

TUGAS AKHIR
ANALISIS SEBARAN PARTICULATE MATTER 2,5 (PM_{2,5})
DAN PARTICULATE MATTER 10 (PM₁₀)
AKIBAT AKTIVITAS OPERASIONAL
PT. PELABUHAN INDONESIA (PERSERO) DI
PANTOLOAN, SULAWESI TENGAH



Diajukan Kepada Universitas Tadulako untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh derajat
Sarjana Strata Satu Teknik Lingkungan

Oleh:
Dwi Nanda Fitrah
F 131 20 074

PRODI S-1 TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
PALU, 2025

TUGAS AKHIR
SEBARAN PARTIKULAT BERUKURAN 2,5
MIKROMETER(PM2,5) DAN 10 MIKROMETER (PM10)
AKIBAT AKTIVITAS OPERASIONAL
PT. PELABUHAN INDONESIA (PERSERO) DI PANTOLOAN,
SULAWESI TENGAH



Diajukan Kepada Universitas Tadulako untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
derajad Sarjana Strata Satu Teknik Lingkungan

Oleh:
Dwi Nanda Fitrah
F 131 20 074

PRODI S-1 TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
PALU, 2025

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS SEBARAN PARTICULATE MATTER 2,5 (PM 2,5) DAN
PARTICULATE MATTER 10 (PM 10) AKIBAT AKTIVITAS
OPERASIONAL PT. PELABUHAN INDONESIA (PERSERO) DI
PANTOLOAN, SULAWESI TENGAH

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

DWI NANDA FITRAH

F13120074

SKRIPSI

Telah dipertahankan didepan Majelis Penguji dan dinyatakan diterima sebagai salah satu
persyaratan untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan

Pada tanggal 25 September 2025

Mengesahkan,



Ir. Andi Arifin Adim, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19740323 199903 1 002

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako,

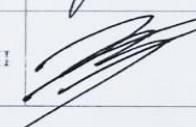
Dr. Sriyati Ramadhan, S.T., M.T.
NIP. 19750925 200501 2 011

HALAMAN PERSETUJUAN

Panitia Ujian Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Lingkungan Universitas Tadulako yang ditetapkan berdasarkan SK Dekan Fakultas Teknik 18110/UN28.6/KP.00.00/2025 Tanggal 25 September 2025 menyatakan menyetujui Tugas Akhir yang telah dipertanggung jawabkan di hadapan Majelis Penguji pada Hari Jumat Tanggal 25 September 2025 oleh :

Nama : Dwi Nanda Fitrah
No. Stambuk : F131 20 074
Judul Skripsi : "Sebaran Partikulat Berukuran 2,5 Mikrometer (Pm2,5) Dan 10 Mikrometer (Pm10) Akibat Aktivitas Operasional Pt. Pelabuhan Indonesia (Persero) Di Pantoloan, Sulawesi Tengah"

Dosen Pembimbing :

No.	Nama / NIP	Jabatan	Tandatangan
1.	Ir. Andi Iin Nindy Karlinda K, ST., MT NIP. 19960415 202203 2 013	Pembimbing I	
2.	Ir. M Marjan, ST., M.Sc NIP. 199201022023211033	Pembimbing II	

Palu, 25 September 2025
Ketua Program Studi S1 Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Tadulako


Dr. Ir. Setiawan ST., MT
NIP. 19781217 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Mahasiswa yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dwi Nanda Fitrah
Stambuk : F131 20 074
Fakultas/Jurusan/Prodi : Teknik/Teknik Sipil/S1-Teknik Lingkungan
Judul : "Sebaran Partikulat Berukuran 2,5 Mikrometer (Pm2,5) Dan 10 Mikrometer (Pm10) Akibat Aktivitas Operasional Pt. Pelabuhan Indonesia (Persero) Di Pantoloan, Sulawesi Tengah

Dengan ini menyatakan sebenar-benarnya bahwa laporan tugas akhir yang saya serahkan ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri bukan duplikasi dari orang lain, kecuali kutipan-kutipan dari ringkasan yang semuanya telah saya jelaskan sumbernya. Apabila dikemudian hari saya terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil duplikasi dari orang lain, maka saya akan menerima sanksi yang diberikan dengan segala konsekuensinya.

Palu, 5 September 2025



Dwi Nanda Fitrah

F13120074

MOTTO DAN PERSEMPAHAN

MOTTO :

*"BELAJAR BUKAN UNTUK MENJADI YANG TERBAIK DARI
ORANG LAIN, MELAINKAN UNTUK MENJADI VERSI
TERBAIK DARI DIRI SENDIRI."*

“PERSEMPAHAN”

LAPORAN TUGAS AKHIR INI DIPERSEMPAHAKAN
UNTUK KEDUA ORANG TUA AYAH, IBU, DAN
SAUDARA TERCINTA

"SESUNGGUHNYA BERSAMA KESULITAN ADA
KEMUDAHAN."

(QS. AL-INSYIRAH: 6)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, atas segala nikmat, rahmat, dan hidayah yang telah dilimpahkan kepada penulis dan seluruh umat manusia. Shalawat serta salam tak lupa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, sebagai teladan utama bagi umat Islam. Berkat izin dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Sebaran Partikulat Berukuran 2,5 Mikrometer (Pm2,5) Dan 10 Mikrometer (Pm10) Akibat Aktivitas Operasional Pt. Pelabuhan Indonesia (Persero) Di Pantoloan, Sulawesi Tengah”** sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.

Penulis menyadari bahwa selama proses penulisan ini masih terdapat berbagai keterbatasan dan tantangan yang dihadapi. Namun, dengan bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak, serta ridha Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua tercinta, (Alm) Syafrudin dan Ibu Nurmawati, atas segala pengorbanan yang telah diberikan sehingga penulis dapat melanjutkan pendidikan hingga ke jenjang perguruan tinggi, serta atas kasih sayang, nasihat, semangat, dukungan, dan doa yang selalu mereka panjatkan demi keberhasilan penulis.

Selain itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pembimbing pertama dan kedua, Ibu Iin Nindy Karlinda K, S.T., M.T., dan Bapak Ir. M. Marjan, S.T., M.Sc., atas waktu, arahan, dorongan, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis hingga tesis ini selesai. Dengan penuh ketulusan dan rasa hormat, penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Amar, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Tadulako.
2. Bapak Ir. Andi Arham, S.T., M.Sc(Eng.), Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tadulako.

3. Ibu Dr. Sriyati Ramadhani, S.T., M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
4. Bapak Dr. Ir. Setiyawan, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Lingkungan.
5. Ibu Ir. Andi Iin Nindy Karlinda K, S.T., M.T., selaku pembimbing I yang telah dengan sabar meluangkan waktu untuk memberikan arahan, dukungan, serta motivasi kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
6. Bapak Ir. M. Marjan, S.T., M.Sc., sebagai pembimbing II yang telah berkenan meluangkan waktu guna memberikan bimbingan, masukan, serta dorongan kepada penulis dalam merampungkan tugas akhir ini.
7. Ibu Dr. Ir. Zeffitni, S.Pd., M.T., Bapak Ir. Moh. Baitullah Amaludin, S.T., M.Ling., dan Bapak Dr. Ir. Rizaldi Maadji, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, kritik membangun, serta arahan yang sangat berarti bagi penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
8. Penulis tugas akhir ini adalah Dr. Ir. Zeffitni, S.Pd., M.T., Ir. Moh. Baitullah Amaludin, S.T., M.Ling., dan Dr. Ir. Rizaldi Maadji, S.T., M.T. yang bertindak sebagai penguji dan memberikan masukan serta komentar yang bermanfaat.
9. Rekan-rekan kerja di CV. Tekling Mendaki dan seluruh mahasiswa Teknik Lingkungan angkatan 2020 yang senantiasa memberikan dukungan, kebahagiaan, semangat, dan bantuan dalam penyusunan tugas akhir ini.
Dengan penuh kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan penulisan skripsi. Akhir kata, penulis mengharapkan semoga tujuan dari pembuatan skripsi ini dapat tercapai dengan yang diharapkan.

Palu, 2025

Dwi Nanda Ftrah
F 131 20 074

**SEBARAN PARTIKULAT BERUKURAN 2,5 MIKROMETER (PM2,5) DAN
10 MIKROMETER (PM10) AKIBAT AKTIVITAS OPERASIONAL PT.
PELABUHAN INDONESIA (PERSERO) DI PANTOLOAN, SULAWESI
TENGAH**

Dwi Nanda Fitrah, Andi Iin Nindy Karlinda, M Marjan

ABSTRAK

Pencemaran udara menjadi permasalahan serius di kawasan dengan aktivitas tinggi, seperti pelabuhan. Penelitian ini bertujuan menganalisis sebaran konsentrasi partikulat PM2,5 dan PM10 akibat aktivitas operasional PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) di Pantoloan, Kota Palu. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif, dengan pengukuran langsung di lima titik selama tujuh hari, pada tiga interval waktu (pagi, siang, sore) menggunakan Particulate Counter. Data meteorologi (arah dan kecepatan angin) diperoleh dari BMKG dan dimodelkan menggunakan HYSPLIT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi PM2,5 masih berada di bawah baku mutu udara ambien $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($8,66\text{--}53,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sebaliknya, konsentrasi PM10 sering melebihi ambang batas $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai tertinggi mencapai $396,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Uji statistik Kruskal-Wallis menunjukkan perbedaan signifikan antar waktu pengukuran ($p < 0,001$). Selain itu, arah angin dominan ke utara turut memengaruhi pola penyebaran polutan di area pelabuhan.

Kata kunci: PM2,5, PM10, kualitas udara, pelabuhan, ArcGis, pencemaran udara

***DISTRIBUTION OF PARTICULATES MEASURING 2.5 MICROMETERS (PM2.5)
AND 10 MICROMETERS (PM10) DUE TO OPERATIONAL ACTIVITIES OF PT.
PELABUHAN INDONESIA (PERSERO) IN PANTOLOAN, CENTRAL SULAWESI***

Dwi Nanda Fitrah, Andi Iin Nindy Karlinda, M Marjan

ABSTRACT

Air pollution is a serious environmental problem, especially in areas with high operational activities such as ports. This study analyzes the distribution of PM2.5 and PM10 concentrations resulting from the operational activities of PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) in Pantoloan, Palu City. A quantitative descriptive method was applied, with direct measurements conducted at five sampling points over seven consecutive days at three time intervals (morning, afternoon, and evening) using a Particulate Counter. Meteorological data, including wind direction and speed, were obtained from BMKG and modeled using HYSPLIT. The results show that PM2.5 concentrations remained below the ambient air quality standard of $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ranging from $8.66\text{--}53.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In contrast, PM10 concentrations often exceeded the threshold of $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with the highest recorded value reaching $396.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The Kruskal-Wallis test indicated significant differences between measurement times ($p < 0.001$). Furthermore, the dominant northward wind direction influenced the spatial distribution of pollutants in the port area.

Keywords: PM2.5, PM10, air quality, port, ArcGis, air pollution

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN HASIL TUGAS AKHIR Error! Bookmark not defined.

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Sitematika Penulisan.....	3
1.6 Hipotesis	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Udara	4
2.2 Udara Ambien	4
2.3 Pencemaran udara	5
2.4 Baku Mutu Udara Ambien	8
2.5 Tinjauan Parameter Uji	9
2.5.1 Particulate (PM _{2,5}).....	9
2.5.2 Particulate (PM ₁₀).....	10
2.6 <i>Geographic Information System</i> (GIS)	12
2.7 PT. Pelabuhan Indonesia (Persero)	12
BAB III METODE PENELITIAN	18

3.1 Jenis Penelitian.....	18
3.1.1 Jenis Penelitian.....	18
3.1.2 Tahapan Penelitian	18
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2.1 Lokasi Penelitian.....	18
3.2.2 Waktu Penelitian	24
3.3 Populasi dan Sampel	24
3.3.1 Populasi.....	24
3.3.2 Sampel.....	24
3.4 Alat dan Bahan	24
3.5 Pengumpulan Data	25
3.6 Analisis Data	25
3.6.1 Anova One Way.....	26
3.6.2 Pola sebaran	26
3.7 Bagan Alir penelitian	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Hasil Penelitian	28
4.1.1 Hasil Analisis Data Parameter PM 2,5 dan PM 10	28
4.1.2 Hasil Analisis Statistik untuk Parameter PM2,5 dan PM10	43
4.2 Pembahassan	62
4.2.1 Analisis Parameter PM 10.....	62
4.2.2 Analisis Statistik untuk Parameter PM2,5 dan PM10	62
BAB V PENUTUP.....	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Peta Lokasi Kegiatan.....	21
Gambar 3.2 Peta Batas Administrasi sebelah Utara.....	22
Gambar 3.3 Peta Batas Administrasi Sebelah Timur.....	23
Gambar 3.4 Peta Batas Administrasi Sebelah Selatan	24
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Pm 2.5 dan PM 10 Pada Hari Senin	34
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian PM 2,5 dan PM 10 Hari Selasa	35
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian PM 2,5 dan PM 10 Hari Rabu	37
Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian PM 2,5 dan PM 10 Hari Kamis	38
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian PM 2,5 dan PM 10 Hari Jum'at.....	39
Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian PM Pm 2.5 dan PM 10 Hari Sabtu	40
Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian PM 2,5 dan PM 10 Hari Minggu.....	41
Gambar 4.8 Diagram Mawar Angin.....	45
Gambar 4.9 Frekuensi Distribusi Kecepatan Angin di Lokasi Penelitian	45
Gambar 4.10 pola Sebaran udara PM 2,5 Pada Hari Senin	47
Gambar 4.11 Pola Sebaran Udara PM 10 pada Hari Senin	48
Gambar 4.12 Pola Sebara Udara PM 2,5 pada Hari Selasa	49
Gambar 4.13 Pola Sebara Udara PM 10 pada Hari Selasa	50
Gambar 4.14 Pola Sebara Udara PM 2,5 pada Hari Rabu	51
Gambar 4.15 Pola Sebara Udara PM 10 pada Hari Rabu	52
Gambar 4.16 Pola Sebara Udara PM 2,5 pada Hari Kamis	53
Gambar 4.17 Pola Sebara Udara PM 10 pada Hari Kamis	54
Gambar 4.18 Pola Sebara Udara PM 2,5 pada Hari Jum'at.....	55
Gambar 4.19 Pola Sebara Udara PM 10 pada Hari Jum'at.....	56
Gambar 4.20 Pola Sebara Udara PM 2,5 pada Hari Sabtu.....	57
Gambar 4.21 Pola Sebara Udara PM 10 pada Hari Sabtu.....	58
Gambar 4.22 Pola Sebaran Udara PM 2,5 Hari Minggu.....	59
Gambar 4.23 Pola Sebaran Udara PM 10 Hari Minggu.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku mutu Udara Ambien.....	8
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu.....	13
Tabel 3.1 Waktu Pengukuran	24
Tabel 4.1 Hasil Penelitian Pada Hari Senin 21 Oktober 2024	28
Tabel 4.2 Hasil Penelitian Pada Hari Selasa 22 Oktober 2024	29
Tabel 4.3 Hasil Penelitian Pada Hari Rabu 23 Oktober 2024	29
Tabel 4.4 Hasil Penelitian Pada Hari Kamis 24 Oktober 2024	30
Tabel 4.5 Hasil Penelitian Pada Hari Jum'at 25 Oktober 2024.....	30
Tabel 4.6 Hasil Penelitian Pada Hari Sabtu 26 Oktober 2024	31
Tabel 4.7 Hasil Penelitian Pada Hari Minggu 27 Oktober 2024.....	31
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Data Suhu dan Kelembaban.....	40
Tabel 4.9 Hasil Uji Kruskal Wallis	43
Tabel 4.10 komparasi Data kecepatan Angin Pengukuran di Lokasi Penelitian dan Data BMKG	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran udara merupakan masalah global yang mengancam kesehatan dan iklim. Hampir semua negara di dunia terkena dampak pencemaran dari udara. Berdasarkan data World Health Organization (WHO), sebanyak 6,7 juta orang mengalami kematian dini akibat pencemaran udara (WHO, 2020). Salah satu faktor pencemaran udara adalah kegiatan operasional. Aktivitas operasional memiliki kontribusi besar terhadap pencemaran udara (Smith, 2020).

Berdasarkan laporan World Health Organization (WHO), polusi udara menyebabkan sekitar 8 juta kematian setiap hari di seluruh dunia, dengan 4,3 juta di antaranya berasal dari polusi yang dihasilkan oleh aktivitas rumah tangga (WHO, 2012). Paparan polusi udara dapat memberikan efek jangka pendek, seperti meningkatnya risiko kematian akibat gangguan pada sistem kardiovaskular dan pernapasan. Setiap kenaikan konsentrasi PM10 dalam ruangan sebesar $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ dapat memicu peningkatan angka kematian akibat penyakit kardiovaskular sebesar 0,36% serta kematian akibat gangguan pernapasan sebesar 0,42%. Hal serupa terjadi pada partikel PM2,5, di mana peningkatan konsentrasi sebesar $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ dapat menaikkan risiko kematian akibat penyakit kardiovaskular sebesar 0,63% dan gangguan pernapasan sebesar 0,75%. Jika terpapar PM10 dalam jangka waktu lama, risiko kematian akibat paparan ini dapat meningkat hingga 67%. (Lu et al., 2015).

PT. Pelabuhan Indonesia (Pelindo) sebagai salah satu perusahaan besar di sektor pelabuhan, memiliki aktivitas operasional yang signifikan. Kegiatan ini berpotensi besar menghasilkan partikel-partikel polutan seperti PM2,5 dan PM10 yang dapat mencemari udara sekitar.

Dalam konteks operasional PT. Pelabuhan Indonesia (Pelindo), penting untuk menganalisis sebaran PM2,5 dan PM10 yang dihasilkan dari aktivitas perusahaan. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran udara, memahami dampaknya terhadap kesehatan pekerja dan masyarakat sekitar, serta mencari solusi untuk mengurangi emisi partikel polutan. Dengan demikian, diharapkan PT. Pelindo

dapat berkontribusi dalam menjaga kualitas udara dan kesehatan lingkungan di sekitarnya.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, penulis berminat untuk melaksanakan penelitian mengenai **“Sebaran Partikulat Berukuran 2,5 Mikrometer (Pm2,5) Dan 10 Mikrometer (Pm10) Akibat Aktivitas Operasional Pt. Pelabuhan Indonesia (Persero) Di Pantoloan, Sulawesi Tengah”**. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai perbandingan kadar konsentrasi PM2,5 dan PM10 antara sebelum dan saat kegiatan operasional berlangsung.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dalam penulisan ini maka dapat di tarik rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat konsentrasi PM2,5 dan PM10 selama berlangsungnya aktivitas operasional PT Pelabuhan Indonesia (Persero)?
2. Bagaimana sebaran konsentrasi (PM₁₀ dan PM_{2,5}) pada saat kegiatan aktivitas operasional PT. Pelabuhan Indonesia (Persero) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui tingkat konsentrasi (PM_{2,5} dan PM₁₀) pada aktivitas operasional PT. Pelabuhan Indonesia (Persero);
2. Mengetahui pola sebaran PM 2,5 dan PM 10 pada saat kegiatan operasional berlangsung.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi peneliti maupun pihak-pihak terkait lainnya. Adapun tujuan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti

Untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi di Program S1 Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, dan meraih gelar Sarjana Teknik (ST).

2. Bagi Universitas

Untuk meningkatkan pemahaman penulis mengenai kualitas udara ambien, khususnya terkait dengan partikel PM 2,5 dan PM 10.

1.5 Sitematika Penulisan

Berdasarkan uraian pada latar belakang, rumusan masalah, serta tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini, maka disusun sistematika penulisan sebagai berikut:

1. **BAB I** berisi bagian pendahuluan yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup dan batasan masalah, serta sistematika penulisan.
2. **BAB II** memuat kajian pustaka yang secara terstruktur berisi teori-teori dan pemikiran yang relevan dengan penelitian yang dilakukan.
3. **BAB III** menjelaskan mengenai metode penelitian, lokasi dan waktu penelitian, teknik pengumpulan data, serta prosedur pengujian parameter dalam penelitian ini.
4. **BAB IV** berisi analisis data dan pembahasan yang menguraikan hasil penelitian, penyajian data, serta penjelasan sistematis terkait temuan yang diperoleh. Bab ini juga memuat pengolahan data untuk mendukung pencapaian tujuan penelitian.
5. **BAB V** berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan, serta memuat saran dan rekomendasi dari penulis terkait faktor-faktor pendukung dan kendala yang dihadapi selama proses penelitian berlangsung

1.6 Hipotesis

Hipotesis terbagi Menjadi dua yaitu :

1. Hipotesis 0 (H0) : Tiga kelompok memiliki rata – rata nilai konsentrasi.
2. Hipotesis Alternatif (HA) : Tiga kelompok memiliki rata – rata nilai konsentrasi yang berbeda.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Udara

Udara merupakan komponen yang sangat penting bagi semua makhluk hidup, termasuk manusia, untuk bertahan hidup. Campuran beberapa gas yang terdapat di lapisan yang mengelilingi bumi dikenal sebagai udara. Ketika bahan asing memasuki atmosfer, susunan fisik dan kimianya dapat berubah dari keadaan alaminya. Kondisi ini kita sebut sebagai polusi udara. Kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan dapat terganggu oleh udara yang terkontaminasi dengan satu atau lebih polutan atau campuran bahan kimia asing dalam jumlah tertentu dan dalam jangka waktu yang cukup lama (Hikmiyah, 2018).

2.2 Udara Ambien

Istilah "udara ambien" sering muncul dalam konteks kesehatan dan lingkungan. Udara ini merupakan campuran berbagai gas yang ada di atmosfer bumi dan dapat dihirup oleh manusia tanpa menimbulkan dampak kesehatan yang signifikan. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang berperan penting bagi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan elemen lingkungan lainnya. (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2021)

Udara ambien, yang kerap dibahas dalam isu kesehatan dan lingkungan, merupakan udara di atmosfer bumi yang dapat dihirup manusia tanpa memberikan dampak negatif yang berarti terhadap kesehatan. Menurut regulasi pemerintah, udara ambien dijelaskan sebagai udara bebas yang berada di lapisan troposfer pada permukaan bumi dan berada dalam wilayah hukum Republik Indonesia. Udara ini memiliki peran vital dalam menjaga kesehatan manusia, kelangsungan hidup makhluk hidup, serta keberlanjutan lingkungan. Penelitian terkait kualitas udara ambien sangat diperlukan untuk mengetahui pengaruh pencemaran udara terhadap kesehatan manusia dan ekosistem, serta sebagai dasar dalam menyusun kebijakan pengelolaan kualitas udara yang efektif.

Orang-orang seringkali tidak memahami bahwa setiap tindakan yang mereka lakukan dapat memiliki dampak positif dan negatif. Pembuangan limbah ke udara,

tanah, dan air merupakan salah satu dampak negatif tersebut. Beberapa pihak berupaya meningkatkan kualitas udara di lokasi masing-masing sebagai akibat dari penurunan tersebut. Vandyck, Keramidas, Tchung-Ming, Weitzel, dan Van Dingenen (2020) menyatakan bahwa polusi udara dan perubahan iklim merupakan dampak negatif dari aktivitas manusia yang menghasilkan emisi gas rumah kaca. Kedua masalah ini diperburuk oleh berbagai kontaminan yang dihasilkan oleh aktivitas manusia.

2.3 Pencemaran udara

Beragam kebijakan dan upaya telah dilaksanakan di tingkat daerah, nasional, maupun global untuk menangani permasalahan pencemaran udara. Di Indonesia, sebagai contoh, pemerintah telah menetapkan baku mutu udara ambien melalui Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999. Selain itu, terdapat program-program seperti Adipura dan PROPER yang bertujuan meningkatkan kualitas udara dengan menerapkan pengelolaan lingkungan yang optimal (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019).

Pencemaran udara terjadi ketika zat pencemar seperti asap, debu, gas, kabut, uap, dan bau hadir dalam konsentrasi tinggi dan bertahan lama di udara, sehingga mengganggu aktivitas manusia dan makhluk hidup lainnya. Kondisi ini seringkali menyebabkan kerugian, seperti munculnya gangguan pada sistem pernapasan manusia, yang mengakibatkan hilangnya nilai manfaat dalam masyarakat. Pencemaran udara juga berdampak buruk terhadap kesehatan, lingkungan, serta dapat merusak bangunan dan properti. Salah satu sumber penyumbang pencemaran udara adalah aktivitas konstruksi, dengan tingkat pencemarannya berbeda-beda sesuai dengan jenis kegiatan yang dilakukan (Rahmadani, 2022)

2.3.1 Penyebab Pencemaran Udara

Baik sumber tetap maupun bergerak, seperti sektor rumah tangga, bisnis, dan transportasi, berkontribusi terhadap pencemaran udara. Pembangunan spasial yang tidak seimbang, tingginya angka urbanisasi, pertambahan jumlah penduduk, dan rendahnya kesadaran masyarakat

terhadap pencemaran udara merupakan variabel lain yang secara tidak langsung berkontribusi terhadap pencemaran udara (Simandjuntak, 2013).

Kualitas udara dipengaruhi oleh pencemaran udara. Penyebab pencemaran udara terbagi menjadi dua kategori: polutan partikel dan gas. Polutan partikel meliputi total suspended particulate (TSP) dengan diameter partikel hingga 100 μm , partikel dengan diameter kurang dari 10 μm (PM10), dan partikel dengan diameter kurang dari 2.5 μm (PM2.5). Sedangkan polutan gas meliputi sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), karbon monoksida (CO), ozon permukaan (O₃), dan lainnya (Yulinawati, 2015).

