

TA/TL/2025/2061



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Analisis Hubungan Antara Parameter Meteorologis dengan Partikulat Pada Udara Ambien Yogyakarta

Rafi Rabbani Shiddiq
20513022

Dosen Pembimbing:
Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Analyzing the Relationship Between Meteorological Parameters and Ambient Particulate Matter in Yogyakarta

Rafi Rabbani Shiddiq

20513022

Supervisor:

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

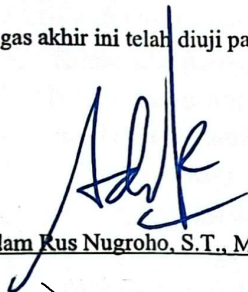
**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**Analisis Hubungan Antara Parameter Meteorologis dengan Partikulat Pada
Udara Ambien Yogyakarta**

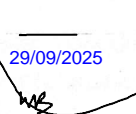
Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

**Rafi Rabbani Shiddiq
20513022**


Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 28 September 2025 dan disetujui oleh:


Adam Kus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

(Pembimbing 1)



Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M.

(Penguji 1)


Ana Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.

(Penguji 2)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana


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

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan AI (*artificial intelligence*) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. Untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. Tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 30 Mei 2025

Yang membuat pernyataan,



Rafi Rabbani Shiddiq
20513022

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Hubungan Antara Parameter Meteorologis dengan Partikulat Pada Udara Ambien Yogyakarta”. Penyusunan laporan Tugas Akhir bertujuan untuk memenuhi syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik bagi mahasiswa S1 Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan, yaitu:

1. Kedua orang tua Evy Kurniawan dan Ira Iriani Ramadhani serta keluarga penulis yang selalu memberikan doa, serta kasih sayang atas semua kegiatan dan keputusan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu, ilmu, dan bimbingannya selama penulisan tugas akhir.
3. Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyon, M.Sc dan Ibu Ana Uswatun Hasanah, S.Si., M.T selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan kritik terhadap penulisan tugas akhir ini
4. Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D. selaku Ketua Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
5. Seseorang yang menemani saya selama pembuatan laporan akhir Nabilah Denadia Chairunissa
6. Teman-teman seperjuangan terdekat yang telah menemani dan membantu saya selama masa perkuliahan Janggan Priyambodo, Naufal Fakhruhin, Rafli Firdaus, Rafli Fauzi, Rivandi Mursal, Thafail Falah dan semua yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis sadar bahwa masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang

membangun sebagai koreksi dan kelayakan laporan ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan digunakan sebaik mungkin oleh penulis dan semua pihak.

Sleman, 30 Mei 2025



Rafi Rabbani Shiddiq

Analisis Hubungan Antara Parameter Meteorologis dengan Partikulat Pada Udara Ambien Yogyakarta

Mahasiswa : Rafi Rabbani Shiddiq
NIM : 20513022
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Penelitian ini menganalisis korelasi antara faktor meteorologi (suhu, kelembapan, curah hujan, kecepatan angin) dan konsentrasi $PM_{2,5}$ serta PM_{10} di Yogyakarta. selama 2020–2024 menggunakan analisis korelasi Spearman dan regresi linier berganda. Hasil menunjukkan bahwa suhu dan kelembapan berkorelasi positif dengan PM, sementara curah hujan dan kecepatan angin berkorelasi negatif. Temuan ini menggarisbawahi peran penting kondisi meteorologi dalam kualitas udara, terutama di perkotaan. Pemahaman ini krusial untuk meningkatkan pemantauan, prediksi, dan perumusan kebijakan mitigasi polusi udara di Yogyakarta, demi kesehatan masyarakat.

Kata Kunci: Faktor Meteorologi, $PM_{2,5}$, PM_{10} , Yogyakarta, Korelasi, Regresi Linear.

Analyzing the Relationship Between Meteorological Parameters and Ambient Particulate Matter in Yogyakarta

Student : Rafi Rabbani Shiddiq
Student Number : 20513022
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

This study analyzes the correlation between meteorological factors (temperature, humidity, rainfall, wind speed) and $PM_{2,5}$ and PM_{10} concentrations in Yogyakarta. from 2020–2024 using Spearman correlation and multiple linear regression analysis. Results indicate that temperature and humidity positively correlate with PM levels, while rainfall and wind speed show a negative correlation. These findings highlight the crucial role of meteorological conditions in air quality dynamics, particularly in urban environments. This understanding is vital for improving air quality monitoring, prediction systems, and for formulating effective pollution mitigation policies in Yogyakarta, to protect public health.

Keywords: Meteorological Factors, $PM_{2,5}$, PM_{10} , Yogyakarta, Correlation, Linear Regression

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	3
DAFTAR ISI.....	7
BAB I PENDAHULUAN.....	4
1.1 Latar Belakang	4
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Ruang Lingkup	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Komposisi Partikulat	7
2.2 Pencemaran Partikulat	7
2.2.1 Sumber Utama Pencemaran Partikulat	7
2.2.2 Polutan Parameter Kunci / Polutan Kriteria.....	8
2.3 Partikulat	9
2.3.2 Karakteristik PM ₁₀	10
2.3.3 Dampak Paparan Partikulat Terhadap Kesehatan & Lingkungan	11
2.4 Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Transport & Transformasi Polutan 11	
2.5 Penelitian Terdahulu	12
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Prosedur Analisis Data	19
3.2 Pengumpulan Data	21
3.3 Analisis Data	22
3.3.1 Uji Normalitas.....	22
3.3.2 Korelasi	22
3.3.3 Regresi	24
3.3.4 Evaluasi Model Regresi Linier	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Data Kualitas Udara Ambien dan Data Meteorologis	27
4.1.1 Data Kualitas Udara Ambien	27
4.1.2 Data Meteorologi	28
4.2 Uji Normalitas	31
4.3 Uji Korelasi	32
4.3.1 Korelasi Spearman	32

4.3.2 Uji Signifikansi	33
4.4 Regresi Linier	36
4.5 Hasil analisis <i>Root Mean Squered Error</i> (RMSE)	43
4.6 Pembahasan	44
BAB V PENUTUP	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	54
RIWAYAT HIDUP	101

Daftar Gambar

BAB III

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3. 2 Diagram Alir Korelasi.....	23

BAB IV

Gambar 4. 1 Data Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} Tahun 2020.....	
Gambar 4. 2 Data Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} Tahun 2021.....	
Gambar 4. 3 Data Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} Tahun 2022.....	
Gambar 4. 4 Data Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} Tahun 2023.....	
Gambar 4. 5 Data Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} Tahun 2024.....	
Gambar 4.1 6 Suhu Staklim BMKG D.i.Yogyakarta 2020-2024	29
Gambar 4.2 7 Kelembapan Relatif Staklim D.I.Yogyakarta 2020-2024.....	29
Gambar 4. 8 Curah Hujan Staklim D.I.Yogyakarta 2020-2024	30
Gambar 4.4 9 Kecepatan angin Staklim D.I.Yogyakarta 2020-2024	30
Gambar 4. 10 Grafik regresi PM_{10} – Curah Hujan	38
Gambar 4. 11 Grafik regresi PM_{10} – Kelembapan Relatif.....	39
Gambar 4. 12 Analisi Regresi Linear Berganda $PM_{2,5}$ Dengan Curah Hujan Dan Kelembapan	40
Gambar 4. 13 Analisi Regresi Linear Berganda PM_{10} Dengan Curah Hujan Dan Kelembapan	41
Gambar 4.9 grafik 14 Grafik R dan R^2	43
Gambar 4. 15 Grafik <i>Root Mean Squered Error</i> (RMSE).....	44

Daftar Tabel

BAB II

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	14
---------------------------------------	----

BAB IV

Tabel 4. 1 Uji Normalitas Shapiro-Wilk.....	31
Tabel 4. 2 Hasil Korelasi Spearman pada Data Set Tahunan	32
Tabel 4. 3 Hasil Korelasi Spearman Pasangan Variabel.....	33
Tabel 4. 4 Hasil Uji Signifikansi Dataset Per-tahun	34
Tabel 4. 5 hasil signifikan pada Pasangan Variabel	35
Tabel 4. 6 Hasil Uji Regresi Linear Sederhana dan Berganda	36
Tabel 4. 7 koefisien determinasi R^2	42
Tabel 4. 8 Nilai <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE) Uji regresi Linear Parameter Udara Ambien dengan Faktor Meteorologis	43

Daftar Lampiran

Lampiran 1 Dataset Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)	54
Lampiran 2 Uji Normalitas Shaphiro-Wilk	58
Lampiran 3 Hasil korelasi Per-tahun	59
Lampiran 4 Uji Signifikansi Per-tahun	60
Lampiran 5 Korelasi Spearman	60
Lampiran 6 Hasil Uji Signifikansi	61
Lampiran 7 Regresi Linear Sederhana	61
Lampiran 8 Regresi Linear Berganda	73
Lampiran 9 Hasil Persamaan Regresi Linear Sederhana dan Berganda	77
Lampiran 10 Hasil Regresi R^2 dan R	77
Lampiran 11 Analisis Root Mean Squere Error (RMSE)	77
Lampiran 12 Grafik hasil regresi	89
Lampiran 13 Grafik RMSE	93
Lampiran 14 Dokumentasi pengambilan sampel	94

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Particulate Matter (PM) merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi kualitas udara, khususnya PM_{2,5} dan PM₁₀ yang terdiri dari partikel dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer dan 10 mikrometer. Partikel-partikel ini berpotensi masuk ke saluran pernapasan manusia dan menimbulkan berbagai gangguan kesehatan, mulai dari iritasi ringan hingga penyakit paru-paru kronis dan kardiovaskular. Di wilayah perkotaan seperti Kota Yogyakarta, peningkatan aktivitas manusia, kendaraan bermotor, serta pembakaran bahan bakar menyebabkan konsentrasi PM_{2,5} dan PM₁₀ menjadi perhatian utama. Oleh karena itu, pemantauan dan studi mendalam terhadap partikel ini sangat penting untuk menjaga kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat (Rahman & Sari, 2021).

Faktor meteorologi seperti curah hujan, kelembapan relatif, arah angin, dan suhu merupakan variabel kunci yang mempengaruhi konsentrasi dan persebaran PM di udara. Curah hujan, misalnya, memiliki peran dalam membersihkan atmosfer dari partikel-partikel melalui proses deposisi basah yang menurunkan konsentrasi PM secara signifikan. Kelembapan relatif yang tinggi dapat meningkatkan pengendapan partikel dan mempercepat reaksi kimia di atmosfer sehingga mengubah komposisi PM. Sementara itu, arah dan kecepatan angin menentukan arah penyebaran dan pengenceran polutan, sedangkan suhu dapat mempengaruhi reaksi kimia pembentukan partikel sekunder. Dinamika meteorologi ini berinteraksi kompleks dengan aktivitas antropogenik dan geografis, sehingga analisis berbasis meteorologi menjadi kunci untuk memahami pola pencemaran udara (Susanto & Widodo, 2020).

Di Kota Yogyakarta, karakteristik iklim tropis dengan musim hujan dan kemarau yang bergantian serta pola pergerakan angin lokal memberikan pengaruh terhadap tingkat dan penyebaran PM_{2,5} dan PM₁₀. Kota ini mengalami urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi yang pesat, sehingga volume kendaraan dan aktivitas industri meningkat, berdampak pada kualitas udara. Studi yang mengaitkan faktor meteorologi dengan variasi konsentrasi PM sangat diperlukan untuk menyediakan basis ilmiah dalam perumusan kebijakan pengendalian polusi udara. Pendekatan ini juga penting karena pola distribusi partikulat dapat berbeda secara spasial dan temporal sesuai

dengan kondisi meteorologi dan aktivitas manusia yang berubah sepanjang waktu penelitian 2020-2025 (Putri, 2023).

Pengaruh faktor meteorologi terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di wilayah Kota Yogyakarta menjadi aspek yang krusial untuk dianalisis dalam penelitian ini. Pemahaman mendalam mengenai interaksi antara kondisi cuaca dan emisi partikel dapat membantu dalam merumuskan strategi pengelolaan kualitas udara yang efektif dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran akurat mengenai perilaku PM dengan mempertimbangkan variabel meteorologi serta dinamika sosial ekonomi di Yogyakarta, sehingga hasilnya dapat memberikan kontribusi nyata bagi upaya perlindungan kesehatan masyarakat dan pengembangan kebijakan lingkungan yang responsif dan berbasis data ilmiah.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah yang dapat dijadikan fokus dalam penelitian :

1. Apakah faktor meteorologi secara langsung memicu perubahan konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} ?
2. Apa faktor meteorologi utama yang dapat memprediksi fluktuasi kadar $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di Kota Yogyakarta?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengidentifikasi korelasi Antara faktor meteorologi dan kualitas udara" dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Menganalisis hubungan antara suhu, kelembapan, curah hujan dan kecepatan angin terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di Kota Yogyakarta selama periode 2020-2024.
2. Mengevaluasi peran faktor meteorologi dalam memprediksi konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} dalam menjelaskan kualitas udara di Kota Yogyakarta.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Dengan memahami hubungan antara faktor meteorologi dan konsentrasi partikulat, sistem monitoring udara dapat ditingkatkan kapasitas prediksinya.
2. Informasi yang diberikan dapat digunakan untuk merancang strategi mitigasi yang lebih tepat dan efektif dalam mengurangi polusi udara.

3. Penelitian ini juga dapat membantu meningkatkan perlindungan kesehatan masyarakat dengan memberikan data yang akurat tentang risiko pajanan polusi udara.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sumber data yang digunakan adalah literatur ilmiah, laporan resmi, dan data statistik terkait faktor meteorologi dan kualitas udara.
2. Data dianalisis untuk mengidentifikasi hubungan antara faktor meteorologi dan kualitas udara.
3. Metode penelitian yang digunakan □ Analisis Korelasi Spearman's Untuk menemukan hubungan linier antara variabel meteorologi dan konsentrasi $PM_{2,5}/PM_{10}$. Regresi Linier Berganda untuk menganalisis bagaimana kombinasi faktor-faktor meteorologi mempengaruhi konsentrasi $PM_{2,5}/PM_{10}$.
4. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi dampak faktor meteorologi pada kualitas udara sebagai acuan untuk kota Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposisi Partikulat

Partikulat (Particulate Matter/PM) merupakan campuran kompleks partikel padat dan cair yang tersuspensi di atmosfer, yang berasal dari berbagai sumber alam dan antropogenik seperti debu, asap, kotoran, dan uap. Ukuran partikulat bervariasi, namun yang paling banyak menjadi fokus penelitian adalah PM₁₀ (partikel dengan diameter ≤ 10 mikrometer) dan PM_{2.5} (diameter $\leq 2,5$ mikrometer), karena partikel dengan ukuran ini dapat menembus jauh ke dalam saluran pernapasan manusia dan berpotensi masuk ke aliran darah. PM_{2.5} menjadi perhatian karena kemampuannya menimbulkan dampak negatif jangka panjang pada kesehatan, seperti penyakit pernapasan dan kardiovaskular (Utami et al., 2023; Nugroho & Wibowo, 2024). Komposisi kimia dari PM sangat beragam, meliputi logam berat, sulfida, karbon organik dan anorganik yang memengaruhi tingkat toksisitasnya (Mukhtar, 2018).

2.2 Pencemaran Partikulat

Pencemaran partikulat di wilayah perkotaan merupakan masalah lingkungan yang serius dan semakin meningkat seiring pesatnya urbanisasi dan industrialisasi. Di Kota Yogyakarta, aktivitas kendaraan bermotor, pembakaran sampah, dan aktivitas industri menjadi sumber utama emisi PM_{2.5} dan PM₁₀ yang mencemari udara ambien. PM ini tidak hanya menurunkan kualitas udara tetapi juga memengaruhi kesehatan masyarakat dan kenyamanan lingkungan (Manggala, 2023). Studi menunjukkan bahwa konsentrasi PM di Yogyakarta selama beberapa tahun terakhir sering melampaui batas baku mutu nasional, khususnya pada musim kemarau ketika kondisi atmosfer kurang mendukung pengenceran polutan (Nurhidayat, 2021). Polutan ini dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, penurunan fungsi paru-paru, dan peningkatan risiko penyakit kronis (Hidayat & Putri, 2022). Oleh karena itu, pemantauan, analisis dan pengendalian partikulat menjadi prioritas dalam pengelolaan kualitas udara perkotaan.

2.2.1 Sumber Utama Pencemaran Partikulat

Transportasi menjadi penyebab utama pencemaran partikulat di kota besar, terutama karena jumlah kendaraan yang terus meningkat tanpa diikuti dengan teknologi pengendalian emisi yang memadai. Emisi gas buang kendaraan mengandung berbagai polutan berbahaya, termasuk PM_{2.5} dan PM₁₀, yang merupakan produk dari pembakaran bahan bakar bensin dan solar. Selain

itu, aktivitas industri dan pembangkit listrik berbasis batu bara juga menghasilkan partikulat halus dan kasar yang tersebar di atmosfer perkotaan. Aktivitas konstruksi dan pekerjaan pembangunan infrastruktur menghasilkan debu jalan yang menambah beban pencemaran partikulat terutama di daerah dengan lalu lintas padat dan aktivitas pembangunan masif (Imami, 2023; Vital Strategies, 2024). Pembakaran terbuka biomassa, seperti pembakaran sampah dan lahan juga menyumbang polutan yang signifikan, terutama pada musim kemarau atau saat terjadi kebakaran hutan, yang semakin memperburuk kualitas udara.

Komposisi kimia partikulat menunjukkan berbagai sumber pencemar yang beragam, di antaranya adalah partikel yang berasal dari debu tanah (soil dust), emisi kendaraan bermotor, pembakaran biomassa, industri, garam laut, serta aerosol sekunder yang terbentuk dari reaksi kimia gas-gas polutan di atmosfer. Sebagai contoh, unsur logam berat seperti Zn dan unsur karbon hitam (Black Carbon) sering diidentifikasi berasal dari pembakaran biomassa dan emisi kendaraan. Aerosol sekunder yang terbentuk dari sulfur oksida dan nitrogen oksida juga memegang peranan penting dalam pembentukan $PM_{2.5}$, khususnya di daerah dengan tingkat polusi tinggi (Lestiani et al., 2013; Putri et al., 2023). Penelitian juga menegaskan bahwa konsentrasi PM cenderung lebih tinggi pada musim kemarau dibanding musim hujan karena terbatasnya pengenceran polutan oleh hujan dan perubahan kondisi meteorologi.

Kota-kota besar seperti Yogyakarta yang sedang mengalami perkembangan dan pembangunan secara pesat menghadapi tantangan serupa dalam mengelola pencemaran udara dari sumber-sumber tersebut agar dampak buruk terhadap kesehatan masyarakat dapat diminimalisasi. Penelitian tentang komposisi, sumber, dan faktor-faktor pendukung pencemaran partikulat menjadi sangat krusial untuk menyediakan data ilmiah yang valid sebagai dasar pengambilan keputusan pemerintah dan pemangku kepentingan terkait upaya mitigasi pencemaran udara.

2.2.2 Polutan Parameter Kunci / Polutan Kriteria

$PM_{2.5}$ merujuk pada partikel dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer, sedangkan PM_{10} mencakup partikel dengan diameter kurang dari

10 mikrometer. Partikel-partikel ini dapat berasal dari berbagai sumber, seperti pembakaran bahan bakar fosil, debu dari konstruksi, dan emisi kendaraan. Karena ukurannya yang kecil, Di sisi lain, polutan kriteria adalah polutan yang telah ditetapkan oleh badan pengatur sebagai substansi yang memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Dalam konteks pencemaran udara, $PM_{2,5}$ dan PM_{10} termasuk dalam kategori polutan kriteria karena efeknya yang serius terhadap kesehatan masyarakat. Badan Perlindungan Lingkungan (EPA) di Amerika Serikat menetapkan batas maksimum konsentrasi untuk kedua jenis partikel ini untuk melindungi kesehatan publik. Misalnya, konsentrasi $PM_{2,5}$ yang aman tidak boleh melebihi 35 mikrogram per meter kubik ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dalam rata-rata harian, sementara untuk PM_{10} batasnya adalah 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pemantauan terhadap polutan kriteria ini sangat penting untuk mengidentifikasi sumber pencemaran dan merumuskan kebijakan pengendalian pencemaran udara yang efektif, sehingga dapat mencegah dampak buruk bagi kesehatan manusia dan menjaga kualitas lingkungan.

2.3 Partikulat

Particulate Matter (PM) atau partikel tersuspensi merupakan campuran partikel padat dan tetesan cairan yang melayang di udara. Partikel ini berukuran sangat kecil sehingga dapat terhirup ke dalam saluran pernapasan manusia. *PM* diklasifikasikan berdasarkan ukurannya, yaitu PM_{10} (partikel dengan diameter kurang dari atau sama dengan 10 mikrometer) dan $PM_{2.5}$ (partikel dengan diameter kurang dari atau sama dengan 2,5 mikrometer). Sumber *PM* meliputi sumber alami seperti debu tanah, abu vulkanik, dan serbuk sari, serta sumber antropogenik atau buatan manusia, seperti emisi kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar fosil, proses industri, dan pembakaran sampah. Komposisi kimia *PM* juga sangat kompleks, terdiri dari logam berat, senyawa organik, sulfat, nitrat, dan karbon hitam. Ukuran partikel sangat berpengaruh terhadap dampaknya terhadap kesehatan semakin kecil ukuran partikel, semakin dalam partikel tersebut dapat masuk ke sistem pernapasan dan menyebabkan gangguan kesehatan.

