokol tersebut diatas.
and approved the above-mentioned protocol.

Yogyakarta, 26 April 2022
Ketua
Chairman

dr. Rahma Yuantari, M.Sc, Sp.PK

**Ethical Approval* berlaku satu tahun dari tanggal persetujuan

**Peneliti berkewajiban

1. Menjaga kerahasiaan identitas subyek penelitian
2. Memberitahukan status penelitian apabila :
 - a. Setelah masa berlakunya keterangan lolos kaji etik, penelitian masih belum selesai, dalam hal ini *ethical clearance* harus diperpanjang
 - b. Penelitian berhenti di tengah jalan
3. Melaporkan kejadian serius yang tidak diinginkan (*serious adverse events*)
4. Peneliti tidak boleh melakukan tindakan apapun pada subyek sebelum penelitian lolos kaji etik dan *informed consent*

Lampiran 5 Perhitungan Konsentrasi PM_{2,5}

A. Data Pengukuran PM_{2,5}

Hari/Tanggal : Kamis, 10 Maret 2021

Nama Lokasi : Titik 1

Tabel Data Pengukuran PM_{2,5} di Titik 1

Pengukuran ke-	Temperatur (C)	Tekanan Udara (mmHg) (Po)	Kelembaban (%)	Qo (m3/menit)	To (K)	Ts (K)	Ps (mmHg)	Qs (m3/menit)	T (menit)	V (m3)
1	27.8	742.9	83.6		301.0			1.181		1700.06
2	27.0	743.7	90.9		300.2			1.183		1703.24
3	26.5	743.9	91.4		299.7			1.184		1704.89
4	25.4	744.2	90.8		298.6			1.186		1708.37
5	25.3	744.5	91.4		298.5			1.187		1709.00
6	25.5	744.4	91.6		298.7			1.186		1708.31
7	24.9	743.6	92.1		298.1			1.187		1709.11
8	25.4	743.0	91.1	1.2	298.6	298	760	1.185	1440	1706.99
9	24.5	742.8	91.6		297.7			1.187		1709.34
10	24.3	742.4	92.7		297.5			1.187		1709.45
11	24.3	742.3	92.0		297.5			1.187		1709.34
12	24.0	742.1	92.4		297.2			1.187		1709.97
13	23.6	742.1	92.8		296.8			1.188		1711.12
14	23.8	742.1	92.4		297.0			1.188		1710.55

Pengukuran ke-	Temperatur (C)	Tekanan Udara (mmHg) (Po)	Kelembaban (%)	Qo (m3/menit)	To (K)	Ts (K)	Ps (mmHg)	Qs (m3/menit)	T (menit)	V (m3)
15	25.1	742.7	96.8		298.3			1.186		1707.50
16	28.6	743.3	76.6		301.8			1.179		1698.26
17	30.7	743.3	72.8		303.9			1.175		1692.38
18	31.1	743.0	69.4		304.3			1.174		1690.92
19	32.2	742.4	67.9		305.4			1.172		1687.19
20	31.8	741.7	65.0		305.0			1.172		1687.50
21	34.1	740.9	58.2		307.3			1.167		1680.27
22	31.1	740.1	72.1		304.3			1.172		1687.62
23	30.5	740.0	71.8		303.7			1.173		1689.17
24	26.7	740.6	87.5		299.9			1.181		1700.53
Rata-Rata	27.3	742.6	84.0	1.2	300.4	298	760	1.181	1440	1701.29

Hari/Tanggal : Selasa, 8 Maret 2021

Nama Lokasi : Titik 2

Tabel Data Pengukuran PM_{2,5} di Titik 2

Pengukuran ke-	Temperatur (C)	Tekanan Udara (mmHg) (Po)	Kelembaban (%)	Qo (m3/menit)	To (K)	Ts (K)	Ps (mmHg)	Qs (m3/menit)	T (menit)	V (m3)
1	36.3	745.4	57.9	1.2	309.5	298	760	1.166	1440	1679.36

Pengukuran ke-	Temperatur (C)	Tekanan Udara (mmHg) (Po)	Kelembaban (%)	Qo (m3/menit)	To (K)	Ts (K)	Ps (mmHg)	Qs (m3/menit)	T (menit)	V (m3)
2	35.2	744.3	57.8		308.4			1.167		1681.11
3	31.0	744.5	62.3		304.2			1.176		1692.91
4	29.8	745.3	75.8		303.0			1.179		1697.17
5	29.5	745.0	76.7		302.7			1.179		1697.67
6	27.7	746.0	86.0		300.9			1.183		1703.88
7	27.1	746.4	89.2		300.3			1.185		1706.04
8	27.1	746.6	90.1		300.3			1.185		1706.27
9	26.3	747.0	91.9		299.5			1.187		1709.00
10	26.1	747.0	92.8		299.3			1.187		1709.58
11	26.0	747.3	92.8		299.2			1.188		1710.20
12	25.9	746.6	93.2		299.1			1.187		1709.69
13	26.0	746.0	93.3		299.2			1.187		1708.72
14	26.0	745.5	93.4		299.2			1.186		1708.14
15	25.7	745.7	93.3		298.9			1.187		1709.23
16	25.6	746.0	92.0		298.8			1.187		1709.86
17	25.6	746.1	91.3		298.8			1.187		1709.97
18	25.1	746.5	90.6		298.3			1.189		1711.87
19	25.1	745.3	91.6		298.3			1.188		1710.49
20	25.0	746.8	92.8		298.2			1.189		1712.50
21	26.4	747.5	91.1		299.6			1.187		1709.29

Pengukuran ke-	Temperatur (C)	Tekanan Udara (mmHg) (Po)	Kelembaban (%)	Qo (m3/menit)	To (K)	Ts (K)	Ps (mmHg)	Qs (m3/menit)	T (menit)	V (m3)
22	27.3	747.3	87.1		300.5			1.185		1706.50
23	35.4	746.7	58.1		308.6			1.169		1683.28
24	34.2	746.6	68.9		307.4			1.171		1686.45
Rata-Rata	28.1	746.1	83.8	1.2	301.3	298	760	1.183	1440	1702.88