2.3.2 Sumber Pencemaran Udara

Baik unsur alami maupun buatan manusia dapat berkontribusi terhadap pencemaran udara lingkungan. Menurut Yanti (2021), emisi dari mobil, pabrik, dan pabrik merupakan contoh pencemaran udara yang disebabkan oleh manusia, sedangkan letusan gunung berapi merupakan contoh sumber alami. Lingkungan dalam dan luar ruangan dapat terpengaruh oleh pencemaran udara ini. Menurut Wardoyo (2016), terdapat dua kategori sumber pencemaran udara: sumber tetap seperti rumah, bisnis, dan pembangkit listrik, serta sumber bergerak seperti mobil, kapal, dan lalu lintas.

Kualitas udara merupakan salah satu aspek penting dalam pembangunan berkelanjutan. Kualitas udara yang buruk dapat berdampak negatif terhadap kesehatan manusia, lingkungan, dan ekonomi. Kegiatan konstruksi dapat menjadi salah satu sumber pencemaran udara, karena menghasilkan berbagai polutan, seperti debu, gas, dan asap.

2.3.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kualitas Udara

Terdapat beberapa hal yang memengaruhi terjadinya pencemaran udara, di antaranya adalah:

a. Meteorologi dan Iklim

Perubahan mendadak pada pergerakan lapisan udara dingin menuju wilayah industri dapat memicu terjadinya inversi atmosfer, yaitu kondisi ketika udara dingin terjebak di suatu area sehingga tidak dapat bergerak keluar, menyebabkan polutan tetap berada dekat permukaan tanah dan konsentrasinya meningkat. Pada situasi ini, hampir tidak terjadi sirkulasi udara di permukaan bumi. Keadaan ini dapat berlangsung selama beberapa hari hingga berminggu-minggu, menjadikan udara di sekitar permukaan bumi dipenuhi polutan yang membahayakan kesehatan.

b. Arah dan Kecepatan Angin

Angina yang berhembus dengan kecepatan tinggi dapat membawa polutan ke daerah yang jauh dari sumbernya, sehingga memicu terjadinya pencemaran di lokasi lain. Sebaliknya, ketika angin bergerak dengan kecepatan rendah, polutan akan tetap terperangkap di sekitar area sumber pencemar, yang mengakibatkan peningkatan konsentrasi polutan di wilayah tersebut.

c. Hujan

Air hujan berperan sebagai pelarut alami yang dapat membersihkan polutan dari udara. Di kawasan industri yang memanfaatkan batubara, gas SO₂ yang dilepaskan ke atmosfer dapat bereaksi dengan air hujan dan membentuk asam sulfat, sehingga menimbulkan fenomena hujan asam.

d. Topografi

1. Dataran Rendah

Angin di wilayah dataran rendah memiliki kemampuan untuk menyebarkan kontaminan ke berbagai arah, bahkan melintasi batas negara, sehingga mencemari udara di tempat lain.

2. Dataran Tinggi

Inversi suhu sering terjadi di wilayah dataran tinggi, memerangkap polutan di sana dan menjaganya tetap dekat dengan permukaan tanah.

3. Lembah

Polutan cenderung terkurung di permukaan bumi di lembah karena angin biasanya relatif lemah dan tidak terdistribusi ke segala arah.

2.4 Baku Mutu Udara Ambien

Baku mutu udara ambien diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, baku mutu ambien adalah nilai Pencemar Udara yang ditenggang keberadaannya dalam Udara Ambien. Kualitas udara dianggap baik ketika hasil pengujianya tidak melebihi standar mutu. Adapun standar baku mutu kualitas udara ambien sebagai berikut:

Tabel 2.1 Baku mutu Udara Ambien

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku mutu	Sistem Pengukuran
1	Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 Jam	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		24 Jam	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		1 Tahun	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
2	Karbon Monoksida (CO)	1 Jam	10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		8 Jam	4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
3	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 Jam	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		24 Jam	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		1 Tahun	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
4	Oksidan fotokimia (O [*]) sebagai Ozon (O ₃)	1 Jam	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		8 Jam	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		1 Tahun	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
5	Hidrokarbon Non Metana (NMHC)	3 Jam	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
6	Partikulat debu < 100 pm (TSP)	24 Jam	230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif manual
	Partikulat debu < 10 pm (PM ₁₀)	24 Jam	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		1 Tahun	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif manual
	Partikulat debu	24 Jam	55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku mutu	Sistem Pengukuran
	<2,5 pm (PM _{2,5})	1 Tahun	15 µg/m ³	aktif manual
7	Timbal (Pb)	24 Jam	2 µg/m ³	aktif kontinu

Sumber: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021

Lampiran VII

Keterangan:

µg/m³ = konsentrasi dalam microgram permeter kubik, pada kondisi atmosfer normal, yaitu tekanan (P) 1 atm dan temperatur (T) 25°C

2.5 Tinjauan Parameter Uji

2.5.1 Particulate (PM_{2,5})

Partikel halus, yang dikenal sebagai PM 2.5 memiliki diameter kurang dari 2,5 µm. Partikel ini dapat melewati rambut dan hidung hingga mencapai saluran pernapasan, dan menumpuk melalui difusi, yang memungkinkan partikel ini merusak bagian tubuh lain melalui pertukaran udara di paru-paru (Xing et al, 2016).

Konsentrasi PM 2.5 di atmosfer dipengaruhi oleh sumber antropogenik, sumber alami, faktor meteorologi, dan proses kimiawi. Siklus diurnal PM2.5 dipengaruhi oleh variabilitas PM2.5 global dan didorong oleh emisi lokal, kondisi meteorologi, dan produksi PM2.5 sekunder. Peningkatan konsentrasi PM2.5 pada siang hari disebabkan oleh pembentukan PM2.5 sekunder melalui reaksi kimia gas prekursor dengan radiasi matahari (Li et al, 2015).

Peningkatan konsentrasi PM2.5 pada sore dan malam hari dipengaruhi oleh faktor lokal, ketinggian wilayah, dan pola cuaca, termasuk suhu dan kelembaban. Penurunan suhu mengurangi difusi partikel, sehingga meningkatkan konsentrasi PM2.5, sedangkan kelembaban tinggi menyebabkan kondensasi yang juga meningkatkan konsentrasi PM2.5 (Hernandez et al, 2017).

Partikel debu ini dapat masuk ke tubuh manusia melalui sistem pernapasan dan bertahan di udara dalam jangka waktu yang lama. Paparan jangka pendek terhadap PM10 dapat mengakibatkan peradangan paru-paru, infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), penyakit kardiovaskular, peningkatan kunjungan UGD, penggunaan obat yang lebih sering, dan bahkan peningkatan

risiko kematian, menurut WHO (2011) dalam Mursinto & Kusumawardani (2016). Di sisi lain, paparan jangka panjang terhadap PM10 dapat menyebabkan kanker paru-paru, gangguan fungsi paru-paru pada anak-anak, penurunan harapan hidup, dan penyakit pernapasan seperti asma (Nurjanah dkk., 2014).

a. Sumber Partikulat (PM_{2,5})

Sumber PM_{2,5} yang berasal dari alam antara lain berupa debu yang terbawa angin dari tanah kering, partikel vulkanik serta debu yang dilepaskan ke udara akibat aktivitas letusan gunung berapi, serta uap panas yang muncul di sekitar wilayah panas bumi. Di sisi lain, sumber PM_{2,5} dari aktivitas manusia biasanya berasal dari pembakaran batubara, aktivitas konstruksi, kegiatan industri, kebakaran hutan, dan asap kendaraan bermotor (Aisyah Ahmad, 2017).

b. Dampak Partikulat (PM_{2,5})

Uap panas yang dihasilkan di wilayah panas bumi, partikel dan debu vulkanik yang dilepaskan ke atmosfer akibat letusan gunung berapi, serta debu yang terbawa angin dari wilayah kering, semuanya merupakan sumber alami PM_{2,5}. Menurut Aisyah Ahmad (2017), sumber PM_{2,5} yang disebabkan oleh manusia sering kali meliputi pembakaran batu bara, proyek pembangunan, proses industri, kebakaran hutan, dan emisi gas buang kendaraan bermotor.

2.5.2 Particulate (PM₁₀).

Partikulat (PM) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan partikel padat dan/atau cair yang berada di atmosfer. Meskipun secara individu partikel ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, saat berkumpul partikulat akan tampak seperti asap hitam, kabut abu-abu, atau awan debu. Menurut keterangan dari Depkes RI, ukuran partikulat ini sangat kecil, berkisar antara 1 mikron hingga 500 mikron. Partikel ini dapat terbentuk melalui berbagai aktivitas alam seperti letusan gunung berapi dan tiupan angin yang membawa debu serta tanah. Selain itu, aktivitas manusia juga dapat menghasilkan

partikulat, seperti debu dari bahan bangunan, abu terbang dari proses peleburan baja, pembakaran tidak sempurna, dan kegiatan lainnya (Pujiyanti, 2020).

Partikulat ini dapat bertahan cukup lama di udara dan berpotensi terhirup ke dalam tubuh manusia melalui sistem pernapasan. Berdasarkan WHO (2011) dalam Mursinto & Kusumawardani (2016), paparan PM10 dalam jangka pendek dapat menimbulkan peradangan pada paru-paru, infeksi saluran pernapasan atas (ISPA), gangguan pada sistem kardiovaskular, peningkatan kunjungan ke unit gawat darurat, penggunaan obat-obatan yang lebih tinggi, bahkan dapat menyebabkan kematian. Sedangkan untuk paparan jangka panjang, PM10 dapat memicu gangguan pada saluran pernapasan bagian bawah, memicu asma, menurunkan fungsi paru-paru pada anak-anak, mengurangi angka harapan hidup, serta meningkatkan risiko terkena kanker paru-paru (Nurjanah et al., 2014).

a. Sumber Partikulat

Partikulat PM10 secara alami dapat berasal dari tanah, mikroorganisme seperti bakteri dan virus, ragi, serbuk sari, serta dari penguapan air laut. Sementara itu, aktivitas manusia yang berkontribusi terhadap pembentukan partikulat ini meliputi penggunaan kendaraan bermotor, proses pembakaran, kegiatan industri, dan operasional pembangkit listrik. Berdasarkan ukuran diameternya, sumber partikulat dibagi sebagai berikut (US EPA, 2004):

1. Partikulat ultrahalus (ultrafine) dengan ukuran diameter $\leq 0,1 \mu\text{m}$, umumnya berasal dari proses pembakaran, transformasi SO_2 , campuran senyawa organik di atmosfer, serta reaksi kimia pada suhu tinggi.
2. Partikulat mode akumulasi berukuran sekitar $0,1 \mu\text{m}$, dihasilkan dari pembakaran bahan bakar seperti batubara, minyak, bensin, solar, kayu bakar, serta dari transformasi NO_x , SO_2 , dan senyawa organik lainnya.
3. Partikulat kasar (coarse) dengan ukuran diameter $> 3 \mu\text{m}$, biasanya berasal dari resuspensi debu industri, debu tanah yang terangkat dari

jalan raya, serta dari kegiatan yang mengganggu permukaan tanah seperti aktivitas pertanian dan pertambangan.

b. Dampak Partikulat

Efek kesehatan dari paparan PM_{10} dalam waktu singkat dapat mempengaruhi reaksi radang paru-paru, ISPA (Infeksi saluran pernapasan atas), gangguan pada sistem kardiovaskuler, meningkatnya perawatan gawat darurat, peningkatan penggunaan obat bahkan kematian. Sementara dampak jangka Panjang PM_{10} dapat meningkatkan gejala gangguan saluran pernapasan bawah, eksaserbasi asma, penurunan fungsi paru pada anak-anak, peningkatan obstruktif paru-paru kronis, penurunan fungsi paru-paru pada orang dewasa, penurunan tingkat rata-rata harapan hidup terutama kematian yang diakibatkan oleh penyakit 27 cardiopulmonary dan probabilitas kejadian kanker paru-paru (Nurjanah, 2014).

2.6 *Geographic Information System (GIS)*

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem informasi berbasis komputer yang berfungsi untuk mengelola dan menyimpan data yang berkaitan dengan informasi geografi. Umumnya, SIG terdiri atas komponen perangkat keras, perangkat lunak, sumber daya manusia, serta data, yang bekerja secara efektif untuk proses input, penyimpanan, pemrosesan, hingga pembaruan data yang memiliki unsur geografis. (Annugera et al., 2016)

2.7 *PT. Pelabuhan Indonesia (Persero)*

PT Pelabuhan Indonesia I (Persero), PT Pelabuhan Indonesia II (Persero), PT Pelabuhan Indonesia III (Persero), dan PT Pelabuhan Indonesia IV (Persero) merupakan BUMN non-tercatat di bursa, dengan keseluruhan sahamnya dimiliki oleh Kementerian BUMN sebagai perwakilan Negara Republik Indonesia. Pada tanggal 1 Oktober 2021, berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2021, PT Pelabuhan Indonesia I, III, dan IV (Persero) resmi bergabung ke dalam PT Pelabuhan Indonesia II (Persero), menjadikan PT Pelabuhan Indonesia II (Persero) sebagai entitas yang tetap melaksanakan kegiatan operasional. Selanjutnya, melalui Surat Menteri BUMN Republik Indonesia Nomor S-756/MBU/10/2021 tertanggal 1 Oktober 2021

mengenai Persetujuan Perubahan Nama, Anggaran Dasar, dan Logo Perusahaan, nama PT Pelabuhan Indonesia II (Persero) diubah menjadi “PT Pelabuhan Indonesia (Persero)” yang disingkat menjadi Pelindo. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai Analisis Sebaran $PM_{2,5}$ dan PM_{10} Akibat Aktivitas Operasional PT. Pelindo di Kota Palu berdasarkan penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai salah satu refensi dalam penelitian ini.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

Judul Jurnal	Nama Penulis	Tahun	Hasil Penelitian
Penelitian tentang dampak polusi udara (CO, NO_2 , SO_2 , PM_{10} , $PM_{2,5}$, dan TSP) pada tempat kerja di sektor perkapalan.	Suci Pramadita, Erly Esaputri, dan Dian Rahayu Jati	2022	Karbon monoksida (CO) dan total suspension particulate matter (TSP) memiliki konsentrasi tertinggi di lokasi pengambilan sampel kedua, dengan konsentrasi masing-masing $2,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $61,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, menurut hasil pengukuran tingkat pencemaran udara di tiga lokasi pengambilan sampel di PT Kapuas Cahaya Bahasri (KACABA). Sebaliknya, TSP memiliki konsentrasi tertinggi di lokasi pengambilan sampel pertama dan ketiga, dengan nilai masing-masing $50,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $53,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Republik Indonesia, nilai konsentrasi pencemaran yang teramati masih di bawah kriteria mutu udara ambien.

Judul Jurnal	Nama Penulis	Tahun	Hasil Penelitian
			<p>Waktu pengambilan sampel yang hanya bertepatan dengan kegiatan pembersihan lambung kapal menggunakan mesin penggiling, dan volume pekerjaan yang relatif kecil karena hanya menangani satu kapal kemungkinan menjadi alasan tingkat pencemaran yang masih dalam batas normal.</p>
Kajian Risiko Kesehatan Akibat Terpapar Partikel Debu (PM2,5) dari Kegiatan Transportasi	Tri Septian Maksum serta Sylva Flora Ninta Tarigan	2022	<p>Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, konsentrasi PM2,5 di sepanjang jalan raya Kota Gorontalo masih berada di bawah nilai baku mutu ambang batas, yaitu $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau $0,065 \text{ mg}/\text{m}^3$. Titik I memiliki nilai PM2,5 terendah yaitu $0,01116 \text{ mg}/\text{m}^3$, sedangkan Titik III memiliki konsentrasi tertinggi yaitu $0,03682 \text{ mg}/\text{m}^3$. Titik II memiliki nilai intake pajanan PM2,5 real time tertinggi dan tingkat risiko tertinggi, yaitu $9,49\text{e-}4 \text{ mg/kg/hari}$ dengan nilai risiko sebesar 0,09487483</p>

Judul Jurnal	Nama Penulis	Tahun	Hasil Penelitian
			(RQ \leq 1) yang masih tergolong aman dan tidak menimbulkan risiko nonkarsinogenik. Meskipun demikian, pedagang kaki lima diimbau untuk tetap mengenakan masker guna mengurangi kemungkinan dampak pajanan PM2,5, meskipun tingkat pajanan real time tersebut masih dalam batas aman.
Kajian Kualitas Udara Berdasarkan Parameter PM2,5 di Kota Sorong Menggunakan Pendekatan ISPU	Ayu Diah Syafaati, Siti Najma Nindya Utami, serta Susilo Arifi	2023	Dari September 2021 hingga Juni 2023, Stasiun Pemantauan Atmosfer Global (GAW) Puncak Vihara Klademak Sorong memantau kadar PM2.5. Berdasarkan hasil pemantauan, rata-rata konsentrasi PM2.5 bulanan berkisar antara 2,66 hingga 7,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ selama periode tersebut, dengan fluktuasi yang cenderung meningkat. Rata-rata konsentrasi PM2.5 harian selama periode pemantauan berkisar antara 1,21 hingga 18,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, yang masih di bawah ambang batas baku mutu harian sebesar 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ selama periode 24 jam jika dibandingkan dengan baku

Judul Jurnal	Nama Penulis	Tahun	Hasil Penelitian
			<p>mutu udara ambien. Dengan nilai $4,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rata-rata konsentrasi PM2.5 tahunan pada tahun 2022 masih di bawah batas baku mutu tahunan sebesar $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk periode pengukuran satu tahun.</p>
Evaluasi Polusi Udara PM2.5 Dan PM10 di Kota Bandung serta Kaitannya dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut	Ismail Wellid, Luga Martin Simbolon, Muh amad Anda Falahuddin, Nita Nurfitriani, Kasni Sumeru, Mohamad Firdaus bin Sukri dan, Nani Yuningsih	2024	<p>Berdasarkan hasil studi, kualitas udara Kota Bandung, kecuali di kawasan Alun-alun, masih aman dari polusi PM10 jika dibandingkan dengan kriteria nasional dan WHO. Kecuali hari Jumat dan Sabtu di kawasan Alun-alun, ketiga lokasi uji tersebut masih dinyatakan aman untuk parameter PM2.5 sesuai dengan kriteria mutu nasional. Meskipun demikian, berdasarkan pedoman WHO, polusi PM2.5 terdeteksi di ketiga lokasi di Kota Bandung, mulai Senin hingga Minggu. Kawasan Alun-alun memiliki nilai konsentrasi tertinggi, sementara Terminal Dago memiliki nilai terendah, berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi PM2.5 dan PM10</p>

Judul Jurnal	Nama Penulis	Tahun	Hasil Penelitian
			di ketiga lokasi tersebut. Oleh karena itu, untuk meminimalisir polusi PM2.5 di ketiga lokasi tersebut, Pemerintah Kota Bandung harus segera menyusun dan melaksanakan langkah-langkah mitigasi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

3.1.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memaparkan kondisi kualitas udara di area sekitar aktivitas operasional PT Pelabuhan Indonesia (Persero) dengan mengukur parameter PM2,5 dan PM10.

3.1.2 Tahapan Penelitian

Tahap pertama dalam proses penelitian ini adalah mengidentifikasi permasalahan, yang kemudian dilanjutkan dengan tinjauan pustaka yang relevan. Setelah itu, data kuantitatif dikumpulkan, dianalisis, dan didiskusikan sebelum kesimpulan dan saran dibuat berdasarkan temuan penelitian.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

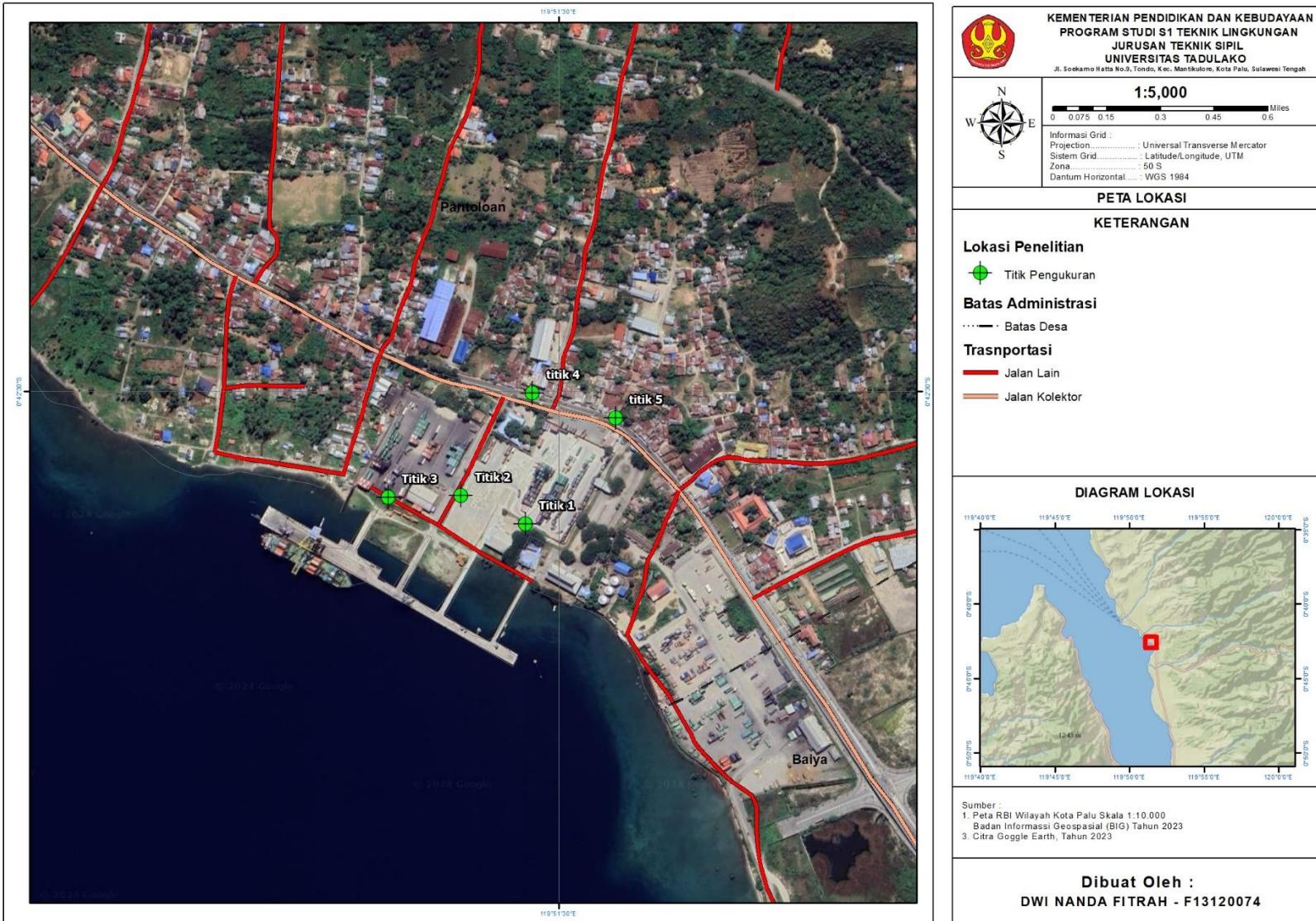
3.2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berjudul Analisis Sebaran PM10 dan PM2,5 Akibat Kegiatan Operasional PT Pelabuhan Indonesia (Persero) dan dilaksanakan pada lima titik lokasi. Pemilihan lokasi tersebut didasari oleh tingginya intensitas aktivitas operasional di area tersebut, yang berpotensi menimbulkan polusi udara serta memberikan dampak terhadap kesehatan manusia dan lingkungan sekitar.

Titik 1	:	0°42'36.67"S - 119°51'28.34"E
Titik 2	:	0°42'35.24"S - 119°51'25.11"E
Titik 3	:	0°42'35.31"S - 119°51'21.44"E
Titik 4	:	0°42'30.07"S - 119°51'28.71"E
Titik 5	:	0°42'31.32"S - 119°51'32.89"E

Kecamatan Pantoloan terletak di Kota Palu, Kabupaten Tawaeli, Provinsi Sulawesi Tengah. Secara geografis, wilayah-wilayah berikut berbatasan dengan Pantoloan :

- **Sebelah Utara** : Berbatasan dengan Teluk Palu, yang merupakan bagian dari perairan Laut Sulawesi.
- **Sebelah Timur** : Berbatasan dengan Kelurahan Baiya dan sebagian dengan wilayah perbukitan.
- **Sebelah Selatan** : Berbatasan dengan Kelurahan Panau, yang juga merupakan bagian dari Kecamatan Tawaeli.
- **Sebelah Barat** : Berbatasan dengan wilayah pesisir dan Teluk Palu.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Kegiatan



Gambar 3.2 Peta Batas Administrasi sebelah Utara



Gambar 3.3 Peta Batas Administrasi Sebelah Timur



Gambar 3.4 Peta Batas Administrasi Sebelah Selatan

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada hari senin 21 oktober 2024 – minggu 27 oktober 2024. Pengukuran partikulat dilakukan selama tujuh hari.

Tabel 3.1 Waktu Pengukuran

Waktu Pengukuran	Pukul
Pagi	06.00-10.00
Siang	10.00-14.00
Sore	14.00-18.00

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2021

3.3 Populasi dan Sampel

3.3.1 Populasi

Populasi adalah kumpulan objek atau subjek yang memiliki kualitas dan karakteristik tertentu sesuai dengan ketetapan peneliti untuk diteliti serta dijadikan dasar dalam penarikan kesimpulan. Pada penelitian ini, yang menjadi populasi adalah konsentrasi PM2,5 dan PM10.