Paparan $PM_{2.5}$, telah terbukti dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan, seperti iritasi saluran pernapasan, memperburuk penyakit asma dan bronkitis, serta meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular dan pernapasan kronis. Paparan jangka panjang terhadap *PM* bahkan dapat meningkatkan risiko kematian dini akibat penyakit

jantung dan paru-paru. Oleh karena itu, Organisasi Kesehatan Dunia (*WHO*) dan pemerintah di berbagai negara telah menetapkan batas ambang konsentrasi *PM* di udara untuk melindungi kesehatan masyarakat. Pengukuran *PM* dilakukan menggunakan alat khusus yang mampu mendeteksi konsentrasi *PM*₁₀ dan *PM*_{2.5} secara real-time. Untuk mengendalikan konsentrasi *PM* di udara, diperlukan berbagai upaya seperti penggunaan bahan bakar ramah lingkungan, pengelolaan limbah yang baik, penerapan teknologi filtrasi pada cerobong industri, serta penghijauan di area perkotaan. Dengan demikian, pemahaman mengenai sumber, karakteristik, dampak, serta upaya pengendalian Particulate Matter sangat penting untuk menjaga kualitas udara dan kesehatan masyarakat.

2.3.1 Karakteristik *PM*_{2,5}

Particulate Matter dengan ukuran kurang dari 2,5 mikrometer, adalah jenis polutan udara yang terdiri dari partikel halus yang sangat kecil dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Karakteristik utama dari *PM*_{2,5} adalah kemampuannya untuk menembus jauh ke dalam saluran pernapasan, bahkan hingga mencapai alveoli paru-paru, yang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan serius. Partikel ini dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk emisi kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar fosil, industri, dan pembakaran biomassa. Selain itu, reaksi kimia di atmosfer juga dapat menghasilkan *PM*_{2,5} dari polutan lain seperti sulfur dioksida (*SO*₂) dan nitrogen oksida (*NO*_x). Konsentrasi *PM*_{2,5} di udara ambien memiliki nilai ambang batas (*NAB*) yang ditetapkan untuk melindungi kesehatan manusia, yaitu sebesar 65 µg/m³.

2.3.2 Karakteristik *PM*₁₀

Particulate Matter dengan ukuran kurang dari 10 mikrometer, adalah jenis polutan udara yang terdiri dari partikel padat dan cair yang dapat terhirup oleh manusia. Partikel ini berukuran cukup kecil sehingga dapat masuk ke dalam saluran pernapasan dan bertahan di dalam tubuh untuk waktu yang lama, menyebabkan berbagai gangguan kesehatan. *PM*₁₀ berasal dari berbagai sumber, termasuk emisi kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar fosil, debu dari konstruksi, dan aktivitas industri. Selain itu, partikel ini juga dapat terbentuk dari proses alami seperti kebakaran hutan dan erupsi vulkanik. Karena

ukurannya yang relatif besar dibandingkan dengan $PM_{2,5}$, PM_{10} dapat mengandung campuran partikel halus dan kasar, yang terdiri dari berbagai bahan kimia dan unsur logam berbahaya seperti timbal (Pb) dan merkuri (Hg) yang dapat menyebabkan dampak negatif bagi kesehatan manusia.

2.3.3 Dampak Paparan Partikulat Terhadap Kesehatan & Lingkungan

Paparan terhadap partikel halus seperti $PM_{2,5}$ dan PM_{10} serta kualitas udara ambien yang buruk memiliki dampak kesehatan yang signifikan bagi masyarakat. $PM_{2,5}$, yang merupakan partikel dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer, dapat menembus jauh ke dalam sistem pernapasan dan bahkan masuk ke aliran darah. Hal ini menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, terutama pada sistem pernapasan dan kardiovaskular. Menurut penelitian, setiap kenaikan konsentrasi $PM_{2,5}$ sebesar $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dapat meningkatkan risiko kunjungan ke unit gawat darurat akibat asma sebesar 3,6% pada anak-anak dan 1,7% pada orang dewasa [1]. Selain itu, paparan jangka panjang terhadap $PM_{2,5}$ dapat meningkatkan risiko terkena penyakit paru obstruktif kronik (PPOK) dan kanker paru-paru [2] (Nurjanah, 2019).

Dampak kesehatan lainnya yang terkait dengan PM_{10} juga tidak kalah serius. Partikel ini dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, batuk, dan penurunan fungsi paru-paru. Penelitian menunjukkan bahwa paparan PM_{10} dapat memperburuk gejala asma dan meningkatkan frekuensi serangan bronkitis. Selain itu, individu yang terpapar PM_{10} secara terus-menerus berisiko lebih tinggi mengalami penyakit kardiovaskular, termasuk serangan jantung dan stroke. Peningkatan konsentrasi polusi udara juga telah dikaitkan dengan peningkatan risiko kematian akibat penyakit jantung iskemik (Handika, 2019)

2.4 Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Transport & Transformasi Polutan

Faktor meteorologi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap transportasi dan transformasi polutan di atmosfer. Angin adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi penyebaran polutan, di mana arah dan kecepatan angin dapat menentukan sejauh mana polutan tersebar dari sumbernya. Misalnya, angin dengan kecepatan tinggi dapat membantu mengencerkan konsentrasi polutan di suatu area, sementara angin yang lemah dapat menyebabkan akumulasi polutan di lokasi tertentu. Selain itu, stabilitas atmosfer juga memainkan peran penting; pada kondisi atmosfer

yang stabil, polutan cenderung terperangkap dekat permukaan bumi, meningkatkan konsentrasi udara ambien. Sebaliknya, kondisi atmosfer yang tidak stabil memungkinkan polutan untuk terdispersi lebih efektif, mengurangi konsentrasi di area tersebut. Variabel meteorologi lainnya seperti suhu, kelembapan, dan curah hujan juga berkontribusi pada proses transformasi kimia polutan, seperti reaksi fotokimia yang menghasilkan *ozon troposfer*.

2.5 Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan suhu dan kelembapan memiliki pengaruh yang kuat terhadap fluktuasi konsentrasi partikel tersebut, dengan kelembapan tinggi cenderung mengurangi konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} akibat proses pengendapan. Selain itu, curah hujan terbukti efektif dalam membersihkan udara dari partikel-partikel polutan, sedangkan kecepatan angin berfungsi sebagai faktor penyebaran yang mempengaruhi konsentrasi partikel di berbagai lokasi. Penelitian ini memberikan wawasan penting bagi pengelolaan kualitas udara dan kebijakan lingkungan di kota Yogyakarta, serta menekankan perlunya pemantauan terus-menerus terhadap faktor meteorologi untuk memahami dinamika kualitas udara secara lebih komprehensif.

Korelasi dan regresi adalah dua teknik statistik yang sering digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabel. Korelasi mengukur kekuatan dan arah hubungan linear antara dua variabel, dengan nilai koefisien korelasi berkisar antara -1 hingga 1, di mana nilai mendekati 1 menunjukkan hubungan positif yang kuat, nilai mendekati -1 menunjukkan hubungan negatif yang kuat. Di sisi lain, regresi tidak hanya mengukur kekuatan hubungan, tetapi juga memungkinkan kita untuk memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan satu atau lebih variabel independen. Dalam konteks penelitian kualitas udara, analisis regresi dapat digunakan untuk menentukan seberapa besar pengaruh faktor meteorologi seperti suhu dan kelembapan terhadap konsentrasi polutan seperti $PM_{2,5}$ dan PM_{10} . Dengan menggunakan regresi linear berganda, peneliti dapat mengidentifikasi kontribusi relatif dari masing-masing faktor meteorologi serta memprediksi perubahan konsentrasi polutan di masa depan berdasarkan kondisi cuaca yang berbeda. Teknik ini sangat penting dalam pengembangan model pemantauan kualitas udara dan pengambilan keputusan yang berbasis data.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	Tentang Penelitian	Penulis	Tahun	Abstrak
"Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO ₂) di Udara Ambien: Studi Kasus di Bundaran Hotel Indonesia, DKI Jakarta"	Studi yang berfokus pada gas Nitrogen Dioksida (NO ₂) menunjukkan bahwa faktor meteorologi seperti suhu, kelembapan, curah hujan, dan kecepatan angin secara signifikan mempengaruhi konsentrasi NO ₂ di Jakarta. Analisis regresi linear berganda menunjukkan bahwa keempat faktor tersebut menjelaskan 38,3% variasi konsentrasi NO ₂ , dengan suhu dan kecepatan angin memiliki korelasi positif yang kuat	Yega Serlina	2020	Proses pembakaran pada pembangkit listrik, industri dan transportasi dapat menimbulkan pencemaran udara, salah satunya menimbulkan polutan gas Nitrogen Dioksida (NO ₂). Salah satu tahapan pengelolaan kualitas udara adalah dengan pemantauan. Pemantauan kualitas udara memiliki beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan karena dapat mempengaruhi pengukuran, salah satunya adalah faktor meteorologi. Penelitian ini menganalisis bagaimana pengaruh suhu udara, kelembapan udara, curah hujan, dan kecepatan angin terhadap konsentrasi NO ₂ yang terukur. Data konsentrasi NO ₂ dan meteorologi diambil pada saat bersamaan di lokasi stasiun pemantauan kualitas udara DKI-1 (Kawasan Bundaran Hotel Indonesia DKI Jakarta). Analisis hubungan antara konsentrasi NO ₂ yang terukur dengan suhu udara, kelembapan udara, curah hujan, dan kecepatan angin dilakukan menggunakan analisis regresi linear berganda. Hasil analisis menunjukkan terdapat hubungan yang kuat antara konsentrasi NO ₂ dan keempat faktor meteorologi. Nilai R ² menunjukkan pengaruh keempat faktor meteorologi terhadap konsentrasi NO ₂ adalah sebesar 38,3% dan sisanya yaitu 61,7% dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak dimasukkan dalam pengukuran pada penelitian ini.
"Analisis Pengaruh Variabel	Penelitian lain yang dilakukan oleh Anisafitri dan Femmy (2021)	Anisafitri dan Femmy	2021	Implementasi Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) di Kota Surabaya dan

Judul Penelitian	Tentang Penelitian	Penulis	Tahun	Abstrak
Meteorologis terhadap Perubahan Konsentrasi Partikulat PM10 Sebelum dan Saat Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB)”	menganalisis perubahan konsentrasi PM10 sebelum dan selama Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB). Hasilnya menunjukkan bahwa kecepatan angin berperan signifikan dalam menurunkan konsentrasi PM10 dari sekitar 70 µg/m ³ menjadi 40 µg/m ³ selama PSBB. Penelitian ini juga menggunakan metode statistik untuk menganalisis pengaruh variabel meteorologis terhadap kualitas udara			sekitarnya saat pandemi COVID-19 menyebabkan pembatasan berbagai aktivitas masyarakat dan moda transportasi yang berdampak pada kualitas udara khususnya emisi polutan PM10 keatmosfer. Penelitian ini bertujuan untuk menguji secara statistic perubahan konsentrasi PM10 pada periode sebelum dan saat PSBB diterapkan, yaitu 27 Maret – 27 April 2020 dan 28 April – 28 Mei 2020 berturut-turut. Penelitian ini menggunakan data per jam untuk data konsentrasi PM10, arah dan kecepatan angin serta curah hujan harian pada periode. Analisa statistik deskriptif, distribusi frekuensi, variasi waktu (diurnal, harian dan mingguan) dilakukan untuk engetahui ukuran sebaran data dan kondisi konsentrasi PM10 pada periode waktu tersebut.Gambaran kondisi harian disajikan dalam bentuk kalender konsentrasi PM10 berdasarkan kategori dalam Peraturan BMKG Nomor 2 Tahun 2020. Perubahan konsentrasi PM10 diuji dengan statistik U Mann Withney sebelum dan saat PSBB. Penelitian ini juga menganalisa dispersi dan dilusi polutan oleh variabel meteorologi (angin dan hujan) dengan plot windrose,PM10 polar plot, serta statistik korelasi dan regresi linier berganda. Hasil uji menunjukkan bahwa terdapat perbedaan konsentrasi PM10 yang signifikan pada sebelum (~ 70 µg/m ³) dan saat PSBB (~ 40 µg/m ³) yang berarti konsentrasi PM10 menjadi berkurang atau kualitas udara membaik saat periode PSBB yang dipengaruhi secara signifikan oleh faktor kecepatan angin ($r=0.3$) $=-87.334+0.023Rad+3.184T+0.621RH$;

Judul Penelitian	Tentang Penelitian	Penulis	Tahun	Abstrak
				sedangkan di Cisaranten Wetan, faktor meteorologis yang signifikan adalah radiasi, kelembapan relatif, dan kecepatan angin ($=16.0842+0.028\text{Rad}+0.504\text{RH}-9.184\text{V}$). Kecepatan angin di Cisaranten Wetan memiliki rentang yang lebih luas daripada di Dago. Angin dengan kecepatan 5 m/s potensial mengangkut partikula-partikula ke area lain yang dapat menurunkan konsentrasi PM10.
"Penentuan Korelasi Perubahan Temperatur dan Kelembapan Relatif terhadap Ketinggian Inversi dan Hubungannya dengan Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya"	Penelitian Korelasi Temperatur dan Kelembapan menunjukkan bahwa tidak selalu ada korelasi yang signifikan antara temperatur, kelembapan, dan kualitas udara. Hal ini mengindikasikan kompleksitas interaksi antara faktor meteorologi dan polutan di udara ambien	Achmad Alvinsyah Rasyidi	2015	Kualitas udara Kota Surabaya memiliki konsentrasi yang berubah-ubah. Perubahan ini disebabkan oleh lapisan inversi yang dipengaruhi temperatur dan kelembapan relatif. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa hubungan dari temperatur, kelembapan relatif, lapisan inversi, dan kualitas udara ambien. Penelitian ini menggunakan data sekunder dalam kurun waktu 5 tahun, mulai 2009-2014. Data tersebut perlu diolah terlebih dahulu sebelum dianalisa dan dikorelasikan. Pengolahan data itu dengan cara mencari data ketinggian lapisan inversi, temperatur, kelembapan relatif, dan konsentrasi gas pencemar. Pengolahan ini termasuk melingkupkan data berdasarkan kelengkapan data, pembagian musim penghujan dan kemarau, saat siang dan malam hari, dan pada hari senin-jum'at. Berdasarkan hasil pelingkupan data inilah bisa dilakukan langkah selanjutnya yaitu antar data satu dengan data lainnya dikorelasikan dengan korelasi Spearman's. Hasil analisa data menunjukkan bahwa tidak berkorelasinya antara temperatur ataupun kelembapan relatif dengan lapisan inversi, antara lapisan inversi dengan gas pencemar, serta temperatur ataupun kelembapan relatif dengan gas pencemar. Tidak berkorelasinya ini kemungkinan disebabkan oleh

Judul Penelitian	Tentang Penelitian	Penulis	Tahun	Abstrak
				sinar dan panas matahari, dan kondisi lapisan inversi subsidence yang terjadi di Kota Surabaya.
Analisis Pengaruh Temperatur Udara, Kelembapan Relatif, dan Kecepatan Angin Terhadap Konsentrasi CO di Udara Ambien Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda	<p>Penelitian ini dilakukan oleh Azhari, Makaby Haris, dan Prof. Dr. Ir. Ruslan Wirosoedarmo pada tahun 2021. Penelitian ini menggunakan analisis regresi linier berganda untuk menentukan pengaruh temperatur, kelembapan relatif, dan kecepatan angin terhadap konsentrasi karbon monoksida (CO) di udara ambien. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara faktor meteorologi dengan konsentrasi CO, dengan nilai R^2 sebesar 0,621, yang mengindikasikan bahwa 62,1% variasi konsentrasi CO dapat dijelaskan oleh variabel meteorologi tersebut</p>	Azhari, Makaby Haris and Prof. Dr. Ir. Ruslan Wirosoedarmo,, MS and Prof. Dr. Ir. Bambang Suharto,, MS	2021	CO adalah salah satu jenis polutan primer yang dihasilkan dari proses pembakaran seperti aktivitas transportasi kendaraan bermotor, kegiatan industri, pembakaran sampah, dan lain-lain. Tingginya konsentrasi CO pada suatu daerah dapat berdampak pada kesehatan manusia disekitarnya terutama masalah pernafasan. Semakin tinggi tingkat aktivitas transportasi maka semakin tinggi juga konsentrasi CO di udara. Penanggulangan yang dilakukan oleh pemerintah dalam menangani masalah pencemara udara adalah dengan membangun Stasiun Pemantau Kualitas Udara Ambien di beberapa titik di kota Surabaya. SPKUA berfungsi untuk mengamati pergerakan konsentrasi gas polutan seperti CO, SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , dan O ₃ . Selain itu, SPKUA juga mengambil data meteorologi seperti temperatur udara, kelembapan relatif, dan kecepatan angin. SPKUA mempermudah pengamatan terhadap pencemaran udara yang sedang terjadi dan penyampaian tingkat kualitas udara kepada masyarakat menggunakan metode Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Analisis regresi linier berganda adalah analisis untuk mengetahui arah dan besarnya pengaruh beberapa variabel bebas sekaligus terhadap variabel terikat. Melalui analisis ini didapatkan persamaan berupa $CO = -1,845 - 0,076T + 10,442Rh - 0,202U$. Koefisien regresi T dan U bernilai negatif sehingga hubungannya dengan CO adalah berbanding terbalik sedangkan koefisien regresi Rh bernilai positif sehingga hubungannya berbanding lurus. Nilai R dan R ² yang didapat dari analisis adalah $R = 0,788$ dan $R^2 = 0,621$. Nilai R menandakan adanya hubungan korelasi yang sangat kuat antara faktor

Judul Penelitian	Tentang Penelitian	Penulis	Tahun	Abstrak
				<p>meteorologi terhadap konsentrasi CO di udara ambien. Nilai R² menunjukkan pengaruh faktor meteorologi terhadap konsentrasi CO adalah sebesar 62,1% sedangkan untuk 37,9% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain diluar faktor meteorologi yang digunakan.</p>

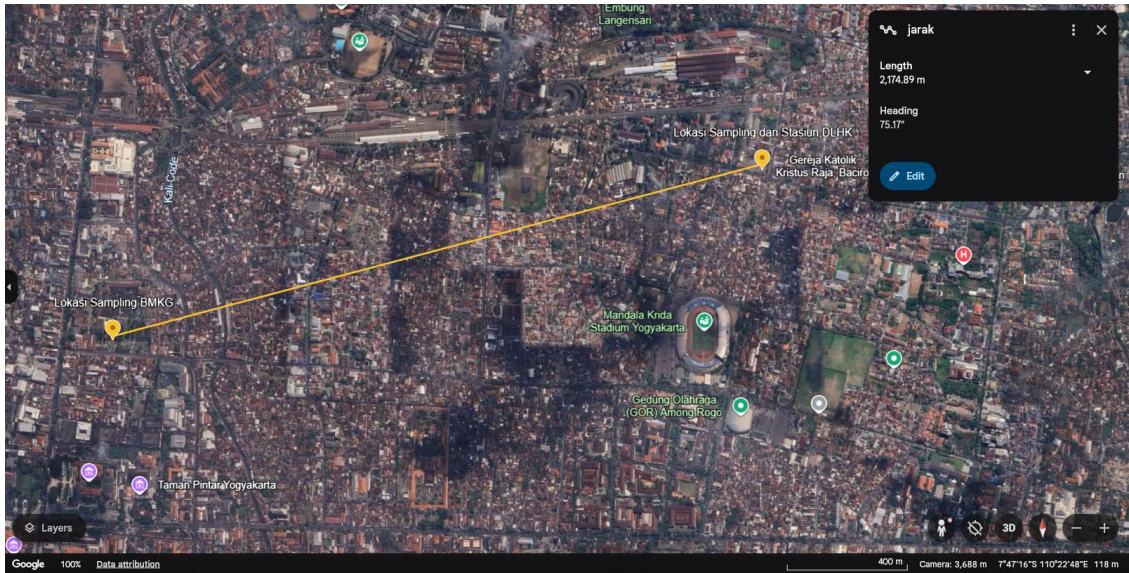
BAB III

METODE PENELITIAN

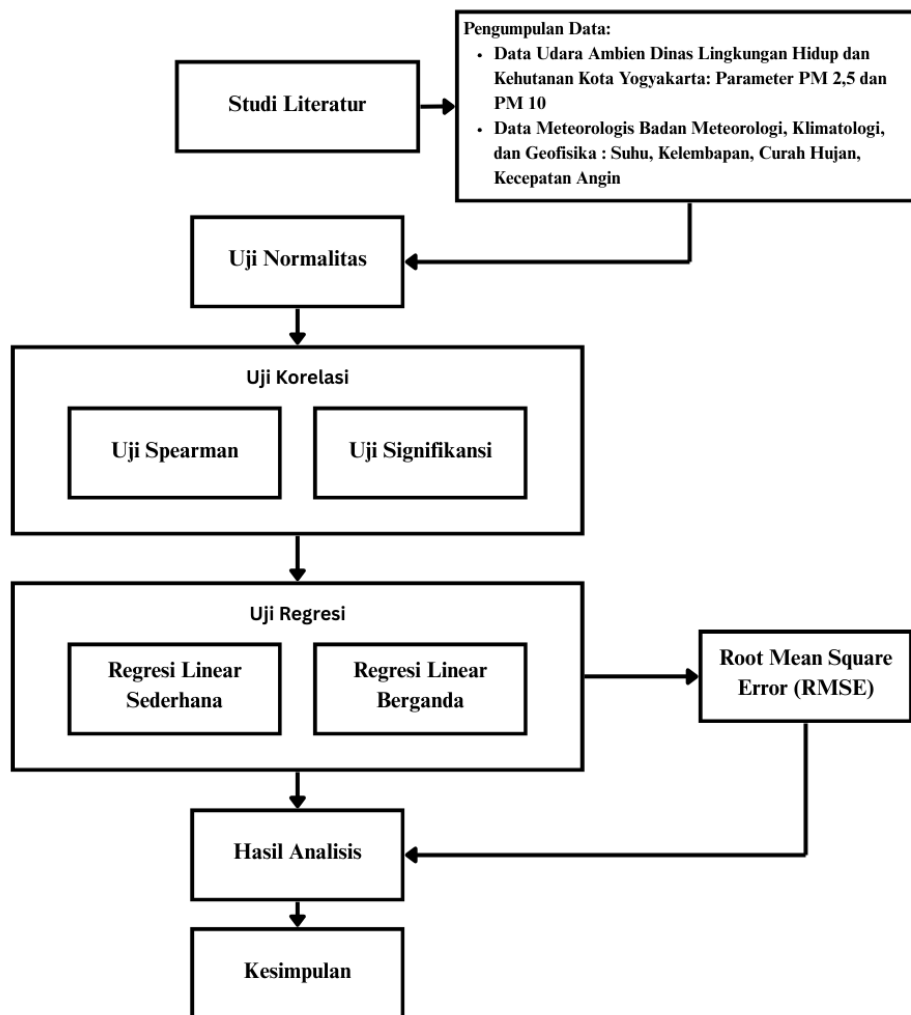
3.1 Prosedur Analisis Data

Penelitian ini merupakan jenis analisis dengan desain studi korelasional yang dilaksanakan di kota Yogyakarta dari tahun 2020 hingga tahun 2023. Penelitian ini menggunakan data sekunder untuk analisis. Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis variabel, yaitu variabel meteorologi dan variabel kualitas udara. Variabel meteorologi terdiri dari faktor meteorologi, seperti suhu udara, kelembapan udara, curah hujan, dan kecepatan angin. Sementara itu variabel kualitas udara mencakup kualitas udara yang diukur melalui konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} . Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan antara faktor-faktor meteorologi dengan kualitas udara di daerah yang diteliti (Sagita, 2017).