Hari/Tanggal : Senin, 7 Maret 2021

Nama Lokasi : Titik 3

Tabel Data Pengukuran PM_{2.5} di Titik 3

Pengukuran ke-	Temperatur (C)	Tekanan Udara (mmHg) (Po)	Kelembaban (%)	Qo (m3/menit)	To (K)	Ts (K)	Ps (mmHg)	Qs (m3/menit)	T (menit)	V (m3)
1	32.3	746.4	65.4		305.5			1.175		1691.46
2	31.5	645.3	67.5		304.7			1.094		1574.80
3	33.2	745.1	63.0		306.4			1.172		1687.50
4	20.0	744.8	70.6		293.2			1.198		1724.73
5	28.4	745.3	78.7	1.2	301.6	298	760	1.181	1440	1701.10
6	27.3	745.6	86.1		300.5			1.184		1704.56
7	26.0	746.0	90.9		299.2			1.187		1708.72
8	26.4	746.7	90.2		299.6			1.186		1708.38

Pengukuran ke-	Temperatur (C)	Tekanan Udara (mmHg) (Po)	Kelembaban (%)	Qo (m3/menit)	To (K)	Ts (K)	Ps (mmHg)	Qs (m3/menit)	T (menit)	V (m3)
9	26.7	744.2	89.0		299.9			1.184		1704.66
10	27.4	746.7	85.1		300.6			1.184		1705.53
11	26.4	746.9	84.3		299.6			1.187		1708.60
12	26.6	746.4	89.4		299.8			1.186		1707.46
13	26.1	746.0	85.9		299.3			1.186		1708.43
14	26.2	745.2	85.8		299.4			1.186		1707.23
15	26.1	745.1	86.7		299.3			1.186		1707.40
16	26.0	744.8	82.1		299.2			1.186		1707.34
17	25.3	745.4	85.6		298.5			1.188		1710.03
18	25.5	745.7	86.5		298.7			1.187		1709.80
19	25.2	746.0	89.1		298.4			1.188		1711.01
20	28.2	746.5	81.8		301.4			1.183		1703.04
21	34.6	746.3	60.1		307.8			1.170		1685.01
22	33.3	745.7	62.9		306.5			1.172		1687.90
23	32.1	746.8	65.8		305.3			1.175		1692.46
24	32.4	745.8	65.0		305.6			1.174		1690.50
Rata-Rata	28.1	741.6	79.1	1.2	301.2	298	760	1.179	1440	1697.82

B. Hasil Penimbangan PM_{2,5}

Titik	W0	W1	W partikulat (g)	W partikulat (ug)
1	4.1724	4.2264	0.0540	54000
2	4.1619	4.1815	0.0196	19600
3	4.1552	4.1952	0.0400	40000

C. Konversi Canter

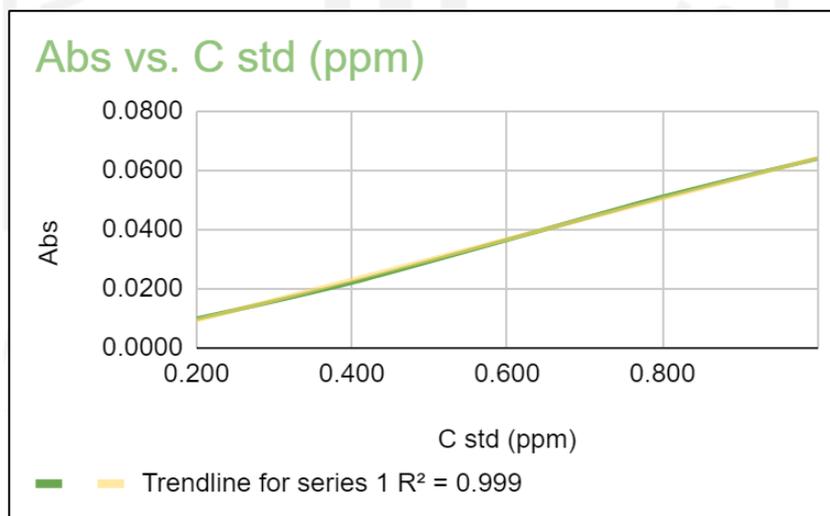
Titik	W partikulat (ug)	V (m3)	C2 (ug/m3)	t1 (jam)	t2 (jam)	p	C1 (ug/m3)
1	54000	1701.29	31.74				31.74
2	19600	1702.88	11.51	24	24	0.159	11.51
3	40000	1697.82	23.56				23.56

Lampiran 6 Perhitungan Konsentrasi Logam Pb, Cd, Cr, dan Fe dalam PM_{2,5}

A. Perhitungan Pb

Tabel Kurva Kalibrasi Standar Pb

Kode	C std (ppm)	Abs	Syarat	Kesimpulan
Standard 1	0.200	0.0100		
Standard 2	0.400	0.0221		
Standard 3	0.800	0.0511		
Standard 4	1.000	0.0640		
Rerata abs		0.0368		
Koef. Korelasi, R		0.9995	$R \geq 0,995$	Diterima
Slope		0.0685		
Intersep		-0.0043		
STEYX		0.0009		
DEVSQ		0.4000		
LoD (µg)		0.0411		
LoQ (µg)		0.1369		
Intersep/Slope		-0.0628		
MDL Estimasi		0.0548	Intersep/Slope \leq MDL Estimasi	Diterima



Gambar Grafik Kurva Kalibrasi Pb

Tabel Hasil Pengujian Pb

Pembacaan AAS ke-1			
Kode	Abs	Fp	C (mg/L)
PM 2.5 D1	0.0159	1	0.2949
PM 2.5 D2	0.0207	1	0.3650
PM 2.5 D3	0.0171	1	0.3124
Blanko	0.0093	1	0.1985
Pembacaan AAS ke-2			
Kode	Abs	Fp	C (mg/L)
PM 2.5 D1	0.0187	1	0.3358
PM 2.5 D2	0.0145	1	0.2745
PM 2.5 D3	0.0127	1	0.2482
Blanko	0.0027	1	0.1022