3.3.2 Sampel

Pengambilan sampel dalam penelitian ini dilakukan secara non-random dengan metode purposive sampling, yaitu pemilihan sampel berdasarkan tujuan tertentu yang telah ditetapkan oleh peneliti. Adapun sampel pada penelitian ini adalah kualitas udara ambien dengan parameter PM2,5 dan PM10 pada area kegiatan bongkar muat kontainer serta kawasan sekitar lokasi operasional. Faktor-faktor yang terkait dalam penelitian ini meliputi suhu, kelembaban, kecepatan angin, serta arah angin dominan.

3.4 Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. *Particulate Counter CEM Instruments DT-96* : 1 unit
- b. *Global Positioning System* : 1 unit
- c. *Anemometer* : 1 unit
- d. Alat Tulis : 1 unit

3.4.1 Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel uji dilakukan melalui tahapan sebagai berikut: Menempatkan alat pengukur pada posisi dan lokasi yang telah ditentukan sesuai dengan metode penentuan lokasi untuk pengambilan sampel pemantauan kualitas udara ambien. Buka inlet penutup;

- a. Lalu menekan tombol ON pada alat *Particle Counter*;
- b. Selanjutnya tekan tombol SET untuk mengatur pengambilan sampel;
- c. Tekan “Start” untuk memulai pengukuran selama jangka waktu yang pendek ± 5 menit, pantau dan catat laju alir udara setiap 5 menit;
- d. Tunggu sampai waktu pengambilan sampel selesai;
- e. Terakhir matikan alat *Particle Counter* dengan menekan tombol “start” kembali, tunggu beberapa detik alat uji *Particle Counter* akan off dengan sendirinya.

3.5 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan pendekatan kuantitatif yang melibatkan pengumpulan data kuantitatif. Metode kuantitatif ini menggunakan angka sebagai bentuk pengolahan data. Jenis data kuantitatif yang dikumpulkan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Suhu, kelembaban, dan kecepatan arah angin yang diukur dengan alat anemometer.
- b. Dengan menggunakan penghitung partikel, konsentrasi PM2.5 dan PM10 diukur di lima lokasi berbeda dengan interval 15 menit pada pagi, siang, dan sore hari. Kecepatan angin rata-rata selama waktu pengukuran digunakan karena arah angin selalu berubah.

3.6 Analisis Data

Dalam penelitian ini data yang dianalisis dianalisis berasal dari pemantauan langsung terhadap konsentrasi PM 2.5 dan PM 10 udara ambien. Data Kuantitatif dikumpulkan melalui pengukuran di lokasi yang sudah ditentukan, dengan sampel diambil secara teratur untuk menjamin keakuratan dan representasi hasil. Setelah pengumpulan, data kemudian dikelompokkan berdasarkan jenis variabelnya, yaitu

variabel numerik (seperti konsentrasi partikel dalam mikrogram per meter kubik) dan variabel kategori (seperti lokasi pengukuran atau waktu pengambilan sampel).

3.6.1 Anova One Way

One Way ANOVA (Analisis Variansi Satu Arah) merupakan teknik statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata di antara dua atau lebih kelompok dengan satu variabel independen. Metode ini merupakan pengembangan dari uji t, yang hanya membandingkan dua kelompok saja. Melalui One Way ANOVA, peneliti dapat mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan pada rata-rata antar kelompok berdasarkan analisis varians. Apabila data tidak terdistribusi secara normal, maka pengujian akan dilanjutkan menggunakan uji non-parametrik, yaitu uji Kruskal Wallis.

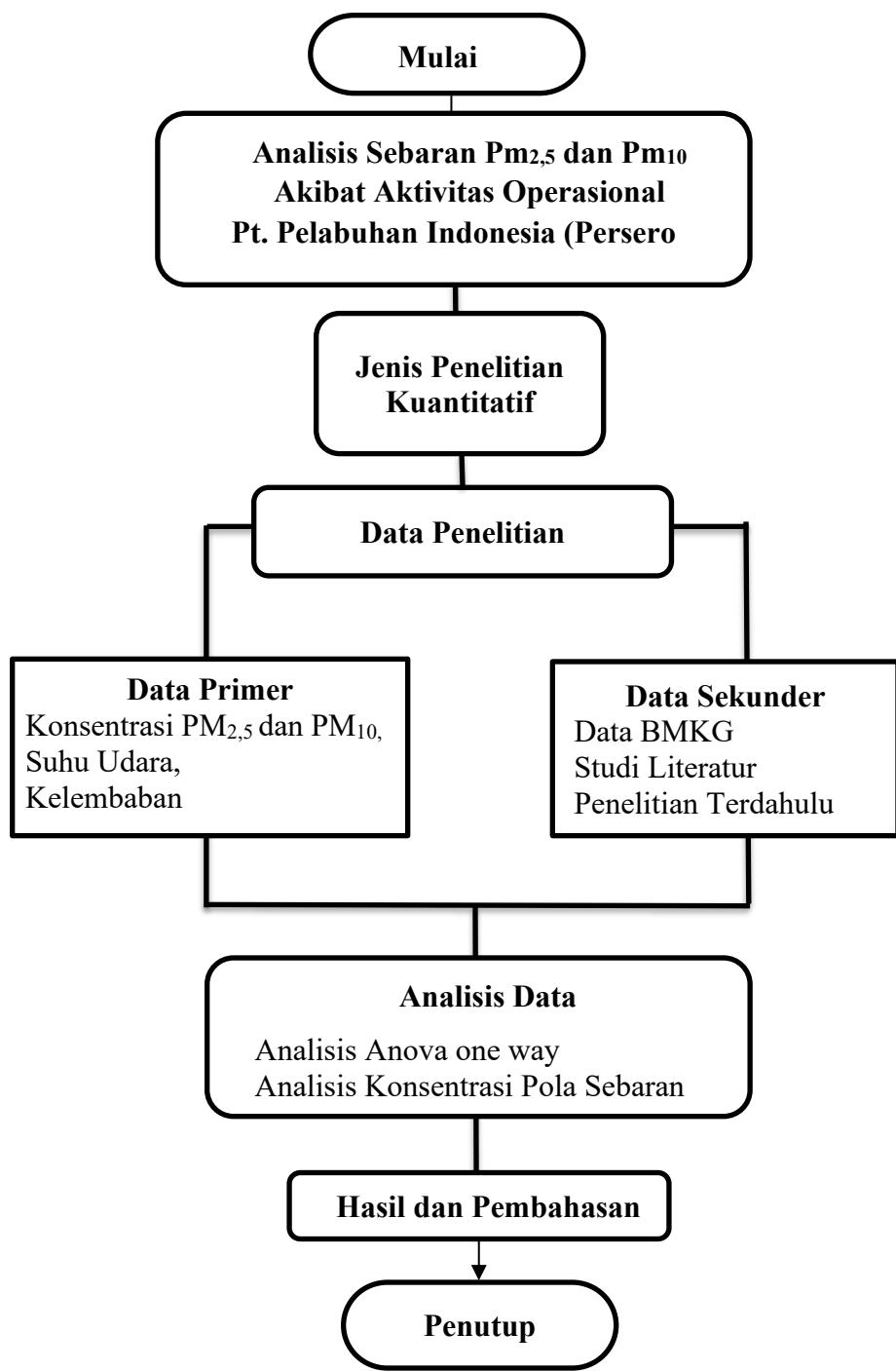
- a. Apabila nilai $\text{Sig. (2-tailed)} < 0,05$, maka terdapat perbedaan yang signifikan antara data sebelum dan sesudah penerapan.
- b. Apabila nilai $\text{Sig. (2-tailed)} > 0,05$, maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara data sebelum dan sesudah penerapan.

3.6.2 Pola sebaran

Data meteorologi diperoleh melalui situs resmi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, yang mencakup informasi mengenai arah angin dominan serta kecepatan angin rata-rata selama satu tahun. Pengolahan data dilakukan menggunakan Microsoft Excel. Analisis terhadap arah dan kecepatan angin ini bertujuan untuk mengetahui arah angin dominan serta kecepatan angin yang berhembus di sekitar lokasi penelitian selama periode satu tahun. Selanjutnya, data tersebut dimodelkan menggunakan perangkat lunak ArcGIS dalam bentuk diagram untuk memvisualisasikan arah dan kecepatan angin dominan di area penelitian.

3.7 Bagan Alir penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan mengikuti diagram alir yang dapat dilihat pada dibawah ini:



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini berlokasi di PT.Pelabuhan Indonesia (Persero) yang dilakukan selama satu minggu di mulai pada hari kamis 24 Oktober 2024 sampai dengan Rabu 30 Oktober 2024, titik pengukuran pada penelitian ini dilakukan pengukuran lima belas menit pada lima titik yang berbeda yang terbagi menjadi tiga interval waktu yaitu pagi, siang dan sore. Kondisi pada saat pengambilan sampel di lapangan selama satu minggu tidak ada kendala, hanya saja pada saat pengukuran kondisi angin tidak stabil di karenakan lokasi pengukuran yang berada pada pesisir pantai.

4.1.1 Hasil Analisis Data Parameter PM 2,5 dan PM 10

Berikut hasil dari pengukuran PM 2,5 dan PM 10 yang di lakukan selama tujuh hari pengukuran :

Tabel 4.1 Hasil Penelitian Pada Hari Senin 21 Oktober 2024

Titik	Nilai Konsentrasi							
	Pagi (PM 2,5)	Siang (PM2.5)	Sore (PM2.5)	Rata Rata	Pagi (PM10)	Siang (PM10)	Sore (PM10)	Rata Rata
T1	18,67	21,33	14,00	18,00	172,33	361,00	95,33	209,55
T2	24,33	25,00	14,33	21,22	594,33	469,67	124,33	396,11
T3	14,33	15,00	18,33	15,89	80,00	113,33	182,67	125,33
T4	56,33	63,67	25,00	48,33	242,67	247,67	213,67	234,67
T5	75,67	55,00	29,00	53,22	312,33	452,67	288,33	351,11
Baku Mutu	55	55	55	55	75	75	75	75

Sumber : Data Primer 2024

Pada Tabel 4.1 dapat di lihat bahwa hasil Penelitian PM 2,5 didapatkan nilai rata - rata pada lima titik sebesar 18,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 21,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 15,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 48,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 53,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan PM 10 sebesar 209,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 396,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 125,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 234,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 351,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VII tentang Baku Mutu Udara Ambien dimana PM 2,5 masih berada di bawah ambang batas sedangkan PM 10 berada di ambang batas.

Tabel 4.2 Hasil Penelitian Pada Hari Selasa 22 Oktober 2024

Titik	Nilai Konsentrasi							
	Pagi (PM2.5)	Siang (PM2.5)	Sore (PM2.5)	Rata Rata	Pagi (PM10)	Siang (PM10)	Sore (PM10)	Rata Rata
T1	15,00	13,00	10,67	12,89	377,00	203,33	75,67	218,67
T2	11,67	14,33	9,00	11,67	207	227,33	98,33	177,55
T3	8,33	8,33	9,33	8,66	210,00	38,00	35,67	94,56
T4	27,67	23,33	18,00	23,00	393,00	393,00	98,67	294,89
T5	21,00	13,67	15,33	16,67	321,33	321,33	78,67	240,44
Baku Mutu	55	55	55	55	75	75	75	75

Sumber: Data Primer 2024

Berdasarkan Tabel 4.2, hasil penelitian menunjukkan rata-rata konsentrasi PM2,5 pada lima lokasi berturut-turut sebesar $12,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $11,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $8,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $23,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $16,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara itu, konsentrasi rata-rata PM10 di lima titik tersebut adalah $218,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $177,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $94,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $294,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $240,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VII tentang Baku Mutu Udara Ambien, nilai PM2,5 masih berada di bawah ambang batas, sedangkan nilai PM10 berada pada batas ambang yang telah ditetapkan.

Tabel 4.3 Hasil Penelitian Pada Hari Rabu 23 Oktober 2024

Titik	Nilai Konsentrasi							
	Pagi (PM2.5)	Siang (PM2.5)	Sore (PM2.5)	Rata Rata	Pagi (PM10)	Siang (PM1)	Sore (PM10)	Rata Rata
T1	19,33	16,67	15,00	17,00	100,78	95,67	87,67	111,11
T2	21,00	17,00	20,67	19,56	308,00	157,33	367,00	277,44
T3	13,33	14,33	16,00	14,55	36,67	289,33	35,67	120,56
T4	14,33	18,00	24,67	19,00	48,67	163,33	273,33	161,78
T5	16,00	15,33	17,33	16,22	170,00	137,33	190,67	166,00
Baku Mutu	55	55	55	55	75	75	75	75

Sumber : Data Primer 2024

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat di lihat bahwa hasil Penelitian PM 2,5 didapatkan niali rata - rata pada lima titik sebesar $17,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $19,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $14,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $19,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $16,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$,sedangkan PM 10 sebesar $111,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $277,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $120,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $161,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $166,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VII tentang Baku Mutu Udara Ambien dimana PM 2,5 masih berada di bawa ambang batas sedangkan PM 10 berada di ambang batas.

Tabel 4.4 Hasil Penelitian Pada Hari Kamis 24 Oktober 2024

Titik	Nilai Konsentrasi							
	Pagi (PM2.5)	Siang (PM2.5)	Sore (PM2.5)	Rata Rata	Pagi (PM10)	Siang (PM10)	Sore (PM10)	Rata Rata
T1	17,00	15,67	17,33	16,67	203,00	76,67	197,00	158,89
T2	15,67	18,00	16,67	16,78	191,67	304,00	155,33	217,00
T3	15,33	15,33	15,67	15,44	99,67	85,67	163,33	116,22
T4	19,00	17,67	16,33	17,67	203,33	254,00	107,33	188,22
T5	14,00	12,67	13,67	13,45	79,67	52,67	109,00	80,45
Baku Mutu	55	55	55	55	75	75	75	75

Sumber : Data Primer 2024

Berdasarkan Tabel 4.4, diperoleh hasil bahwa rata-rata konsentrasi PM2,5 pada lima lokasi masing-masing sebesar $16,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $16,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $15,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $13,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara itu, rata-rata konsentrasi PM10 pada kelima titik tersebut adalah $158,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $217,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $116,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $188,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $80,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VII mengenai Baku Mutu Udara Ambien, nilai PM2,5 masih berada di bawah batas ambang, sedangkan nilai PM10 telah berada pada ambang batas yang ditentukan.

Tabel 4.5 Hasil Penelitian Pada Hari Jum'at 25 Oktober 2024

Titik	Nilai Konsentrasi							
	Pagi (PM2.5)	Siang (PM2.5)	Sore (PM2.5)	Rata Rata	Pagi (PM10)	Siang (PM10)	Sore (PM10)	Rata Rata
T1	22,00	29,00	21,33	24,11	355,00	129,67	386,00	290,22
T2	17,00	17,67	17,33	17,33	220,33	220,67	176,33	205,78
T3	17,33	18,00	18,33	17,89	58,67	180,00	67,00	101,89
T4	22,67	21,33	18,67	20,89	389,67	376,67	251,33	339,22
T5	22,00	15,33	16,33	17,89	323,33	105,33	125,67	184,78
Baku Mutu	55	55	55	55	75	75	75	75

Sumber : Data Primer 2024

Berdasarkan Tabel 4.5, diketahui bahwa rata-rata konsentrasi PM2,5 pada lima titik pengukuran masing-masing adalah $24,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $20,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $17,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara itu, konsentrasi PM10 pada titik yang sama tercatat sebesar $290,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $205,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $101,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $339,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $184,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VII

mengenai Baku Mutu Udara Ambien, nilai PM_{2,5} yang diperoleh masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, sedangkan nilai PM₁₀ berada pada batas ambang yang diperbolehkan.

Tabel 4.6 Hasil Penelitian Pada Hari Sabtu 26 Oktober 2024

Titik	Nilai Konsentrasi							
	Pagi (PM _{2,5})	Siang (PM _{2,5})	Sore (PM _{2,5})	Rata Rata	Pagi (PM 10)	Siang (PM ₁₀)	Sore (PM 10)	Rata Rata
T1	31,67	19,00	32,00	27,56	378,33	80,67	155,00	204,67
T2	23,67	19,33	20,00	21,00	169,33	108,67	78,33	118,78
T3	17,67	18,00	20,67	18,78	60,67	103,67	132,00	98,78
T4	28,00	22,67	37,33	29,33	369,00	264,67	535,00	389,56
T5	31,33	22,67	22,33	25,44	223,67	140,33	58,33	140,78
Baku Mutu	55	55	55	55	75	75	75	75

Sumber : Data Primer 2024

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat di lihat bahwa hasil Penelitian PM_{2,5} didapatkan nilai rata - rata pada lima titik sebesar 27,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 21,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 18,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 29,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 25,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan PM₁₀ sebesar 204,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 118,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 98,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 389,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 140,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VII tentang Baku Mutu Udara Ambien dimana PM_{2,5} masih berada di bawah ambang batas sedangkan PM₁₀ berada di ambang batas.

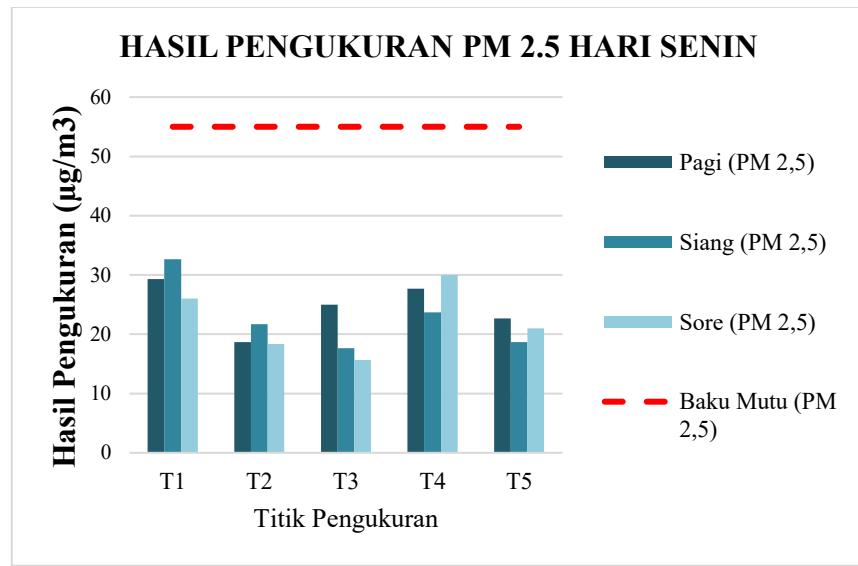
Tabel 4.7 Hasil Penelitian Pada Hari Minggu 27 Oktober 2024

Titik	Nilai Konsentrasi							
	Pagi (PM _{2,5})	Siang (PM _{2,5})	Sore (PM _{2,5})	Rata Rata	Pagi (PM 10)	Siang (PM ₁₀)	Sore (PM 10)	Rata Rata
T1	29,33	32,67	26,00	29,33	214,00	353,33	158,67	242,00
T2	18,67	21,67	18,33	19,56	71,33	233,33	71,00	125,22
T3	25,00	17,67	15,67	19,45	421,33	111,33	43,67	192,11
T4	27,67	23,67	20,00	23,78	231,67	127,67	247,33	202,22
T5	22,67	18,67	21,00	20,78	82,00	82,67	104,00	89,56
Baku Mutu	55	55	55	55	75	75	75	75

Sumber : Data Primer 2024

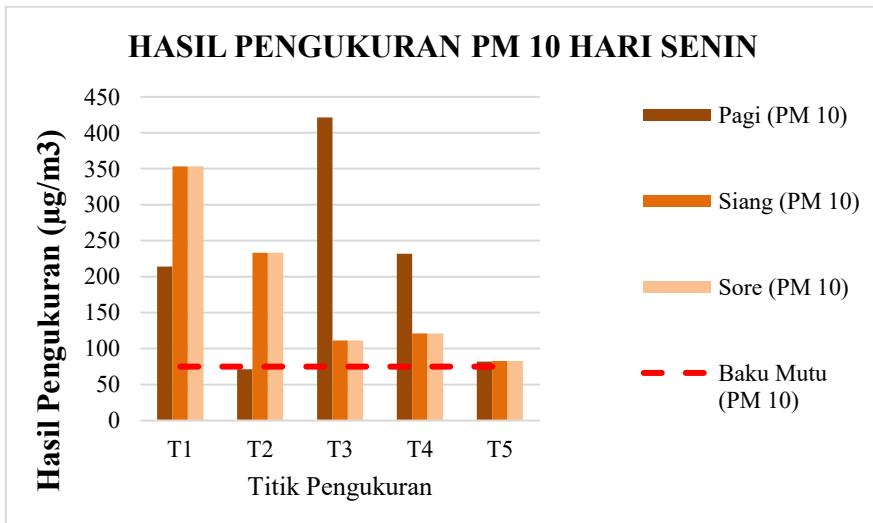
Pada Tabel 4.7 terlihat bahwa rata-rata konsentrasi PM_{2,5} yang terukur di lima lokasi berturut-turut adalah 29,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 19,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 19,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 23,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan 20,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara itu, rata-rata konsentrasi PM₁₀ di

lokasi yang sama masing-masing sebesar $242,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $125,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $192,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $202,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $89,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VII mengenai Baku Mutu Udara Ambien, nilai PM_{2,5} masih berada di bawah batas ambang yang ditetapkan, sedangkan konsentrasi PM₁₀ berada pada ambang batas baku mutu.



Sumber: Data Primer 2024

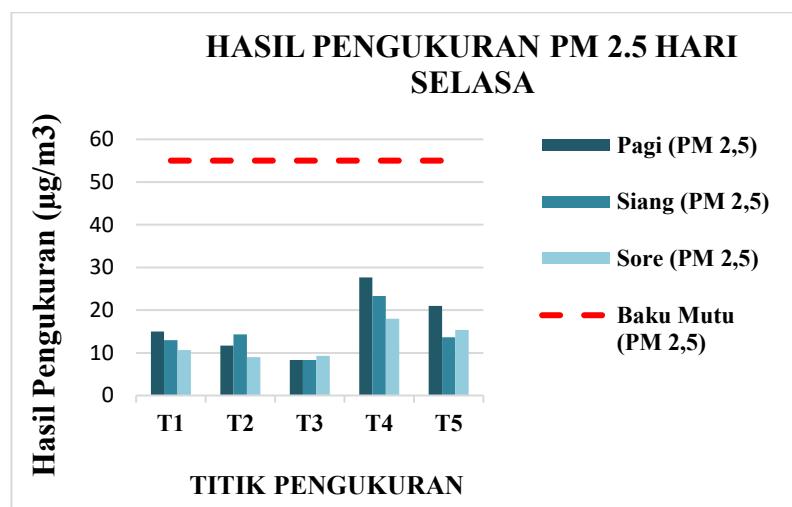
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengukuran PM 2,5 Hari Senin



Sumber: Data Primer 2024

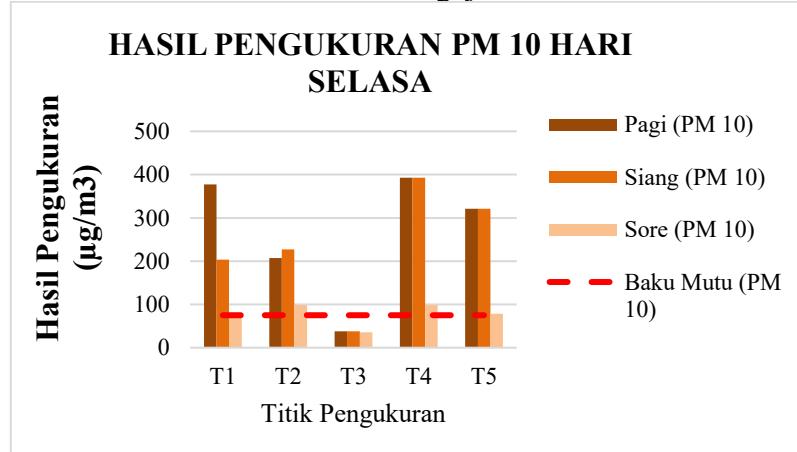
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengukuran PM 10 Hari Senin

Dengan nilai pengukuran sebesar $75,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rata-rata konsentrasi PM2.5 tertinggi terpantau pada titik 5 pagi hari, melebihi baku mutu yang berlaku, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2. Sementara itu, rata-rata nilai PM2.5 terendah tercatat pada titik 1 sore hari dengan hasil sebesar $14,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, masih di bawah baku mutu. Rata-rata nilai tertinggi untuk parameter PM10, yaitu $594,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tercatat pada titik 2 pagi hari. Angka ini juga melampaui baku mutu. Pada titik 3 pagi hari, rata-rata nilai PM10 terendah tercatat sebesar $80,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, namun masih di atas baku mutu.