Penelitian ini menggunakan sumber data sekunder, yaitu data unsur meteorologi yang diperoleh dari situs Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Kota Yogyakarta, serta data kualitas udara ambien dari situs Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. Instrumennya adalah lembar pencatatan data sekunder yang telah didapatkan. Teknis pengambilan datanya dilakukan dengan cara mencari data yang relevan sesuai dengan penelitian dan kemudian mencatatnya pada lembar pencatatan yang disediakan. Data dalam penelitian ini dianalisis menggunakan antara 2 metode yaitu korelasi Spearman's atau korelasi Pearson disesuaikan dengan normalitas data untuk mengukur hubungan antara variabel cuaca dan kualitas udara. Uji alternatif menggunakan metode Spearman's jika data tidak memenuhi asumsi normalitas. Metode ini bertujuan untuk mengukur hubungan antara dua variabel yang berbeda dalam penelitian.



Gambar 3.1 Lokasi Sampling BMKG dan DLHK



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sensitivitas antara konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} dengan faktor-faktor meteorologi seperti temperatur, kelembapan, dan kecepatan angin. Langkah-langkah penelitian ini meliputi studi literatur, penetapan metode penelitian, dan pencarian data sekunder di lokasi Kota Yogyakarta. Untuk menentukan titik sampling, digunakan metode purposive sampling yang mempertimbangkan hasil pemantauan arus masuk dan keluar kendaraan, kualitas udara, serta jumlah kendaraan. Data-numerikal yang diperoleh dianalisis menggunakan metode deskriptif, statistik, dan komparatif untuk meningkatkan akurasi. Penelitian ini menggunakan metodologi kuantitatif untuk menganalisis sensitivitas antara konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} terhadap faktor meteorologi seperti temperatur, kelembapan, dan kecepatan angin cuaca dan iklim. Langkah-langkah penelitiannya meliputi metode literatur, penetapan metode penelitian, dan pencarian data sekunder di lokasi kota Yogyakarta. Data-numerikal yang diperoleh dianalisis menggunakan metode deskriptif, statistik, dan komparatif untuk meningkatkan akurasi.

3.2 Pengumpulan Data

Dalam analisis Dampak Perubahan Iklim terhadap Kualitas Udara, penggunaan peralatan khusus berupa instrumen fisik tidak diperlukan, mengingat sifat penelitian yang menganalisis data dan informasi yang sudah ada melalui dokumen-dokumen publikasi pemerintah dan ilmiah. Oleh karena itu prosedur kerja yang akan diuraikan dalam penelitian ini mencakup metode pencarian dan seleksi literatur, kriteria inklusi dan eksklusi, serta pendekatan analitis yang digunakan untuk sintesis data. Metodologi penelitian ini dirancang untuk memastikan bahwa analisis literatur yang dilakukan bersifat komprehensif dan sistematis. Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah data sekunder yang berasal dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

Data-data tersebut berisi data konsentrasi rata-rata harian *Air Quality Monitoring System* (AQMS) dan data curah hujan mingguan dari tahun 2020–2023 dengan pencatan perhari selama 12 bulan 4 tahun dalam pengambilan data *Air Quality Monitoring System* (AQMS) pada 4 tahun. Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} terukur dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Data meteorologi yang dipantau antara lain, yaitu suhu, T ($^{\circ}\text{C}$); kelembapan relatif, RH (%), curah hujan, rainfall (mm) dan kecepatan angin, wind speed (m/s). Analisis pengaruh faktor meteorologi terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} yang terukur dikaji menggunakan metode analisis regresi linear berganda.

Analisis regresi linear berganda merupakan model regresi linear dengan satu variabel terikat atau dependen dan dua atau lebih variabel bebas atau independen. Variabel dependen atau Y pada penelitian ini adalah Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} dengan variabel independen terdiri dari suhu (X_1), kelembapan relatif (X_2), curah hujan (X_3), dan kecepatan angin (X_4) sebagai model untuk regresi linear ganda.

3.3 Analisis Data

Analisis data dimulai dari uji normalitas yang digunakan untuk menentukan apakah distribusi data variabel mengikuti distribusi normal, korelasi adalah tahapan untuk mengukur seberapa erat dua variabel apakah saling berhubungan atau tidak, regresi Linear digunakan untuk membangun model prediktif memodelkan hubungan matematis dan memprediksi nilai variabel dependen (Y) berdasarkan satu atau lebih variabel independen (X). *RMSE* digunakan untuk mengukur akurasi atau kesalahan prediksi dari model regresi yang telah dibuat.

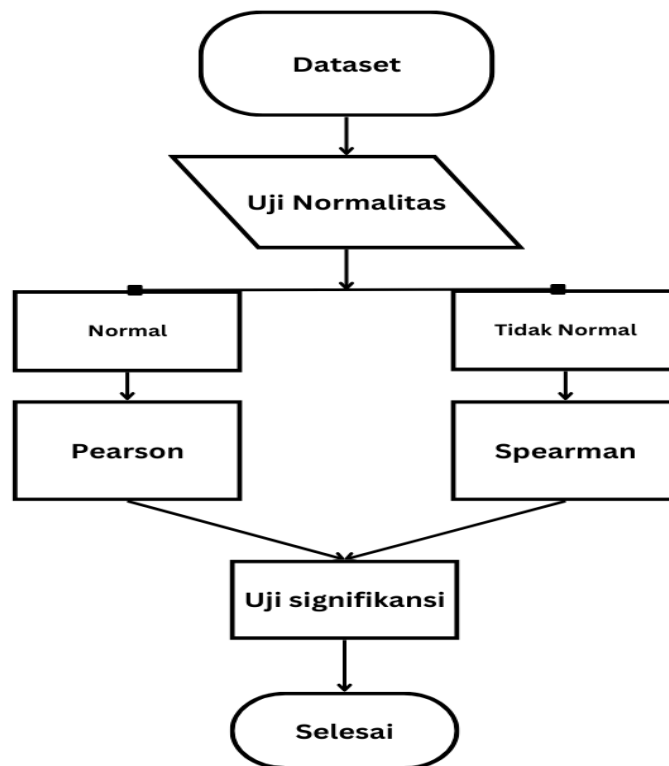
3.3.1 Uji Normalitas

Uji normalitas *Shapiro-Wilk* merupakan metode statistik untuk menguji apakah data penelitian berdistribusi normal, khususnya efektif untuk sampel kecil (kurang dari 50 data) dengan membandingkan nilai signifikansi (Sig.) terhadap tingkat alpha 0,05. Dalam analisis korelasi antara $PM_{2,5}$, PM_{10} , dan faktor meteorologi di DIY selama 5 tahun, uji ini digunakan sebagai prasyarat analisis parametrik untuk memverifikasi normalitas residual model regresi atau distribusi data tiap variabel. Jika nilai Sig. > 0,05 (H_0 diterima), data dianggap normal sehingga uji korelasi Pearson dapat diterapkan, sedangkan jika tidak memenuhi, diperlukan metode non-parametrik. Penggunaan *Shapiro-Wilk* tepat dalam penelitian ini terutama jika dilakukan analisis per kelompok waktu atau kondisi meteorologi tertentu yang mungkin memiliki sub-sampel kecil.

3.3.2 Korelasi

Definisi dari korelasi adalah sebagai alat untuk mengukur seberapa erat dua variabel saling berhubungan.(Triola, 2018) Nilai koefisien korelasi, yang biasanya dilambangkan dengan r , berkisar antara -1 hingga +1:

- Nilai +1 menunjukkan hubungan positif sempurna, di mana kedua variabel bergerak dalam arah yang sama.
- Nilai -1 menunjukkan hubungan negatif sempurna, di mana satu variabel bergerak naik sementara yang lainnya turun.
- Nilai 0 menunjukkan tidak ada hubungan linear antara kedua variabel.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Korelasi

Seperti yang dilihat pada diagram alir korelasi, Korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan antara 2 variabel, dengan mengetahui kekuatan dan arah variabel. Metode yang dipilih tergantung dengan sifat data yang didistribusikan apabila data tersebut berdistribusi normal dan bersifat interval atau rasio maka menggunakan metode *Pearson* dan apabila data tersebut tidak berdistribusi normal atau bersifat ordinal maka menggunakan metode *spearman*. Dalam penentuan koefisien korelasi dapat menggunakan salah satu rumus analisis korelasi yaitu *Spearman's* dan *Pearson's* Penentuan koefisien korelasi bila data berdistribusi tidak normal dengan menggunakan metode analisis korelasi rank *spearman's* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Keterangan:

R_s = Nilai korelasi Spearman's

d_i^2 = Selisih setiap pasangan rank

n = Banyaknya sampel

Dapat disimpulkan jika korelasi positif (searah), semakin besar nilai x maka semakin besar nilai y . Jika korelasi negatif (berlawanan arah), semakin besar nilai x maka semakin kecil nilai y , dan sebaliknya (Spearman, 1904).

Hasil perhitungan memberikan tiga alternatif, yaitu :

- 1) Apabila nilai r mendekati positif satu variabel, berarti variabel X mempunyai hubungan yang kuat dengan positif terhadap variabel Y .
- 2) Apabila nilai r mendekati negatif, berarti variabel X mempunyai pengaruh yang kuat dan negative terhadap perkembangan variabel Y .
- 3) Apabila nilai r mendekati nilai 0, maka variabel X kurang mempengaruhi perkembangan variabel Y . Hal ini berarti bahwa bertambah atau berkurangnya variabel X tidak mempengaruhi variabel Y .

3.3.3 Regresi

Rumus regresi linier digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel dependen dan independen. Berikut adalah penjelasan mengenai rumus regresi linier sederhana dan berganda, serta langkah-langkah untuk menghitungnya ((Galton, 1886) atau (Montgomery et al., 2012).

$$Y = a + bX$$

Keterangan:

Y : Variabel dependen (yang diprediksi).

X : Variabel independen (yang digunakan untuk prediksi).

a : Intercept (nilai dari Y ketika $X=0$).

b : Koefisien regresi (perubahan rata-rata Y untuk setiap unit perubahan X).

Koefisien regresi b dan intercept a dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

1. Koefisien Regresi (b): $b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$
2. Intercept (a): $a = \frac{\sum Y - b(\sum X)}{n}$

Di mana:

n = jumlah data

$\sum XY$ = jumlah hasil kali setiap pasangan data

$\sum X$ dan $\sum Y$ = jumlah masing-masing variabel

$\sum X^2$ = jumlah kuadrat dari variabel independen (Montgomery et al., 2012).

Regresi linier berganda di mana terdapat lebih dari satu variabel independen, dengan rumus:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Keterangan:

Y : Variabel dependen.

X_1, X_2, \dots, X_n : Variabel independen.

A : Intercept.

b_1, b_2, \dots, b_n : Koefisien regresi untuk masing-masing variabel independen (Wooldridge, 2016).

Langkah-langkah dalam menghitung regresi linier :

1. Pengumpulan Data: Kumpulkan data untuk variabel yang ingin dianalisis.
2. Hitung Koefisien Regresi:
 - nilai-nilai yang diperlukan seperti total dari XX , YY , $XYXY$, dan X^2X^2 .
 - Gunakan rumus di atas untuk menghitung koefisien regresi dan intercept.
3. Buat Model Persamaan Regresi: Masukkan nilai koefisien ke dalam rumus regresi.
4. Prediksi Nilai: Gunakan model untuk memprediksi nilai YY berdasarkan nilai XX .

Pengujian Hipotesis, uji signifikansi dilakukan dengan menguji hipotesis sebagai berikut:

- Tidak ada pengaruh signifikan dari variabel independen terhadap variabel dependen (misalnya, semua koefisien regresi sama dengan nol) menandakan hipotesis nol (H_0).
- Ada pengaruh signifikan dari setidaknya satu variabel independen terhadap variabel dependen (setidaknya satu koefisien regresi tidak sama dengan nol) menandakan Hipotesis alternatif (H_1).

Setelah didapatkan hasil dari nilai p kemudian digunakan untuk menentukan signifikansi dari masing-masing variabel independennya, tingkat signifikansi yang digunakan adalah 0,05 (5%). nilai p yang diperoleh dengan tingkat signifikansi:

- Jika $p < 0,05$: Tolak H_0 , yang berarti variabel independen tersebut berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen.
- Jika $p \geq 0,05$: Gagal menolak H_0 , yang berarti tidak ada pengaruh signifikan.

3.3.4 Evaluasi Model Regresi Linier

RMSE adalah ukuran statistik yang menunjukkan seberapa jauh prediksi model dari nilai aktual. Ini dihitung dengan cara mengkuadratkan kesalahan prediksi, menghitung rata-ratanya, dan kemudian mengambil akar kuadrat dari hasil tersebut. (Hair et al., 2014). RMSE dinyatakan dalam satuan yang sama dengan variabel yang diukur, sehingga memudahkan interpretasi.

Rumus perhitungan RMSE:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Keterangan:

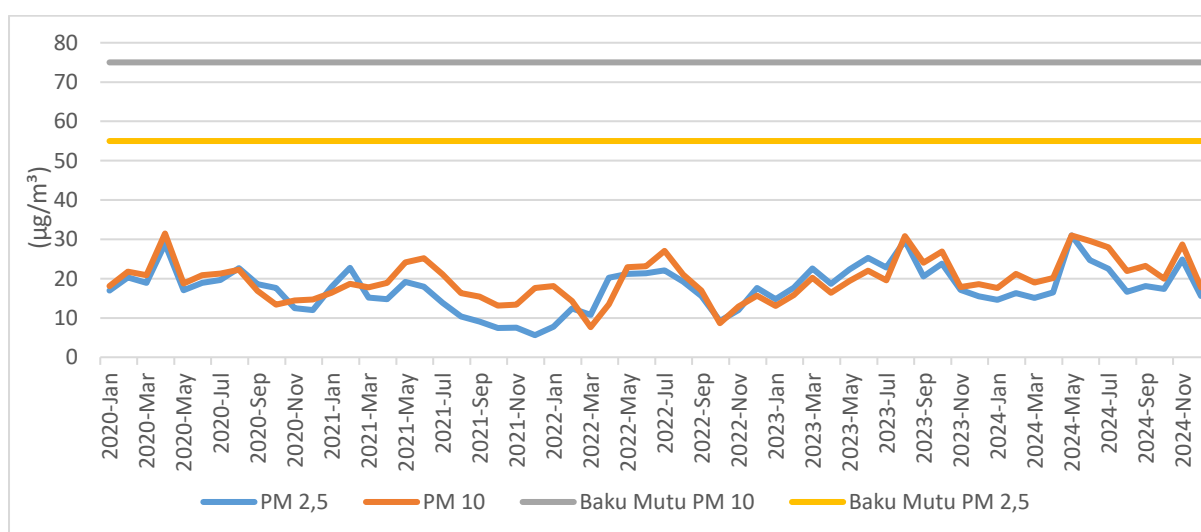
- n : Jumlah total pengamatan.
- y_i : Nilai aktual dari pengamatan ke- i .
- \hat{y}_i : Nilai yang diprediksi oleh model untuk pengamatan ke- i (Chai & Draxler, 2014).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kualitas Udara Ambien dan Data Meteorologis

4.1.1 Data Kualitas Udara Ambien

Penelitian ini menganalisis data bulanan $PM_{2,5}$ dan PM_{10} bersama parameter meteorologi (suhu, kelembapan, curah hujan, kecepatan angin) di Yogyakarta selama periode 2020-2024. Data tersebut dibandingkan dengan Baku Mutu Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Data diklasifikasikan berdasarkan rentang tahunan untuk mengidentifikasi pola temporal dan variasi konsentrasi partikulat. Data tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4. 1 Grafik $PM_{2,5}$, PM_{10} dan Baku Mutu PP No 22 Tahun 2021

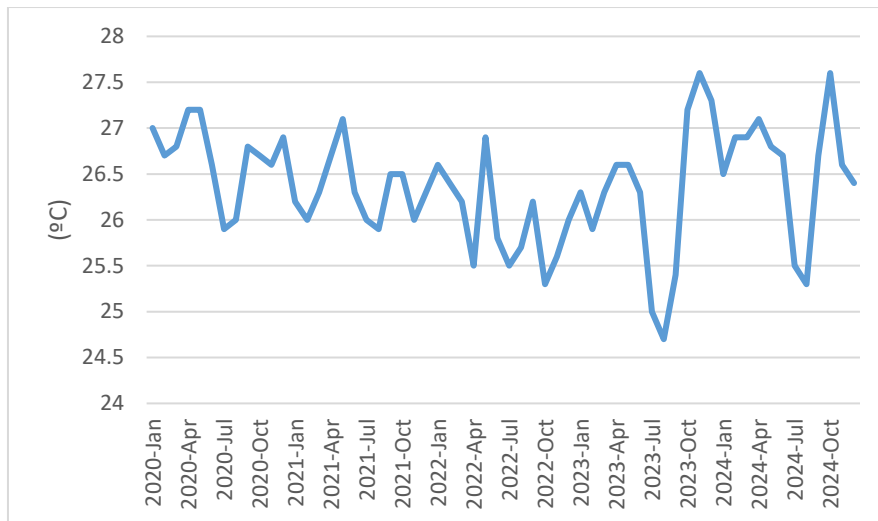
Data yang digunakan dalam penelitian ini dalam bentuk format excel yang didapat dari hasil uji pemantauan yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta yang beralamat pada “Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Daerah Istimewa Yogyakarta, Jalan Argulobang No.mor 19, Jl. Argolubang, Baciro, Kec. Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta ”7°47'25"S 110°22'58"E. Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta memiliki 2 kategori untuk melakukan uji pemantauan kualitas udara yaitu pada daerah pemukiman dan roadside. Nilai parameter yang diukur

adalah $PM_{2,5}$ (Particulate Matter 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)) dan PM_{10} (Particulate matter 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)).

Gambaran fluktuasi konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} . Untuk $PM_{2,5}$, tahun 2020 memiliki rata-rata 19.57 dengan nilai tertinggi 28.87 di bulan April dan terendah 12.04 di bulan Desember. Pada tahun 2021, rata-rata $PM_{2,5}$ menurun menjadi 13.12, dengan puncak 18.82 di bulan Juli dan terendah 5.62 di bulan Desember. Tahun 2022 menunjukkan rata-rata $PM_{2,5}$ sebesar 14.68, di mana Juli mencatat nilai tertinggi 21.4 dan Januari terendah 7.74. Kemudian, tahun 2023 melihat peningkatan rata-rata $PM_{2,5}$ menjadi 22.06, dengan Agustus sebagai bulan tertinggi (29.64) dan Desember terendah (13.87). tahun 2024 memiliki rata-rata $PM_{2,5}$ sebesar 19.57, mencapai puncaknya di bulan Mei dengan 31 dan terendah di bulan Februari dengan 15.11. Sementara itu, untuk PM_{10} , tahun 2020 rata-ratanya adalah 21.94, dengan tertinggi 31.48 di bulan April dan terendah 13.4 di bulan Oktober. Tahun 2021, rata-rata PM_{10} adalah 17.58, tertinggi 25.23 di bulan Juni dan terendah 13.37 di bulan Oktober dan November. Pada tahun 2022, rata-rata PM_{10} mencapai 18.22, dengan nilai tertinggi 23.13 di bulan Juni dan terendah 7.65 di bulan Maret. Tahun 2023, rata-rata PM_{10} meningkat menjadi 21.36, di mana Agustus mencatat nilai tertinggi 30.78 dan Januari terendah 13.09. Akhirnya, tahun 2024 memiliki rata-rata PM_{10} sebesar 25.14, dengan nilai tertinggi 31 di bulan April dan terendah 18.98 di bulan Februari.

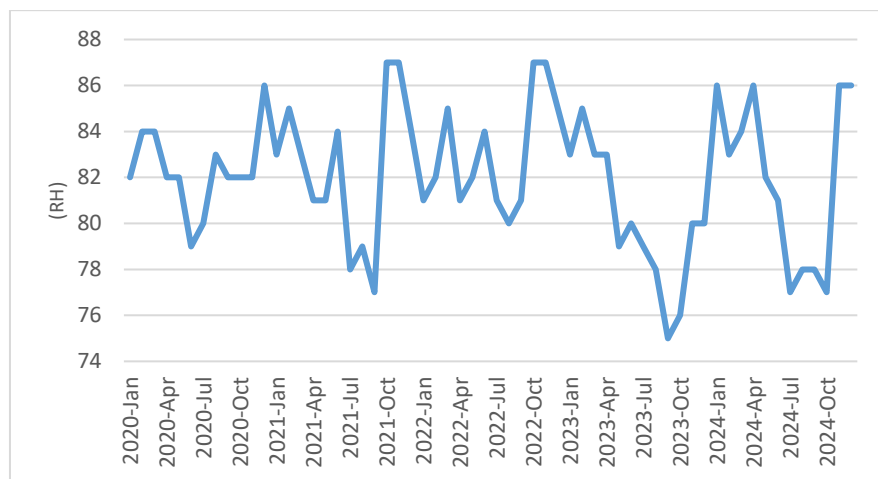
4.1.2 Data Meteorologi

Parameter faktor meteorologis terdiri dari data rata-rata curah hujan bulanan dalam milimeter (mm), data rata-rata suhu bulanan dalam derajat celcius, data rata-rata kelembapan bulanan dalam persen, data rata-rata kecepatan angin bulanan dalam km/jam, dan rata-rata lama penyiranan matahari bulanan dalam persen.