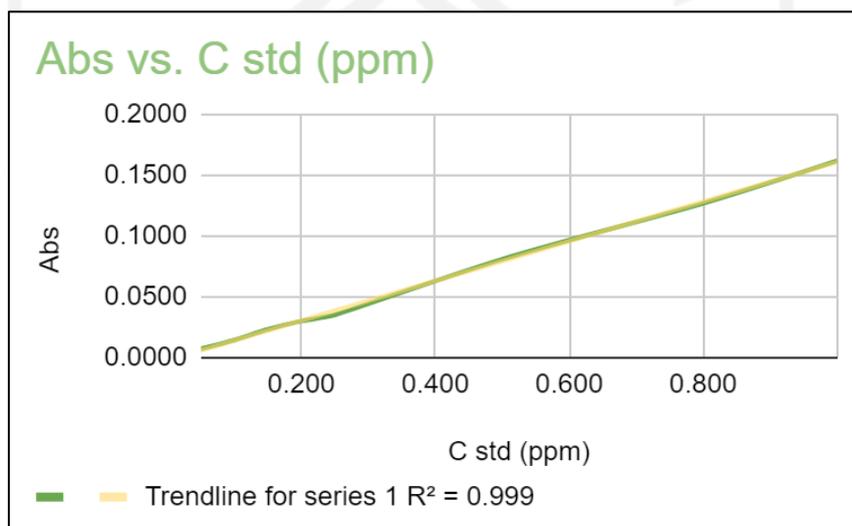
Tabel Perhitungan Konsentrasi Pb di Udara

Pembacaan AAS ke-1						
Kode	Ct (ug/mL)	Cb (ug/mL)	Vt (mL)	S/St (mm²/mm²)	V (m³)	C Pb (ug/m³)
PM 2.5 D1	0.2949	0.1985	20	1	1701.3	0.00113
PM 2.5 D2	0.3650	0.1985	20	1	1702.9	0.00195
PM 2.5 D3	0.3124	0.1985	20	1	1697.8	0.00134
Pembacaan AAS ke-2						
Kode	Ct (ug/mL)	Cb (ug/mL)	Vt (mL)	S/St (mm²/mm²)	V (m³)	C Pb (ug/m³)
PM 2.5 D1	0.3358	0.1022	20	1	1701.3	0.00275
PM 2.5 D2	0.2745	0.1022	20	1	1702.9	0.00202
PM 2.5 D3	0.2482	0.1022	20	1	1697.8	0.00172

B. Perhitungan Cd

Tabel Kurva Kalibrasi Standar Cd

Kode	C std (ppm)	Abs	Syarat	Kesimpulan
Standard 1	0.050	0.0075		
Standard 2	0.100	0.0147		
Standard 3	0.150	0.0235		
Standard 4	0.200	0.0303		
Standard 5	0.250	0.0353		
Standard 6	0.500	0.0812		
Standard 7	0.800	0.1270		
Standard 8	1.000	0.1620		
Rerata abs		0.0602		
Koef. Korelasi, R		0.9995	$R \geq 0,995$	Diterima
Slope		0.1629		
Intersep		-		
STEYX		0.0019		
DEVSQ		0.8647		
LoD (μg)		0.0344		
LoQ (μg)		0.1146		
Intersep/Slope		-		
MDL Estimasi		0.0458	Intersep/Slope \leq MDL Estimasi	Diterima



Gambar Grafik Kurva Kalibrasi Cd

Tabel Hasil Pengujian Cd

Pembacaan AAS ke-1			
Kode	Abs	Fp	C (mg/L)
PM 2.5 D1	0,0176	1	0,1199
PM 2.5 D2	0,0200	1	0,1346
PM 2.5 D3	0,0198	1	0,1334
Blanko	0.0000	1	0.0118
Pembacaan AAS ke-2			
Kode	Abs	Fp	C (mg/L)
PM 2.5 D1	0,0202	1	0,1358
PM 2.5 D2	0,0209	1	0,1401
PM 2.5 D3	0,0223	1	0,1487
Blanko	0.0000	1	0.0118

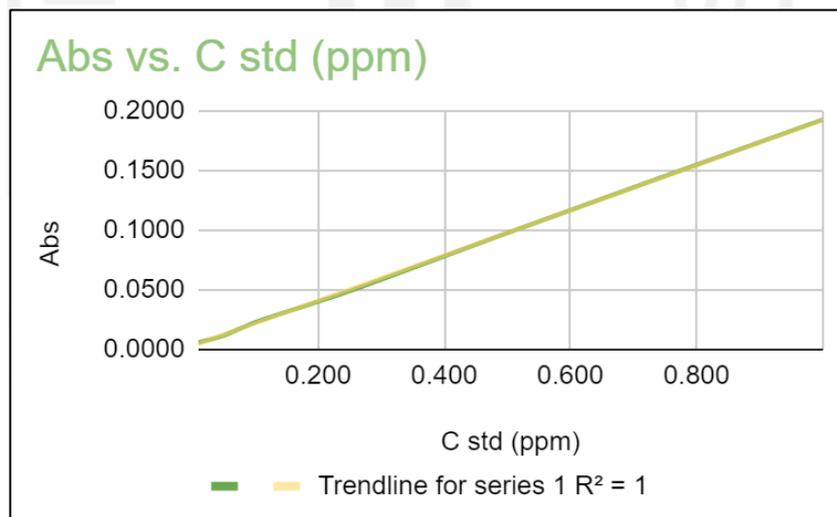
Tabel Perhitungan Konsentrasi Cd di Udara

Pembacaan AAS ke-1						
Kode	Ct (ug/mL)	Cb (ug/mL)	Vt (mL)	S/St (mm²/mm²)	V (m³)	C Cd (ug/m³)
PM 2.5 D1	0,1199	0.0118	20	1	1701.3	0.00127
PM 2.5 D2	0,1346	0.0118	20	1	1702.9	0.00144
PM 2.5 D3	0,1334	0.0118	20	1	1697.8	0.00143
Pembacaan AAS ke-2						
Kode	Ct (ug/mL)	Cb (ug/mL)	Vt (mL)	S/St (mm²/mm²)	V (m³)	C Cd (ug/m³)
PM 2.5 D1	0,1358	0.0118	15.5	1	1701.3	0.00146
PM 2.5 D2	0,1401	0.0118	16	1	1702.9	0.00151
PM 2.5 D3	0,1487	0.0118	20	1	1697.8	0.00161