Sumber: Data Primer 2024

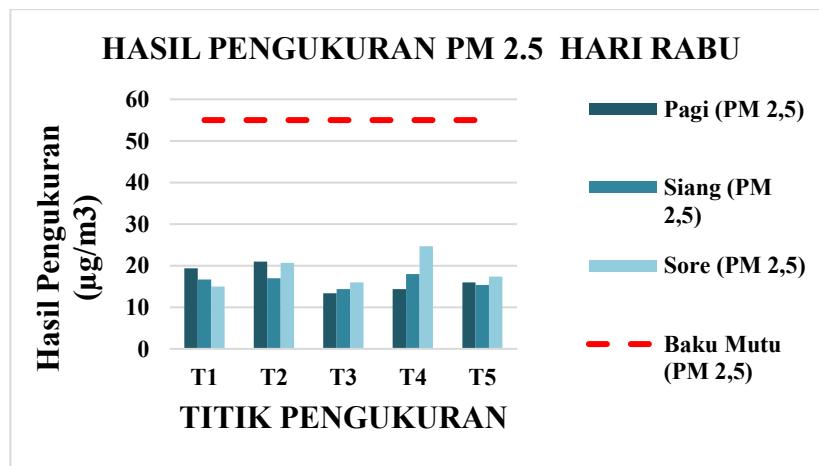
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian PM 2,5 Hari Selasa



Sumber: Data Primer 2024

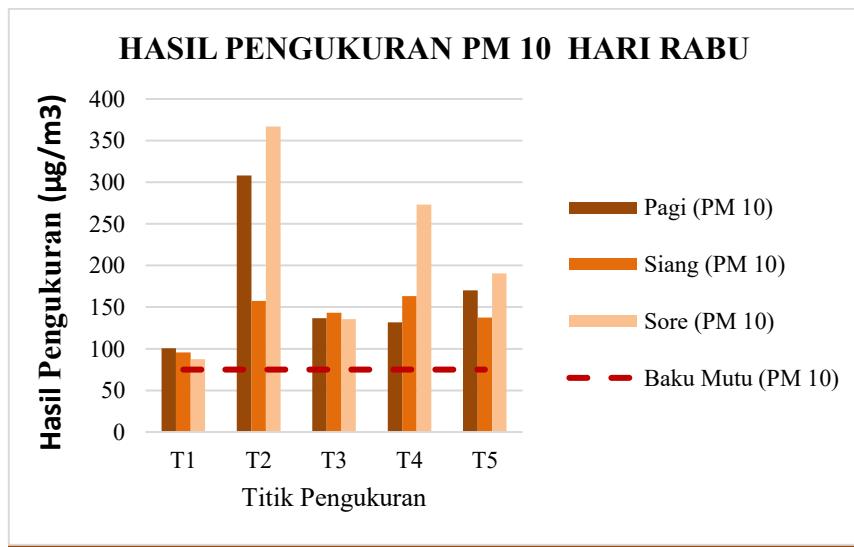
Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengukuran PM 10 Hari Selasa

Konsentrasi rata-rata PM2.5 tertinggi, yaitu $27,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tercatat di titik 4 pada pagi hari, yang masih di bawah baku mutu, berdasarkan data yang diperoleh dari Gambar 4.3 dan 4.4. Titik 3 pada pagi dan sore hari memiliki konsentrasi rata-rata PM2.5 terendah, yaitu $8,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang masih di bawah baku mutu. Dengan hasil pengukuran sebesar $594,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nilai rata-rata PM10 tertinggi ditemukan di titik 2 pada pagi hari, melampaui baku mutu yang ditetapkan. Pada titik 3 pada pagi hari, nilai rata-rata PM10 terendah adalah $80,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang masih di atas baku mutu.



Sumber: Data Primer 2024

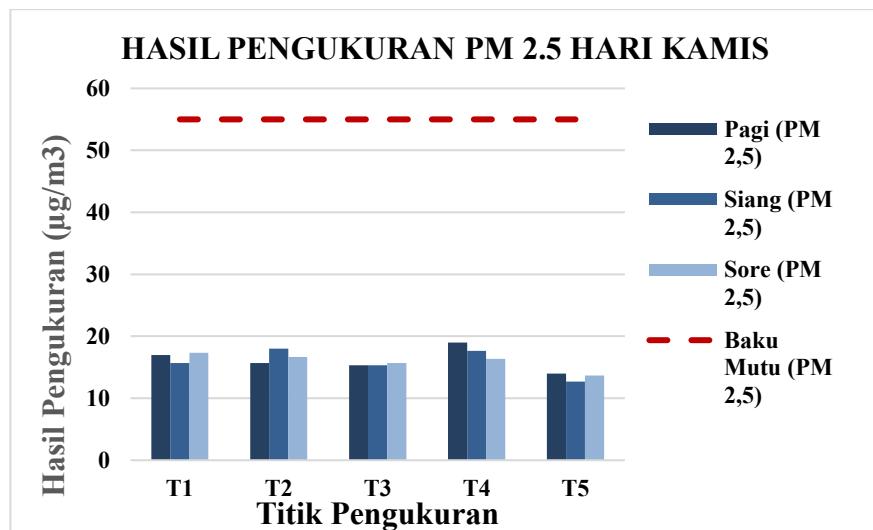
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian PM 2,5 Hari Rabu



Sumber: Data Primer 2024

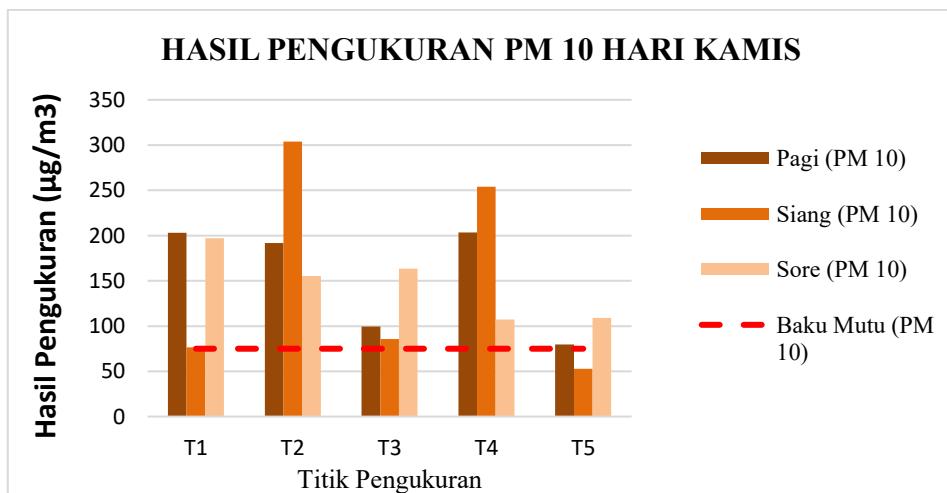
Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengukuran PM 10 Hari Rabu

Konsentrasi rata-rata PM2.5 tertinggi, yaitu $24,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, teramati pada titik 4 di sore hari, yang masih di bawah baku mutu, berdasarkan Gambar 4.5 dan 4.6. Pada titik 3 di pagi hari, konsentrasi rata-rata PM2.5 terendah adalah $13,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang masih di bawah baku mutu. Dengan hasil $367,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nilai rata-rata tertinggi untuk parameter PM10 ditemukan pada titik 2 di sore hari, melampaui baku mutu yang telah ditetapkan. Pada titik 3 di sore hari, nilai rata-rata PM10 terendah adalah $35,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang masih melebihi baku mutu.



Sumber: Data Primer 2024

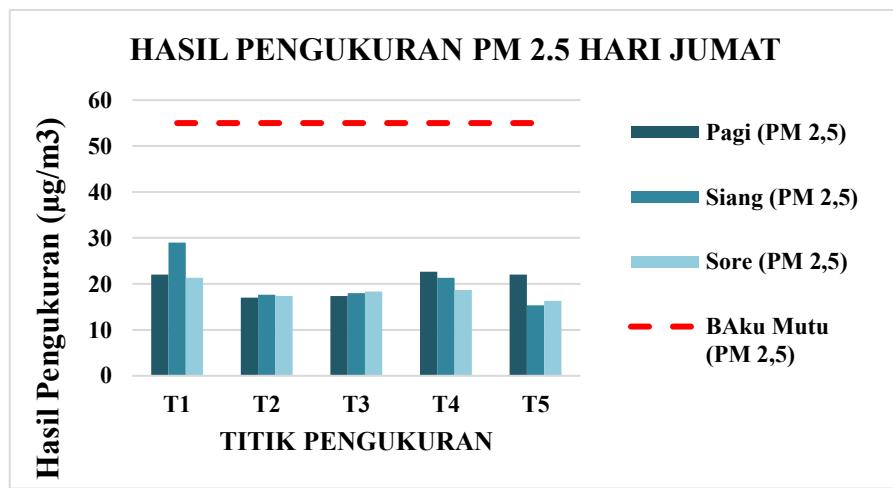
Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian PM 2,5 dan PM 10 Hari Kamis



Sumber: Data Primer 2024

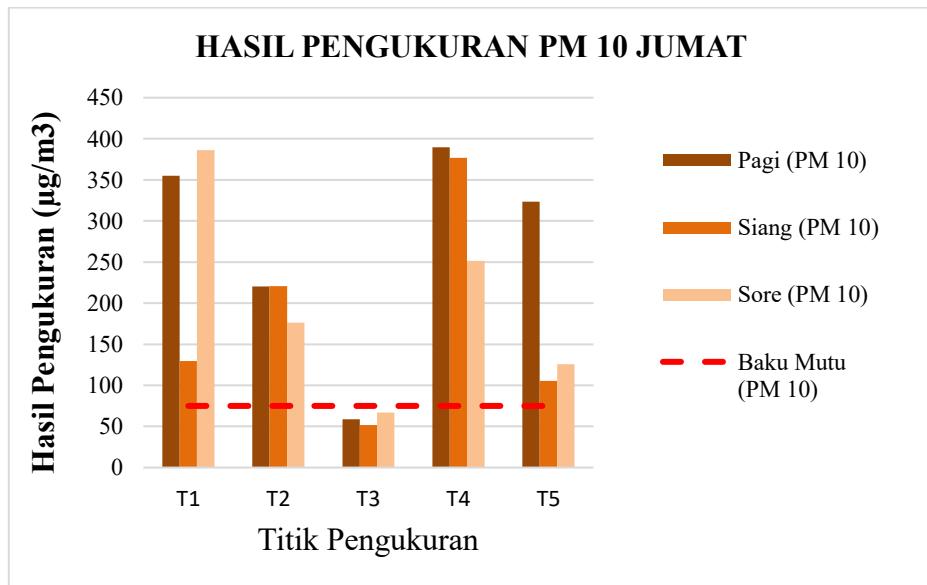
Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengukuran PM 10 Hari Kamis

Konsentrasi rata-rata PM2.5 tertinggi tercatat pada titik 4 pagi hari, dengan nilai $19,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang masih di bawah baku mutu, menurut Gambar 4.7 dan 4.8. Pada titik 5 siang hari, nilai rata-rata PM2.5 terendah tercatat pada $12,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang juga di bawah baku mutu. Pada titik 2 siang hari, nilai rata-rata PM10 tertinggi tercatat pada $304,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, di atas ambang batas baku mutu. Dengan hasil $109,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nilai rata-rata PM10 terendah hari itu ditemukan pada titik 5, yang tetap di atas baku mutu.



Sumber: Data Primer 2024

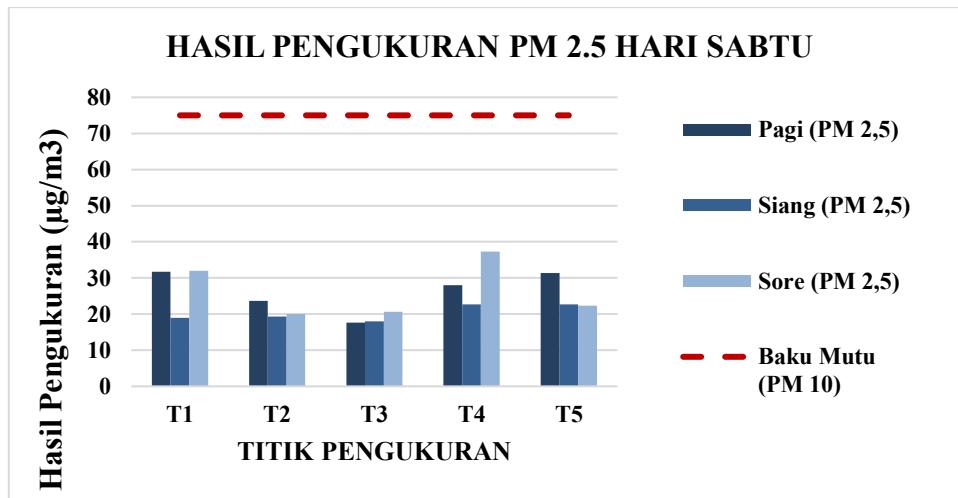
Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengukuran PM 2,5 Hari Jum'at



Sumber: Data Primer 2024

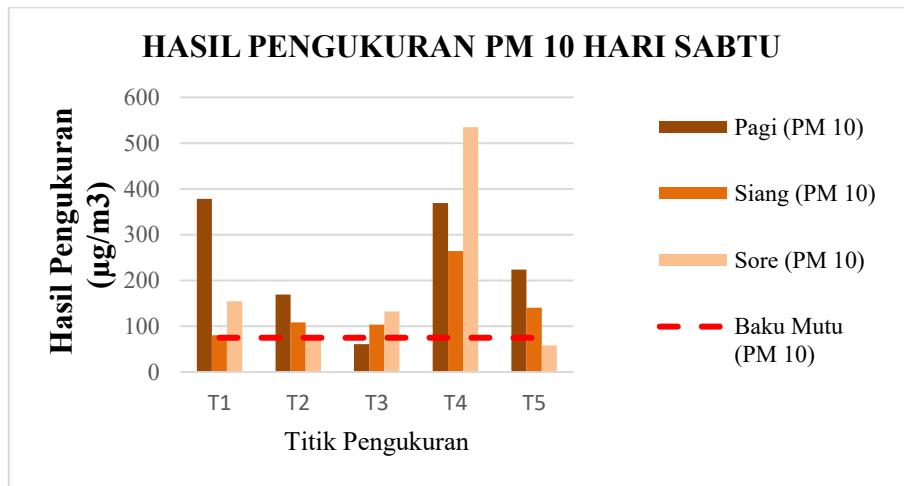
Gambar 4.10 Grafik Hasil Pengukuran PM 10 Hari Jum'at

Konsentrasi rata-rata PM2.5 tertinggi pada siang hari terjadi pada titik 1 sebesar 29,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang masih di bawah baku mutu, berdasarkan Gambar 4.9 dan 4.10. Sementara itu, titik 5 mencatat nilai rata-rata PM2.5 terendah pada siang hari sebesar 15,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang masih di bawah baku mutu. Titik 4 pada pagi hari memiliki nilai rata-rata tertinggi untuk parameter PM10 sebesar 389,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang melebihi baku mutu. Titik 3 pada siang hari memiliki nilai rata-rata terendah sebesar 51,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang masih di bawah baku mutu.



Sumber: Data Primer 2024

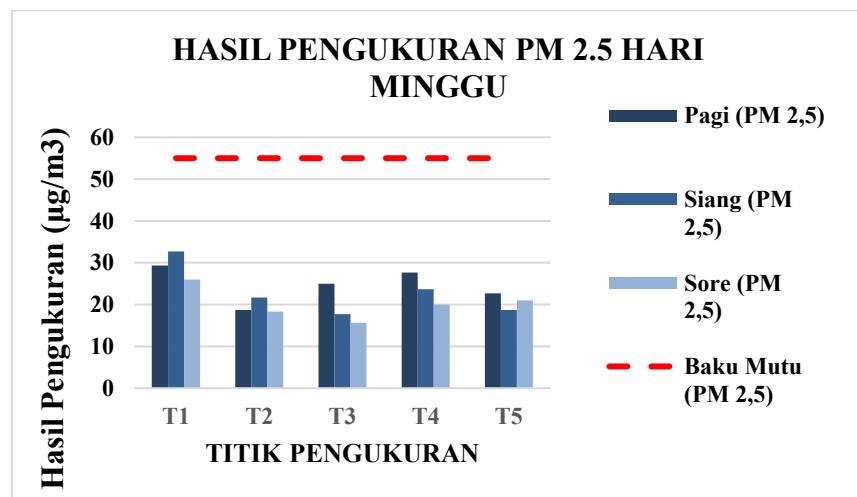
Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengujian PM 2,5 Hari Sabtu



Sumber: Data Primer 2024

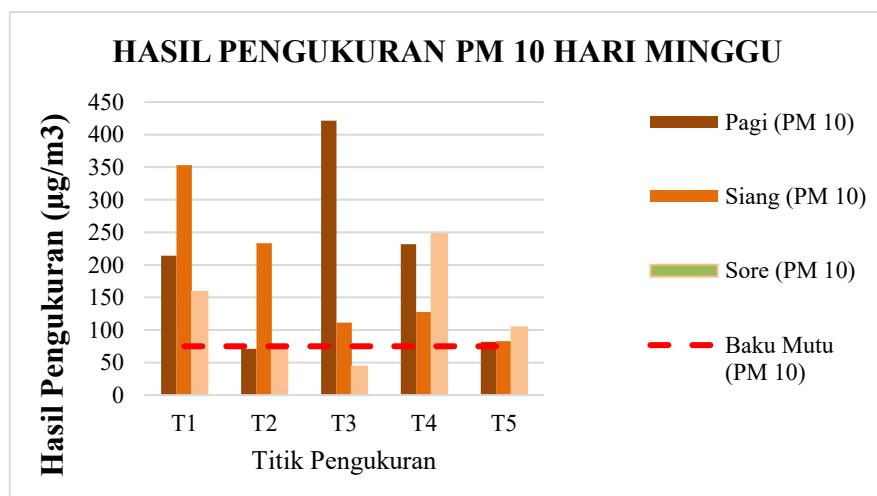
Gambar 4.12 Grafik Hasil Pengukuran PM 10 Hari Sabtu

Konsentrasi rata-rata PM2.5 tertinggi, $37,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, terukur di titik 4 pada sore hari, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan 4.12; meskipun demikian, nilai ini masih di bawah ambang batas baku mutu. Sementara itu, titik 3 pada pagi hari memiliki nilai rata-rata PM2.5 terendah, $17,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang masih di bawah ambang batas baku mutu. Dengan hasil $535,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, konsentrasi rata-rata tertinggi untuk parameter PM10 ditemukan di titik 4 pada pagi hari, melampaui ambang batas baku mutu. Nilai rata-rata terendah, $58,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tercatat di titik 5 pada sore hari, masih di bawah baku mutu.



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.13 Grafik Hasil Pengukuran PM 2,5 Hari Minggu



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.14 Grafik Hasil Pengukuran PM 10 Hari Minggu

Dengan nilai 32,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, rerata konsentrasi PM2.5 tertinggi pada siang hari terpantau pada titik 1 yang masih berada di bawah baku mutu, sesuai Gambar 4.13 dan 4.14. Sementara itu, pada titik 3 sore hari tercatat nilai rerata PM2.5 terendah, yaitu 15,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang masih berada di bawah baku mutu. Pada titik 3 pagi hari tercatat rerata konsentrasi parameter PM10 tertinggi, yaitu 421,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang melampaui baku mutu. Pada titik 3 sore hari tercatat nilai rerata PM10 terendah, yaitu 43,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang masih berada di bawah baku mutu..

Untuk mengetahui seberapa tinggi partikel PM_{2,5} dan PM₁₀ dapat tersebar secara vertikal di atmosfer, dilakukan estimasi ketinggian pencampuran (mixing height) menggunakan pendekatan empiris. Mixing height merupakan batas vertikal atmosfer di mana partikel dan polutan dapat tercampur akibat turbulensi.

Estimasi tinggi sebaran vertikal PM10 dan PM2,5 dilakukan dengan pendekatan empiris linier terhadap kecepatan angin. Model dikalibrasi menggunakan data lokal sehingga diperoleh $H_{\text{PM}10} = 800U$ dan $H_{\text{PM}2.5} = 960U$. Pendekatan ini konsisten dengan teori Pasquill–Gifford yang menyatakan peningkatan kecepatan angin meningkatkan dispersi vertical.

1. PM 10

$$H_{\text{PM}10} = V \times K_{\text{PM}10}$$

dengan:

- $H_{\text{PM}10}$ = Estimasi Tinggi Sebaran Vertikal PM10 (M)
- V = Kecepatan Angin (M/S)
- $K_{\text{PM}10}$ = Konstanta 800 M Per M/S

Sehingga:

$$H_{\text{PM}2.5} = V \times 800$$

2. PM 2,5

$$H_{\text{PM}2.5} = V \times K_{\text{PM}10}$$

dengan:

- $H_{\text{PM}2.5}$ = Estimasi Tinggi Sebaran Vertikal PM2.5 (M)
- V = Kecepatan Angin (M/S)
- $K_{\text{PM}10}$ = Konstanta 960 M Per M/S

Sehingga:

$$H_{PM10} = V \times 960$$

Berdasarkan perhitungan dari data kecepatan angin, diperoleh estimasi ketinggian pencampuran harian sebagai berikut :

Tabel 4.8 Estimasi Sebaran Vertikal PM 10 dan PM 2,5

No	Wind (m/s)	Estimasi tinggi PM10 (m)	Estimasi tinggi PM2.5 (m)
1	7	5600	6720
2	6	4800	5760
3	7	5600	6720
4	7	5600	6720
5	8	6400	7680
6	8	6400	7680
7	7	5600	6720

Wilayah Pantoloan, Sulawesi Tengah, memiliki iklim tropis dengan pola cuaca yang dipengaruhi oleh sirkulasi angin monsun, serta faktor lokal seperti suhu permukaan laut dan kelembapan udara. Pola cuaca di daerah ini berperan penting dalam menentukan arah, jarak, dan konsentrasi penyebaran partikulat berukuran PM2,5 dan PM10 yang berasal dari aktivitas operasional pelabuhan.

1. Pengaruh Musim dan Angin Monsun

- Musim Barat (Desember – Maret)

Angin bertiup dari barat atau barat laut membawa massa udara lembap dari Samudra Pasifik bagian barat dan Laut Sulawesi. Kondisi ini biasanya meningkatkan curah hujan dan dapat mempercepat pengendapan partikulat melalui proses pencucian atmosfer (*wet deposition*).

- Musim Timur (Juni – September)

Angin bertiup dari timur atau tenggara, relatif kering, dan lebih stabil. Pada periode ini, polutan cenderung bertahan lebih lama di udara karena hujan berkurang, sehingga potensi akumulasi PM2,5 dan PM10 lebih tinggi.

- Masa Peralihan (April - Mei dan Oktober – November)

Arah angin tidak menentu dengan intensitas bervariasi. Kondisi turbulensi atmosfer pada periode ini dapat menyebabkan partikel tersebar ke berbagai arah dengan pola tidak konsisten.

2. Suhu dan Kelembapan

- Suhu siang hari yang tinggi dapat memicu konveksi, menyebabkan partikel naik ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi dan menyebar secara vertikal.
- Kelembapan tinggi di wilayah pantai memengaruhi higroskopisitas partikel, di mana partikel dapat menyerap uap air, membesar, dan lebih mudah mengendap.

3. Implikasi terhadap Sebaran PM2,5 dan PM10

- Pada musim kering dan kecepatan angin rendah, konsentrasi PM2,5 dan PM10 di udara sekitar pelabuhan cenderung meningkat karena proses pengenceran atmosfer lebih lambat.
- Pada musim hujan atau saat angin kencang, partikulat lebih cepat tersebar atau mengendap, sehingga konsentrasi lokal menurun namun dapat mencemari area yang lebih jauh.

Secara umum, curah hujan di Kota Palu menunjukkan pola musim hujan dan kemarau yang cukup jelas dengan perbedaan signifikan antara bulan basah dan kering. Puncak hujan cenderung terjadi pada awal hingga pertengahan tahun (Januari–Mei), sedangkan musim kemarau dominan mulai Juni/Juli hingga Oktober/November, meskipun ada variasi antar-tahun. Hal ini sejalan dengan kondisi iklim lokal Palu yang berada pada wilayah “bayangan hujan” dengan curah hujan relatif rendah dibandingkan wilayah lain di Sulawesi Tengah. Sedangkan pada tahun 2024 sendiri yang dimana pada tahun tersebut penelitian ini dilakukan di dapatkan hasil dari data curah hujan 10 tahun menunjukan bahwa Awal tahun (Januari–Juni) lebih basah dibanding 2023, dengan puncak Mei (± 75 mm). Musim kemarau kembali jelas terlihat sejak Agustus hingga Desember, dengan rata-rata hujan bulanan <40 mm, data tersebut dapat dilihat pada lampiran 4. Hasil dari data

yang ada ini bisa diartikan bahwa pada waktu penelitian yaitu pada bulan Oktober tahun 2024 termasuk dalam periode bulan yang memiliki curah hujan yang rendah.

Pengumpulan data terkait kelembaban, dan suhu dilakukan pengukuran langsung dilapangan menggunakan alat Anemometer hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Data Suhu dan Kelembaban

Hari	Titik 1		Titik 2		Titik 3		Titik 4		Titik 5	
	Kelembaban (%RH)	Suhu (°C)								
Senin	68,2	34,9	67,5	34,7	62,3	32,6	68,2	34,1	61,2	34,1
Selasa	69,6	33,5	68,3	34,1	67,5	34,1	69,6	33,6	68,3	34,1
Rabu	69,9	33,3	68,5	33,6	68,4	34,1	69,9	33,3	68,5	33,7
Kamis	68,3	32,6	61,2	33,3	60,5	33,7	68,3	34,9	61,2	33,7
Jum'at	67,3	33,2	68,3	34,1	65,4	33,4	67,3	33,5	65,4	33,4
Sabtu	66,5	33,5	68,5	34,1	61,3	33,5	66,5	33,3	61,3	33,5
Minggu	67,4	33,2	61,2	33,7	62,4	32,7	67,4	32,6	62,4	32,7
Rata-Rata	68,17	33,46	66,21	33,94	63,97	33,44	68,17	33,61	64,04	33,60

Sumber : Data Primer 2024

Pada titik 1, yang terletak di dalam area operasional pelabuhan, rata-rata kelembaban saat cuaca cerah tercatat sebesar 68,17 %RH, dengan suhu rata-rata 33,46 °C. Pengukuran ini dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel parameter PM2,5 dan PM10 di lokasi.

Pada titik 2, yang juga berada dalam area pelabuhan dan merupakan jalur aktif kendaraan operasional, diperoleh rata-rata kelembaban 66,21 %RH saat kondisi cerah, dengan suhu rata-rata 33,94 °C. Pengambilan data dilakukan bersamaan dengan pengukuran PM2,5 dan PM10.