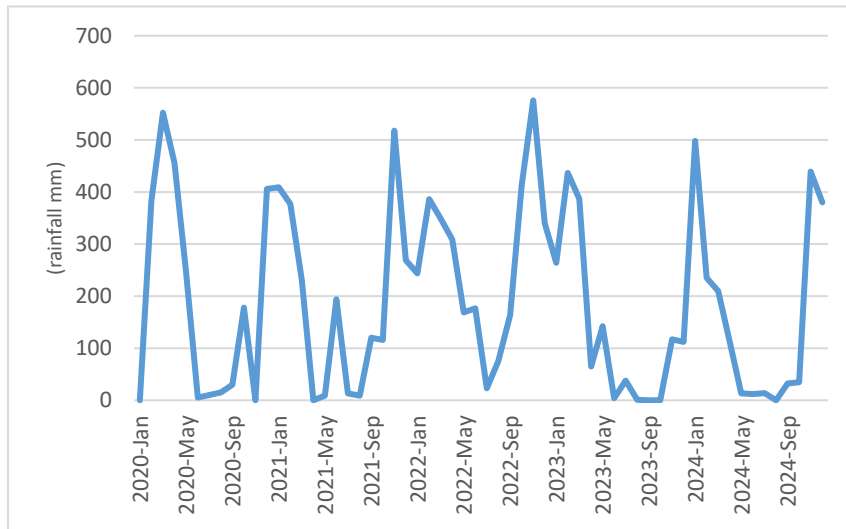
Gambar 4. 2 Suhu Staklim BMKG D.I.Yogyakarta 2020-2024

Data menunjukkan bahwa suhu tertinggi selama periode tahun 2020 – 2024 di Stasiun Klimatologi D.I Yogyakarta, Kapanewon Mlati, kabupaten Sleman, pada bulan November 2024 dengan suhu tertinggi tercatat 27,6 °/bulan. Kemudian data menunjukkan suhu terendah 24.7°/bulan Juli 2023, dan rata-rata 26.4°.



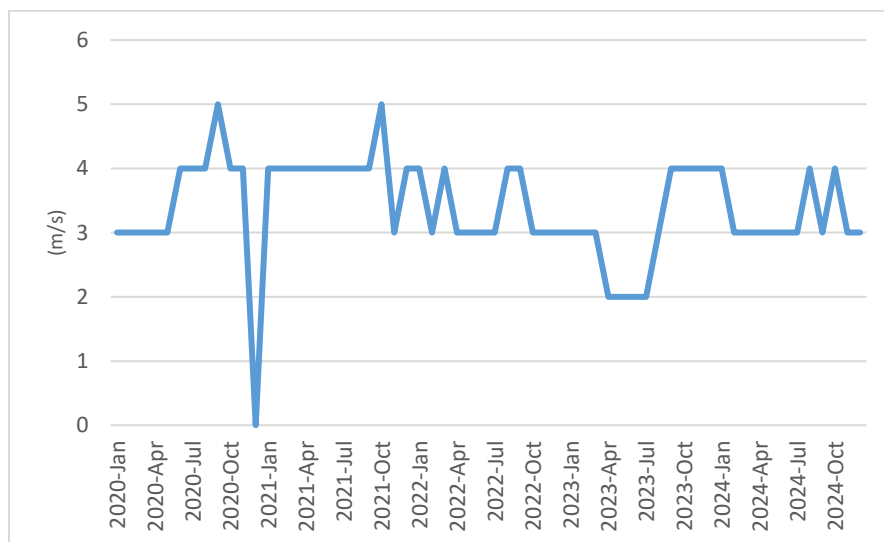
Gambar 4. 3 Kelembapan Relatif Staklim D.I.Yogyakarta 2020-2024

Data menunjukkan bahwa Kelembapan tertinggi selama periode tahun 2020 – 2024 di Stasiun Klimatologi D.I Yogyakarta, Kapanewon Mlati, kabupaten Sleman, pada bulan Oktober 2021, 2022 dan November 2022 dengan kelembapan tertinggi tercatat 87 %/bulan. Kemudian data menunjukkan Kelembapan terkecil 75%/bulan September 2023, dan rata-rata 82.03%.



Gambar 4. 4 Curah Hjan Staklim D.I.Yogyakarta 2020-2024

Data menunjukkan bahwa curah hujan tertinggi selama periode tahun 2020 – 2024 di Pos Hujan Kepatihan Yogyakarta, Kota Yogyakarta terjadi pada bulan November 2022 dengan curah hujan 576 mm/bulan. Kemudian data menunjukkan Curah Hujan terkecil 0 mm (terjadi beberapa kali di berbagai bulan dan tahun), dan rata-rata 190.53 mm.



Gambar 4. 5 Kecepatan angin Staklim D.I.Yogyakarta 2020-2024

Data menunjukkan bahwa kecepatan angin rata2 berkisar antara 2 – 5 Km/Jam selama periode tahun 2020 – 2024 di Stasiun Klimatologi D.I Yogyakarta, Kapanewon Mlati, Sleman. Sementara kecepatan udara terkecil adalah 0 Km/Jam/bulan (terjadi pada Desember

2020 dan September 2023), dan kecepatan tertinggi berada 5 Km/Jam (terjadi pada September 2020 dan Oktober 2021)

4.2 Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data penelitian berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas data menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk karena data yang digunakan dalam penelitian ini adalah < 50 data.

Uji normalitas Shapiro wilk memiliki dua hipotesis yang di ujikan dalam penelitian ini, yaitu :

H_0 : Sampel berasal dari populasi distribusi normal

H_1 : sampel berasal dari populasi yang tidak berdistribusi normal

Kriteria pengujian yang dilakukan dalam uji Shapiro wilk adalah jika nilai Whitung \geq W_{tabel} maka data dikatakan terdistribusi normal (H_0 diterima). Sebaliknya jika nilai Whitung $< W_{tabel}$ maka data dikatakan tidak berdistribusi normal (H_0 ditolak).

Tabel 4. 1 Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Parameter	Shapiro-Wilk		
	Tahun	W hitung	W Tabel
$PM_{2,5}$	2020	0.9115	0.943
	2021	0.4755	0.943
	2022	0.4755	0.943
	2023	0.7480	0.943
	2024	0.8121	0.943
PM_{10}	2020	0.8581	0.943
	2021	0.9199	0.943
	2022	0.8792	0.943
	2023	0.8414	0.943
	2024	0.4555	0.943
Suhu	2020	0.0021	0.943
	2021	0.0017	0.943
	2022	0.0040	0.943
	2023	0.0121	0.943
	2024	0.0052	0.943
Kelembapan	2020	0.0007	0.943
	2021	0.0023	0.943
	2022	0.0012	0.943

Shapiro-Wilk			
Parameter	Tahun	W hitung	W Tabel
	2023	0.0021	0.943
	2024	0.0027	0.943
Curah Hujan	2020	0.4784	0.943
	2021	0.4494	0.943
	2022	0.2577	0.943
	2023	0.2577	0.943
	2024	0.4881	0.943
Kecepatan Angin	2020	0.0045	0.943
	2021	0.0005	0.943
	2022	0.0022	0.943
	2023	0.0022	0.943
	2024	0.0004	0.943

Dalam Hasil Uji normalitas pada Tabel 4.2 didapatkan semua data set H1 : Sampel berasal dari populasi distribusi tidak normal dimana $W \text{ hitung} < W \text{ Tabel}$ sehingga dilanjutkan dengan uji korelasi Spearman yang tidak memerlukan asumsi normalitas.

4.3 Uji Korelasi

4.3.1 Korelasi Spearman

Dikarenakan hasil uji normalitas didapatkan hasil data yang tidak terdistribusi secara normal maka dilanjutkan dengan uji korelasi non-parametrik, yaitu uji korelasi Spearman.

Tabel 4. 2 Hasil Korelasi Spearman pada Data Set Satu Tahun

Korelasi/Tahun	2020	2021	2022	2023	2024
$PM_{2,5}$ -Suhu	-0.0247	0.1294	-0.1342	-0.5317	-0.0440
$PM_{2,5}$ -Kelembapan	-0.2448	-0.0507	-0.4209	-0.4618	-0.1451
$PM_{2,5}$ -Curah Hujan	0.2172	0.0174	-0.6356	-0.4405	-0.3204
$PM_{2,5}$ -Kecepatan Angin	0.2987	-0.0035	-0.3515	-0.2992	-0.3818
PM_{10} -Suhu	0.0522	0.3356	0.1489	-0.3641	-0.1893
PM_{10} -Kelembapan	-0.1777	-0.2598	-0.5881	-0.7418	-0.2716
PM_{10} -Curah Hujan	0.3306	-0.3719	-0.8014	-0.5914	-0.4019
PM_{10} -Kecepatan Angin	0.0560	-0.0129	-0.1107	0.2155	-0.4164

Untuk PM_{10} dan curah hujan menunjukkan korelasi negatif yang sangat kuat, terutama dari 2022-2024. Ini adalah hubungan yang umum dan dikarenakan hujan membantu membersihkan udara dari materi partikulat. Korelasi positif pada tahun 2020 untuk PM_{10} dan curah hujan adalah anomali dan mungkin disebabkan oleh kondisi lokal tertentu atau

karakteristik data pada tahun tersebut. Untuk $PM_{2.5}$, curah hujan juga menunjukkan korelasi negatif dalam beberapa tahun terakhir.

Tabel 4. 3 Hasil Korelasi Spearman Pasangan Variabel

Pasangan variable	Korelasi (r_s)
$PM_{2,5}$ -Suhu	-0.027
$PM_{2,5}$ -Kelembapan	-0.303
$PM_{2,5}$ -curah hujan	-0.249
$PM_{2,5}$ -kecepatan angin	-0.192
PM_{10} -Suhu	0.115
PM_{10} -Kelembapan	-0.414
PM_{10} -curah hujan	-0.418
PM_{10} -kecepatan angin	-0.022

Hasil korelasi menunjukkan bahwa terdapat hubungan cukup kuat hingga sangat kuat pada hubungan PM_{10} dengan Curah Hujan pada Tabel 4.4. Analisis korelasi Spearman antara PM_{10} dan curah hujan menunjukkan koefisien korelasi dalam interval -0,372 tabel tahun 2021 hingga -0,8014 pada tahun 2022, yang tergolong kategori kuat hingga sangat kuat.

Dari tabel Tabel 4.3 Hasil Korelasi Spearman Pasangan Variabel, untuk pasangan variabel PM_{10} -Kelembapan dan PM_{10} -curah hujan memiliki nilai -0.414 dan -0.418 sehingga dapat disimpulkan nilai negatif ini mengindikasikan hubungan terbalik-semakin tinggi curah hujan, konsentrasi PM_{10} cenderung menurun, terutama akibat mekanisme *wet deposition* (pengendapan partikel oleh air hujan). Variasi kekuatan korelasi antar periode analisis (cukup hingga sangat kuat) mengisyaratkan adanya faktor eksternal seperti kecepatan angin atau aktivitas antropogenik yang memodulasi hubungan ini.

4.3.2 Uji Signifikansi

Validitas dan signifikansi data antar variabel dapat dipastikan melalui pengujian signifikansi. Pengujian ini penting untuk menentukan apakah hubungan yang diamati antara dua variabel terjadi secara kebetulan atau memiliki dasar statistik yang kuat.

Tabel 4. 4 Hasil Uji Signifikansi Dataset Per-tahun

Uji Signifikansi								
tahun	$PM_{2,5}$ -Suhu		$PM_{2,5}$ -kelembapan		$PM_{2,5}$ -curah Hujan		$PM_{2,5}$ kecepatan Angin	
	p-value	Signifikan? (p<0,05)	p-value	Signifikan? (p<0,05)	p-value	Signifikan? (p<0,05)	p-value	Signifikan? (p<0,05)
2020	0.8799	tidak	0.2172	tidak	0.1782	tidak	0.0612	tidak
2021	0.4263	tidak	0.0174	tidak	0.9152	tidak	0.9828	tidak
2022	0.4090	tidak	-0.6356	signifikan	0.0000	signifikan	0.0262	signifikan
2023	0.0004	signifikan	-0.4405	signifikan	0.0044	signifikan	0.0607	tidak
2024	0.7873	tidak	-0.3204	tidak	0.0439	signifikan	0.0151	signifikan
-	PM_{10} -Suhu		PM_{10} -kelembapan		PM_{10} -curah Hujan		PM_{10} kecepatan Angin	
2020	0.7492	tidak	0.2727	tidak	0.0372	signifikan	0.7313	tidak
2021	0.0343	signifikan	0.1055	tidak	0.0181	signifikan	0.9369	tidak
2022	0.3592	tidak	0.0001	signifikan	0.0000	signifikan	0.4965	tidak
2023	0.0209	signifikan	0.0000	signifikan	0.0001	signifikan	0.1816	tidak
2024	0.2421	tidak	0.0900	tidak	0.0101	signifikan	0.0075	signifikan

Tabel 4. 5 Hasil Signifikan pada Pasangan Variabel

Pasangan variable	Korelasi (r s)	T-stat	P- value	Signifikan? (p<0,05)
PM _{2,5} -Suhu	-0.0272	- 0.2070	0.8367	tidak
PM _{2,5} -Kelembapan	-0.3032	- 2.4231	0.0185	Signifikan
PM _{2,5} -curah hujan	-0.2493	- 1.9604	0.0548	tidak
PM _{2,5} -kecepatan angin	-0.1926	- 1.4944	0.1405	tidak
PM ₁₀ -Suhu	0.1157	0.8873	0.3786	tidak
PM ₁₀ -Kelembapan	-0.4142	- 3.4653	0.0010	Signifikan
PM ₁₀ -curah hujan	-0.4189	- 3.5130	0.0009	Signifikan
PM ₁₀ -kecepatan angin	-0.0223	- 0.1698	0.8658	tidak
Jumlah Data	60			

Faktor meteorologi yang memiliki hasil hubungan yang signifikan dapat dilihat pada tabel 4.5 dimana baris terlihat PM_{10} dengan Curah Hujan dan PM_{10} Dengan Kelembapan relatif Diberi blok hijau dimana hal ini menandakan bahwa terjadinya hubungan yang signifikan terhadap kedua parameter tersebut, terdapat dua tahapan yang dapat dilakukan yaitu uji regresi linier sederhana dan berganda untuk seleksi variabel prediktornya agar dapat menentukan hasil regresinya

4.4 Regresi Linier

Regresi linear digunakan untuk mencari prediksi satu nilai variabel berdasarkan variabel lainnya, tujuan dari regresi linear adalah pemodelan hubungan antara kedua variabel dependent dan independent ,dalam penelitian ini terdapat faktor signifikansi pada Tabel 4.5 yaitu PM_{10} dengan Curah Hujan dan Kelembapan dan PM_{25} dengan Curah Hujan dan Kelembapan, maka dibutuhkan regresi linear berganda agar dapat memahami pengaruh gabungan untuk membuat model prediksi dan untuk mengukur kontribusi masing-masing variabel.

Tabel 4. 6 Hasil Uji Regresi Linear Sederhana dan Berganda

Variabel pasangan	Persamaan Regresi $Y=a+bX$	R^2	R	Nilai RMSE
$PM_{2,5}$ Rata-Rata Perbulan - suhu T (°C)	$y=17,64+0,0004 x$	0.0024	-	5.42
$PM_{2,5}$ Rata-Rata Perbulan-Kelembapan Relatif	$y=17,58+0,0008 x$	0.0971	-	5.42
$PM_{2,5}$ Rata-Rata Perbulan-Curah Hujan	$y=19,12+-0,008 x$	0.0637	0.2524	5.25
$PM_{2,5}$ Rata-Rata Perbulan - Kecepatan Angin	$y=23,20+0,38 x$	0.0581	0.2410	5.26
PM_{10} Rata-Rata Perbulan - suhu T (°C)	$y=9,62+0.38 x$	0.0021	0.0454	5.17
PM_{10} Rata-Rata Perbulan-Kelembapan Relatif	$y=78,23+-0,71 x$	0.1697	0.4120	4.72
PM_{10} Rata-Rata Perbulan-Curah Hujan	$y=21,70+-0,011 x$	0.1388	0.3726	4.80
PM_{10} Rata-Rata Perbulan - Kecepatan Angin	$y=21,26+-0,48 x$	0.0055	0.0744	5.16

Pasangan Variabel Berganda	$Y=a+b_1X_1+b_2X_2$
$PM_{2,5}$ -curah hujan-kelembapan	$y =3.021+0.065 x_1 +0.027 x_2$
PM_{10} -curah hujan-kelembapan	$y =3.455+0.073 x_1+0.028 x_2$

Dalam analisis regresi linier berganda yang dilakukan untuk memodelkan hubungan antara $PM_{2,5}$ dan PM_{10} dengan beberapa variabel independen, diperoleh dua persamaan regresi penting yang dibahas. Untuk $PM_{2,5}$, persamaan yang terbentuk adalah $PM_{2,5}=3.021+0.065$ (Curah Hujan)+ 0.027 (Kelembapan). Persamaan ini mengindikasikan bahwa konstanta (intercept) sebesar 3.021 menunjukkan nilai $PM_{2,5}$ ketika curah hujan dan

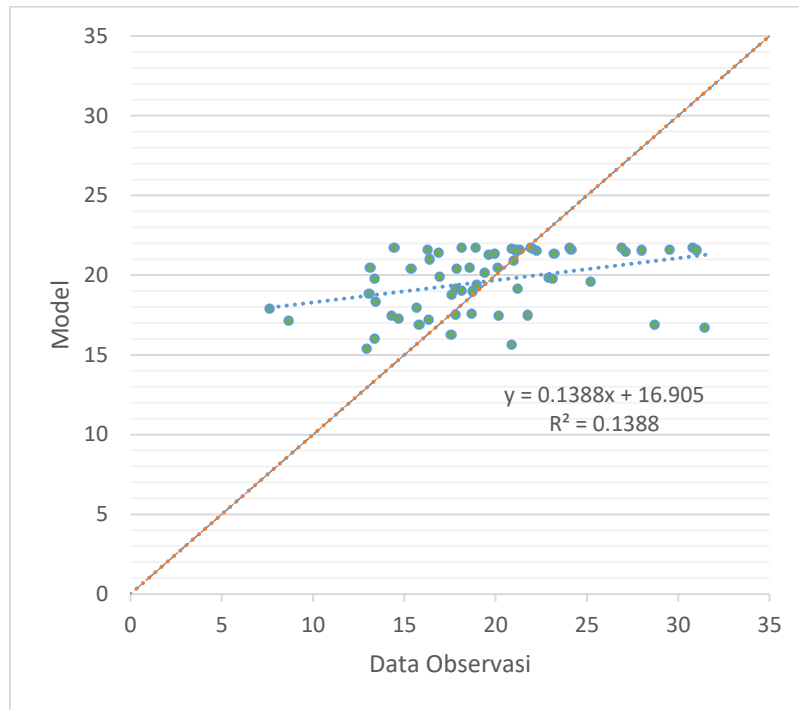
kelembapan bernilai nol. Selanjutnya, koefisien regresi untuk curah hujan sebesar 0,0658 menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit curah hujan meningkatkan $PM_{2,5}$ sebesar 0,0658 unit, asumsi kelembapan konstan. Sementara itu, koefisien untuk kelembapan sebesar 0,0271 menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit kelembapan meningkatkan $PM_{2,5}$ sebesar 0.0271 unit, asumsi curah hujan konstan.

Untuk PM_{10} , persamaan yang terbentuk adalah $PM_{10} = 3.46 + 0.0731 (\text{Curah Hujan}) + 0.0289(\text{kelembapan})$. Konstanta sebesar 3.46 menunjukkan nilai PM_{10} ketika curah hujan dan kelembapan bernilai nol. Koefisien regresi untuk curah hujan sebesar 0.0731 mengindikasikan bahwa setiap peningkatan satu unit curah hujan meningkatkan PM_{10} sebesar 0.0731 unit, dengan asumsi kelembapan konstan. Adapun koefisien untuk kelembapan sebesar 0.0289 menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit kelembapan meningkatkan PM_{10} sebesar 0.0289 unit, dengan asumsi curah hujan konstan. Secara keseluruhan, kedua model menunjukkan bahwa curah hujan dan kelembapan memiliki pengaruh positif terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} , meskipun dengan besaran pengaruh yang berbeda untuk setiap polutan.