C. Perhitungan Cr

Tabel Kurva Kalibrasi Standar Cr

Kode	C std (ppm)	Abs	Syarat	Kesimpulan
Standard 1	0.010	0.0060		
Standard 2	0.050	0.0120		
Standard 3	0.100	0.0230		
Standard 4	0.250	0.0493		
Standard 5	0.500	0.0979		
Standard 6	1.000	0.1926		
Rerata abs		0.0635		
Koef. Korelasi, R		0.9999	$R \geq 0,995$	Diterima
Slope		0.1891		
Intersep		0.0033		
STEYX		0.0009		
DEVSQ		0.7171		
LoD (μg)		0.0149		
LoQ (μg)		0.0495		
Intersep/Slope		0.0173		
MDL Estimasi	0.0198		Intersep/Slope \leq MDL Estimasi	Diterima



Gambar Grafik Kurva Kalibrasi Cr

Tabel Hasil Pengujian Cr

Pembacaan AAS ke-1			
Kode	Abs	Fp	C (mg/L)
PM 2.5 D1	0.0213	1	0.0954
PM 2.5 D2	0.0183	1	0.0795
PM 2.5 D3	0.0141	1	0.0573
Blanko	0.0086	1	0.0282
Pembacaan AAS ke-2			
Kode	Abs	Fp	C (mg/L)
PM 2.5 D1	0.0109	1	0.0404
PM 2.5 D2	0.0099	1	0.0351
PM 2.5 D3	0.0091	1	0.0309
Blanko	0.0061	1	0.0150

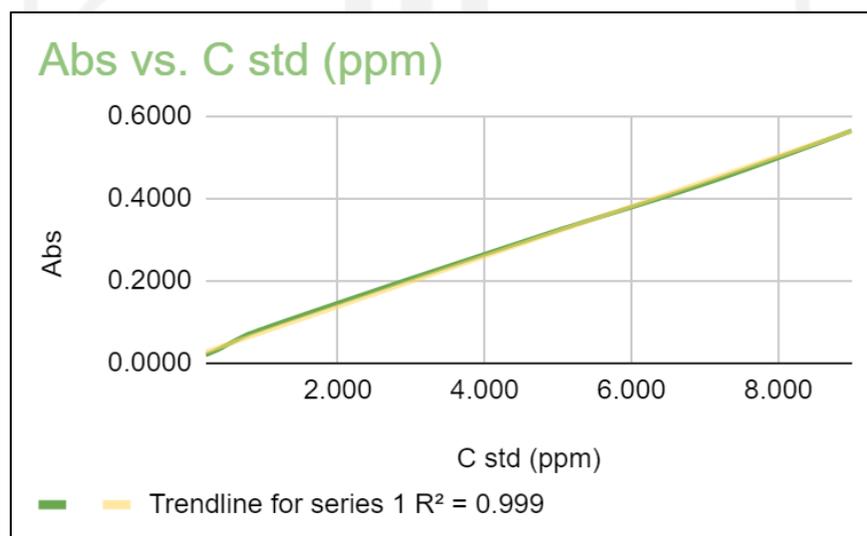
Tabel Perhitungan Konsentrasi Cr di Udara

Pembacaan AAS ke-1						
Kode	Ct (ug/mL)	Cb (ug/mL)	Vt (mL)	S/St (mm²/mm²)	V (m³)	C Cr (ug/m³)
PM 2.5 D1	0.0954	0.0282	20	1	1701.3	0.00079
PM 2.5 D2	0.0795	0.0282	20	1	1702.9	0.00060
PM 2.5 D3	0.0573	0.0282	20	1	1697.8	0.00034
Pembacaan AAS ke-2						
Kode	Ct (ug/mL)	Cb (ug/mL)	Vt (mL)	S/St (mm²/mm²)	V (m³)	C Cr (ug/m³)
PM 2.5 D1	0.0404	0.0150	20	1	1701.3	0.00030
PM 2.5 D2	0.0351	0.0150	20	1	1702.9	0.00024
PM 2.5 D3	0.0309	0.0150	20	1	1697.8	0.00019

D. Perhitungan Fe

Tabel Kurva Kalibrasi Standar Fe

Kode	C std (ppm)	Abs	Syarat	Kesimpulan
Standard 1	0.200	0.0209		
Standard 2	0.400	0.0367		
Standard 3	0.800	0.0729		
Standard 4	3.000	0.2070		
Standard 5	5.000	0.3240		
Standard 6	7.000	0.4363		
Standard 7	9.000	0.5652		
Rerata abs		0.2376		
Koef. Korelasi, R		0.9995	$R \geq 0,995$	Diterima
Slope		0.0609		
Intersep		0.0166		
STEYX		0.0071		
DEVSQ		72.6743		
LoD (μg)		0.3479		
LoQ (μg)		1.1595		
Intersep/Slope		0.2734		
MDL Estimasi	0.4638		Intersep/Slope \leq MDL Estimasi	Diterima