Pada titik 3, yang berada di area operasional pelabuhan dan jalur aktif kendaraan operasional, rata-rata kelembaban tercatat 63,97 %RH dengan suhu rata-rata 33,44 °C. Pengambilan data ini dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel parameter PM2,5 dan PM10 di lokasi.

Pada titik 4, yang terletak di depan pintu masuk area operasional dekat permukiman masyarakat dan jalur lalu lintas warga Pantoloan, rata-rata kelembaban saat kondisi kering tercatat sebesar 68,17 %RH, dengan suhu rata-rata 33,61 °C. Pengukuran dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel PM2,5 dan PM10.

Pada titik 5, yang berada di pinggir jalan dekat permukiman dan jalur kendaraan masyarakat Pantoloan, rata-rata kelembaban saat kondisi kering sebesar 62,4 %RH dengan suhu rata-rata 33,60 °C. Pengukuran ini dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel PM2,5 dan PM10 di lokasi.

4.1.2 Hasil Analisis Statistik untuk Parameter PM2,5 dan PM10

Berdasarkan hasil analisis dengan metode *One Way* ANOVA menggunakan aplikasi SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), diperoleh bahwa data tidak berdistribusi normal, sehingga analisis dilanjutkan dengan uji non-parametrik menggunakan Kruskal Wallis. Hasil analisis dengan uji Kruskal Wallis dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.10 Hasil Uji Kruskal Wallis

Parameter	*Nilai <i>P</i>
PM 2,5 dan PM 10	<.001

Sumber : Data Primer 2024

Ket : P = Uji Kruskal Wallis

Nilai P = menyatakan terdapat perbandingan

yang nyata pada PM 2,5 dan PM 10

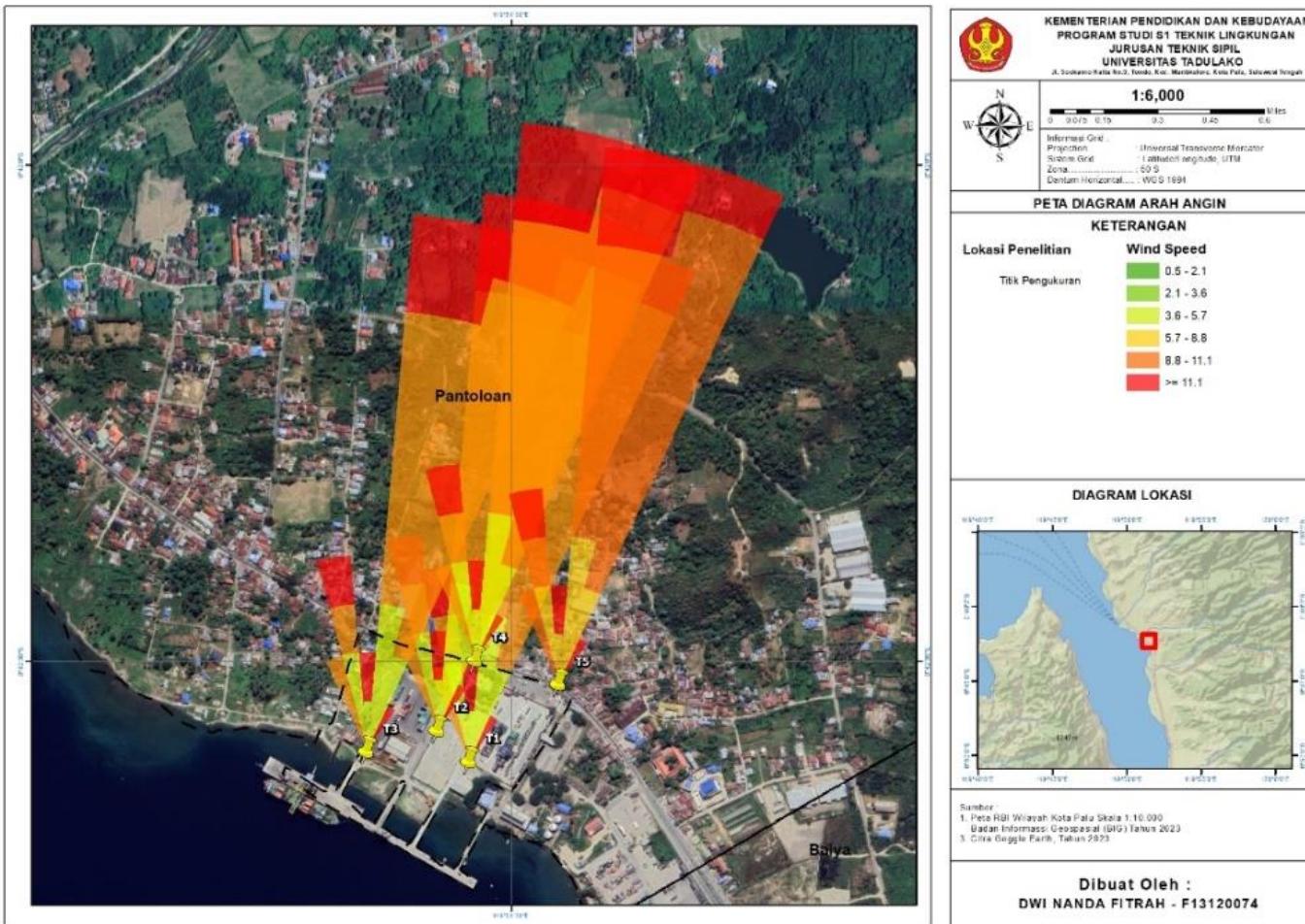
Nilai *p* (*probability value*) dalam pengujian statistik adalah ukuran kemungkinan bahwa hasil pengujian yang diperoleh dapat terjadi secara kebetulan. Nilai *p* menunjukkan kemungkinan bahwa perbedaan atau hubungan yang ditemukan dalam data adalah hasil dari kesalahan acak atau kebetulan.

Berdasarkan hasil uji *kruskal wallis* yang ditunjukkan pada tabel 4.9 nilai *P* sebesar α 0.001 menunjukkan bahwa kemungkinan terjadi perbedaan secara kebetulan sangat kecil, yaitu kurang dari 1 % oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan signifikan antara kelompok – kelompok yang dibandingkan.

4.1.3 Hasil Pengukuran Kecepatan dan Arah Angin

Analisis data harian arah dan kecepatan angin dikumpulkan selama bulan april 2024 yang telah diukur oleh BMKG dengan stasiun pemantauan yaitu stasiun meteorologi Mutiara Sis Al-Jufri Kota Palu Provinsi Sulawesi Tengah.

Data harian arah dan kecepatan angin selama periode ini dianalisis menggunakan aplikasi *WRPLOT View* untuk menghasilkan windrose

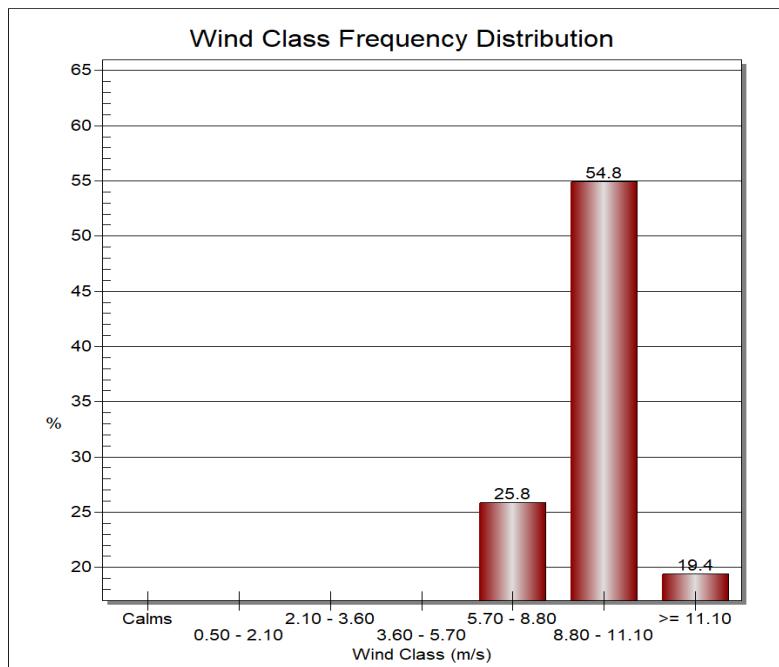


Gambar 4.15 Diagram Mawar Angin

Tabel 4.11 komparasi Data kecepatan Angin Pengukuran di Lokasi Penelitian dan Data BMKG

Hari	Data Lokasi (M/S)	BMKG (M/S)
Senin	5.9	7
Selasa	6.0	6
Rabu	6.5	7
Kamis	6.7	7
Jum'at	6.1	8
Sabtu	6.2	8
Minggu	6.5	7

Sumber : Data Primer 2024 dan Data BMKG Online



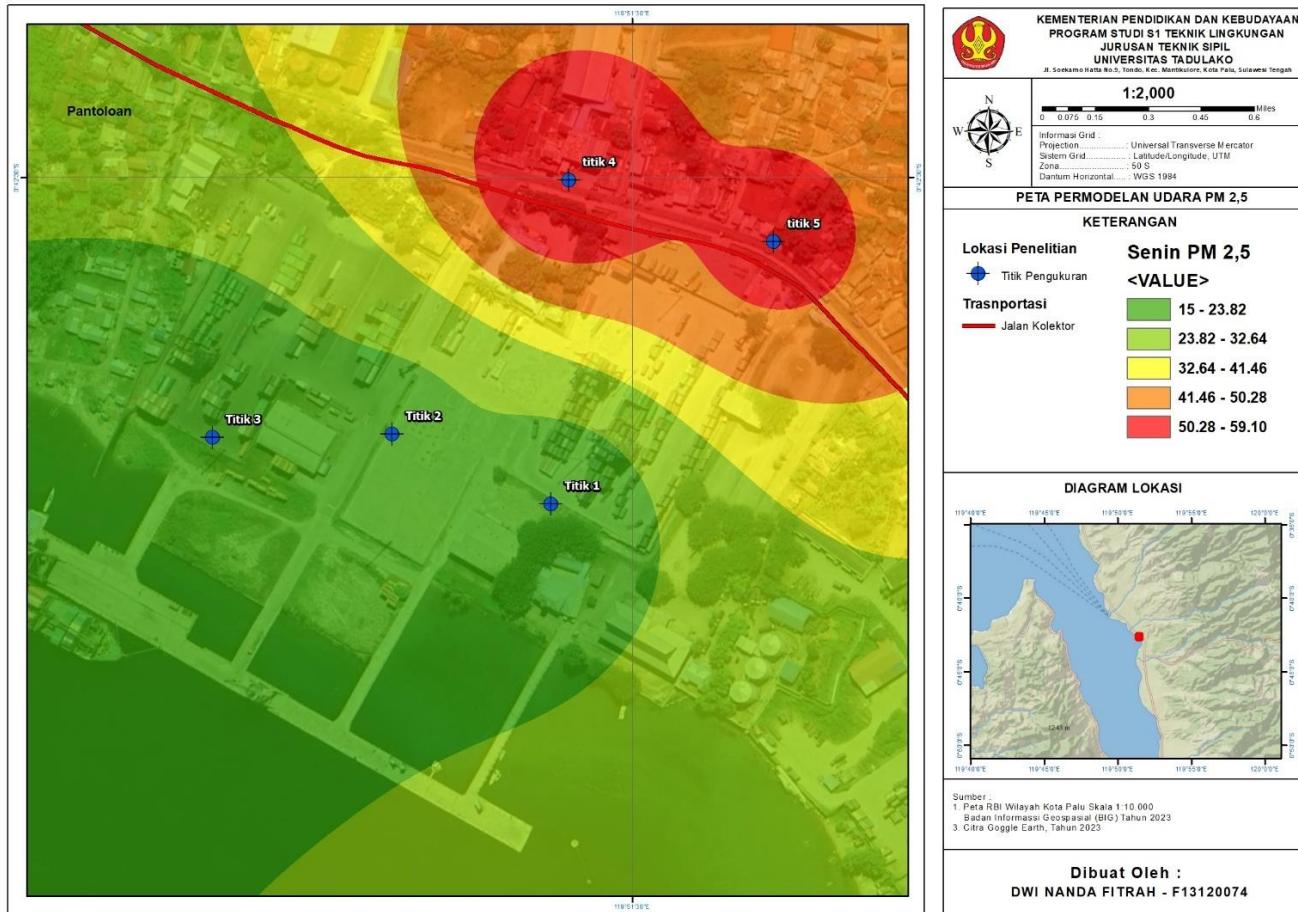
Gambar 4.16 Frekuensi Distribusi Kecepatan Angin di Lokasi Penelitian

Berdasarkan hasil analisis data meteorology arah dan kecepatan angin, selama bulan Oktober 2024. Pada Gambar 4.15 Windrose diketahui bahwa arah angin dominan berhembus ke arah utara, dengan persentase 54,8% dengan kecepatan angin mencapai 8.80 – 11.10 m/s. sedangkan berdasarkan Gambar 4.16 diketahui bahwa Sebagian angin di titik penelitian memiliki kecepatan rendah dengan nilai 5,70 – 8,80 m/s dengan persentasi 25,8% adapun angin dengan kecepatan cukup tinggi > 11,0 m/s memiliki persentase terendah yaitu sebesar 19,4%.

4.1.4 Peta Sebaran PM 2.5 dan PM 10

Berdasarkan pengukuran di lapangan kemudian dianalisis menggunakan aplikasi permodelan *Hysplit* didapatkan hasil sebagai berikut :

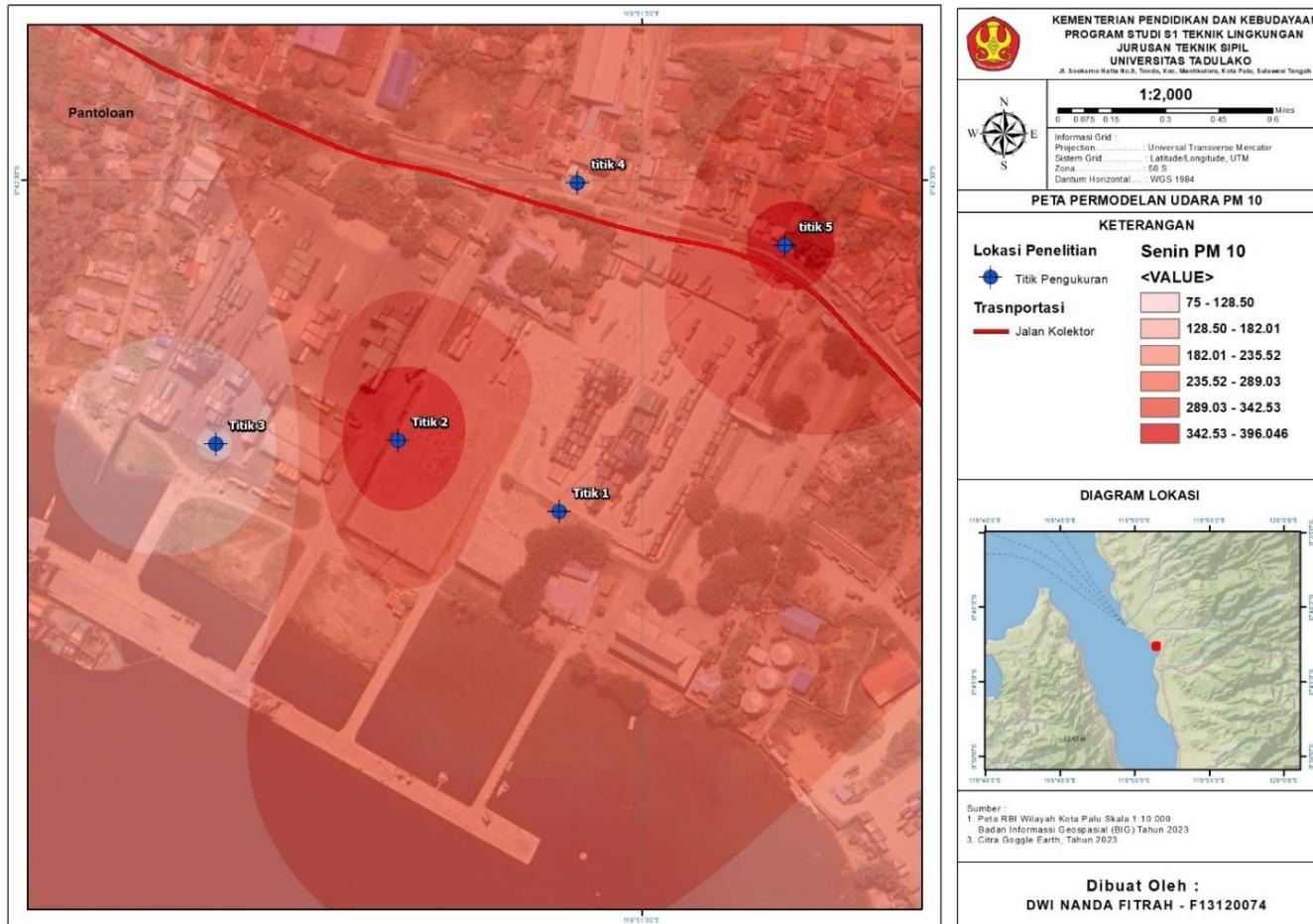
1. Hari Senin PM 2,5



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.17 pola Sebaran udara PM 2,5 Pada Hari Senin

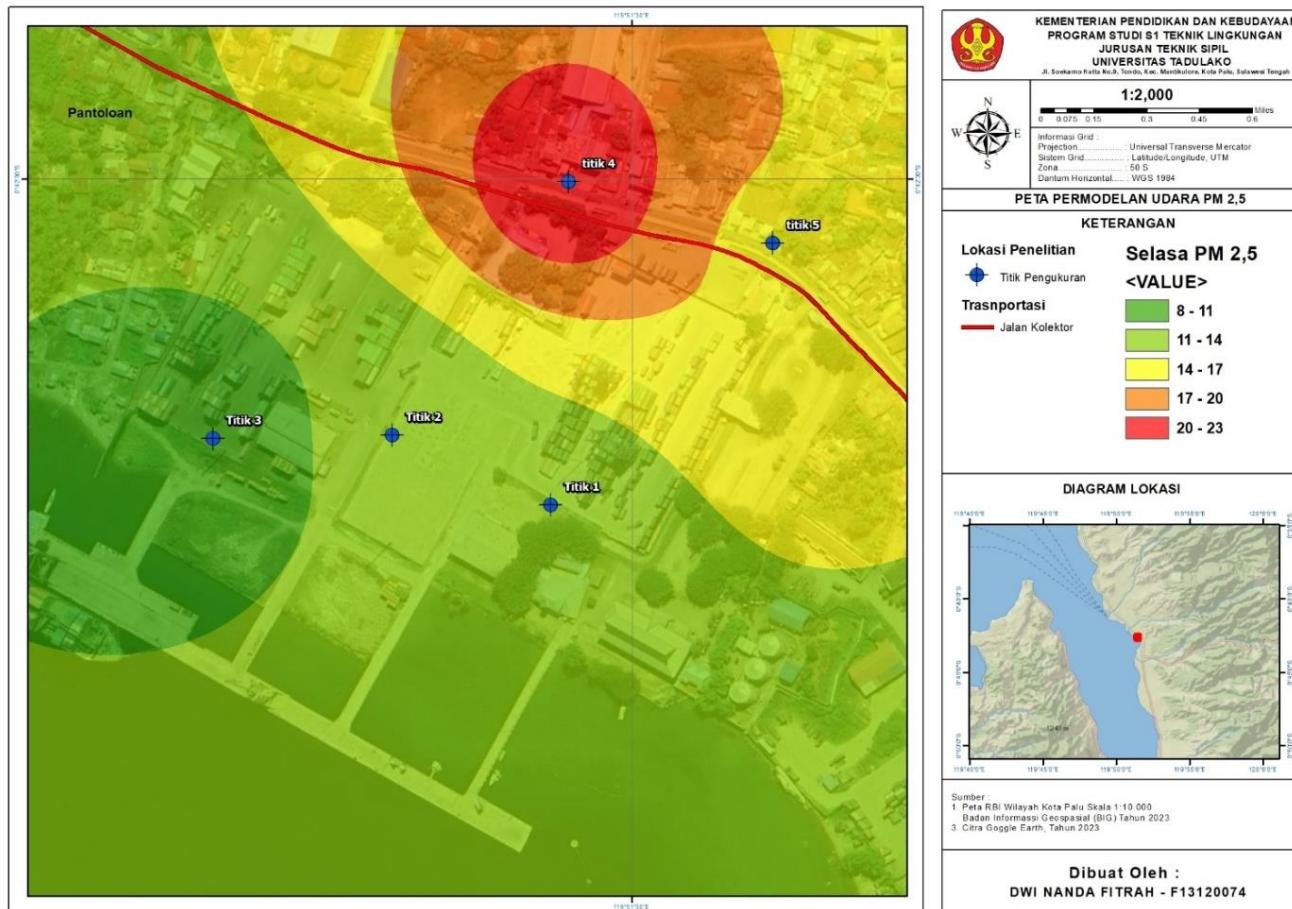
2. Hari Senin PM 10



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.18 Pola Sebaran Udara PM 10 pada Hari Senin

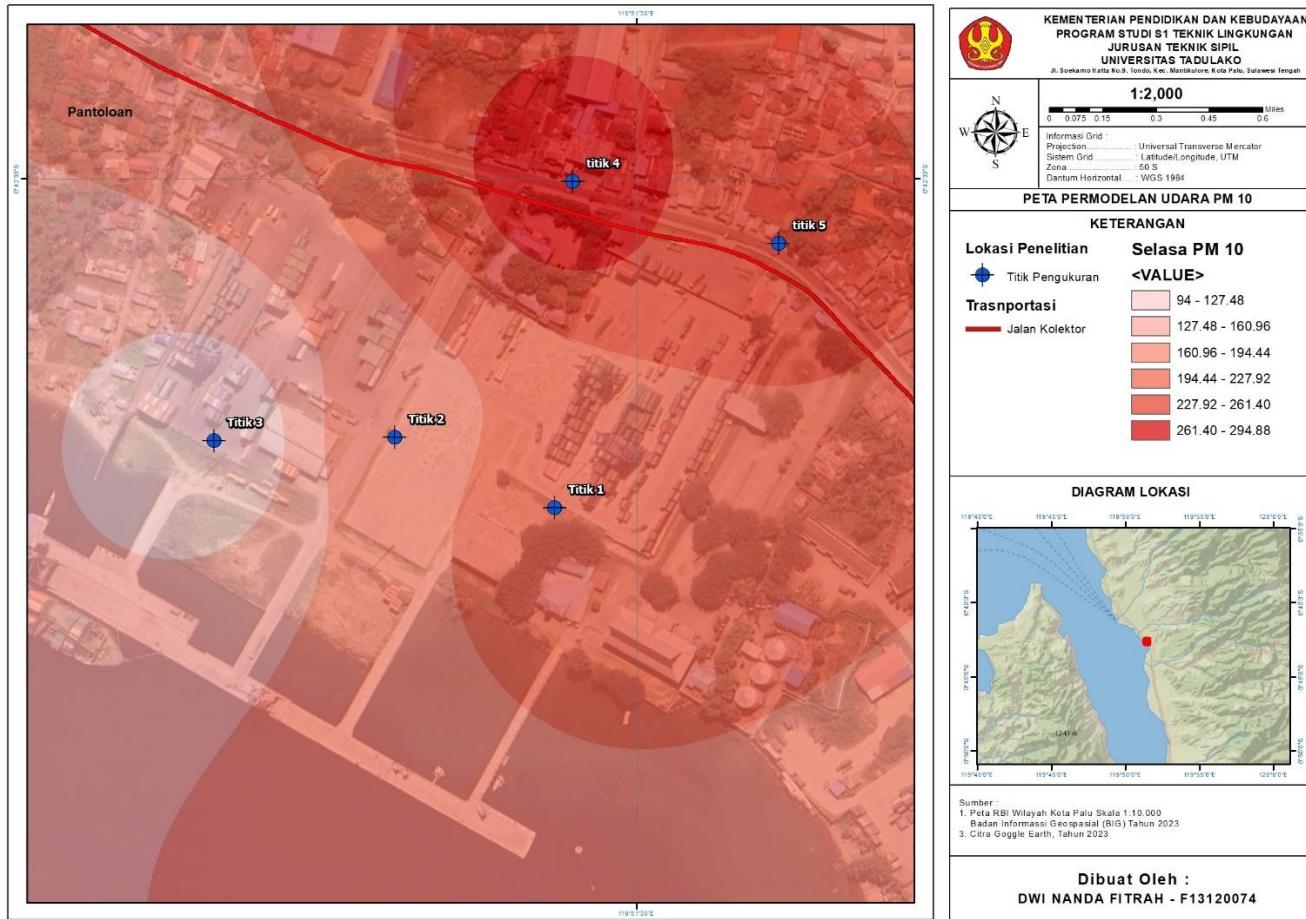
3. Hari Selasa PM 2,5



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.19 Pola Sebara Udara PM 2,5 pada Hari Selasa