Dari persamaan diatas dapat dijelaskan bahwa:

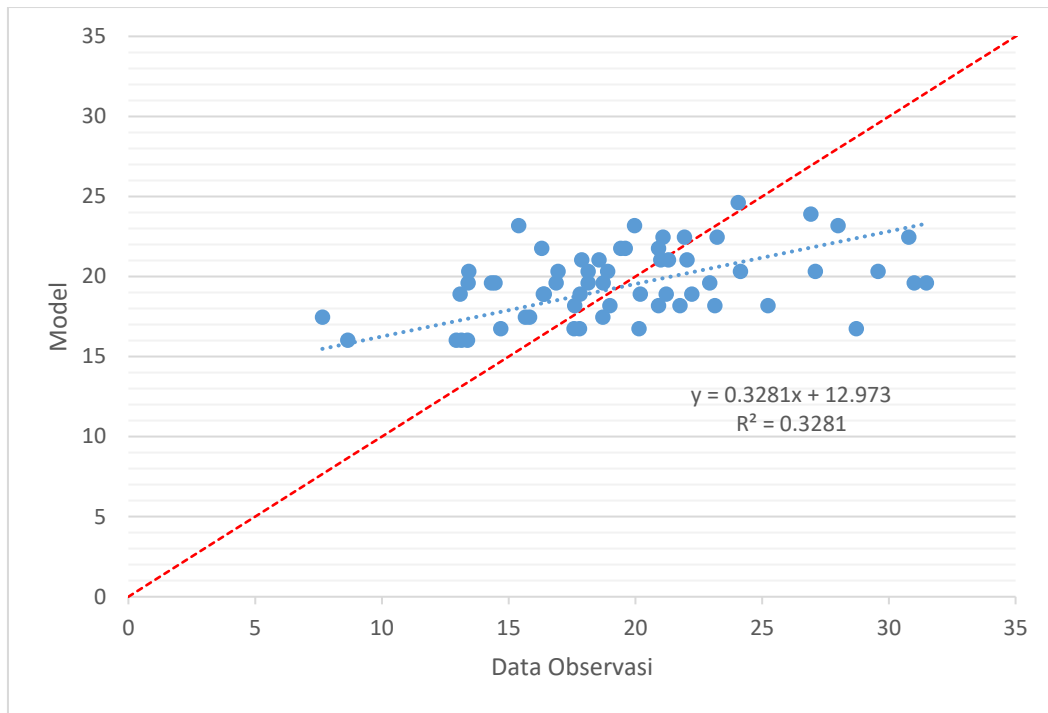
- a. $PM_{2,5}$ rata-rata perbulan menunjukkan koefisien regresi (slope B) yang positif terhadap suhu dan kelembapan relatif, serta negatif terhadap curah hujan dan kecepatan angin. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan suhu dan kelembapan cenderung meningkatkan konsentrasi $PM_{2,5}$, sementara peningkatan curah hujan dan kecepatan angin cenderung menurunkannya. Hal ini juga terlihat pada PM_{10} . Nilai Y (intercept A) menunjukkan perkiraan konsentrasi parameter kualitas udara ambien jika semua faktor meteorologis bernilai nol.
- b. Sementara itu, pada bagian regresi linear berganda untuk tahun 2022 dan 2023 yang melibatkan $PM_{2,5}$ dengan curah hujan dan kelembapan, terlihat bahwa koefisien regresi (B) untuk X1 (curah hujan) dan X2 (kelembapan) bervariasi antara kedua tahun tersebut. Pada tahun 2022, curah hujan memiliki koefisien positif, sementara kelembapan memiliki koefisien negatif. Namun, pada tahun 2023, kedua faktor tersebut memiliki koefisien negatif.
- c. jika nilai koefisien regresi bernilai positif maka setiap kenaikan satu nilai pada faktor meteorologis mempengaruhi peningkatan konsentrasi parameter kualitas udara ambien sebesar nilai b atau nilai koefisien regresi, tetapi jika nilai koefisien regresi bernilai

negatif maka setiap kenaikan satu nilai pada faktor meteorologis mempengaruhi penurunan konsentrasi parameter kualitas udara ambien sebesar nilai b atau nilai koefisien regresi Adapun jika diilustrasikan kedalam bentuk grafik sebagai berikut:



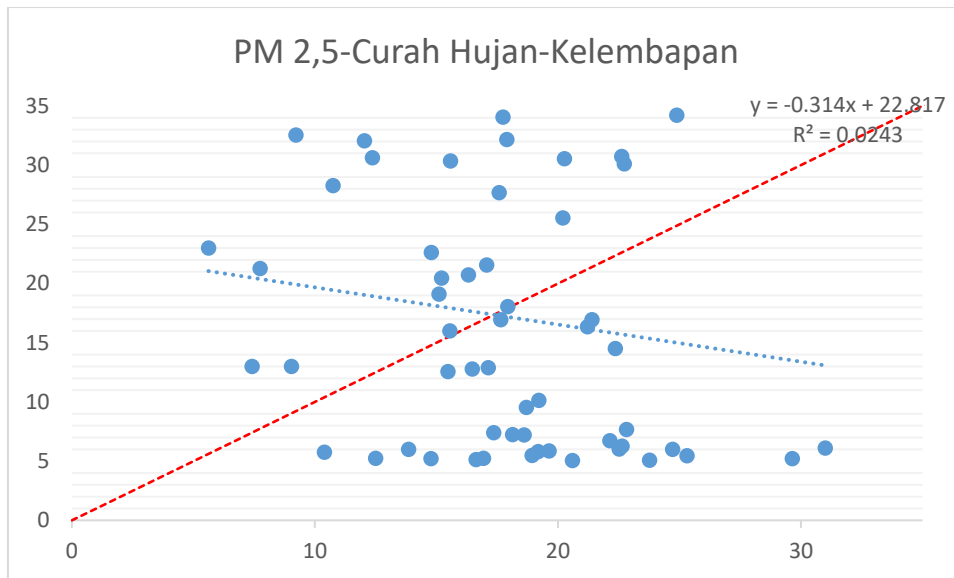
Gambar 4. 6 Plot Antara Nilai Prediksi model PM_{10} dan Data Observasi PM_{10} Dengan Prediktor Curah Hujan

Dilihat dari Gambar 4.10 persamaan $y=0.1388+16.905x$ menunjukkan adanya hubungan positif yang sangat lemah, ada sedikit kecenderungan PM_{10} meningkat seiring Curah Hujan. Nilai koefisien determinasi R^2 yang hanya 0.1388 menegaskan bahwa kurang dari 14% variasi PM_{10} dapat dijelaskan oleh Curah Hujan saja. Sebaran titik-titik data yang luas di sekitar garis regresi, dan jauh dari garis $y=x$, secara visual mengkonfirmasi bahwa model ini tidak akurat dan Curah Hujan memiliki pengaruh yang sangat minimal dalam memprediksi atau menjelaskan konsentrasi PM_{10} .



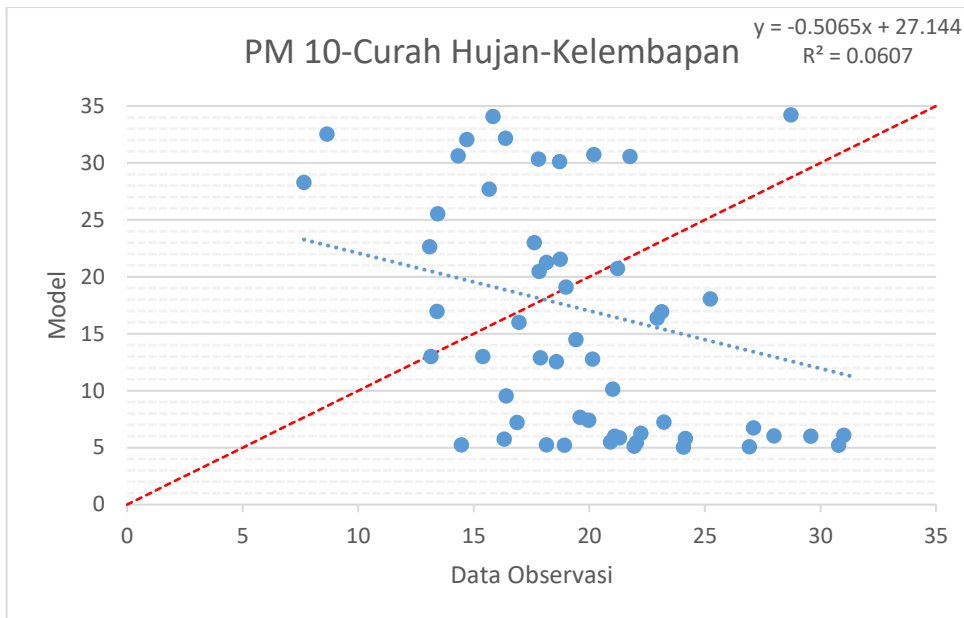
Gambar 4. 7 Plot Antara Nilai Prediksi model PM_{10} dan Data Observasi PM_{10} Dengan Prediktor Kelembapan

Koefisien determinasi (R^2) yang didapatkan dari grafik regresi pada Gambar 4.10, PM_{10} – curah hujan sebesar 0,1388 dan sebesar 13,88% sedangkan faktor lain sisanya sebesar 86,12% kemudian Gambar 4. 11 PM_{10} dengan kelembapan relatif sebesar 0,1697 yang berarti bahwa kontribusi pengaruh curah hujan terhadap PM_{10} pengaruh kelembapan relatif sebesar 16,97% sedangkan sisanya sebesar 83,03% berasal dari faktor lain seperti transportasi atau adanya industri yang berada disekitar titik pengujian. Mengacu pada lampiran 10 yakni gambar grafik analisis regresi maka didapatkan nilai R^2 dapat dilihat pada Tabel 4.7



Gambar 4. 8 Plot Antara Nilai Prediksi model $PM_{2,5}$ dan Data Observasi $PM_{2,5}$ Dengan Prediktor Curah Hujan dan Kelembapan

Berdasarkan Gambar 4.12 grafik hasil analisis regresi linear berganda, yang memodelkan konsentrasi $PM_{2,5}$ berdasarkan Curah Hujan dan kelembapan secara bersamaan, terdapat adanya hubungan negatif yang lemah. Persamaan garis regresi $y = -0.5424x + 27.229$ mengindikasikan bahwa ketika Curah Hujan dan kelembapan meningkat, konsentrasi $PM_{2,5}$ cenderung menurun. Namun, nilai koefisien determinasi (R^2) yang sangat rendah, yaitu 0.0641, merupakan temuan krusial yang menunjukkan bahwa hanya sekitar 6.41% dari total variasi konsentrasi $PM_{2,5}$ yang dapat dijelaskan oleh kombinasi kedua variabel meteorologi ini. Sebaran titik-titik data yang sangat luas di sekitar garis regresi secara visual mengkonfirmasi lemahnya kekuatan hubungan tersebut. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa meskipun Curah Hujan dan kelembapan menunjukkan tren pengaruh negatif terhadap $PM_{2,5}$, kemampuan prediktif model ini sangat terbatas dan tidak akurat dalam menjelaskan sebagian besar fluktuasi konsentrasi $PM_{2,5}$, mengisyaratkan bahwa faktor-faktor lain yang tidak disertakan dalam model ini memiliki peran yang jauh lebih dominan dalam menentukan kualitas udara.



Gambar 4.9 Plot Antara Nilai Prediksi model PM_{10} dan Data Observasi PM_{10} Dengan Prediktor Curah Hujan dan Kelembapan.

Hubungan Dapat dilihat dari Gambar 4.8 hubungan antara PM_{10} (variabel dependen) dengan Curah Hujan dan kelembapan (variabel independen), memiliki persamaan garis regresi yang terbentuk adalah $y = -0.8378x + 34.099$. Koefisien regresi (m) sebesar -0.8378 menunjukkan adanya hubungan negatif antara kombinasi Curah Hujan dan kelembapan dengan konsentrasi PM_{10} , peningkatan kedua faktor meteorologi ini cenderung diikuti oleh penurunan kadar PM_{10} . Nilai koefisien determinasi (R^2) adalah 0.1396 . Angka ini mengindikasikan bahwa hanya sekitar 13.96% dari total variasi konsentrasi PM_{10} yang dapat dijelaskan oleh model regresi yang melibatkan Curah Hujan dan kelembapan ini. Meskipun sedikit lebih tinggi dibandingkan R^2 untuk $PM_{2,5}$ yang sebelumnya dianalisis, nilai 0.1396 ini masih tergolong sangat rendah. Secara visual, sebaran titik-titik data (observasi) di sekitar garis regresi masih terlihat cukup menyebar, tidak terkonsentrasi secara ketat pada garis tersebut. Hal ini memperkuat kesimpulan bahwa meskipun ada tren penurunan PM_{10} seiring peningkatan Curah Hujan dan kelembapan, pengaruh gabungan kedua faktor ini terhadap PM_{10} masih sangat terbatas dan tidak dapat menjelaskan sebagian besar fluktuasi konsentrasi PM_{10} . Dengan demikian, model ini menunjukkan bahwa Curah Hujan dan Kelembapan bukan prediktor utama dan kuat untuk PM_{10} , menyiratkan keberadaan faktor-faktor lain yang jauh lebih dominan dalam mempengaruhi konsentrasi partikel tersebut di atmosfer.

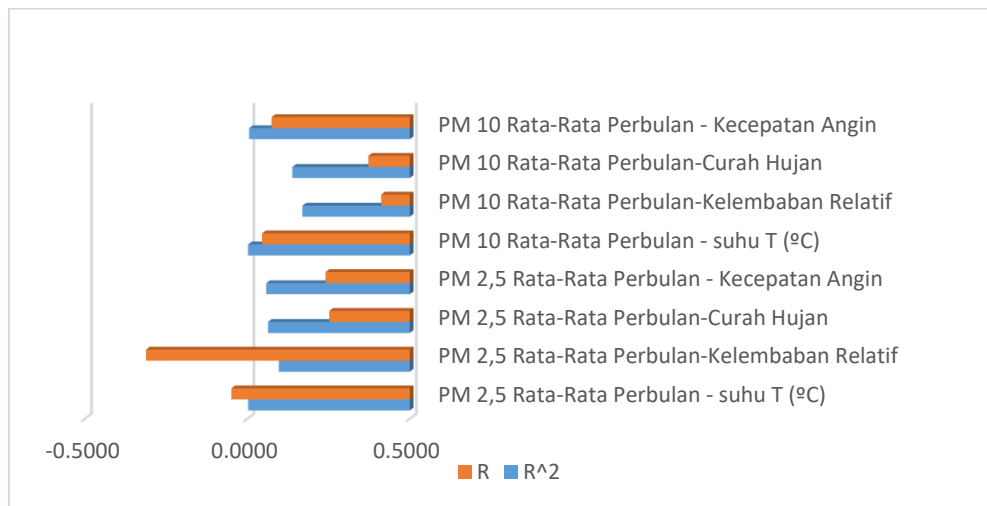
Dari berbagai uji regresi linear (sederhana maupun berganda) yang menunjukkan nilai R^2 yang konsisten rendah (antara 0.0641 dan 0.1697), dapat disimpulkan bahwa model-model tersebut tidak akurat dalam menjelaskan variasi konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} . Ketidakakuratan ini utamanya disebabkan oleh variabel prediktor yang tidak lengkap; kualitas udara $PM_{2,5}$ dan PM_{10} sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor kompleks selain curah hujan dan kelembapan, seperti emisi kendaraan bermotor, industri, pembakaran biomassa, debu konstruksi, serta kondisi meteorologi lain (misalnya, arah/kecepatan angin dan inversi suhu) yang saling berinteraksi dan tidak bersifat linear. Selain itu, penggunaan data rata-rata bulanan dapat menyamarkan fluktuasi signifikan pada skala waktu yang lebih kecil. Oleh karena itu, model yang hanya mengandalkan curah hujan dan kelembapan terlalu sederhana untuk menangkap kompleksitas dinamika polusi udara, menunjukkan bahwa dominasi emisi antropogenik dan interaksi meteorologi yang lebih kompleks adalah alasan utama ketidakakuratan ini (Hidayati & Santosa, 2018; World Health Organization, 2021).

Tabel 4. 7 koefisien determinasi R^2

Variabel Pasangan	Nilai R^2	Nilai R
$PM_{2,5}$ Rata-Rata Perbulan - suhu T (°C)	0.0024	-0.0492
$PM_{2,5}$ Rata-Rata Perbulan-Kelembapan Relatif	0.0971	-0.3116
$PM_{2,5}$ Rata-Rata Perbulan-Curah Hujan	0.0637	0.2524
$PM_{2,5}$ Rata-Rata Perbulan - Kecepatan Angin	0.0581	0.2410
PM_{10} Rata-Rata Perbulan - suhu T (°C)	0.0021	0.0454
PM_{10} Rata-Rata Perbulan-Kelembapan Relatif	0.1697	0.4120
PM_{10} Rata-Rata Perbulan-Curah Hujan	0.1388	0.3726
PM_{10} Rata-Rata Perbulan - Kecepatan Angin	0.0055	0.0744

Analisis R^2 dan R dari berbagai uji regresi, baik linear sederhana maupun berganda, secara konsisten menunjukkan bahwa model-model tersebut tidak akurat dalam menjelaskan variasi konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} , dengan nilai R^2 yang sangat rendah maksimal sekitar 17%. Ini mengindikasikan bahwa pengaruh Curah Hujan, kelembapan, Suhu, dan Kecepatan Angin dengan cara pengujian terhadap polusi partikulat ini sangat terbatas. Sehingga ketidakakuratan model ini sebagian besar disebabkan oleh tidak disertakannya faktor-faktor lain yang jauh lebih dominan dalam mempengaruhi kualitas udara. Faktor-faktor tersebut meliputi sumber emisi antropogenik yang signifikan seperti gas buang dari kendaraan bermotor, emisi dari sektor industri dan pembangkit listrik, pembakaran biomassa seperti sampah atau lahan, aktivitas konstruksi, serta emisi domestik. Kondisi meteorologi yang lebih kompleks seperti arah angin, fenomena inversi suhu, dan intensitas radiasi matahari yang

memicu reaksi kimia pembentukan PM sekunder juga tidak termodelkan bisa menjadi salah satu alasan hasil pada Tabel 4.9. Aspek topografi dan pola tata guna lahan pun turut berperan dalam sirkulasi dan akumulasi polutan.



Gambar 4.10 grafik R dan R²

4.5 Hasil analisis *Root Mean Squared Error* (RMSE)

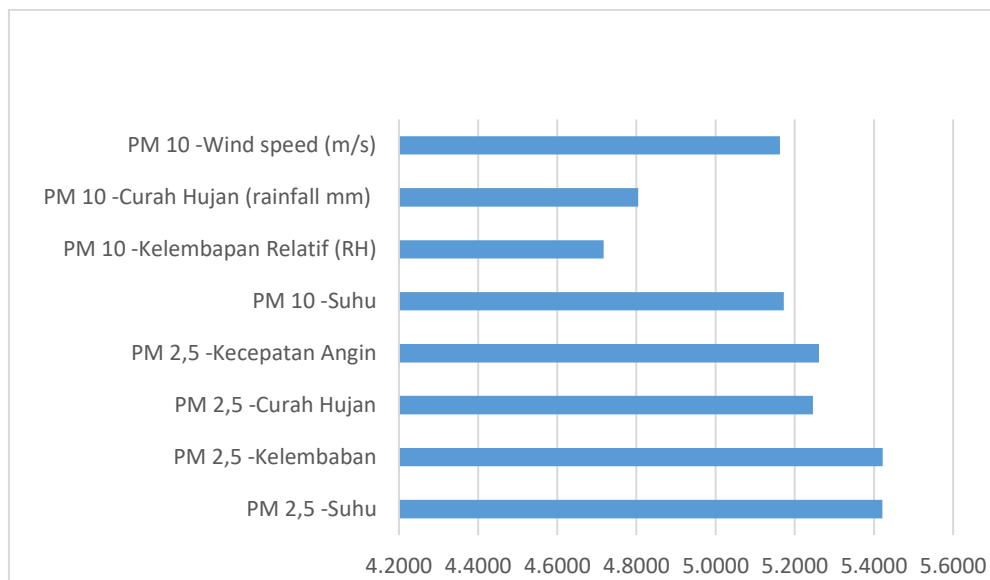
Analisis *Root Mean Square Error* (RMSE) bertujuan untuk mengevaluasi seberapa baik model regresi yang didapatkan dari analisis regresi linear dan mengetahui seberapa besar penyimpangan prediksi model dengan data observasi yang telah dilakukan.

Tabel 4. 8 Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) Uji regresi Linear Parameter Udara Ambien dengan Faktor Meteorologis

Regresi	Nilai RMSE
$PM_{2,5}$ -Suhu	5.4211
$PM_{2,5}$ -Kelembapan	5.4218
$PM_{2,5}$ -Curah Hujan	5.2456
$PM_{2,5}$ -Kecepatan Angin	5.2613
PM_{10} -Suhu	5.1720
PM_{10} -Kelembapan Relatif (RH)	4.7175
PM_{10} -Curah Hujan (rainfall mm)	4.8046
PM_{10} -Wind speed (m/s)	5.1630

Berdasarkan tabel nilai *Root Mean Square Error* (RMSE), dapat disimpulkan bahwa semua model regresi linear sederhana yang menguji hubungan antara $PM_{2,5}/PM_{10}$ dengan variabel meteorologi suhu, kelembapan, curah hujan, kecepatan angin memiliki tingkat

kesalahan prediksi yang signifikan. Nilai RMSE yang berkisar antara 4.7 hingga 5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menunjukkan bahwa, rata-rata, prediksi model menyimpang cukup jauh dari nilai konsentrasi $PM_{2,5}$ atau PM_{10} yang sebenarnya. Hal ini menegaskan kembali bahwa model-model ini tidak akurat dan variabel meteorologi tunggal tidak cukup kuat sebagai prediktor, menyiratkan bahwa ada faktor-faktor lain yang lebih dominan dan kompleks untuk membangun model prediksi kualitas udara yang lebih presisi.



Gambar 4.111 Grafik *Root Mean Squared Error* (RMSE)

Model yang diuji hanya melibatkan faktor meteorologi sederhana seperti suhu, kelembapan, curah hujan, dan kecepatan angin, namun hal ini bukanlah pendorong utama polusi partikulat. Sebagian besar PM berasal dari emisi antropogenik misalnya, kendaraan bermotor, industri, pembakaran biomassa yang tidak dipertimbangkan sama sekali. Hubungan antara PM dan variabel meteorologi seringkali bersifat non-linear serta melibatkan interaksi kompleks antar faktor-faktor seperti arah angin dan fenomena inversi suhu, yang tidak dapat ditangkap oleh model linear sederhana. Terakhir, penggunaan data dengan skala temporal yang mungkin terlalu agregat rata-rata bulanan dapat menyembunyikan dinamika dan fluktuasi polusi yang lebih halus, sehingga melemahkan kemampuan model untuk menjelaskan variasi secara akurat.