Gambar Grafik Kurva Kalibrasi Fe

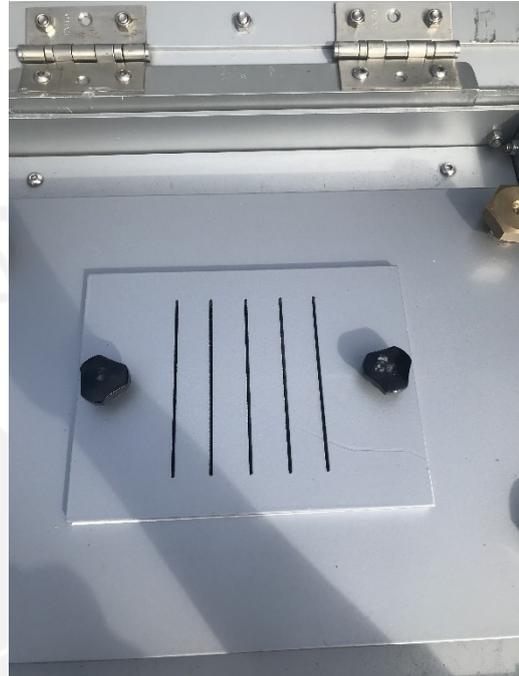
Tabel Hasil Pengujian Fe

Pembacaan AAS ke-1			
Kode	Abs	Fp	C (mg/L)
PM 2.5 D1	0.5314	1	8.4545
PM 2.5 D2	0.3949	1	6.2126
PM 2.5 D3	0.3580	1	5.6065
Blanko	0.0201	1	0.0567
Pembacaan AAS ke-2			
Kode	Abs	Fp	C (mg/L)
PM 2.5 D1	0.5764	1	9.1936
PM 2.5 D2	0.4318	1	6.8187
PM 2.5 D3	0.4020	1	6.3292
Blanko	0.0263	1	0.1586

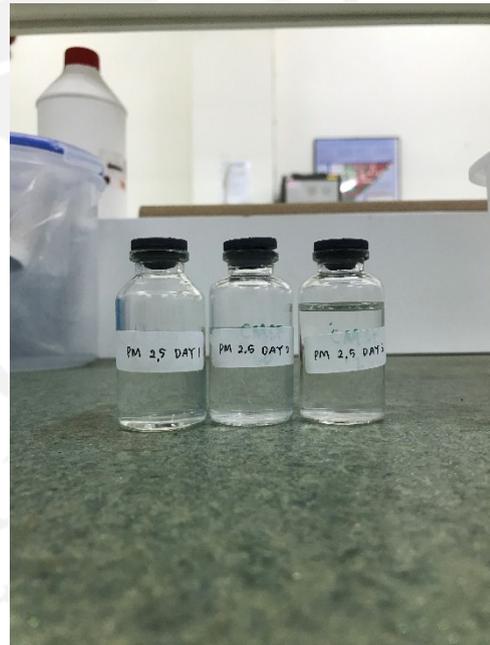
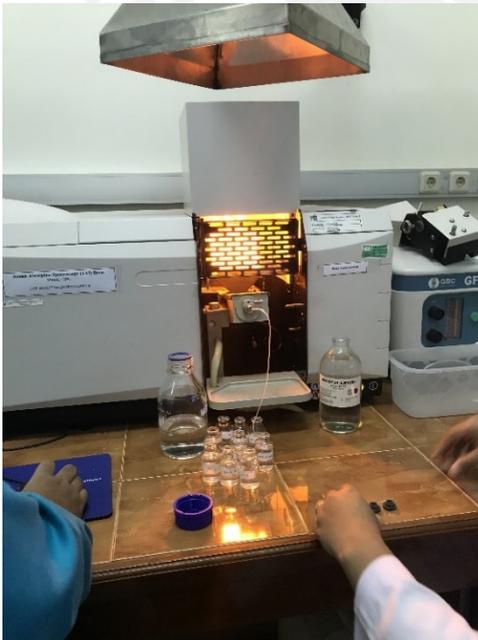
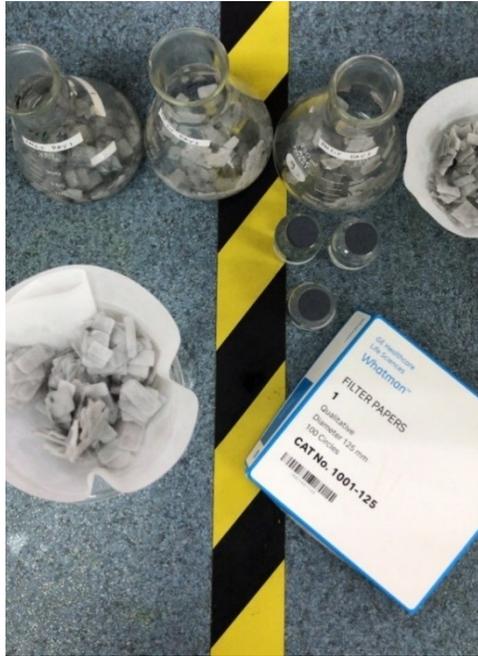
Tabel Perhitungan Konsentrasi Fe di Udara

Pembacaan AAS ke-1						
Kode	Ct (ug/mL)	Cb (ug/mL)	Vt (ml)	S/St (mm²/mm²)	V (m³)	C Fe (ug/m³)
PM 2.5 D1	8.4545	0.0567	20	1	1701.3	0.0987
PM 2.5 D2	6.2126	0.0567	20	1	1702.9	0.0723
PM 2.5 D3	5.6065	0.0567	20	1	1697.8	0.0654
Pembacaan AAS ke-2						
Kode	Ct (ug/mL)	Cb (ug/mL)	Vt (ml)	S/St (mm²/mm²)	V (m³)	C Fe (ug/m³)
PM 2.5 D1	9.1936	0.1586	20	1	1701.3	0.1062
PM 2.5 D2	6.8187	0.1586	20	1	1702.9	0.0782
PM 2.5 D3	6.3292	0.1586	20	1	1697.8	0.0727

Lampiran 7 Dokumentasi Penelitian



Dokumentasi Kegiatan Sampling dan Preparasi Sampel

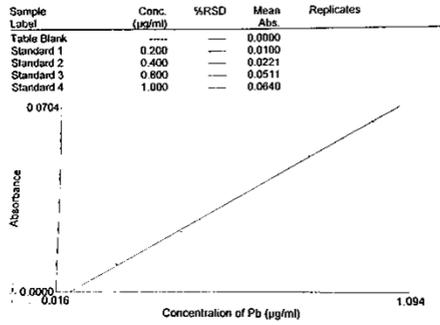


Dokumentasi Preparasi Sampel dan Proses Pengujian Konsentrasi Logam Menggunakan AAS