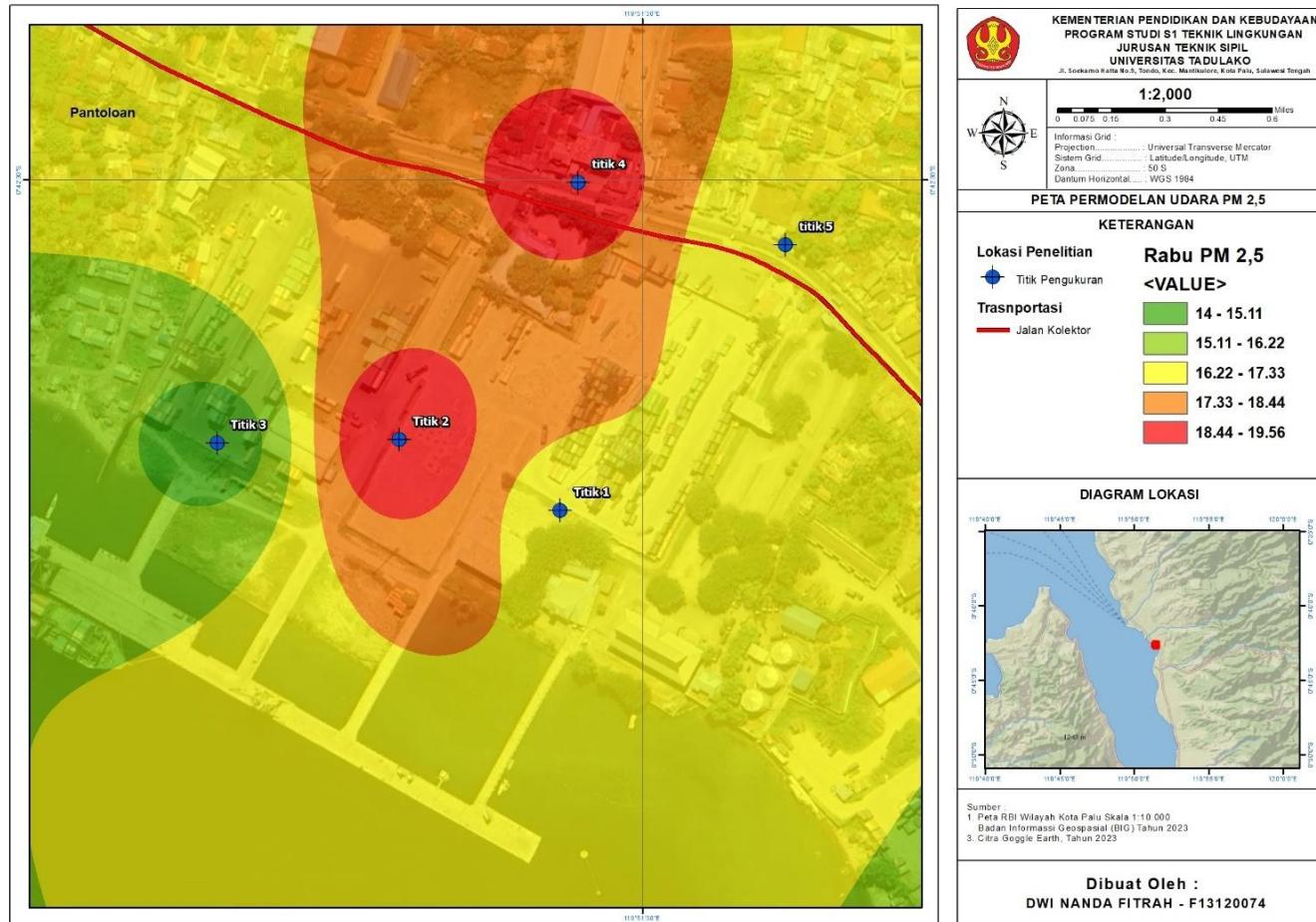
4. Hari Selasa PM 10



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.20 Pola Sebar Udara PM 10 pada Hari Selasa

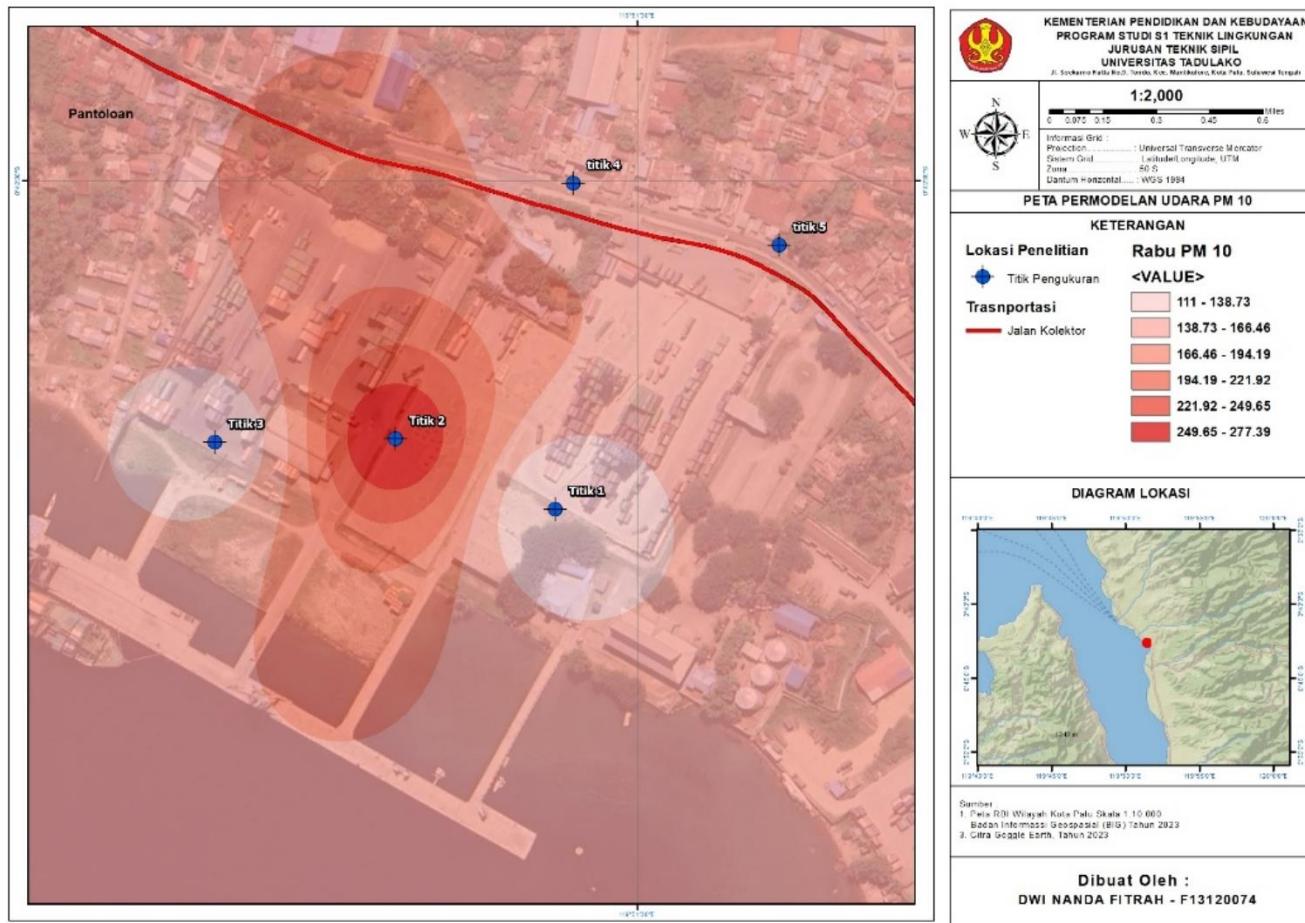
5. Hari Rabu PM 2,5



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.21 Pola Sebara Udara PM 2,5 pada Hari Rabu

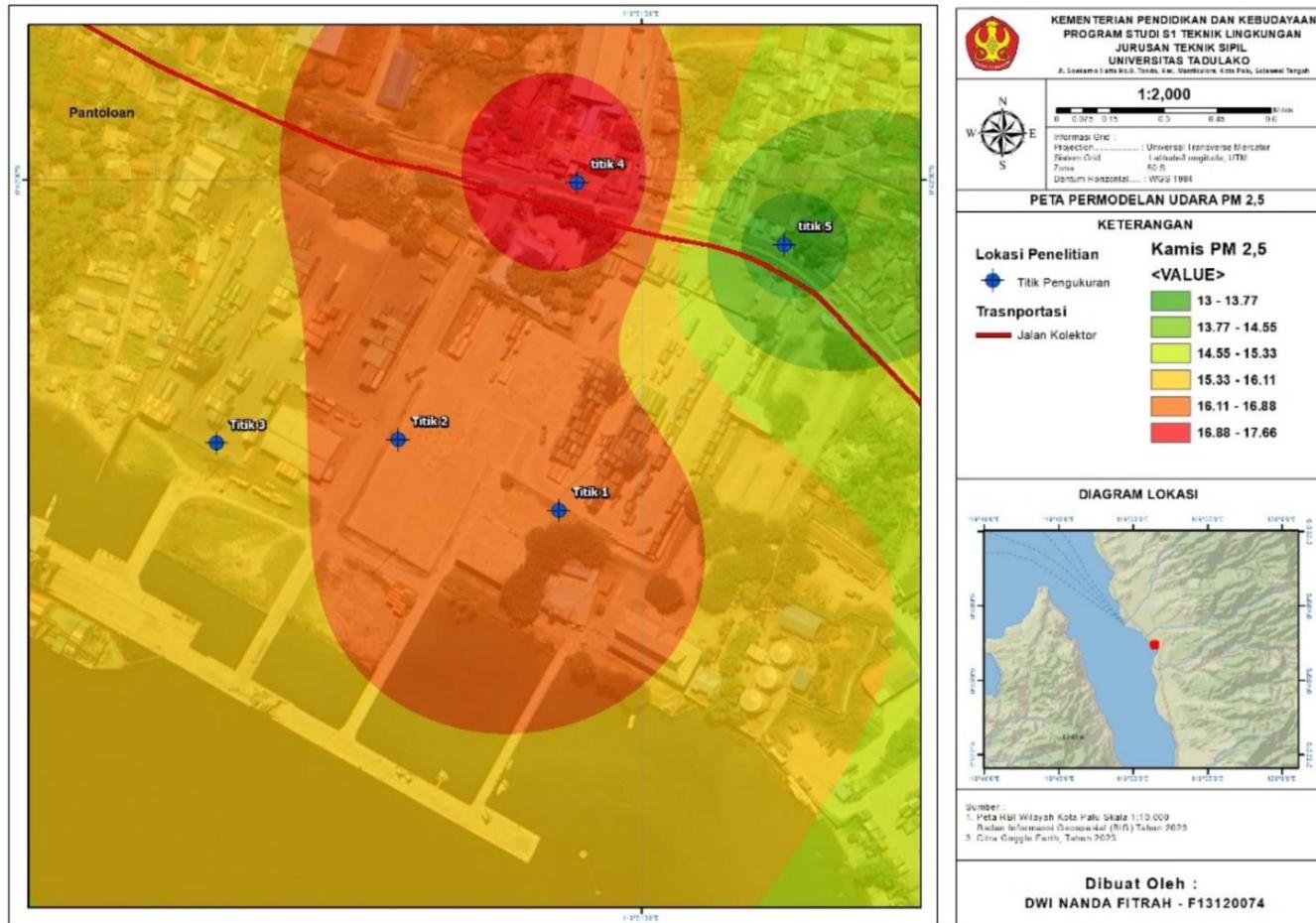
6. Hari Rabu PM 10



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.22 Pola Sebar Udara PM 10 pada Hari Rabu

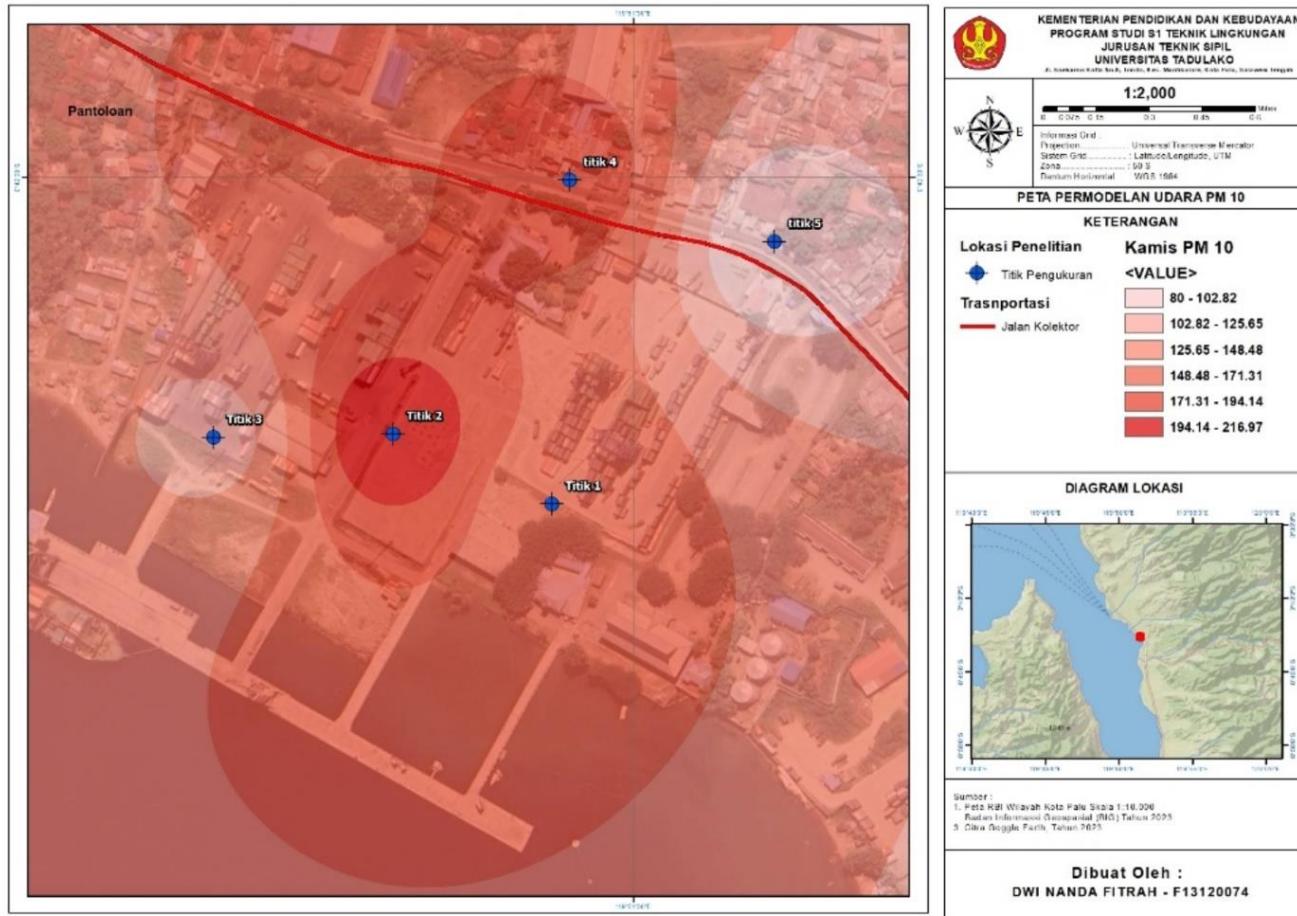
7. Hari Kamis PM 2,5



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.23 Pola Sebar Udara PM 2,5 pada Hari Kamis

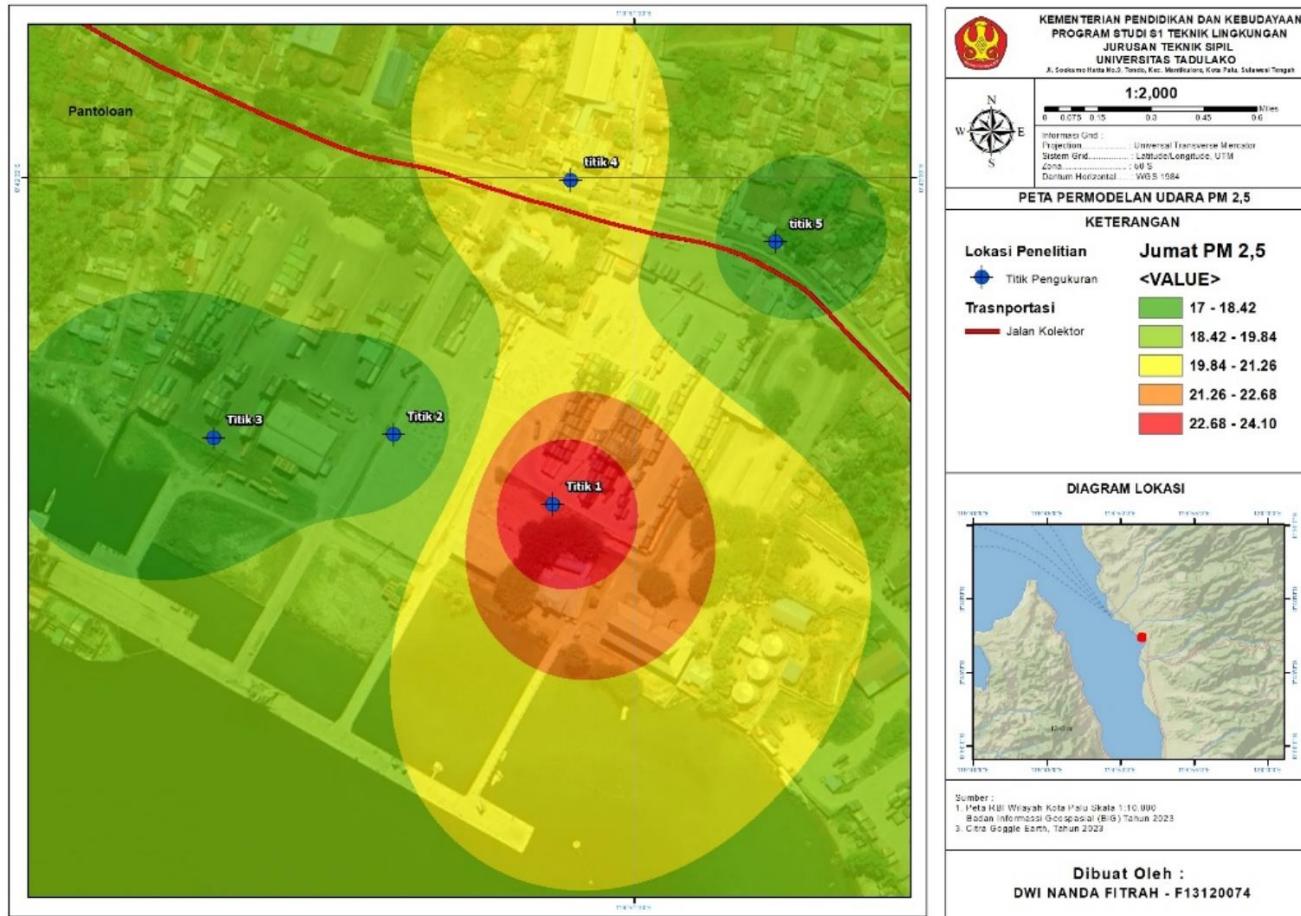
8. Hari Kamis PM 10



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.24 Pola Sebar Udara PM 10 pada Hari Kamis

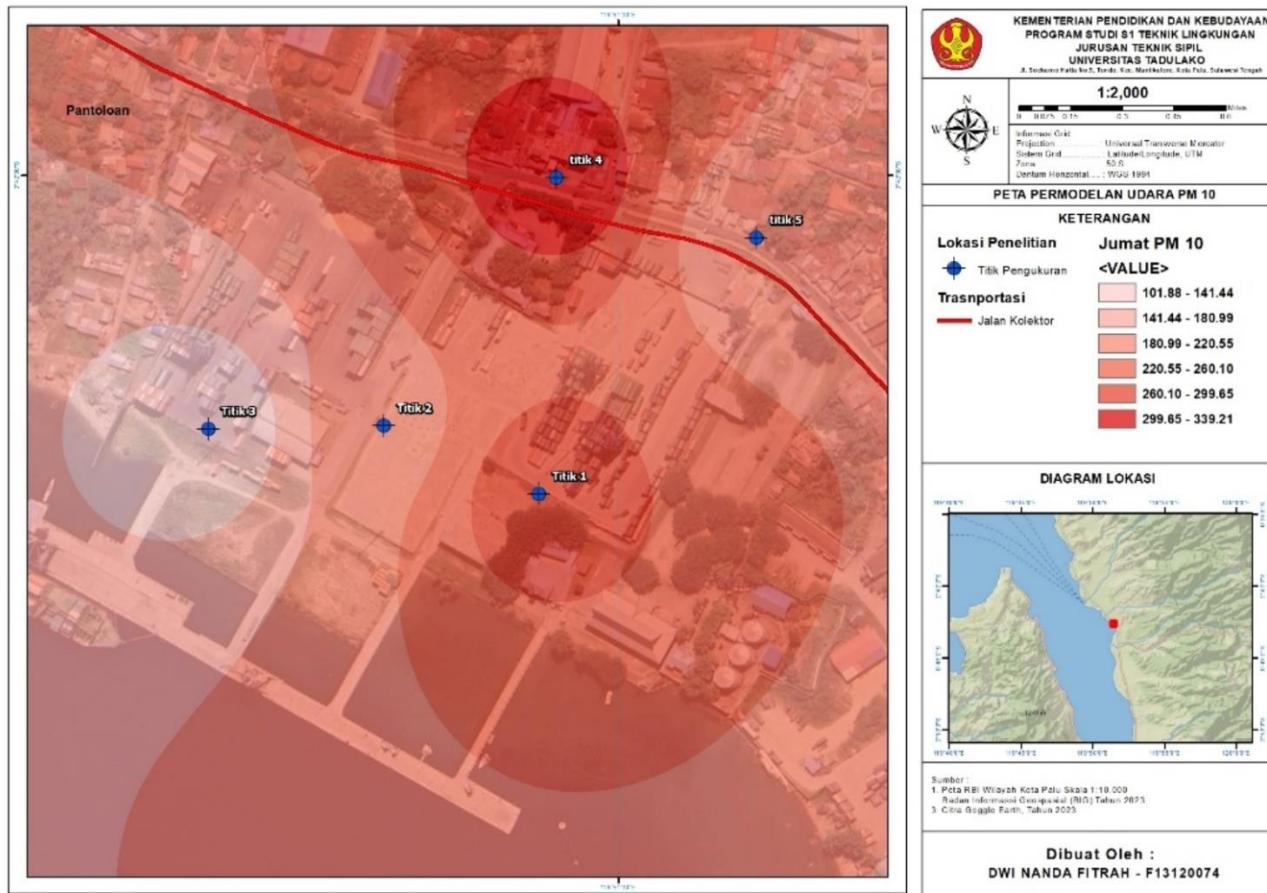
9. Hari Jum'at PM 2,5



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.25 Pola Sebara Udara PM 2,5 pada Hari Jum'at

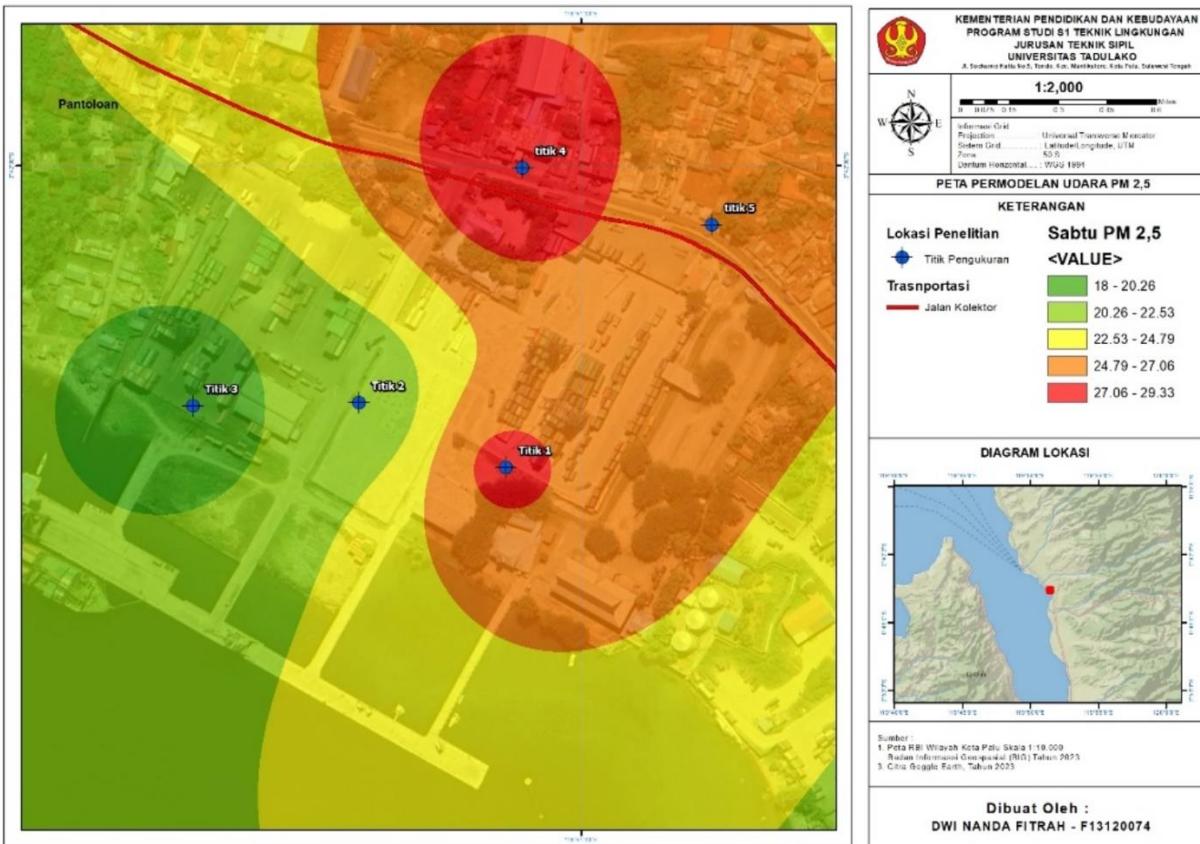
10. Hari Jum'at PM 10



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.26 Pola Sebara Udara PM 10 pada Hari Jum'at