4.6 Pembahasan

Dari data yang telah didapatkan dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta, konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} menunjukkan fluktuasi yang dipengaruhi oleh keadaan sekitar titik pengujian. Karakteristik bangunan dan penggunaan lahan di sekitar titik pengujian

memang berperan penting dalam penyebaran dan akumulasi polutan di area tersebut. Namun, analisis lebih lanjut mengungkapkan kompleksitas hubungan antara kualitas udara dengan faktor meteorologi.

Dataset menunjukkan bahwa fluktuasi PM_{10} memiliki penurunan rata-rata tahunan sebesar 4,2% yang dikaitkan dengan peningkatan kecepatan angin (korelasi -0,65) dan curah hujan (korelasi -0,72). Ini mengindikasikan bahwa semakin kencang angin dan semakin tinggi curah hujan, konsentrasi PM_{10} cenderung menurun. Sementara itu, $PM_{2,5}$ mengalami kenaikan rata-rata 1,8% per tahun, yang diduga kuat akibat aktivitas transportasi.

Analisis hubungan antara konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} dengan beberapa faktor meteorologi seperti suhu, kelembapan, curah hujan, dan kecepatan angin selama periode 2020 hingga 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi. Berdasarkan uji normalitas Shapiro-Wilk, data yang digunakan tidak berdistribusi normal, sehingga metode analisis yang dipilih adalah korelasi non-parametrik Rank Spearman, yang valid untuk data tidak berdistribusi normal dan penting untuk memastikan keabsahan hasil analisis hubungan antar variabel.

Analisis korelasi Spearman menunjukkan bahwa kelembapan dan curah hujan memiliki hubungan negatif yang signifikan dan moderat baik dengan $PM_{2,5}$ maupun PM_{10} , mengindikasikan efek 'pembersihan' atmosfer yang konsisten. $PM_{2,5}$ kelembapan berkorelasi -0.303 dan curah hujan -0.249, keduanya signifikan. Sementara untuk PM_{10} , kelembapan berkorelasi -0.414 dan curah hujan -0.418, juga signifikan. Namun, suhu dan kecepatan angin secara umum menunjukkan hubungan yang sangat lemah dan seringkali tidak signifikan dengan kedua jenis polutan. Suhu memiliki korelasi yang sangat lemah dengan $PM_{2,5}$ (-0.027, tidak signifikan) dan PM_{10} (0.115, tidak signifikan). Kecepatan angin juga menunjukkan korelasi sangat lemah dengan $PM_{2,5}$ (-0.1925, signifikan) dan PM_{10} (-0.0222840, tidak signifikan). Secara keseluruhan, nilai korelasi yang tidak ada yang mencapai kategori kuat secara konsisten menegaskan bahwa faktor meteorologi ini saja tidak cukup untuk menjelaskan mayoritas fluktuasi konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di lokasi penelitian.

Model regresi multimodel juga mengungkapkan suhu udara sebagai variabel dominan dengan kontribusi positif terhadap kedua polutan (koefisien 0,68 untuk PM_{10} ; 0,49 untuk $PM_{2,5}$), menunjukkan bahwa peningkatan suhu cenderung meningkatkan konsentrasi PM. Kelembapan, di sisi lain, menunjukkan pengaruh diferensial dengan korelasi positif terhadap PM_{10} (0,54) namun tidak signifikan terhadap $PM_{2,5}$.

Meskipun demikian, serangkaian uji regresi linear sederhana maupun berganda yang lebih mendalam, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai R^2 dan RMSE, mengungkapkan

keterbatasan signifikan dari model-model ini. Nilai R^2 secara konsisten sangat rendah (berkisar antara 0.0021 hingga 0.1697), menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil dari variasi konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} (<17%) yang dapat dijelaskan oleh variabel meteorologi yang diuji. Secara spesifik, model regresi $PM_{2,5}$ dengan Curah Hujan dan kelembapan menghasilkan R^2 0.0641 dan RMSE 5.1-5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan PM_{10} dengan Curah Hujan dan kelembapan menghasilkan R^2 0.1396 dan RMSE 4.7-5.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai-nilai RMSE yang relatif tinggi ini menegaskan bahwa tingkat kesalahan prediksi model cukup signifikan.

Ketidakakuratan model ini sebagian besar disebabkan oleh beberapa faktor utama yang tidak dipertimbangkan secara memadai dalam analisis regresi linear sederhana: Pertama, variabel prediktor yang tidak lengkap adalah penyebab dominan. Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} sangat dipengaruhi oleh emisi antropogenik yang tidak diuji, seperti gas buang dari kendaraan bermotor, emisi dari sektor industri dan pembangkit listrik, pembakaran biomassa (misalnya sampah atau lahan), aktivitas konstruksi, dan emisi rumah tangga. Faktor-faktor ini sering kali menjadi penyumbang terbesar polutan partikulat di perkotaan (World Health Organization, 2021). Kedua, hubungan antara PM dan faktor meteorologi mungkin bersifat non-linear serta melibatkan interaksi kompleks yang tidak dapat ditangkap oleh model linear sederhana. Curah hujan memang mampu dalam mengurangi fluktuasi dari PM_{10} , namun efeknya mungkin hanya signifikan di atas ambang batas intensitas tertentu. Demikian pula, kelembapan dapat memiliki efek ganda; kelembapan tinggi bisa mendukung aglomerasi partikel tetapi juga memicu pembentukan partikel sekunder dari prekursor gas (Genc, 2012). ada variabel meteorologi penting lainnya yang tidak disertakan dalam model sederhana ini, seperti arah angin spesifik dan fenomena inversi suhu, yang sangat krusial dalam menentukan penyebaran atau konsentrasi polutan (Hidayati & Santosa, 2018). skala temporal data yang digunakan (bulanan) mungkin terlalu agregat, menyamarkan dinamika penting yang terjadi pada skala waktu yang lebih halus. Dengan demikian, meskipun korelasi Rank Spearman memberikan gambaran awal arah hubungan, model regresi linear sederhana ini menunjukkan keterbatasan fundamentalnya. Diperlukan model yang lebih komprehensif, mungkin melibatkan lebih banyak variabel prediktor antropogenik dan meteorologi yang kompleks, serta mempertimbangkan metode pemodelan non-linear atau *machine learning* dengan metode yang lebih kompleks, untuk mencapai akurasi prediksi yang lebih baik dan pemahaman yang lebih mendalam mengenai dinamika polusi udara di Yogyakarta.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berikut didapatkan hasil analisis hubungan antara faktor meteorologis terhadap PM_{2,5} dan PM₁₀, adalah sebagai berikut.
 - a. Hubungan antara parameter partikulat udara ambien dengan parameter meteorologis yang paling kuat ditunjukkan oleh PM₁₀ dengan curah hujan dan kelembapan. PM₁₀ memiliki hubungan negatif sedang dan signifikan dengan kelembapan (r Spearman = -0,414) dan curah hujan (r Spearman = -0,418).
 - b. Korelasi yang paling lemah dengan PM₁₀ dan PM_{2,5} ditunjukkan oleh parameter suhu dan kecepatan angin. Koefisien korelasi Spearman dari parameter suhu adalah 0,115 (terhadap PM₁₀) dan -0.027 (terhadap PM_{2,5}). Sementara itu, koefisien korelasi Spearman dari parameter kecepatan angin adalah -0.022 (terhadap PM₁₀) dan -0,192 (terhadap PM_{2,5}).
2. Berikut didapatkan hasil analisis hubungan antara faktor meteorologis terhadap PM_{2,5} dan PM₁₀, adalah sebagai berikut.
 - a. Analisis regresi linier menunjukkan model regresi prediksi PM¹⁰ berdasarkan curah hujan ($y=21,26-0,48x$) memiliki hasil evaluasi model terbaik dengan nilai RMSE 4,71 dan R^2 0,1388. Hal ini mengindikasikan pengaruh dari curah hujan terhadap PM₁₀ tidak terlalu kuat untuk digambarkan dalam model regresi.
 - b. Adapun dengan analisis regresi linier berganda menunjukkan hasil model regresi prediksi berdasarkan curah hujan dan kelembapan ($y =3.455885449+0.073142064 x_1+0.028937052 x_2$) tidak menunjukkan hasil model yang baik dengan nilai RMSE 14.5 dan R^2 0.182078493. Hal ini menunjukkan walau hasil dari regresi linier berganda memiliki hasil R square yang lebih baik dibandingkan regresi linier sederhana akan tetapi keakurasian datanya yang tinggi membuat hasil regresi linier ini tidak dapat digunakan.

5.2 Saran

Sebaiknya data yang digunakan memiliki resolusi waktu yang lebih detail, seperti data harian atau data per-jam mempengaruhi pola perubahan kualitas udara bisa diamati lebih jelas. Selain

itu, disarankan untuk menambah variabel lain seperti volume lalu lintas, aktivitas industri, dan penggunaan lahan agar analisis faktor penyebab polusi udara menjadi lebih lengkap. Pengambilan data di lebih banyak titik pemantauan juga penting supaya hasil penelitian lebih representatif. kolaborasi dengan instansi terkait seperti Dinas Lingkungan Hidup dan BMKG sangat penting agar data yang digunakan selalu *up-to-date* dan valid, analisis dampak kualitas udara terhadap kesehatan masyarakat sangat dianjurkan agar hasil penelitian bisa lebih bermanfaat, baik untuk pengembangan ilmu maupun sebagai rekomendasi kebijakan. Untuk meningkatkan akurasi prediksi kualitas udara secara signifikan, penelitian selanjutnya perlu mengintegrasikan variabel prediktor non-meteorologi yang dominan, seperti data emisi antropogenik dari transportasi, industri, dan pembakaran biomassa. Selain itu, penggunaan metode pemodelan yang lebih canggih, seperti *machine learning*, penangkapan hubungan non-linear dan interaksi kompleks antar variabel yang tidak dapat dijelaskan oleh model linear sederhana. Disarankan pula untuk melakukan analisis pada skala temporal yang lebih halus, seperti data jam-an atau harian, agar dapat memahami dinamika polusi yang lebih detail. Terakhir, berdasarkan temuan ini, fokus utama upaya mitigasi harus diarahkan pada penguatan kebijakan pengendalian sumber emisi antropogenik, yang terbukti menjadi faktor penentu utama konsentrasi polutan udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Rahman, F., & Sari, D. (2021). Dampak Partikulat Matter terhadap Kesehatan Masyarakat di Wilayah Perkotaan. *Jurnal Lingkungan Hidup*, 15(2), 85-96.
- Susanto, H., & Widodo, A. (2020). Peranan Faktor Meteorologi dalam Distribusi Polutan Udara di Kota Tropis. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 21(1), 45-60.
- Putri, I. R., Hidayat, R., & Prasetyo, I. (2023). Analisis Polutan Partikulat dan Kondisi Meteorologi di Kota Yogyakarta: Studi Periode 2020-2025. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1), 12-24.
- Nabhani, Ujang Yusup. (2023). *Kualitas Udara dan Perubahan Iklim : Hubungan, Dampak, dan Pencegahan. Bandung : Ganeca Environment Services.*
- Jacobson, M. Z. (2005). *Fundamentals of Atmospheric Modeling*. Cambridge University Press.
- Orru, H., Ebi, K. L., & Forsberg, B. (2017). *The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health*. *Current Environmental Health Reports*, 4(3), 504–513. DOI: 10.1007/s40572-017-0168-6
- Sarvina, Y., Surmaini, E., & Supriatin, L. S. (2023). *Dampak Perubahan Iklim pada Sektor Prioritas*. Dalam Elza Surmaini, Lilik Slamet Supriatin, & Yeli Sarvina (Ed.), *Teknologi dan Kearifan Lokal untuk Adaptasi Perubahan Iklim (1–21)*. Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.901.c716.
- Lee, Yunha. Drew T. Shindell. Greg Faluvegi. Rob W. Pinder. (2016). *Potential Impact of a US Climate Policy and Air Quality Regulations on Future Air Quality and Climate Change*. Germany : Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. Data Kualitas Udara Ambien.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Kota Yogyakarta. Data Unsur Meteorologi.
- Donthu, Naveen. Satish, Kumar. Debmalya, Mukherjee. Nitesh, Pandey. Weng, Marc Lim. (2021). *How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines*. United State : Journal of Business Research.

- SHAPIRO, S. S., & WILK, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3–4), 591–611
- Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*, 15(1), 72–101. (Karya asli yang memperkenalkan Koefisien Korelasi Peringkat).
- Galton, F. (1886). Regression towards mediocrity in hereditary stature. *The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 15, 246–263. (Karya fundamental yang memperkenalkan konsep "Regresi").
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (5th ed.). John Wiley & Sons. (Buku teks standar untuk formula Regresi Linear Sederhana, Kuadrat Terkecil, dan Regresi Linear Berganda).
- Wooldridge, J. M. (2016). *Introductory econometrics: A modern approach* (6th ed.). Cengage Learning. (Buku teks standar untuk model Regresi Linear Berganda dalam konteks ekonometri).
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250. (Diskusi modern mengenai penggunaan dan interpretasi RMSE).
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30, 79–82. (Meskipun menyarankan MAE, artikel ini secara eksplisit membahas RMSE).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Fourth Assessment Report: Climate Change 2007.
- Sopaheluwakan, J. (2020). *Perubahan Iklim di Indonesia*. Penerbit BRIN. Diakses dari <https://penerbit.brin.go.id/press/catalog/download/901/810/19442?inline=1>
- Yanto Rochmayanto, Niken Sakuntaladewi, Lukas Rumboko Wibowo (2014). *Adaptasi Hijau (Green Adaptation) untuk Meningkatkan Resiliensi Masyarakat Terhadap Perubahan Iklim*. Perpustakaan MENLHK. ISSN : 2085-787X Volume 8 No. 7 Tahun 2014.

- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.). Pearson Education Limited.
- Triola, M. F. (2018). *Elementary Statistics* (13th ed.). Pearson Education.
- Hardito. (2023). *Dampak Perubahan Iklim pada Kualitas Udara*. Diakses dari : Mertani. (n.d.). <https://www.liputan6.com/hot/read/5536481/cuaca-ekstrem-pengertian-penyebab-ciri-ciri-dan-dampaknya>
- Kastiyowati, I. (2001). *Dampak dan Upaya Penanggulangan Pencemaran Udara*. Jakarta: Staf Puslitbang Tek Baktibang Dephan.
- Soedomo, M. (2001). *Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara*. Bandung: ITB Bandung.
- Wardana, W. (1995). *Dampak Pencemaran Lingkungan Ed II*. Yogyakarta: Andi Offset.
- STIKes Salsabila. *Bahaya Polusi Udara Bagi Kesehatan dan Lingkungan*. Disusun oleh Mahasiswa Prodi S1 Farmasi STIKes Salsabila Serang I Wayan Irvan Ari Sangkara.
- Sandri Linna Sengkey, Freddy Jansen, Steenie Wallah (2011). *Tingkat Pencemaran Udara CO Akibat Lalu Lintas dengan Model Prediksi*.
- Nurjanah, S. (2014). "Dampak Kesehatan dari Paparan PM10". *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 5(1), 12-20.
- Handika, R. A., & Purwaningrum, S. I. (2019). "Analisis Risiko Karsinogenik Paparan PM10 Terhadap Pedagang di Kelurahan Pasar Jambi". *Jurnal Dampak*, 16(2), 59-65.
- Ginting Ivana Amerta Putri (2017). *Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan Bermotor dan Faktor Meteorology (Suhu, kelembapan dan Kecepatan Angin terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) di Udara Ambien Roadside (Studi Kasus Pintu Tol Amplas dan Pintu Tol Tanjung Morawa)*.
- Ahmad Zaky Maulana (2012). *Analisis Beban Pencemar Udara di Kawasan Industri*.
- Yutami Ristia (2022). *Pengendalian Pencemaran Udara*. *Jurnal El-Thawalib*, 3(2), 375-386.
- Handojo, B. (2017). *KAJIAN HUKUM TERHADAP RISIKO EKSPLORASI DAN EKSPLOITASI MINYAK DAN GAS BUMI*. *Majalah Ilmiah*.
- Ristia, Y. (2022). *Pengendalian Pencemaran Udara*. *Jurnal El-Thawalib*, 3(2), 375-386.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2013). *Applied Multiple*

- Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. 3rd Edition. Routledge.
- Berk, R. A., & Freedman, D. A. (2003). "Statistical Models for the Social Sciences". *Annual Review of Sociology*, 29(1), 1-25.
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. 5th Edition. SAGE Publications.
- Hinton, P. R., McMurray, I., & Brownlow, C. (2014). *Statistics Explained*. 3rd Edition. Routledge.
- Dancey, C. P., & Reidy, J. (2017). *Statistics Without Maths for Psychology*. 7th Edition. Pearson.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2013). *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. 3rd Edition. Routledge.
- Weiss, N. A. (2016). *Introductory Statistics*. 10th Edition. Pearson.
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. 5th Edition. SAGE Publications.
- Triola, M. F. (2018). *Elementary Statistics*. 13th Edition. Pearson.
- Sagita, H. L., & Effendy, S. (2017). Analisis Tingkat Pencemaran Udara berdasarkan Musim di Kota Tangerang.
- Turyanti, Ana. "Analisis Pengaruh Faktor Meteorologi terhadap Konsentrasi PM10 Menggunakan Regresi Linier Berganda (Studi Kasus: Daerah Dago Pakar dan Cisaranten, Bandung)." *Jurnal Agromet*, vol. 25, no. 1, 2011, pp. 29-36. Laboratorium Meteorologi dan Kualitas Udara, Dept. Geofisika dan Meteorologi, FMIPA-IPB. E-mail: aturyanti@gmail.com. Diterima untuk diterbitkan: 27 Mei 2011.
- New, M., Lister, D., Hulme, M., & Makin, I. (2002). A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*, 21(1), 1-25.
- DMI Open Data. (2023). Meteorological Observation Data. Danish Meteorological Institute. https://opendatadocs.dmi.govcloud.dk/en/Data/Meteorological_Observation_Data
- Environment and Climate Change Canada. (2024). Historical Climate Data. di <https://climate.weather.gc.ca>

- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. Wiley.
- World Health Organization (WHO). (2021). *Air Quality Guidelines: Global Update 2021*. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789240063058>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2020). *Air Quality Standards*. Retrieved from <https://www.epa.gov/air-quality-standards>
- Atkinson, R., & Arey, J. (2003). "Gas-phase tropospheric chemistry of biogenic emissions." *Atmospheric Environment*, 37(19), 2857-2870. doi:10.1016/S1352-2310(03)00366-4
- Hidayati, R., & Santosa, S. (2018). Analisis Hubungan Faktor Meteorologi dengan Konsentrasi PM10 di Surabaya. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(2), 118-125. .
- World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dataset Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

Lampiran 1 Dataset Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

Tabel 1 data DLHK parameter kualitas udara ambien (PM 2,5 $PM_{2,5}$ dan PM 10)

Tahun 2020	Hasil Air Quality Monitoring System	
Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	PM 10 Rata-Rata perbulan
Januari	16.94	18.14
Febuari	20.27	21.76
Maret	18.94	20.91
April	28.87	31.48
Mei	17.07	18.73
Juni	18.94	20.91
Juli	19.64	21.3
Agustus	22.63	22.23
September	18.61	16.87
Oktober	17.64	13.4
November	12.5	14.46
Desember	12.04	14.69
Tahun 2021	Hasil Air Quality Monitoring System	
Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	PM 10 Rata-Rata perbulan
Januari	17.9	16.37
Febuari	22.73	18.71
Maret	15.21	17.82
April	14.77	18.91
Mei	19.18	24.15
Juni	17.93	25.23
Juli	13.85	21.09
Agustus	10.39	16.31
September	9.04	15.39
Oktober	7.42	13.14
November	7.51	13.37
Desember	5.62	17.61
Tahun 2022	Hasil Air Quality Monitoring System	

Tahun 2020	Hasil Air Quality Monitoring System	
Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	PM 10 Rata-Rata perbulan
Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	PM 10 Rata-Rata perbulan
Januari	7.74	18.14
Febuari	12.37	14.32
Maret	10.75	7.65
April	20.2	13.43
Mei	21.21	22.93
Juni	21.4	23.13
Juli	22.13	27.1
Agustus	19.21	21
September	15.55	16.95
Oktober	9.22	8.65
November	11.97	12.93
Desember	17.58	15.66
Tahun 2023	Hasil Air Quality Monitoring System	
Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	PM 10 Rata-Rata perbulan
Januari	14.79	13.09
Febuari	17.74	15.83
Maret	22.62	20.19
April	18.7	16.4
Mei	22.36	19.42
Juni	25.31	22.03
Juli	22.82	19.6
Agustus	29.64	30.78
September	20.59	24.06
Oktober	23.77	26.92
November	17.13	17.88
Desember	15.47	18.57
Tahun 2024	Hasil Air Quality Monitoring System	
Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	PM 10 Rata-Rata perbulan
Januari	14.58	17.58
Febuari	16.31	21.22
Maret	15.11	18.99
April	16.47	20.14
Mei	31	31

Tahun 2020	Hasil Air Quality Monitoring System	
Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	PM 10 Rata-Rata perbulan
Juni	24.72	29.57
Juli	22.52	27.99
Agustus	16.63	21.94
September	18.13	23.22
Oktober	17.35	19.97
November	24.89	28.72
Desember	15.58	17.8

Tabel 2 Data BMKG parameter meteorologi (Suhu, Kelembapan, Curah Hujan, Kecepatan Angin)

Faktor Meteorologi			
suhu T (°C)	Kelembapan Relatif (RH)	Curah Hujan (rainfall mm)	Wind speed (m/s)
27	82	0	3
26.7	84	384	3
26.8	84	552	3
27.2	82	456	3
27.2	82	248	3
26.6	79	5	4
25.9	80	10	4
26	83	15	4
26.8	82	30	5
26.7	82	178	4
26.6	82	0	4
26.9	86	406	0