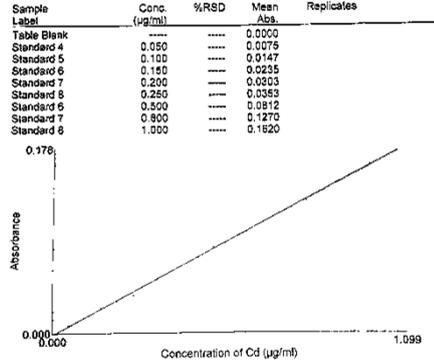
Dokumentasi Proses Pengujian Konsentrasi Logam Menggunakan AAS

Results File D:\GBC AAS\2022\Mhs133. Pb.res
 Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.ant
 Element Pb
 Date Thu Mar 31 13:52:42 2022
 Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error: 0.0146 R²: 0.9991 R: 0.9995
 Conc = 0.0628 + 14.5995 * Abs



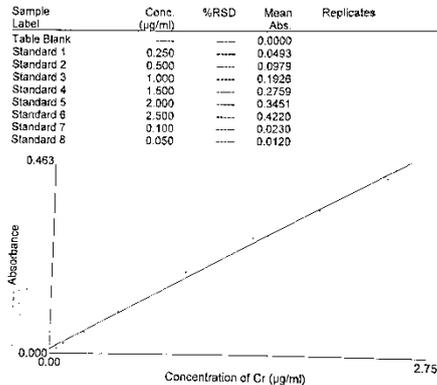
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	----	0.0000	
Standard 1	0.200	----	0.0100	
Standard 2	0.400	----	0.0221	
Standard 3	0.800	----	0.0511	
Standard 4	1.000	----	0.0640	
TSP D1	0.322	11.45	0.0177	0.0201 0.0164 0.0168
PM 10 D1	0.333	14.14	0.0185	0.0161 0.0182 0.0213
PM 2.5 D1	0.294	4.37	0.0159	0.0155 0.0155 0.0167
TSP D2	0.313	6.41	0.0172	0.0161 0.0172 0.0183
PM 10 D2	0.330	11.85	0.0183	0.0192 0.0200 0.0159
PM 2.5 D2	0.365	5.60	0.0207	0.0194 0.0215 0.0213
TSP D3	0.325	11.50	0.0180	0.0183 0.0158 0.0199
PM 10 D3	0.306	10.41	0.0167	0.0186 0.0152 0.0163
PM 2.5 D3	0.313	4.72	0.0171	0.0181 0.0167 0.0167

Results File D:\GBC AAS\2022\Mhs31. Cd.res
 Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.ant
 Element Cd
 Date Thu Mar 31 13:47:22 2022
 Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error: 0.0215 R²: 0.9991 R: 0.9991
 Conc = 0.0119 + 6.1356 * Abs



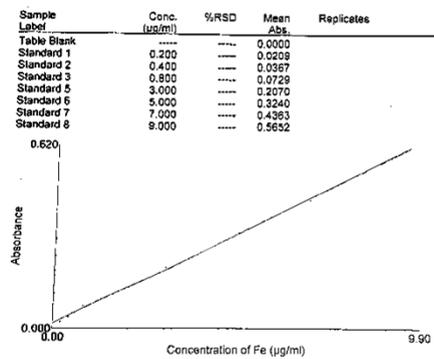
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	----	0.0000	
Standard 4	0.050	----	0.0075	
Standard 5	0.100	----	0.0147	
Standard 6	0.150	----	0.0235	
Standard 7	0.200	----	0.0303	
Standard 8	0.250	----	0.0353	
Standard 9	0.300	----	0.0412	
Standard 6	0.500	----	0.0812	
Standard 7	0.800	----	0.1270	
Standard 8	1.000	----	0.1620	
Sample Blank	----	HIGH	-0.0005	-0.0008 0.0000 -0.0008
TSP D1	0.131	1.42	0.0184	0.0182 0.0197 0.0192
PM 10 D1	0.129	3.90	0.0191	0.0185 0.0200 0.0189
PM 2.5 D1	0.120	4.51	0.0178	0.0183 0.0175 0.0167
TSP D2	0.124	4.39	0.0162	0.0190 0.0172 0.0184
PM 10 D2	0.127	3.35	0.0187	0.0194 0.0184 0.0183
PM 2.5 D2	0.134	2.06	0.0200	0.0198 0.0195 0.0204
TSP D3	0.127	3.23	0.0188	0.0195 0.0184 0.0185
PM 10 D3	0.116	3.61	0.0170	0.0171 0.0164 0.0176
PM 2.5 D3	0.131	5.17	0.0193	0.0203 0.0194 0.0183

Results File D:\GBC AAS\2022\Mhs134. Cr.res
 Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.ant
 Element Cr
 Date Thu Mar 31 13:33:00 2022
 Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error: 0.0766 R²: 0.9969 R: 0.9984
 Conc = -0.0636 + 5.9306 * Abs



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	----	0.0000	
Standard 1	0.250	----	0.0493	
Standard 2	0.500	----	0.0979	
Standard 3	1.000	----	0.1928	
Standard 4	1.500	----	0.2759	
Standard 5	2.000	----	0.3451	
Standard 6	2.500	----	0.4220	
Standard 7	0.100	----	0.0230	
Standard 8	0.050	----	0.0120	
Sample Blank	----	HIGH	0.0088	0.0086 0.0084 0.0107
TSP D1	0.066	7.02	0.0219	0.0201 0.0229 0.0229
PM 10 D1	0.045	4.78	0.0182	0.0178 0.0176 0.0192
PM 2.5 D1	0.063	12.19	0.0213	0.0242 0.0194 0.0201
TSP D2	0.044	10.36	0.0182	0.0203 0.0169 0.0172
PM 10 D2	0.035	7.60	0.0167	0.0152 0.0171 0.0176
PM 2.5 D2	0.045	13.77	0.0193	0.0206 0.0201 0.0141
TSP D3	0.021	17.20	0.0142	0.0134 0.0169 0.0122
PM 10 D3	0.021	HIGH	0.0143	0.0160 0.0107 0.0160
PM 2.5 D3	0.020	7.49	0.0141	0.0137 0.0153 0.0133