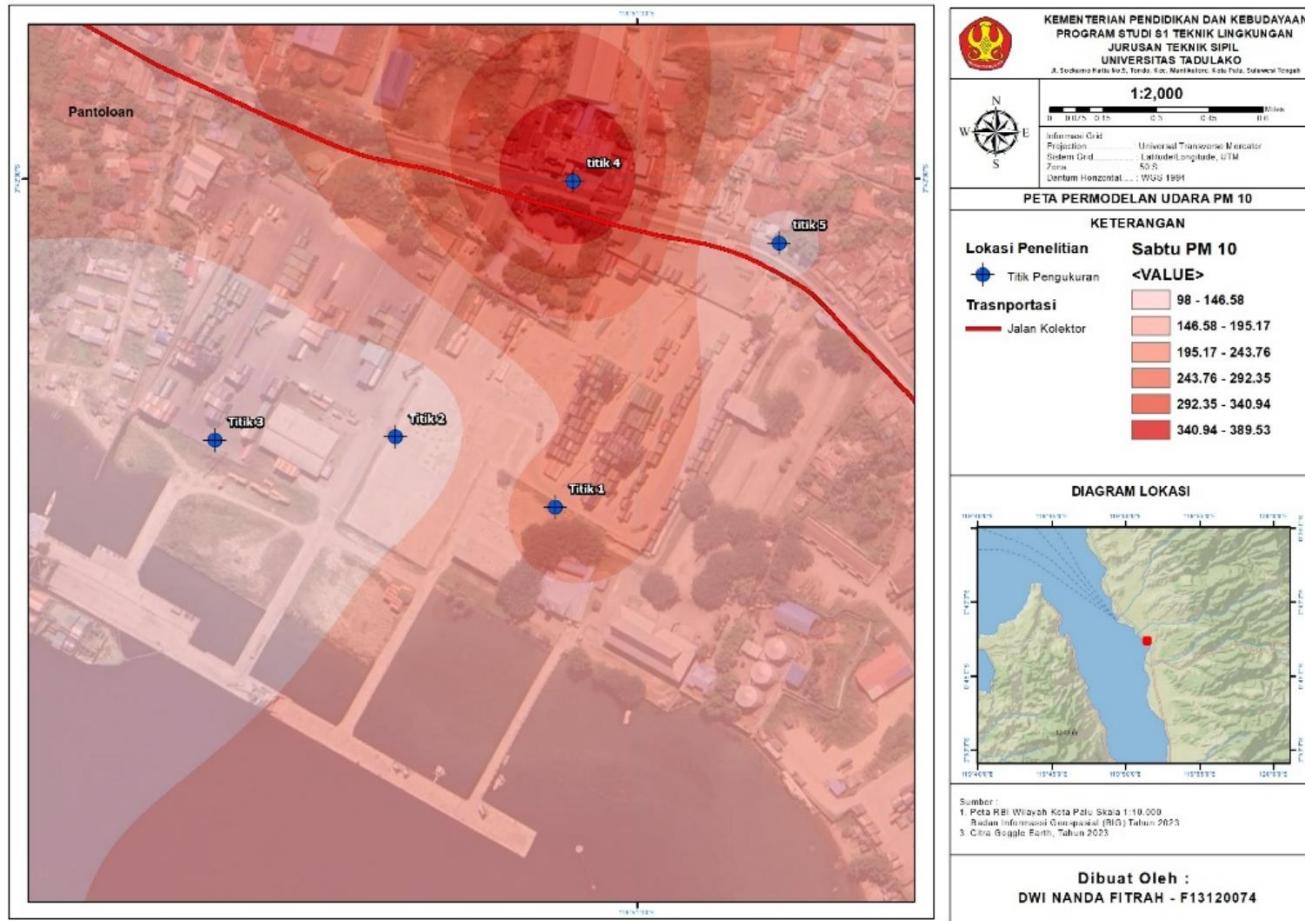
11. Hari Sabtu PM 2,5



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.27 Pola Sebar Udara PM 2,5 pada Hari Sabtu

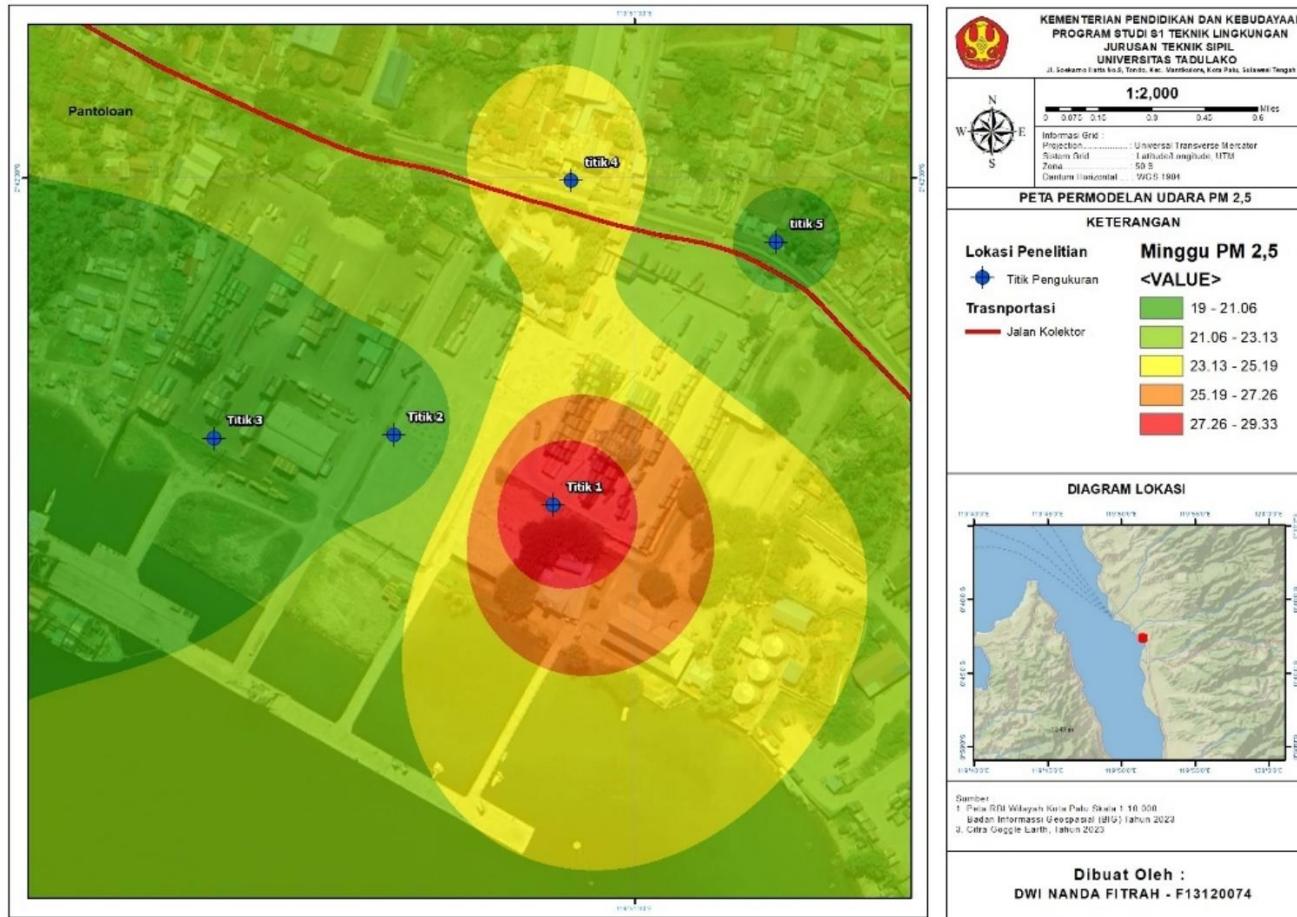
12. Hari Sabtu PM 10



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.28 Pola Sebar Udara PM 10 pada Hari Sabtu

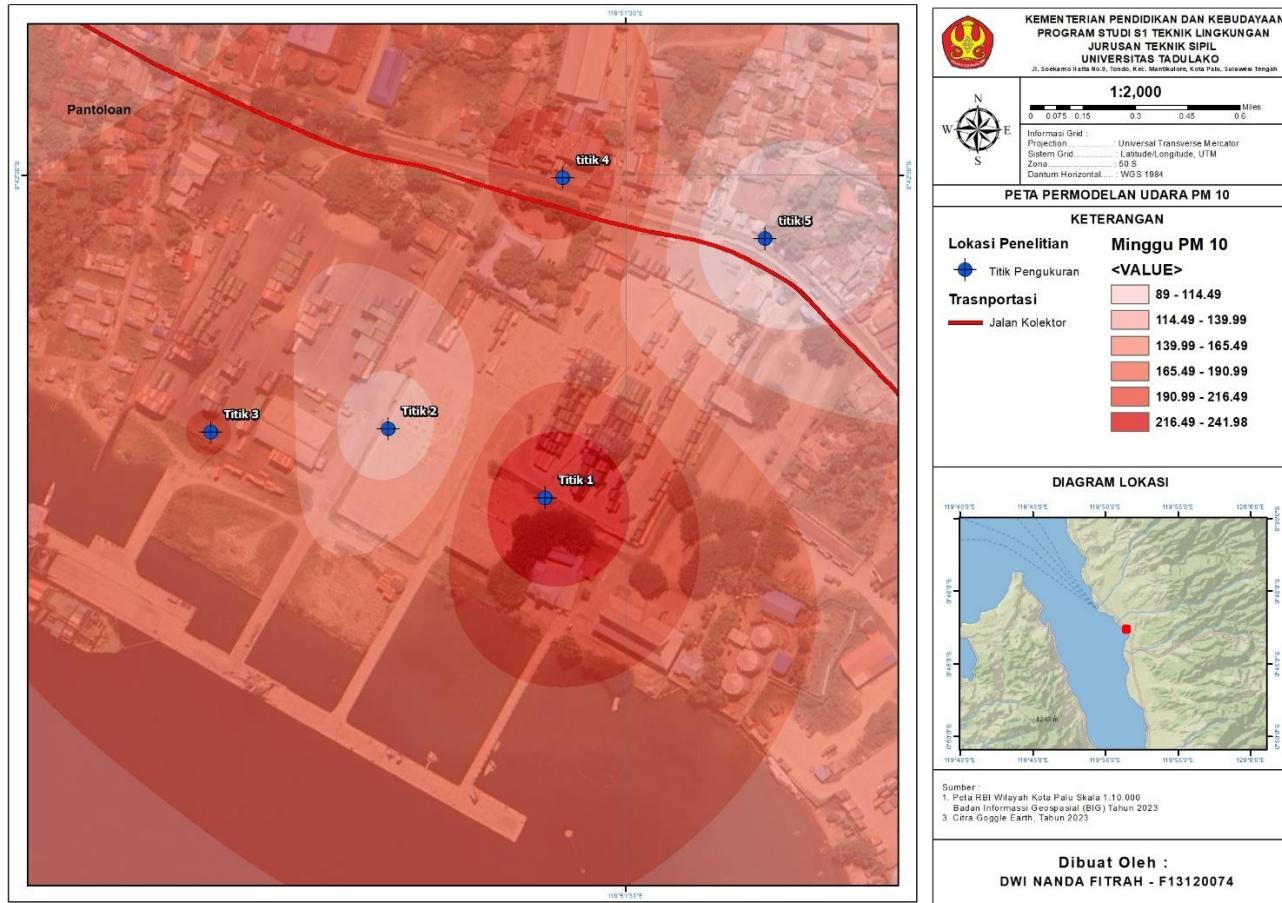
13. Hari Minggu PM 2,5



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.29 Pola Sebaran Udara PM 2,5 Hari Minggu

14. Hari Minggu PM 10



Sumber: Data Primer 2024

Gambar 4.30 Pola Sebaran Udara PM 10 Hari Minggu

4.2 Pembahasan

PM_{2,5} dan PM₁₀ merupakan bagian dari parameter udara ambien, istilah yang sering digunakan untuk menggambarkan partikel-partikel berukuran kecil di udara. PM_{2,5} mengacu pada partikel halus dengan ukuran diameter 2,5 mikrometer atau lebih kecil. Karena ukurannya yang sangat kecil, sekitar 30 kali lebih kecil dari diameter rambut manusia, partikel ini dengan mudah dapat terhirup dan masuk ke saluran pernapasan hingga ke paru-paru. PM_{2,5} biasanya dihasilkan dari proses pembakaran, seperti emisi kendaraan bermotor, aktivitas pembangkit listrik, kebakaran hutan, serta reaksi kimia di atmosfer. Sementara itu, PM₁₀ merupakan partikel di udara dengan ukuran kurang dari 10 mikrometer. Meskipun ukurannya lebih besar dibandingkan PM_{2,5}, partikel ini juga dapat terhirup ke saluran pernapasan dan biasanya berasal dari debu jalan, kegiatan konstruksi, serta pembakaran biomassa. Berdasarkan penelitian sebelumnya, peneliti melakukan analisis perbandingan variasi waktu (pagi, siang, sore) terhadap parameter PM_{2,5} dan PM₁₀. Dari hasil pengukuran yang dilakukan di PT Pelabuhan Indonesia (Persero), diperoleh 315 sampel yang kemudian ditabulasi menggunakan Microsoft Excel dan dianalisis menggunakan uji Kruskal-Wallis untuk melihat perbandingan variasi waktu pada parameter PM_{2,5} dan PM₁₀ serta memetakan pola sebaran udara menggunakan Hsplit. Analisis Parameter PM 2,5

Rata-rata temuan pengukuran selama tujuh hari di lapangan masih berada di bawah ambang baku mutu, berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.7, menunjukkan bahwa variasi yang diperoleh tidak terlalu nyata.

4.2.1 Analisis Parameter PM 10

Berdasarkan analisis pada Tabel 4.1 hingga Tabel 4.7, diperoleh hasil yang menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan, di mana rata-rata hasil pengukuran selama tujuh hari di lapangan masih berada di atas ambang baku mutu. Analisis Statistik Untuk Parameter PM 2,5 dan PM 10

4.2.2 Analisis Statistik untuk Parameter PM_{2,5} dan PM₁₀

Nilai p-value 0,001 menunjukkan bahwa kemungkinan hasil yang diperoleh adalah kebetulan sangat kecil, yaitu sebesar 0,1%. Hasil

perbandingan variasi waktu pada parameter PM 2,5 dan PM 10 di dapatkan Perbedaan yang signifikan pada variasi waktu. Analisis Peta Sebaran PM2.5 dan PM 10

Hasil analisis PM2.5 dan PM10 menggunakan aplikasi permodelan Hysplit pada hari kamis sampai dengan hari rabu sebagai berikut :

1. Analisis Pola Sebaran PM2,5 dan PM10 Hari Pertama (Senin, 21 Oktober 2024)

Gambar 4.10 dan 4.11 menunjukkan pola sebaran PM2,5 dan PM10 pada hari pertama. Konsentrasi PM2,5 tertinggi terukur di titik 4 ($48,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan titik 5 ($53,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ditandai warna merah, dan masih di bawah ambang baku mutu. Sebaran PM10 terbagi menjadi enam kelas, dengan semua titik menunjukkan nilai di atas baku mutu dan didominasi warna merah, dengan konsentrasi tertinggi di titik 2 ($396,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan titik 5 ($351,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yang ditandai merah tua.

2. Analisis Pola Sebaran PM2,5 dan PM10 Hari Kedua (Selasa, 22 Oktober 2024)

Sebagaimana terlihat pada Gambar 4.12 dan 4.13, konsentrasi PM2,5 tertinggi tercatat pada titik 4 dengan nilai $23,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (warna merah) dan masih di bawah baku mutu. Sebaran PM10 dibagi enam kelas, dengan semua titik melebihi baku mutu dan pola didominasi warna merah, dengan konsentrasi tertinggi di titik 4 ($294,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ditandai warna merah tua.

3. Analisis Pola Sebaran PM2,5 dan PM10 Hari Ketiga (Rabu, 23 Oktober 2024)

Gambar 4.14 dan 4.15 menunjukkan bahwa konsentrasi PM2,5 tertinggi terdapat pada titik 2 ($19,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan titik 4 ($19,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$), keduanya masih di bawah baku mutu (warna merah). Sebaran PM10 tetap dalam enam kelas dengan dominasi nilai di atas baku mutu, konsentrasi tertinggi tercatat di titik 2 ($277,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dengan warna merah tua.

4. Analisis Pola Sebaran PM2,5 dan PM10 Hari Keempat (Kamis, 24 Oktober 2024)

Gambar 4.16 dan 4.17 menunjukkan nilai PM2,5 tertinggi pada titik 4 dengan $17,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, masih di bawah baku mutu (warna merah). Sebaran PM10 menunjukkan nilai pada lima titik melebihi baku mutu, dengan pola didominasi warna merah dan nilai tertinggi di titik 2 sebesar $217,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (merah tua).

5. Analisis Pola Sebaran PM2,5 dan PM10 Hari Kelima (Jumat, 25 Oktober 2024)

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.18 dan 4.19, titik 1 memiliki konsentrasi PM2,5 tertinggi, yaitu $24,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (merah), yang masih di bawah ambang batas kualitas. Masih terdapat enam kelas dalam distribusi PM10, dan semua titik berada di atas ambang batas kualitas, dengan titik 4 memiliki nilai tertinggi, yaitu $339,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (merah tua).

6. Analisis Pola Sebaran PM2,5 dan PM10 Hari Keenam (Sabtu, 26 Oktober 2024)

Gambar 4.20 dan 4.21 menunjukkan konsentrasi PM2,5 tertinggi pada titik 1 ($27,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan titik 4 ($29,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), keduanya masih di bawah baku mutu (warna merah). Sebaran PM10 menunjukkan semua titik melebihi baku mutu, dengan konsentrasi tertinggi pada titik 4 sebesar $389,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (warna merah tua).

7. Analisis Pola Sebaran PM2,5 dan PM10 Hari Ketujuh (Minggu, 27 Oktober 2024)

Pada Gambar 4.22 dan 4.23, terlihat konsentrasi PM2,5 tertinggi di titik 1 dengan nilai $29,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (warna merah) dan masih di bawah baku mutu. Sebaran PM10 menunjukkan nilai di atas baku mutu pada semua titik, dengan nilai tertinggi tercatat di titik 1 sebesar $242,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (warna merah tua).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian konsentrasi PM2.5 dan PM10 di PT Pelabuhan Indonesia (Persero) dilakukan selama tujuh hari, Kamis hingga Rabu, menggunakan tiga sesi pengukuran (pagi, siang, dan malam). Temuannya adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan data pengukuran, konsentrasi PM2.5 dan PM10 berada dalam kisaran tertentu. Meskipun konsentrasi PM10 telah ditemukan di atas ambang batas yang relevan, pembacaan PM2.5 masih di bawah ambang batas tersebut, sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, Lampiran VII tentang Baku Mutu Udara Ambien.
2. Program ArcGIS digunakan untuk memprediksi sebaran PM2.5 dan PM10, dengan klasifikasi warna hijau tua, hijau muda, kuning, jingga, dan merah. Merah merupakan warna dominan untuk PM10. Akibat kondisi cuaca harian pada saat pengumpulan data, sebaran partikel dalam studi ini cenderung mengarah ke wilayah timur Kota Palu. Selain itu, pola pergerakan dan luas sebaran partikel di lokasi studi dipengaruhi oleh cuaca di area yang terpapar.

5.2 Saran

1. Untuk Peneliti : Pengembangan Teknologi: Kembangkan teknologi baru untuk pemantauan dan pengendalian PM 10, termasuk penggunaan sensor yang lebih sensitif dan sistem pemantauan otomatis.
2. Untuk Pemerintah : Implementasikan program Dust Suppression System di area rawan debu pada area pelabuhan untuk mengurangi penyebaran PM 10
3. Untuk Masyarakat : Lakukan penelitian tentang efektivitas program edukasi publik mengenai dampak PM 10 dan cara mengurangi paparan.
4. Untuk Instansi Terkait : kegiatan penanaman pohon di lingkungan sekitar sebagai upaya untuk menyerap polutan dan meningkatkan kualitas udara dan melakukan penyiraman di area yang berdebu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. (2017). Sumber PM2.5 alami dan dari aktivitas manusia: Dampak serta mekanismenya. Jurnal Ilmu Lingkungan, 19(4), 45-58.*
- Annugerah, I., Pratama, H., & Wijaya, R. (2016). Definisi dan implementasi Sistem Informasi Geografis (SIG). Jurnal Teknologi Informasi dan Sistem Informasi, 8(2), 23-30.*
- Dewi, dkk. (2023). Penerapan Analisis Varian dalam Penelitian Statistik. Jakarta: Penerbit Ilmu Statistik.*
- Hernandez, S., O'Connor, T., & Green, D. (2017). Faktor lokal, elevasi, dan pola cuaca yang mempengaruhi konsentrasi PM2.5 pada malam hari. Journal of Atmospheric Sciences, 74(7), 2103-2115.*
- Lestari, D. (2009). Metode sampling udara dan teknik pengukurannya. Jurnal Kesehatan Lingkungan, 8(3), 123-134.*
- Li, J., Zhao, B., & Yang, L. (2015). Pengaruh kondisi meteorologi dan emisi lokal terhadap siklus harian PM2.5. Atmospheric Environment, 122, 674-682.*
- Lu, Y., Wang, H., & Zhang, J. (2015). Paparan jangka panjang terhadap partikulat dan risiko penyakit kardiovaskular. Journal of Environmental Health, 77(9), 28-35.*
- Nurjanah, S., Pratama, A., & Wibowo, E. (2014). Dampak paparan jangka panjang PM10 terhadap kesehatan: Kajian epidemiologi dan klinis. Jurnal Epidemiologi Kesehatan, 21(1), 50-62.*
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). PP RI Nomor 22 Tahun 2021 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2020 tentang ISPU. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Lembaran Negara RI Tahun 2021 Nomor 22. Jakarta.
- Pujyanti, R. (2020). Partikulat dan pengaruhnya: Asal, ukuran, dan proses pembentukan. Jurnal Lingkungan dan Kesehatan, 12(3), 87-98.*

- Rahmadani, A. A. T. (2022). Analisis komponen karbon TSP di Jalan Sultan Alauddin Makassar. Tugas Akhir, Universitas Hasanuddin.*
- Sugiyono. (2018). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.*
- Wardoyo, A. Y. P. (2016). Emisi partikulat kendaraan bermotor dan dampaknya terhadap kesehatan. Malang: Universitas Brawijaya.*
- World Health Organization. (2012). Database polusi udara ambien (outdoor) pada kota-kota di dunia. Diakses dari situs WHO.*
- Xing, Y., Xu, Y., & Zhou, Y. (2016). Dampak kesehatan dari partikulat halus (PM2.5) serta mekanismenya. Journal of Environmental Health, 78(10), 15-24.*
- Yulinawati, H. (2015). Indeks kualitas udara. Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti.*