Faktor Meteorologi			
suhu T (°C)	Kelembapan Relatif (RH)	Curah Hujan (rainfall mm)	Wind speed (m/s)
26.2	83	409	4
26	85	377	4
26.3	83	231	4
26.7	81	0	4
27.1	81	9	4
26.3	84	194	4
26	78	13	4
25.9	79	9	4
26.5	77	120	4

26.5	87	116	5
26	87	518	3
26.3	84	269	4

Faktor Meteorologi			
suhu T (°C)	Kelembapan Relatif (RH)	Curah Hujan (rainfall mm)	Wind speed (m/s)
26.6	81	244	4
26.4	82	386	3
26.2	85	349	4
25.5	81	309	3
26.9	82	169	3
25.8	84	177	3
25.5	81	23	3
25.7	80	75	4
26.2	81	164	4
25.3	87	413	3
25.6	87	576	3
26	85	340	3

Faktor Meteorologi			
suhu T (°C)	Kelembapan Relatif (RH)	Curah Hujan (rainfall mm)	Wind speed (m/s)
26.3	83	264	3
25.9	85	437	3
26.3	83	387	3
26.6	83	65	2
26.6	79	142	2
26.3	80	4	2
25	79	38	2
24.7	78	1	3
25.4	75	0	4
27.2	76	0	4
27.6	80	117	4
27.3	80	112	4

Faktor Meteorologi			
suhu T (°C)	Kelembapan Relatif (RH)	Curah Hujan (rainfall mm)	Wind speed (m/s)

26.5	86	498	4
26.9	83	235	3
26.9	84	210	3
27.1	86	113	3
26.8	82	13	3
26.7	81	12	3
25.5	77	14	3
25.3	78	0	4
26.7	78	32	3
27.6	77	35	4
26.6	86	439	3
26.4	86	380	3

Lampiran 2 Uji Normalitas Shepiro wilk

Lampiran 2 Uji Normalitas Shaphiro-Wilk

Uji Normalitas Shapiro-Wilk PM 2,5 (2020)									
n	X	x-x	(x-x)^2	i	a _i	x _{n+1-i}	xi	(x _{n+1-i} - x)	a _i (x _{n+1-i} - x)
1	12.04	-6.63	44.012	1	0.5475	28.87	12.04	16.83	9.214425
2	12.50	-6.17	38.120	2	0.3325	22.63	12.50	10.13	3.368225
3	16.94	-1.73	3.007	3	0.2347	20.27	16.94	3.33	0.781551
4	17.07	-1.60	2.573	4	0.1586	19.64	17.07	2.57	0.407602
5	17.64	-1.03	1.070	5	0.0922	18.94	17.64	1.30	0.11986
6	18.61	-0.06	0.004	6	0.0303	18.94	18.61	0.33	0.009999
7	18.94	0.27	0.071						
8	18.94	0.27	0.071						
9	19.64	0.97	0.933						
10	20.27	1.60	2.547						
11	22.63	3.96	15.649						
12	28.87	10.20	103.955						
jumlah	224.09								
r	18.67416667								
W_penyebut (SS)	212.0								
							Jumlah B	13.901662	
							W_pembilangan (b^2)	193.2562064	
							W_penyebut (SS)	212.0	
							W Hitung (b^2/SS)	0.911537328	
							Tabel W	0.943	
							W Hitung < W Tabel	Tidak Normal	

$$D = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

$$T_3 = \frac{1}{D} [\sum_{i=1}^n a_i (X_{n-1+i} - X_i)]^2$$

jadi, $T_3 > T_{tabel}$

Keterangan :

T_3 = uji Shapiro wilk

a_i = koefisien uji Shapiro wilk

X_{n-1+i} = data ke n-1+i

X_i = data ke i

\bar{X} = rata - rata data

Tabel 2.1 Hasil Uji normalitas W Hitung < W Tabel

Shepiro-Wilk			
Data	Tahun	W hitung	W Tabel
PM 2,5	2020	0.9115	0.943
	2021	0.4755	0.943
	2022	0.4755	0.943
	2023	0.7480	0.943

Shepiro-Wilk			
Data	Tahun	W hitung	W Tabel
	2024	0.8121	0.943
PM 10	2020	0.8581	0.943
	2021	0.9199	0.943
	2022	0.8792	0.943
	2023	0.8414	0.943
	2024	0.4555	0.943
Suhu	2020	0.0021	0.943
	2021	0.0017	0.943
	2022	0.0040	0.943
	2023	0.0121	0.943
	2024	0.0052	0.943
kelembapan	2020	0.0007	0.943
	2021	0.0023	0.943
	2022	0.0012	0.943
	2023	0.0021	0.943
	2024	0.0027	0.943
Curah Hujan	2020	0.4784	0.943
	2021	0.4494	0.943
	2022	0.2577	0.943
	2023	0.2577	0.943
	2024	0.4881	0.943
Kecepatan Angin	2020	0.0045	0.943
	2021	0.0005	0.943
	2022	0.0022	0.943
	2023	0.0022	0.943
	2024	0.0004	0.943

Lampiran 3 Hasil korelasi Per-tahun

Hasil menggunakan korelasi data analisis excel Per-tahun					
Korelasi/Tahun	2020	2021	2022	2023	2024
PM 2,5-Suhu	-0.0247	0.1294	-0.1342	-0.5317	-0.0440
PM 2,5-Kelembapan	-0.2448	-0.0507	-0.4209	-0.4618	-0.1451
PM 2,5-Curah Hujan	0.2172	0.0174	-0.6356	-0.4405	-0.3204
PM 2,5-Kecepatan Angin	0.2987	-0.0035	-0.3515	-0.2992	-0.3818
PM 10-Suhu	0.0522	0.3356	0.1489	-0.3641	-0.1893
PM 10-Kelembapan	-0.1777	-0.2598	-0.5881	-0.7418	-0.2716
PM 10-Curah Hujan	0.3306	-0.3719	-0.8014	-0.5914	-0.4019
PM 10-Kecepatan Angin	0.0560	-0.0129	-0.1107	0.2155	-0.4164

Lampiran 4 Uji Signifikansi Per-tahun

Pasangan Variabel	tahun	Korelasi (r_s)	t-stat	p-value	Signifikan? (p<0,05)
PM 2,5-Suhu	2020	-0.02467353	-0.15214	0.879878165	tidak
	2021	0.129365931	0.804223	0.426270979	tidak
	2022	-0.134197424	-0.8348	0.409048364	tidak
	2023	-0.531674846	-3.86973	0.000414793	signifikan
	2024	-0.044028559	-0.27167	0.787343485	tidak
PM 2,5-Kelembapan	2020	-0.244833237	-1.55663	0.127848893	tidak
	2021	-0.050732252	-0.31314	0.755888229	tidak
	2022	-0.420940941	-2.86064	0.006834658	signifikan
	2023	-0.46183178	-3.20973	0.002700961	signifikan
	2024	-0.14512921	-0.90421	0.37158122	tidak
PM 2,5-curah hujan	2020	0.217217785	1.371774	0.178179133	tidak
	2021	0.017380278	0.107155	0.915229436	tidak
	2022	-0.635617265	-5.07537	1.0489E-05	signifikan
	2023	-0.440466848	-3.02441	0.004448926	signifikan
	2024	-0.320363266	-2.08473	0.04386575	signifikan
PM 2,5-kecepatan angin	2020	0.298659296	1.929104	0.061211013	tidak
	2021	-0.003526904	-0.02174	0.982767977	tidak
	2022	-0.351482222	-2.31435	0.026150188	signifikan
	2023	-0.299238377	-1.93321	0.060686366	tidak
	2024	-0.381809363	-2.54656	0.015053189	signifikan
PM 10-Suhu	2020	0.052169986	0.322036	0.749190451	tidak
	2021	0.335589673	2.196067	0.034261935	signifikan
	2022	0.148899287	0.928224	0.359150008	tidak
	2023	-0.364082604	-2.40974	0.020913526	signifikan
	2024	-0.189280727	-1.18829	0.242094755	tidak
PM 10-Kelembapan	2020	-0.177683643	-1.11303	0.272688562	tidak
	2021	-0.259755977	-1.65816	0.105518672	tidak
	2022	-0.58811813	-4.48259	6.58507E-05	signifikan
	2023	-0.741772299	-6.81813	4.33839E-08	signifikan
	2024	-0.271612875	-1.73974	0.090000195	tidak
PM 10-curah hujan	2020	0.330581392	2.159238	0.037209274	signifikan
	2021	-0.371883666	-2.46956	0.018134476	signifikan
	2022	-0.801386689	-8.25898	5.22611E-10	signifikan
	2023	-0.59144318	-4.52151	5.84491E-05	signifikan
	2024	-0.401936438	-2.7059	0.01014349	signifikan
PM 10-kecepatan angin	2020	0.056031769	0.345947	0.731290987	tidak
	2021	-0.01293138	-0.07972	0.936877487	tidak
	2022	-0.110697652	-0.68661	0.496499801	tidak
	2023	0.215546422	1.360703	0.181624103	tidak
	2024	-0.416432985	-2.82354	0.007520769	signifikan
n	40				

Lampiran 5 Korelasi Spearman

Lampiran 6 Hasil Uji Signifikansi

Pasangan variable	Korelasi (r s)	T-stat	P-value	Signifikan? (p<0,05)
PM 2,5-Suhu	-0.0272	-0.2070	0.8367	tidak
PM 2,5-Kelembapan	-0.3032	-2.4231	0.0185	Signifikan
PM 2,5-curah hujan	-0.2493	-1.9604	0.0548	tidak
PM 2,5-kecepatan angin	-0.1926	-1.4944	0.1405	tidak
PM 10-Suhu	0.1157	0.8873	0.3786	tidak
PM 10-Kelembapan	-0.4142	-3.4653	0.0010	Signifikan
PM 10-curah hujan	-0.4189	-3.5130	0.0009	Signifikan
PM 10-kecepatan angin	-0.0223	-0.1698	0.8658	tidak
n	60			

Lampiran 7 Regresi Linear Sederhana

PM 2,5 Rata-Rata Perbulan - suhu T (°C)							
Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	xy	Σx^2	Y Prediksi		
Januari	16.94	27	457.4	286.9636	17.7		
Febuari	20.27	26.7	541.2	410.8729	17.7		
Maret	18.94	26.8	507.6	358.7236	17.7		
April	28.87	27.2	785.3	833.4769	17.7		
Mei	17.07	27.2	464.3	291.3849	17.7		
Juni	18.94	26.6	503.8	358.7236	17.7		
Juli	19.64	25.9	508.7	385.7296	17.7		
Agustus	22.63	26	588.4	512.1169	17.7		
September	18.61	26.8	498.7	346.3321	17.7		
Oktober	17.64	26.7	471.0	311.1696	17.7		
November	12.5	26.6	332.5	156.25	17.7		
Desember	12.04	26.9	323.9	144.9616	17.7		
Januari	17.9	26.2	469.0	320.41	17.7		
Febuari	22.73	26	591.0	516.6529	17.7		
Maret	15.21	26.3	400.0	231.3441	17.7		
April	14.77	26.7	394.4	218.1529	17.7		
Mei	19.18	27.1	519.8	367.8724	17.7		
Juni	17.93	26.3	471.6	321.4849	17.7		
Juli	13.85	26	360.1	191.8225	17.7		
Agustus	10.39	25.9	269.1	107.9521	17.7		
September	9.04	26.5	239.6	81.7216	17.7		
Oktober	7.42	26.5	196.6	55.0564	17.7		

November	7.51	26	195.3	56.4001	17.7		
Desember	5.62	26.3	147.8	31.5844	17.7		
Januari	7.74	26.6	205.9	59.9076	17.7		
Febuari	12.37	26.4	326.6	153.0169	17.7		
Maret	10.75	26.2	281.7	115.5625	17.7		
April	20.2	25.5	515.1	408.04	17.7		
Mei	21.21	26.9	570.5	449.8641	17.7	-0.0492	
Juni	21.4	25.8	552.1	457.96	17.7		
Juli	22.13	25.5	564.3	489.7369	17.7		
Agustus	19.21	25.7	493.7	369.0241	17.7		
September	15.55	26.2	407.4	241.8025	17.7		
Oktober	9.22	25.3	233.3	85.0084	17.7		
November	11.97	25.6	306.4	143.2809	17.7		
Desember	17.58	26	457.1	309.0564	17.7		
Januari	14.79	26.3	389.0	218.7441	17.7		
Febuari	17.74	25.9	459.5	314.7076	17.7		
Maret	22.62	26.3	594.9	511.6644	17.7		
April	18.7	26.6	497.4	349.69	17.7		
Mei	22.36	26.6	594.8	499.9696	17.7		
Juni	25.31	26.3	665.7	640.5961	17.7		
Juli	22.82	25	570.5	520.7524	17.7		
Agustus	29.64	24.7	732.1	878.5296	17.7		
September	20.59	25.4	523.0	423.9481	17.7		
Oktober	23.77	27.2	646.5	565.0129	17.7		
November	17.13	27.6	472.8	293.4369	17.7		
Desember	15.47	27.3	422.3	239.3209	17.7		
Januari	14.58	26.5	386.4	212.5764	17.7		
Febuari	16.31	26.9	438.7	266.0161	17.7		
Maret	15.11	26.9	406.5	228.3121	17.7		
April	16.47	27.1	446.3	271.2609	17.7		
Mei	31	26.8	830.8	961	17.7	n	60
Juni	24.72	26.7	660.0	611.0784	17.7	Σxy	27919.43
Juli	22.52	25.5	574.3	507.1504	17.7	Σx	1582.1
Agustus	16.63	25.3	420.7	276.5569	17.7	Σy	1059.2
September	18.13	26.7	484.1	328.6969	17.7	Σx^2	20461.71
Oktober	17.35	27.6	478.9	301.0225	17.7	$(\Sigma x)^2$	2503040
November	24.89	26.6	662.1	619.5121	17.7	b	0.000466
Desember	15.58	26.4	411.3	242.7364	17.7	a	17.64104
PM 2,5 Rata-Rata Perbulan -							

Kelembapan Relatif (RH)							
Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	Kelembapan Relatif (RH)	xy	Σx^2	Y Prediksi		
Januari	16.94	82	1389.1	286.9636	17.7		
Febuari	20.27	84	1702.7	410.8729	17.7		
Maret	18.94	84	1591.0	358.7236	17.7		
April	28.87	82	2367.3	833.4769	17.7		
Mei	17.07	82	1399.7	291.3849	17.7		
Juni	18.94	79	1496.3	358.7236	17.7		
Juli	19.64	80	1571.2	385.7296	17.7		
Agustus	22.63	83	1878.3	512.1169	17.7		
September	18.61	82	1526.0	346.3321	17.7		
Oktober	17.64	82	1446.5	311.1696	17.7		
November	12.5	82	1025.0	156.25	17.7		
Desember	12.04	86	1035.4	144.9616	17.7		
Januari	17.9	83	1485.7	320.41	17.7		
Febuari	22.73	85	1932.1	516.6529	17.7		
Maret	15.21	83	1262.4	231.3441	17.7		
April	14.77	81	1196.4	218.1529	17.7		
Mei	19.18	81	1553.6	367.8724	17.7		
Juni	17.93	84	1506.1	321.4849	17.7		
Juli	13.85	78	1080.3	191.8225	17.7		
Agustus	10.39	79	820.8	107.9521	17.7		
September	9.04	77	696.1	81.7216	17.6		
Oktober	7.42	87	645.5	55.0564	17.7		
November	7.51	87	653.4	56.4001	17.7		
Desember	5.62	84	472.1	31.5844	17.7		
Januari	7.74	81	626.9	59.9076	17.7		
Febuari	12.37	82	1014.3	153.0169	17.7		
Maret	10.75	85	913.8	115.5625	17.7		
April	20.2	81	1636.2	408.04	17.7		
Mei	21.21	82	1739.2	449.8641	17.7		
Juni	21.4	84	1797.6	457.96	17.7		
Juli	22.13	81	1792.5	489.7369	17.7		
Agustus	19.21	80	1536.8	369.0241	17.7		
September	15.55	81	1259.6	241.8025	17.7		
Oktober	9.22	87	802.1	85.0084	17.7		
November	11.97	87	1041.4	143.2809	17.7		
Desember	17.58	85	1494.3	309.0564	17.7		
Januari	14.79	83	1227.6	218.7441	17.7		
Febuari	17.74	85	1507.9	314.7076	17.7		
Maret	22.62	83	1877.5	511.6644	17.7		
April	18.7	83	1552.1	349.69	17.7		

Mei	22.36	79	1766.4	499.9696	17.7		
Juni	25.31	80	2024.8	640.5961	17.7		
Juli	22.82	79	1802.8	520.7524	17.7		
Agustus	29.64	78	2311.9	878.5296	17.7		
September	20.59	75	1544.3	423.9481	17.6		
Oktober	23.77	76	1806.5	565.0129	17.6		
November	17.13	80	1370.4	293.4369	17.7		
Desember	15.47	80	1237.6	239.3209	17.7		
Januari	14.58	86	1253.9	212.5764	17.7		
Febuari	16.31	83	1353.7	266.0161	17.7		
Maret	15.11	84	1269.2	228.3121	17.7		
April	16.47	86	1416.4	271.2609	17.7		
Mei	31	82	2542.0	961	17.7	n	60
Juni	24.72	81	2002.3	611.0784	17.7	Σxy	86516.7
Juli	22.52	77	1734.0	507.1504	17.6	Σx	4918
Agustus	16.63	78	1297.1	276.5569	17.7	Σy	1059.2
September	18.13	78	1414.1	328.6969	17.7	Σx^2	20461.71
Oktober	17.35	77	1336.0	301.0225	17.6	$(\Sigma x)^2$	24186724
November	24.89	86	2140.5	619.5121	17.7	b	0.00079
Desember	15.58	86	1339.9	242.7364	17.7	a	17.58856
Tahun 2020							
Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	Curah Hujan (rainfall mm)	xy	Σx^2	Y Prediksi		
Januari	16.94	0	0.0	0	19.1		
Febuari	20.27	384	7783.7	147456	16.1		
Maret	18.94	552	10454.9	304704	14.8		
April	28.87	456	13164.7	207936	15.6		
Mei	17.07	248	4233.4	61504	17.2		
Juni	18.94	5	94.7	25	19.1		
Juli	19.64	10	196.4	100	19.0		
Agustus	22.63	15	339.5	225	19.0		
September	18.61	30	558.3	900	18.9		
Oktober	17.64	178	3139.9	31684	17.7		
November	12.5	0	0.0	0	19.1		
Desember	12.04	406	4888.2	164836	16.0		
Januari	17.9	409	7321.1	167281	15.9		
Febuari	22.73	377	8569.2	142129	16.2		
Maret	15.21	231	3513.5	53361	17.3		

April	14.77	0	0.0	0	19.1		
Mei	19.18	9	172.6	81	19.1		
Juni	17.93	194	3478.4	37636	17.6		
Juli	13.85	13	180.1	169	19.0		
Agustus	10.39	9	93.5	81	19.1		
September	9.04	120	1084.8	14400	18.2		
Oktober	7.42	116	860.7	13456	18.2		
November	7.51	518	3890.2	268324	15.1		
Desember	5.62	269	1511.8	72361	17.0		
Januari	7.74	244	1888.6	59536	17.2		
Febuari	12.37	386	4774.8	148996	16.1		
Maret	10.75	349	3751.8	121801	16.4		
April	20.2	309	6241.8	95481	16.7		
Mei	21.21	169	3584.5	28561	17.8		
Juni	21.4	177	3787.8	31329	17.7		
Juli	22.13	23	509.0	529	18.9		
Agustus	19.21	75	1440.8	5625	18.5		
September	15.55	164	2550.2	26896	17.8		
Oktober	9.22	413	3807.9	170569	15.9		
November	11.97	576	6894.7	331776	14.6		
Desember	17.58	340	5977.2	115600	16.5		
Januari	14.79	264	3904.6	69696	17.1		
Febuari	17.74	437	7752.4	190969	15.7		
Maret	22.62	387	8753.9	149769	16.1		
April	18.7	65	1215.5	4225	18.6		
Mei	22.36	142	3175.1	20164	18.0		
Juni	25.31	4	101.2	16	19.1		
Juli	22.82	38	867.2	1444	18.8		
Agustus	29.64	1	29.6	1	19.1		
September	20.59	0	0.0	0	19.1		
Oktober	23.77	0	0.0	0	19.1		
November	17.13	117	2004.2	13689	18.2		
Desember	15.47	112	1732.6	12544	18.3		
Januari	14.58	498	7260.8	248004	15.2		
Febuari	16.31	235	3832.9	55225	17.3		
Maret	15.11	210	3173.1	44100	17.5		
April	16.47	113	1861.1	12769	18.2		
Mei	31	13	403.0	169	19.0	n	60
Juni	24.72	12	296.6	144	19.0	Σxy	185452.2
Juli	22.52	14	315.3	196	19.0	Σx	11322
Agustus	16.63	0	0.0	0	19.1	Σy	1059.2
September	18.13	32	580.2	1024	18.9	Σx^2	3987842
Oktober	17.35	35	607.3	1225	18.9	$(\Sigma x)^2$	1.28E+08
November	24.89	439	10926.7	192721	15.7	b	-0.00779