Results File D:\GBC AAS\2022\Mhs32. Fe.res
 Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.ant
 Element Fe
 Date Thu Mar 31 13:41:31 2022
 Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error: 0.1269 R²: 0.9991 R: 0.9992
 Conc = -0.2738 + 16.4253 * Abs



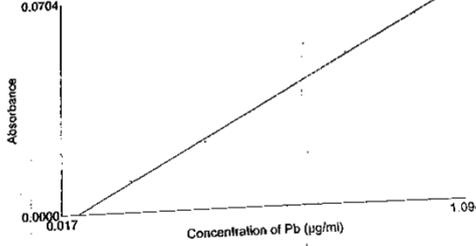
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	----	0.0000	
Standard 1	0.200	----	0.0039	
Standard 2	0.400	----	0.0087	
Standard 3	0.800	----	0.0229	
Standard 5	3.000	----	0.2070	
Standard 6	5.000	----	0.3240	
Standard 7	7.000	----	0.4383	
Standard 8	9.000	----	0.5652	
Sample Blank	----	HIGH	0.0201	0.0206 0.0108 0.0289
TSP D1	9.454	0.99	0.5922	0.5981 0.5922 0.5984
PM 10 D1	8.746	0.52	0.5492	0.5494 0.5462 0.5519
PM 2.5 D1	8.455	0.80	0.5314	0.5281 0.5316 0.5345
TSP D2	8.421	2.73	0.5293	0.5235 0.5187 0.5458
PM 10 D2	5.952	0.62	0.3797	0.3823 0.3777 0.3790
PM 2.5 D2	6.213	0.55	0.3949	0.3930 0.3973 0.3945
TSP D3	5.924	1.19	0.3816	0.3770 0.3851 0.3816
PM 10 D3	5.052	2.59	0.3248	0.3155 0.3272 0.3318
PM 2.5 D3	5.607	1.49	0.3590	0.3642 0.3546 0.3553

Dokumentasi Hasil Pengujian AAS Ke-1 Konsentrasi Logam Pb, Cd, Cr, dan Fe

Results File
 Analysis
 Filename
 Element
 Date
 Full Calibration
 Calibration Mode

D:\GBC AAS\2022\Win31\33.1 Pb.rn
 C:\Program Files\GBC Aventa Ver 2.02\Analysis1 ani
 Pb
 Thu Apr 14 13:02:04 2022
 Linear Least Squares Max Error: 0.0155 R²: 0.9990 R: 0.9995
 Conc = 0.0635 + 14.5879 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	---	---	0.0000	
Standard 4	0.200	---	0.0100	
Standard 5	0.400	---	0.0220	
Standard 6	0.800	---	0.0511	
Standard 7	1.000	---	0.0640	

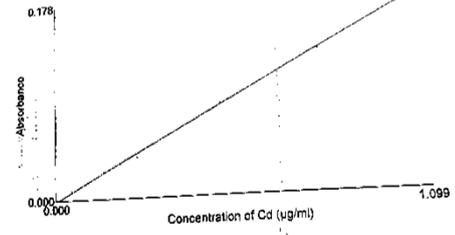


Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	---	9.65	0.0027	0.0026 0.0030 0.0026
TSP D1	0.305	8.23	0.0166	0.0180 0.0166 0.0152
PM 10 D1	0.348	8.14	0.0195	0.0212 0.0180 0.0193
PM 2.5 D1	0.336	4.70	0.0187	0.0195 0.0178 0.0188
TSP D2	0.352	3.46	0.0198	0.0195 0.0193 0.0206
PM 10 D2	0.340	3.54	0.0190	0.0197 0.0184 0.0188
PM 2.5 D2	0.275	5.26	0.0145	0.0137 0.0152 0.0145
TSP d3	0.254	5.03	0.0131	0.0138 0.0126 0.0128
PM 10 D3	0.222	4.52	0.0109	0.0113 0.0104 0.0110
PM 2.5 d3	0.249	5.57	0.0127	0.0128 0.0119 0.0134

Results File
 Analysis
 Filename
 Element
 Date
 Full Calibration
 Calibration Mode

D:\GBC AAS\2022\Win31.1 Cd.rn
 C:\Program Files\GBC Aventa Ver 2.02\Analysis1 ani
 Cd
 Thu Apr 14 13:21:24 2022
 Linear Least Squares Max Error: 0.0215 R²: 0.9991 R: 0.9995
 Conc = 0.0119 + 5.1328 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	---	---	0.0000	
Standard 4	0.050	---	0.0075	
Standard 5	0.100	---	0.0147	
Standard 6	0.150	---	0.0235	
Standard 7	0.200	---	0.0303	
Standard 8	0.500	---	0.0812	
Standard 7	0.800	---	0.1270	
Standard 8	1.000	---	0.1620	

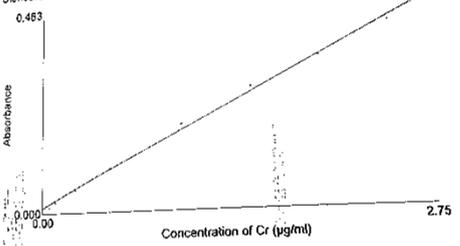


Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	---	HIGH	0.0000	0.0002 -0.0001 -0.0001
TSP D1	0.152	2.78	0.0229	0.0226 0.0236 0.0225
PM 10 D1	0.157	2.98	0.0237	0.0245 0.0234 0.0232
PM 2.5 D1	0.136	3.88	0.0202	0.0194 0.0208 0.0205
TSP D2	0.148	3.40	0.0221	0.0213 0.0228 0.0225
PM 10 D2	0.139	6.08	0.0208	0.0221 0.0196 0.0206
PM 2.5 D2	0.158	2.55	0.0239	0.0245 0.0237 0.0233
TSP d3	0.135	3.49	0.0201	0.0202 0.0194 0.0208
PM 10 D3	0.125	3.58	0.0184	0.0180 0.0180 0.0191
PM 2.5 d3	0.143	4.62	0.0213	0.0224 0.0212 0.0204