L

A

M

P

I

R

A

N

Lampiran 1. Uji Statistik One Way Anova

Test Statistics^{a,b}

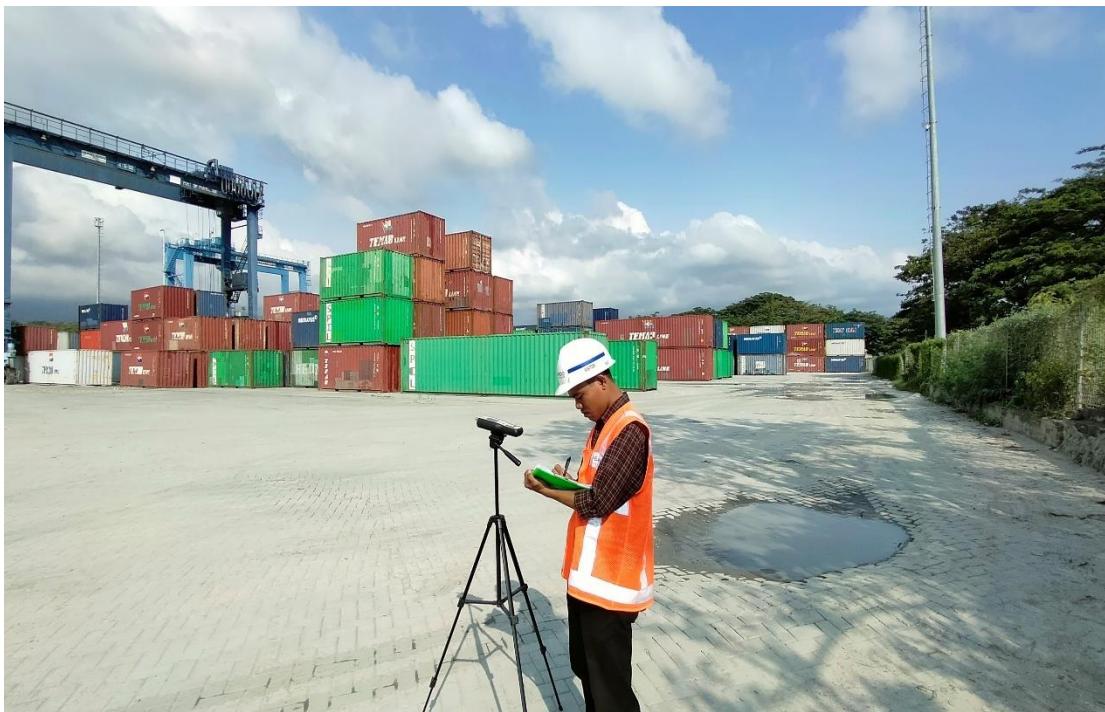
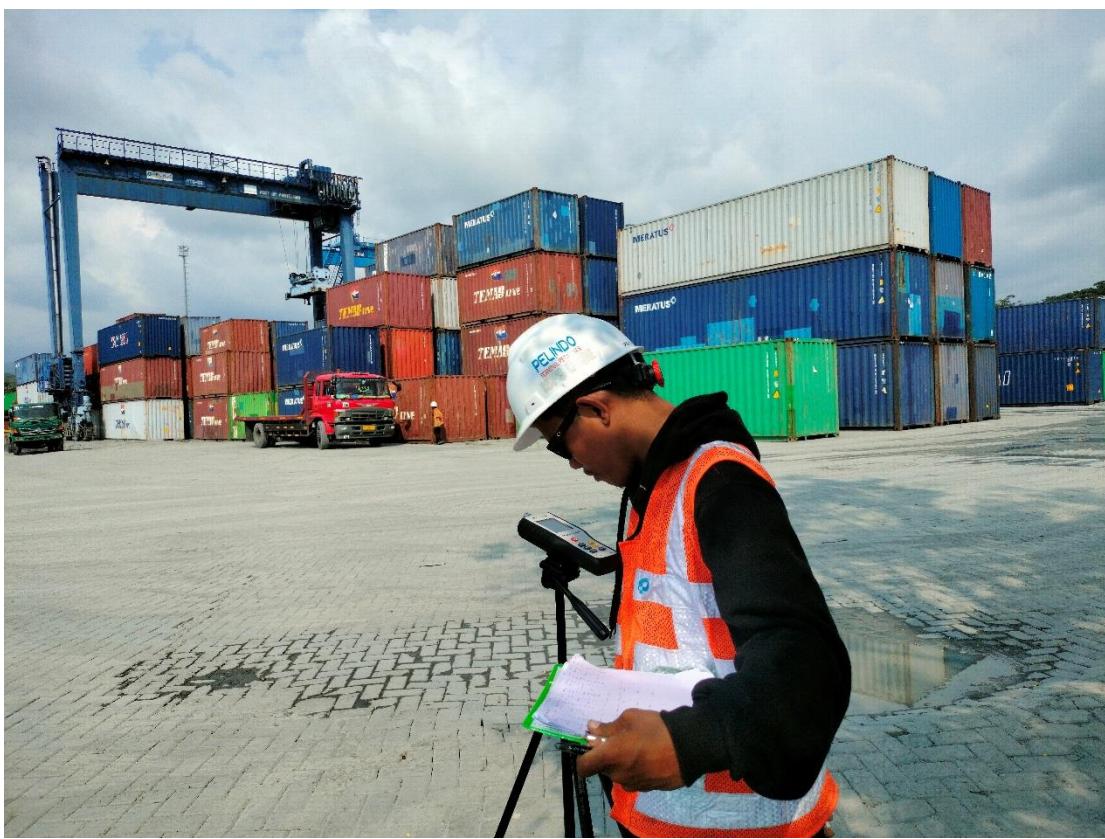
Hasil	
Kruskal-Wallis H	484.866
df	29
Asymp. Sig.	<.001

a. Kruskal Wallis Test

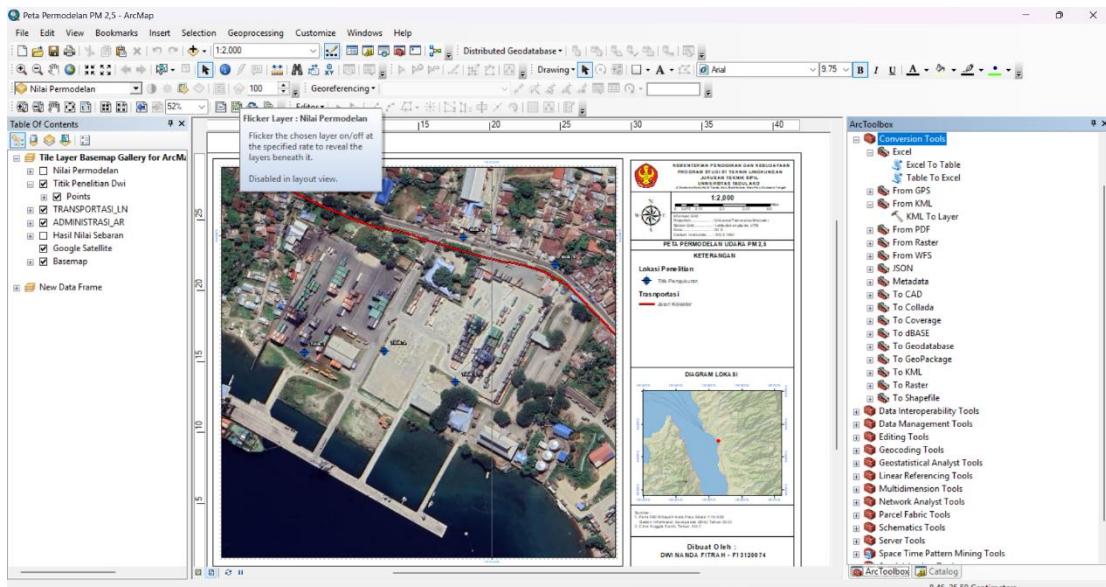
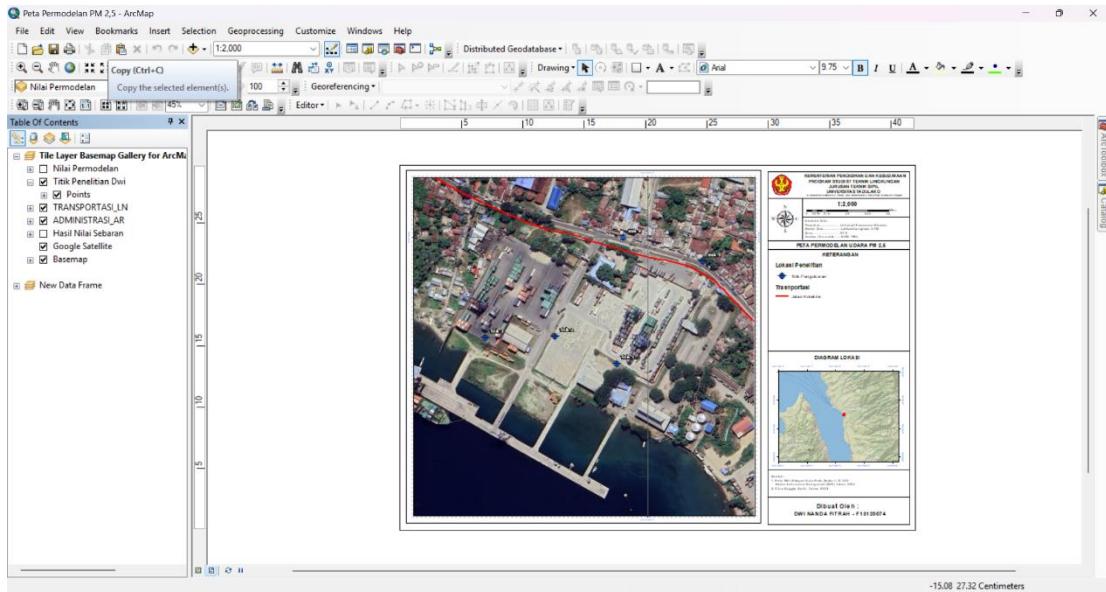
b. Grouping Variable:
Variasi Waktu

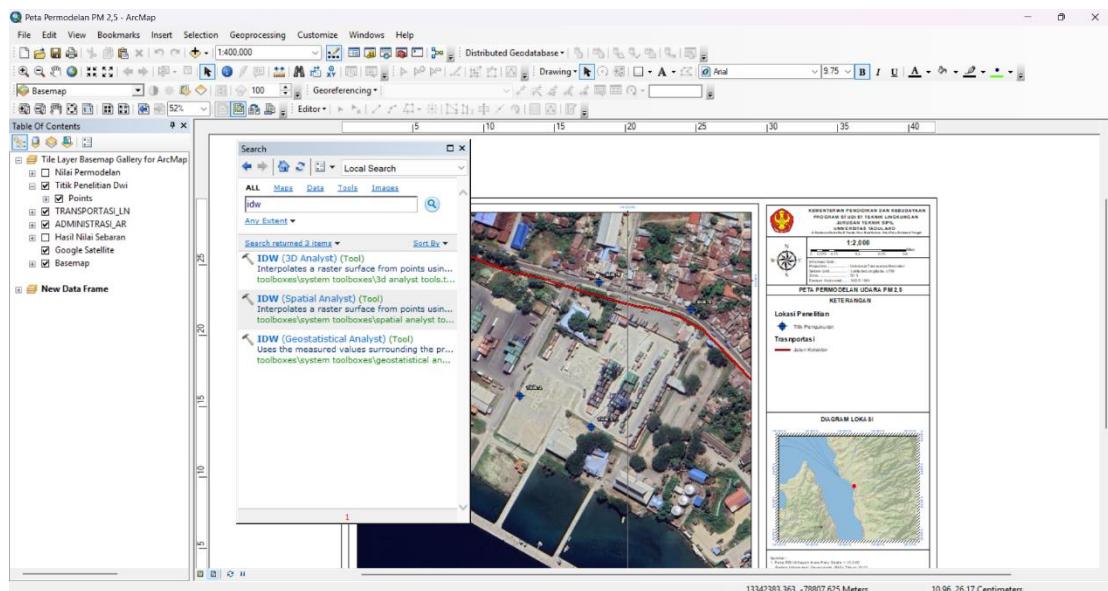
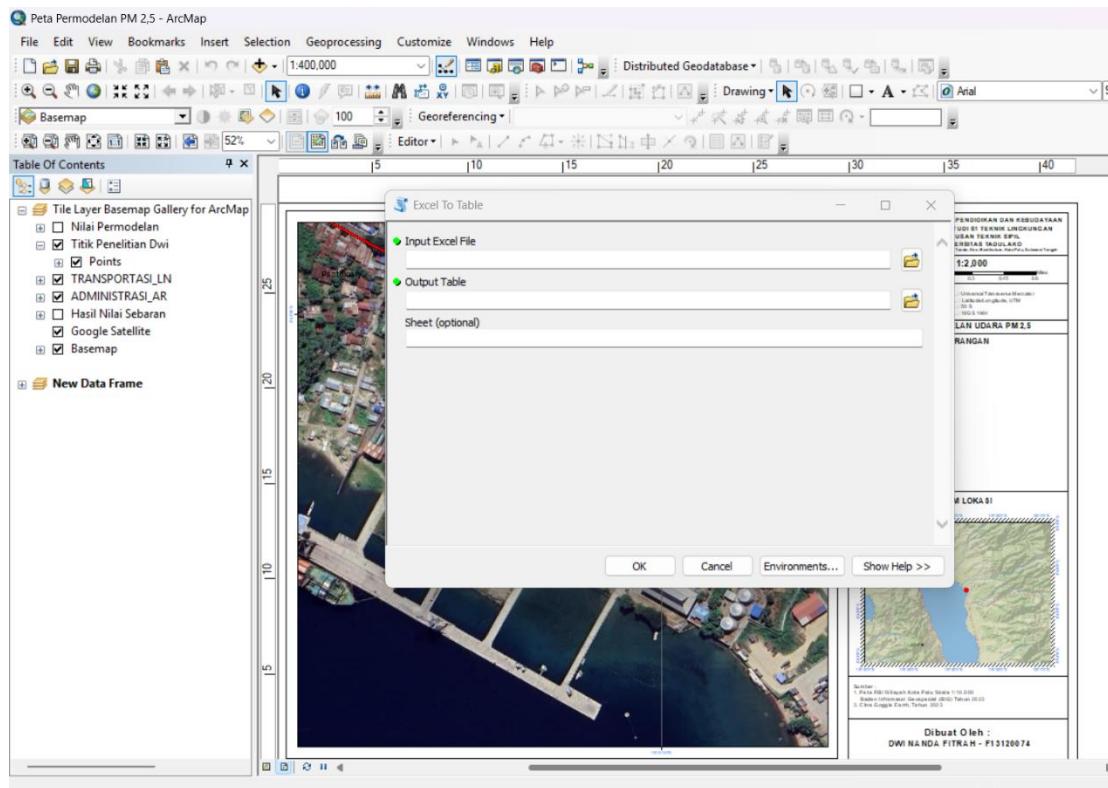
Lampiran 2. Dokumentasi Pengukuran Lapangan



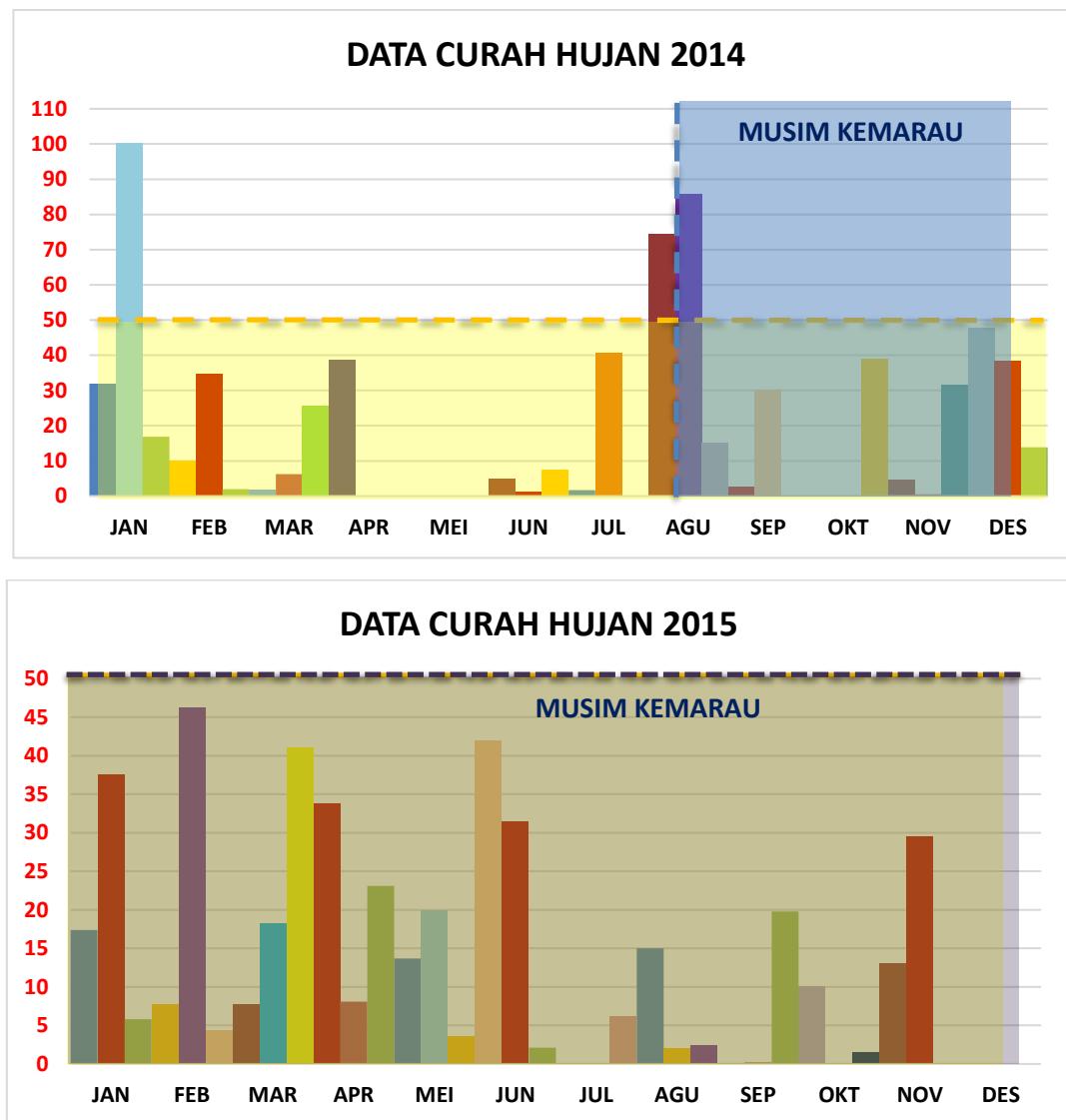


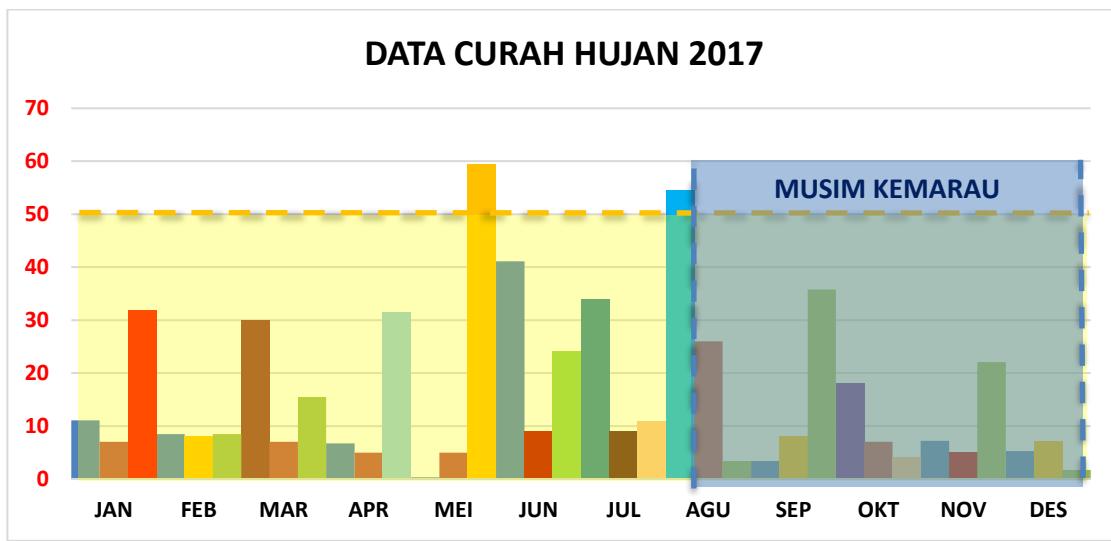
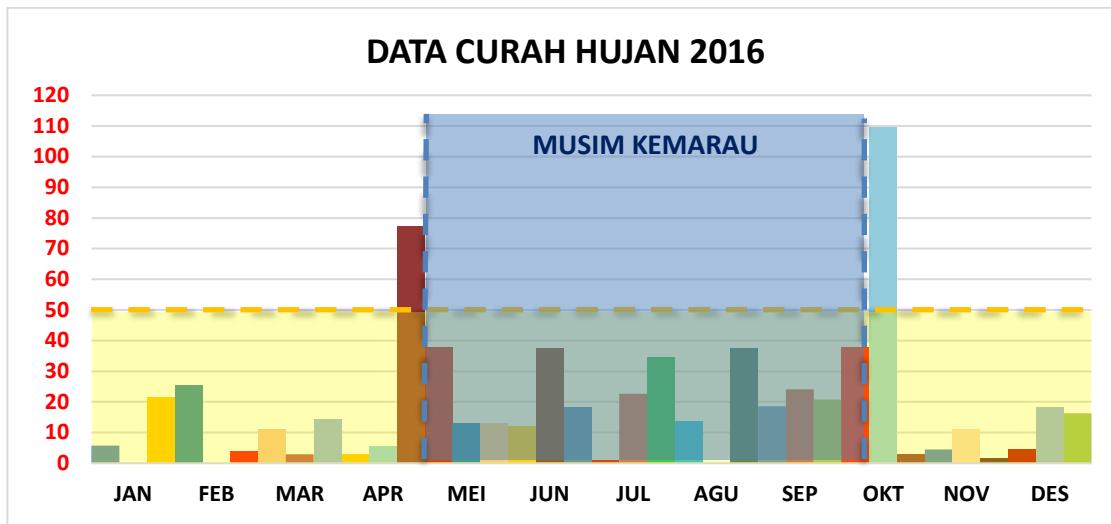
Lampiran 3. Penggunaan ArcGis

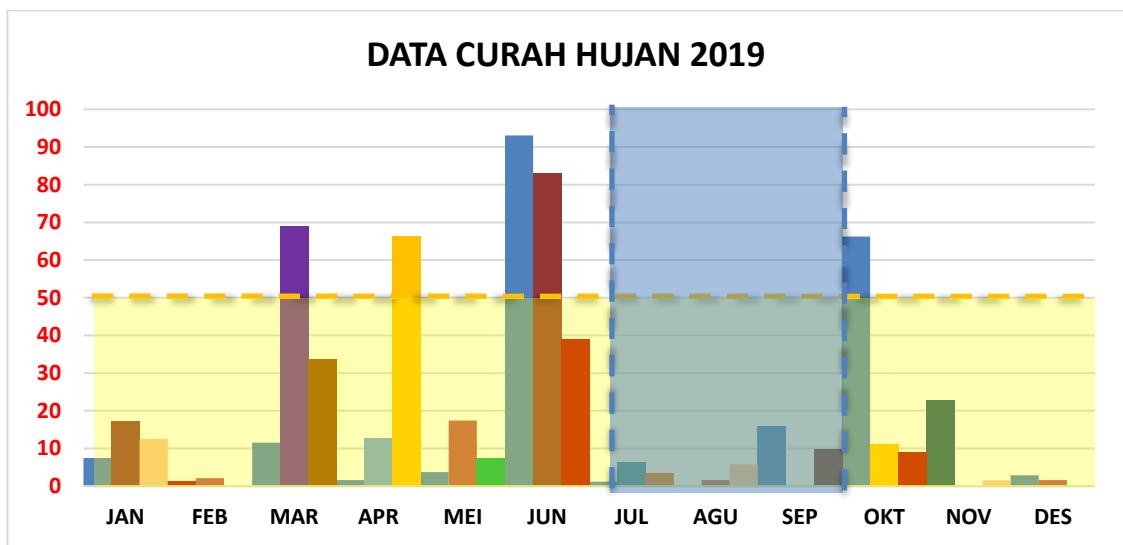
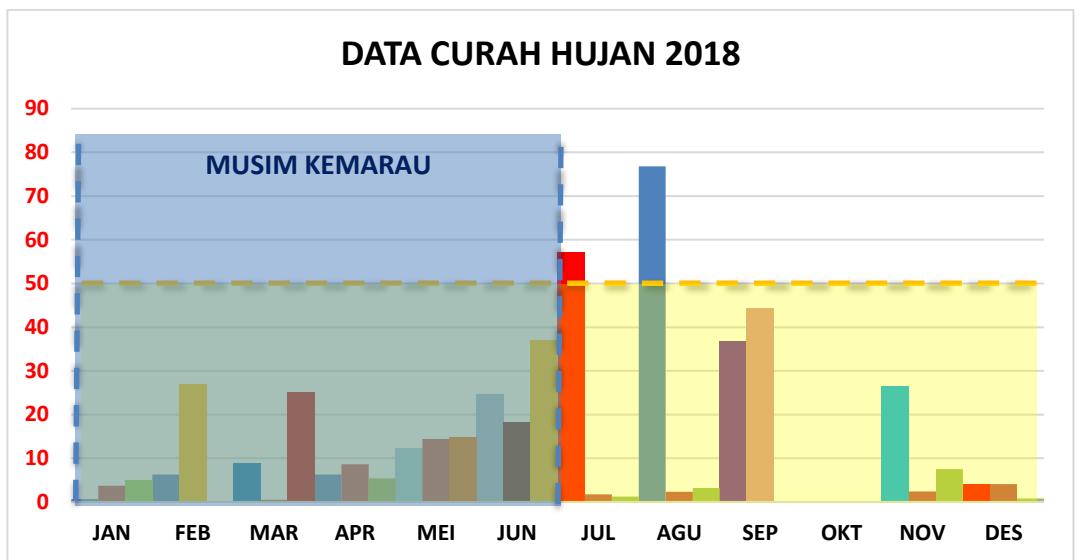




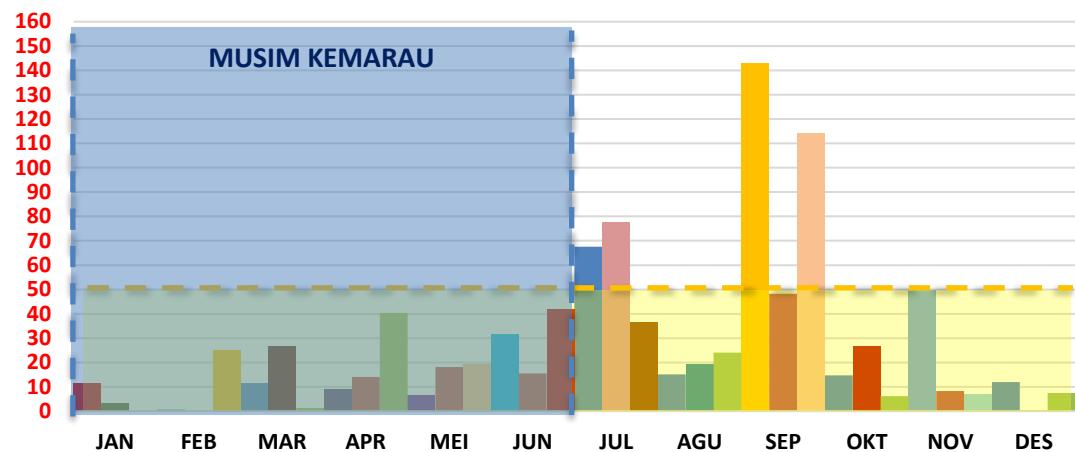
Lampiran 4 Grafik curah hujan 10 tahun







DATA CURAH HUJAN 2020



DATA CURAH HUJAN 2021