Results File
 Analysis
 Filename
 Element
 Date
 Full Calibration
 Calibration Mode

D:\GBC AAS\2022\Win31\34.1 Cr.rn
 C:\Program Files\GBC Aventa Ver 2.02\Analysis1 ani
 Cr
 Thu Apr 14 13:15:37 2022
 Linear Least Squares Max Error: 0.0790 R²: 0.9990 R: 0.9995
 Conc = -0.0930 + 0.6292 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	---	---	0.0000	
Standard 1	0.080	---	0.0120	
Standard 2	0.100	---	0.0230	
Standard 3	0.250	---	0.0493	
Standard 4	0.500	---	0.0975	
Standard 5	1.000	---	0.1928	
Standard 6	1.500	---	0.2759	
Standard 7	2.000	---	0.3451	
Standard 8	2.500	---	0.4220	

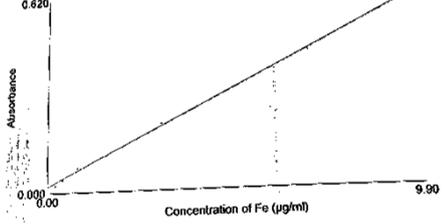


Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	---	2.31	0.0061	0.0062 0.0060
TSP D1	0.012	16.84	0.0126	0.0141 0.0111
PM 10 D1	-0.009	3.91	0.0091	0.0088 0.0093
PM 2.5 D1	0.002	14.27	0.0109	0.0098 0.0120
TSP D2	-0.001	16.92	0.0104	0.0117 0.0092
PM 10 D2	-0.007	11.22	0.0094	0.0087 0.0102
PM 2.5 D2	-0.004	HIGH	0.0099	0.0084 0.0115
TSP d3	-0.016	8.84	0.0080	0.0075 0.0085
PM 10 D3	-0.002	8.15	0.0103	0.0099 0.0108
PM 2.5 d3	-0.009	HIGH	0.0091	0.0110 0.0072

Results File
 Analysis
 Filename
 Element
 Date
 Full Calibration
 Calibration Mode

D:\GBC AAS\2022\Win31.1 Fe.rn
 C:\Program Files\GBC Aventa Ver 2.02\Analysis1 ani
 Fe
 Thu Apr 14 13:10:24 2022
 Linear Least Squares Max Error: 0.1301 R²: 0.9991 R: 0.9995
 Conc = -0.2734 + 18.4244 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	---	---	0.0000	
Standard 1	0.200	---	0.0209	
Standard 2	0.400	---	0.0387	
Standard 3	0.800	---	0.0729	
Standard 4	3.000	---	0.2070	
Standard 5	5.000	---	0.3240	
Standard 6	7.000	---	0.4383	
Standard 7	9.000	---	0.5652	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	---	HIGH	0.0063	0.0057 0.0077 0.0053
TSP D1	High	1.00	0.6462	0.6525 0.6465 0.6396
PM 10 D1	9.755	0.38	0.6106	0.6130 0.6104 0.6094
PM 2.5 D1	9.194	2.23	0.5764	0.5863 0.5811 0.5619
TSP D2	9.000	1.15	0.5646	0.5701 0.5575 0.5664
PM 10 D2	6.619	1.14	0.4197	0.4220 0.4142 0.4312
PM 2.5 D2	6.819	1.38	0.4318	0.4262 0.4381 0.4154
TSP d3	6.699	0.77	0.4190	0.4203 0.4215 0.4154
PM 10 D3	6.329	0.78	0.3683	0.3667 0.3666 0.3716
PM 2.5 d3	6.329	0.69	0.4020	0.4024 0.3991 0.4046

Dokumentasi Hasil Pengujian AAS Ke-2 Konsentrasi Logam Pb, Cd, Cr, dan Fe

Lampiran 8 Data Kendaraan Pengangkut Sampah TPST Piyungan Maret 2022

Tabel Jumlah Kendaraan Pengangkut Sampah TPST Piyungan Periode Maret 2022

Tanggal	Jumlah Kendaraan							Total
	Roda Tiga	Truk	Dump Truck	Pickup	Truk Engkel	Amrol	Compactor	
1 Maret 2022	10	4	170	61	25	28	8	306
2 Maret 2022	10	4	170	61	25	28	8	306
3 Maret 2022	13	6	130	58	27	14	6	254
4 Maret 2022	11	1	153	45	18	22	8	258
5 Maret 2022	11	4	164	61	24	21	6	291
6 Maret 2022	0	0	65	0	3	5	8	81
7 Maret 2022	15	2	168	70	22	30	7	314
8 Maret 2022	10	3	177	52	21	22	9	294
9 Maret 2022	6	3	173	67	19	22	7	297
10 Maret 2022	15	1	170	47	26	22	9	290
11 Maret 2022	10	2	150	53	22	18	8	263
12 Maret 2022	12	2	116	62	22	11	7	232
13 Maret 2022	0	0	76	0	2	4	7	89
14 Maret 2022	12	4	168	66	25	27	8	310
15 Maret 2022	8	1	159	58	26	18	7	277
16 Maret 2022	7	4	166	66	22	22	9	296
17 Maret 2022	10	2	166	51	24	19	9	281
21 Maret 2022	11	6	273	103	35	31	23	482
22 Maret 2022	12	0	220	72	32	29	12	377
23 Maret 2022	14	5	197	61	21	28	9	335

24 Maret 2022	8	4	169	60	34	28	9	312
25 Maret 2022	8	4	147	51	16	14	8	248
26 Maret 2022	12	6	179	55	28	20	8	308
27 Maret 2022	6	1	95	24	8	5	7	146
28 Maret 2022	9	4	158	64	19	31	9	294
29 Maret 2022	13	1	182	64	25	20	10	315
30 Maret 2022	11	6	162	55	26	24	10	294
31 Maret 2022	11	3	174	73	28	27	7	323
Total	275	83	4497	1560	625	590	243	7873
Rata-Rata	10	3	161	56	22	21	9	281