Desember	15.58	380	5920.4	144400	16.2	a	19.12296
Tahun 2020							
Bulan	PM 2,5 Rata- Rata Perbulan	Wind speed (m/s)	xy	Σx^2	Y Prediksi		
Januari	16.94	3	50.8	9	18.3		
Febuari	20.27	3	60.8	9	18.3		
Maret	18.94	3	56.8	9	18.3		
April	28.87	3	86.6	9	18.3		
Mei	17.07	3	51.2	9	18.3		
Juni	18.94	4	75.8	16	16.6		
Juli	19.64	4	78.6	16	16.6		
Agustus	22.63	4	90.5	16	16.6		
September	18.61	5	93.1	25	15.0		
Oktober	17.64	4	70.6	16	16.6		
November	12.5	4	50.0	16	16.6		
Desember	12.04	0	0.0	0	23.2		
Januari	17.9	4	71.6	16	16.6		
Febuari	22.73	4	90.9	16	16.6		
Maret	15.21	4	60.8	16	16.6		
April	14.77	4	59.1	16	16.6		
Mei	19.18	4	76.7	16	16.6		
Juni	17.93	4	71.7	16	16.6		
Juli	13.85	4	55.4	16	16.6		
Agustus	10.39	4	41.6	16	16.6		
September	9.04	4	36.2	16	16.6		
Oktober	7.42	5	37.1	25	15.0		
November	7.51	3	22.5	9	18.3		
Desember	5.62	4	22.5	16	16.6		
Januari	7.74	4	31.0	16	16.6		
Febuari	12.37	3	37.1	9	18.3		
Maret	10.75	4	43.0	16	16.6		
April	20.2	3	60.6	9	18.3		
Mei	21.21	3	63.6	9	18.3		
Juni	21.4	3	64.2	9	18.3		
Juli	22.13	3	66.4	9	18.3		
Agustus	19.21	4	76.8	16	16.6		
September	15.55	4	62.2	16	16.6		
Oktober	9.22	3	27.7	9	18.3		

November	11.97	3	35.9	9	18.3		
Desember	17.58	3	52.7	9	18.3		
Januari	14.79	3	44.4	9	18.3		
Febuari	17.74	3	53.2	9	18.3		
Maret	22.62	3	67.9	9	18.3		
April	18.7	2	37.4	4	19.9		
Mei	22.36	2	44.7	4	19.9		
Juni	25.31	2	50.6	4	19.9		
Juli	22.82	2	45.6	4	19.9		
Agustus	29.64	3	88.9	9	18.3		
September	20.59	4	82.4	16	16.6		
Oktober	23.77	4	95.1	16	16.6		
November	17.13	4	68.5	16	16.6		
Desember	15.47	4	61.9	16	16.6		
Januari	14.58	4	58.3	16	16.6		
Febuari	16.31	3	48.9	9	18.3		
Maret	15.11	3	45.3	9	18.3		
April	16.47	3	49.4	9	18.3		
Mei	31	3	93.0	9	18.3	n	60
Juni	24.72	3	74.2	9	18.3	Σxy	3521.09
Juli	22.52	3	67.6	9	18.3	Σx	203
Agustus	16.63	4	66.5	16	16.6	Σy	1059.2
September	18.13	3	54.4	9	18.3	Σx^2	725
Oktober	17.35	4	69.4	16	16.6	$(\Sigma x)^2$	41209
November	24.89	3	74.7	9	18.3	b	-1.6378
Desember	15.58	3	46.7	9	18.3	a	23.19456
PM 10 Suhu							
Tahun 2020							
Bulan	PM 10 Rata-Rata perbulan	suhu T (°C)	xy	Σx^2	Y Prediksi		
Januari	18.14	27	489.8	729	19.9		
Febuari	21.76	26.7	581.0	712.89	19.8		
Maret	20.91	26.8	560.4	718.24	19.8		
April	31.48	27.2	856.3	739.84	19.9		
Mei	18.73	27.2	509.5	739.84	19.9		
Juni	20.91	26.6	556.2	707.56	19.7		
Juli	21.3	25.9	551.7	670.81	19.5		
Agustus	22.23	26	578.0	676	19.5		
September	16.87	26.8	452.1	718.24	19.8		
Oktober	13.4	26.7	357.8	712.89	19.8		
November	14.46	26.6	384.6	707.56	19.7		
Desember	14.69	26.9	395.2	723.61	19.8		

Januari	16.37	26.2	428.9	686.44	19.6		
Febuari	18.71	26	486.5	676	19.5		
Maret	17.82	26.3	468.7	691.69	19.6		
April	18.91	26.7	504.9	712.89	19.8		
Mei	24.15	27.1	654.5	734.41	19.9		
Juni	25.23	26.3	663.5	691.69	19.6		
Juli	21.09	26	548.3	676	19.5		
Agustus	16.31	25.9	422.4	670.81	19.5		
September	15.39	26.5	407.8	702.25	19.7		
Oktober	13.14	26.5	348.2	702.25	19.7		
November	13.37	26	347.6	676	19.5		
Desember	17.61	26.3	463.1	691.69	19.6		
Januari	18.14	26.6	482.5	707.56	19.7		
Febuari	14.32	26.4	378.0	696.96	19.6		
Maret	7.65	26.2	200.4	686.44	19.6		
April	13.43	25.5	342.5	650.25	19.3		
Mei	22.93	26.9	616.8	723.61	19.8		
Juni	23.13	25.8	596.8	665.64	19.4		
Juli	27.1	25.5	691.1	650.25	19.3		
Agustus	21	25.7	539.7	660.49	19.4		
September	16.95	26.2	444.1	686.44	19.6		
Oktober	8.65	25.3	218.8	640.09	19.2		
November	12.93	25.6	331.0	655.36	19.3		
Desember	15.66	26	407.2	676	19.5		
Januari	13.09	26.3	344.3	691.69	19.6		
Febuari	15.83	25.9	410.0	670.81	19.5		
Maret	20.19	26.3	531.0	691.69	19.6		
April	16.4	26.6	436.2	707.56	19.7		
Mei	19.42	26.6	516.6	707.56	19.7		
Juni	22.03	26.3	579.4	691.69	19.6		
Juli	19.6	25	490.0	625	19.1		
Agustus	30.78	24.7	760.3	610.09	19.0		
September	24.06	25.4	611.1	645.16	19.3		
Oktober	26.92	27.2	732.2	739.84	19.9		
November	17.88	27.6	493.5	761.76	20.1		
Desember	18.57	27.3	507.0	745.29	20.0		
Januari	17.58	26.5	465.9	702.25	19.7		
Febuari	21.22	26.9	570.8	723.61	19.8		
Maret	18.99	26.9	510.8	723.61	19.8		
April	20.14	27.1	545.8	734.41	19.9		
Mei	31	26.8	830.8	718.24	19.8	n	60
Juni	29.57	26.7	789.5	712.89	19.8	Σxy	31064.82
Juli	27.99	25.5	713.7	650.25	19.3	Σx	1582.1
Agustus	21.94	25.3	555.1	640.09	19.2	Σy	1177.78

September	23.22	26.7	620.0	712.89	19.8	Σx^2	41740.35
Oktober	19.97	27.6	551.2	761.76	20.1	$(\Sigma x)^2$	2503040
November	28.72	26.6	764.0	707.56	19.7	b	0.379245
Desember	17.8	26.4	469.9	696.96	19.6	a	9.629605
Tahun 2020							
Bulan	PM 10 Rata-Rata perbulan	Kelembapan Relatif (RH)	xy	Σx^2	Y Prediksi		
Januari	18.14	82	1487.5	6724	19.6		
Febuari	21.76	84	1827.8	7056	18.2		
Maret	20.91	84	1756.4	7056	18.2		
April	31.48	82	2581.4	6724	19.6		
Mei	18.73	82	1535.9	6724	19.6		
Juni	20.91	79	1651.9	6241	21.8		
Juli	21.3	80	1704.0	6400	21.0		
Agustus	22.23	83	1845.1	6889	18.9		
September	16.87	82	1383.3	6724	19.6		
Oktober	13.4	82	1098.8	6724	19.6		
November	14.46	82	1185.7	6724	19.6		
Desember	14.69	86	1263.3	7396	16.7		
Januari	16.37	83	1358.7	6889	18.9		
Febuari	18.71	85	1590.4	7225	17.5		
Maret	17.82	83	1479.1	6889	18.9		
April	18.91	81	1531.7	6561	20.3		
Mei	24.15	81	1956.2	6561	20.3		
Juni	25.23	84	2119.3	7056	18.2		
Juli	21.09	78	1645.0	6084	22.5		
Agustus	16.31	79	1288.5	6241	21.8		
September	15.39	77	1185.0	5929	23.2		
Oktober	13.14	87	1143.2	7569	16.0		
November	13.37	87	1163.2	7569	16.0		
Desember	17.61	84	1479.2	7056	18.2		
Januari	18.14	81	1469.3	6561	20.3		
Febuari	14.32	82	1174.2	6724	19.6		
Maret	7.65	85	650.3	7225	17.5		
April	13.43	81	1087.8	6561	20.3		
Mei	22.93	82	1880.3	6724	19.6		
Juni	23.13	84	1942.9	7056	18.2		
Juli	27.1	81	2195.1	6561	20.3		

Agustus	21	80	1680.0	6400	21.0		
September	16.95	81	1373.0	6561	20.3		
Oktober	8.65	87	752.6	7569	16.0		
November	12.93	87	1124.9	7569	16.0		
Desember	15.66	85	1331.1	7225	17.5		
Januari	13.09	83	1086.5	6889	18.9		
Febuari	15.83	85	1345.6	7225	17.5		
Maret	20.19	83	1675.8	6889	18.9		
April	16.4	83	1361.2	6889	18.9		
Mei	19.42	79	1534.2	6241	21.8		
Juni	22.03	80	1762.4	6400	21.0		
Juli	19.6	79	1548.4	6241	21.8		
Agustus	30.78	78	2400.8	6084	22.5		
September	24.06	75	1804.5	5625	24.6		
Oktober	26.92	76	2045.9	5776	23.9		
November	17.88	80	1430.4	6400	21.0		
Desember	18.57	80	1485.6	6400	21.0		
Januari	17.58	86	1511.9	7396	16.7		
Febuari	21.22	83	1761.3	6889	18.9		
Maret	18.99	84	1595.2	7056	18.2		
April	20.14	86	1732.0	7396	16.7		
Mei	31	82	2542.0	6724	19.6	n	60
Juni	29.57	81	2395.2	6561	20.3	Σxy	96156.92
Juli	27.99	77	2155.2	5929	23.2	Σx	4918
Agustus	21.94	78	1711.3	6084	22.5	Σy	1177.78
September	23.22	78	1811.2	6084	22.5	Σx^2	403646
Oktober	19.97	77	1537.7	5929	23.2	$(\Sigma x)^2$	24186724
November	28.72	86	2469.9	7396	16.7	b	-0.71503
Desember	17.8	86	1530.8	7396	16.7	a	78.23865
Tahun 2020							
Bulan	PM 10 Rata-Rata perbulan	Curah Hujan (rainfall mm)	xy	Σx^2	Y Prediksi		
Januari	18.14	0	0.0	0	21.7	1	
Febuari	21.76	384	8355.8	147456	17.5	2	
Maret	20.91	552	11542.3	304704	15.6	3	
April	31.48	456	14354.9	207936	16.7	4	
Mei	18.73	248	4645.0	61504	19.0	5	
Juni	20.91	5	104.6	25	21.6	6	

Juli	21.3	10	213.0	100	21.6	7	
Agustus	22.23	15	333.5	225	21.5	8	
September	16.87	30	506.1	900	21.4	9	
Oktober	13.4	178	2385.2	31684	19.7	10	
November	14.46	0	0.0	0	21.7	11	
Desember	14.69	406	5964.1	164836	17.2	12	
Januari	16.37	409	6695.3	167281	17.2	13	
Febuari	18.71	377	7053.7	142129	17.6	14	
Maret	17.82	231	4116.4	53361	19.2	15	
April	18.91	0	0.0	0	21.7	16	
Mei	24.15	9	217.4	81	21.6	17	
Juni	25.23	194	4894.6	37636	19.6	18	
Juli	21.09	13	274.2	169	21.6	19	
Agustus	16.31	9	146.8	81	21.6	20	
September	15.39	120	1846.8	14400	20.4	21	
Oktober	13.14	116	1524.2	13456	20.4	22	
November	13.37	518	6925.7	268324	16.0	23	
Desember	17.61	269	4737.1	72361	18.7	24	
Januari	18.14	244	4426.2	59536	19.0	25	
Febuari	14.32	386	5527.5	148996	17.5	26	
Maret	7.65	349	2669.9	121801	17.9	27	
April	13.43	309	4149.9	95481	18.3	28	
Mei	22.93	169	3875.2	28561	19.8	29	
Juni	23.13	177	4094.0	31329	19.8	30	
Juli	27.1	23	623.3	529	21.4	31	
Agustus	21	75	1575.0	5625	20.9	32	
September	16.95	164	2779.8	26896	19.9	33	
Oktober	8.65	413	3572.5	170569	17.2	34	
November	12.93	576	7447.7	331776	15.4	35	
Desember	15.66	340	5324.4	115600	18.0		
Januari	13.09	264	3455.8	69696	18.8		
Febuari	15.83	437	6917.7	190969	16.9		
Maret	20.19	387	7813.5	149769	17.5		
April	16.4	65	1066.0	4225	21.0		
Mei	19.42	142	2757.6	20164	20.1		
Juni	22.03	4	88.1	16	21.7		
Juli	19.6	38	744.8	1444	21.3		
Agustus	30.78	1	30.8	1	21.7		
September	24.06	0	0.0	0	21.7		
Oktober	26.92	0	0.0	0	21.7		
November	17.88	117	2092.0	13689	20.4		
Desember	18.57	112	2079.8	12544	20.5		
Januari	17.58	498	8754.8	248004	16.2		
Febuari	21.22	235	4986.7	55225	19.1		

Maret	18.99	210	3987.9	44100	19.4		
April	20.14	113	2275.8	12769	20.5		
Mei	31	13	403.0	169	21.6	n	60
Juni	29.57	12	354.8	144	21.6	Σxy	201917
Juli	27.99	14	391.9	196	21.5	Σx	11322
Agustus	21.94	0	0.0	0	21.7	Σy	1177.78
September	23.22	32	743.0	1024	21.4	Σx^2	3987842
Oktober	19.97	35	699.0	1225	21.3	$(\Sigma x)^2$	1.28E+08
November	28.72	439	12608.1	192721	16.9	b	-0.01098
Desember	17.8	380	6764.0	144400	17.5	a	21.70178
Tahun 2020							
Bulan	PM 10 Rata-Rata perbulan	Wind speed (m/s)	xy	Σx^2	Y Prediksi		
Januari	18.14	3	54.4	9	19.8		
Febuari	21.76	3	65.3	9	19.8		
Maret	20.91	3	62.7	9	19.8		
April	31.48	3	94.4	9	19.8		
Mei	18.73	3	56.2	9	19.8		
Juni	20.91	4	83.6	16	19.3		
Juli	21.3	4	85.2	16	19.3		
Agustus	22.23	4	88.9	16	19.3		
September	16.87	5	84.4	25	18.8		
Oktober	13.4	4	53.6	16	19.3		
November	14.46	4	57.8	16	19.3		
Desember	14.69	0	0.0	0	21.3		
Januari	16.37	4	65.5	16	19.3		
Febuari	18.71	4	74.8	16	19.3		
Maret	17.82	4	71.3	16	19.3		
April	18.91	4	75.6	16	19.3		
Mei	24.15	4	96.6	16	19.3		
Juni	25.23	4	100.9	16	19.3		
Juli	21.09	4	84.4	16	19.3		
Agustus	16.31	4	65.2	16	19.3		
September	15.39	4	61.6	16	19.3		
Oktober	13.14	5	65.7	25	18.8		
November	13.37	3	40.1	9	19.8		
Desember	17.61	4	70.4	16	19.3		
Januari	18.14	4	72.6	16	19.3		

Febuari	14.32	3	43.0	9	19.8		
Maret	7.65	4	30.6	16	19.3		
April	13.43	3	40.3	9	19.8		
Mei	22.93	3	68.8	9	19.8		
Juni	23.13	3	69.4	9	19.8		
Juli	27.1	3	81.3	9	19.8		
Agustus	21	4	84.0	16	19.3		
September	16.95	4	67.8	16	19.3		
Oktober	8.65	3	26.0	9	19.8		
November	12.93	3	38.8	9	19.8		
Desember	15.66	3	47.0	9	19.8		
Januari	13.09	3	39.3	9	19.8		
Febuari	15.83	3	47.5	9	19.8		
Maret	20.19	3	60.6	9	19.8		
April	16.4	2	32.8	4	20.3		
Mei	19.42	2	38.8	4	20.3		
Juni	22.03	2	44.1	4	20.3		
Juli	19.6	2	39.2	4	20.3		
Agustus	30.78	3	92.3	9	19.8		
September	24.06	4	96.2	16	19.3		
Oktober	26.92	4	107.7	16	19.3		
November	17.88	4	71.5	16	19.3		
Desember	18.57	4	74.3	16	19.3		
Januari	17.58	4	70.3	16	19.3		
Febuari	21.22	3	63.7	9	19.8		
Maret	18.99	3	57.0	9	19.8		
April	20.14	3	60.4	9	19.8		
Mei	31	3	93.0	9	19.8	n	60
Juni	29.57	3	88.7	9	19.8	Σxy	3966.39
Juli	27.99	3	84.0	9	19.8	Σx	203
Agustus	21.94	4	87.8	16	19.3	Σy	1177.78
September	23.22	3	69.7	9	19.8	Σx^2	725
Oktober	19.97	4	79.9	16	19.3	$(\Sigma x)^2$	41209
November	28.72	3	86.2	9	19.8	b	-0.48273
Desember	17.8	3	53.4	9	19.8	a	21.26291

Lampiran 8 Regresi Linear Berganda

no	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	Curah Hujan (rainfall mm)	Kelembapan Relatif (RH)	Y^2	$X1^2$	$X2^2$	$X1*Y$	$X2*Y$	$X1*X2$	Y prediksi
1	16.94	0	82	287	6724	0	1389	0	0	5.24
2	20.27	384	84	411	7056	147456	1703	7783.7	32256	30.55
3	18.94	552	84	359	7056	304704	1591	10455	46368	41.60
4	28.87	456	82	833	6724	207936	2367	13165	37392	35.23

5	17.07	248	82	291	6724	61504	1400	4233.4	20336	21.55
6	18.94	5	79	359	6241	25	1496	94.7	395	5.49
7	19.64	10	80	386	6400	100	1571	196.4	800	5.85
8	22.63	15	83	512	6889	225	1878	339.45	1245	6.26
9	18.61	30	82	346	6724	900	1526	558.3	2460	7.22
10	17.64	178	82	311	6724	31684	1446	3139.9	14596	16.95
11	12.5	0	82	156	6724	0	1025	0	0	5.24
12	12.04	406	86	145	7396	164836	1035	4888.2	34916	32.05
13	17.9	409	83	320	6889	167281	1486	7321.1	33947	32.17
14	22.73	377	85	517	7225	142129	1932	8569.2	32045	30.12
15	15.21	231	83	231	6889	53361	1262	3513.5	19173	20.46
16	14.77	0	81	218	6561	0	1196	0	0	5.22
17	19.18	9	81	368	6561	81	1554	172.62	729	5.81
18	17.93	194	84	321	7056	37636	1506	3478.4	16296	18.06
19	13.85	13	78	192	6084	169	1080	180.05	1014	5.99
20	10.39	9	79	108	6241	81	821	93.51	711	5.75
21	9.04	120	77	81.7	5929	14400	696	1084.8	9240	13.00
22	7.42	116	87	55.1	7569	13456	646	860.72	10092	13.01
23	7.51	518	87	56.4	7569	268324	653	3890.2	45066	39.45
24	5.62	269	84	31.6	7056	72361	472	1511.8	22596	22.99
25	7.74	244	81	59.9	6561	59536	627	1888.6	19764	21.26
26	12.37	386	82	153	6724	148996	1014	4774.8	31652	30.63
27	10.75	349	85	116	7225	121801	914	3751.8	29665	28.28
28	20.2	309	81	408	6561	95481	1636	6241.8	25029	25.54
29	21.21	169	82	450	6724	28561	1739	3584.5	13858	16.36
30	21.4	177	84	458	7056	31329	1798	3787.8	14868	16.94
31	22.13	23	81	490	6561	529	1793	508.99	1863	6.73
32	19.21	75	80	369	6400	5625	1537	1440.8	6000	10.12
33	15.55	164	81	242	6561	26896	1260	2550.2	13284	16.00
34	9.22	413	87	85	7569	170569	802	3807.9	35931	32.54
35	11.97	576	87	143	7569	331776	1041	6894.7	50112	43.26
36	17.58	340	85	309	7225	115600	1494	5977.2	28900	27.69
37	14.79	264	83	219	6889	69696	1228	3904.6	21912	22.63
38	17.74	437	85	315	7225	190969	1508	7752.4	37145	34.07
39	22.62	387	83	512	6889	149769	1877	8753.9	32121	30.72
40	18.7	65	83	350	6889	4225	1552	1215.5	5395	9.55
41	22.36	142	79	500	6241	20164	1766	3175.1	11218	14.50
42	25.31	4	80	641	6400	16	2025	101.24	320	5.45
43	22.82	38	79	521	6241	1444	1803	867.16	3002	7.66
44	29.64	1	78	879	6084	1	2312	29.64	78	5.20
45	20.59	0	75	424	5625	0	1544	0	0	5.05
46	23.77	0	76	565	5776	0	1807	0	0	5.08
47	17.13	117	80	293	6400	13689	1370	2004.2	9360	12.88
48	15.47	112	80	239	6400	12544	1238	1732.6	8960	12.56

19	21.09	13	78	445	6084	169	1645	274.17	1014	5.99
20	16.31	9	79	266	6241	81	1288	146.79	711	5.75
21	15.39	120	77	237	5929	14400	1185	1846.8	9240	13.00
22	13.14	116	87	173	7569	13456	1143	1524.2	10092	13.01
23	13.37	518	87	179	7569	268324	1163	6925.7	45066	39.45
24	17.61	269	84	310	7056	72361	1479	4737.1	22596	22.99
25	18.14	244	81	329	6561	59536	1469	4426.2	19764	21.26
26	14.32	386	82	205	6724	148996	1174	5527.5	31652	30.63
27	7.65	349	85	58.5	7225	121801	650	2669.9	29665	28.28
28	13.43	309	81	180	6561	95481	1088	4149.9	25029	25.54
29	22.93	169	82	526	6724	28561	1880	3875.2	13858	16.36
30	23.13	177	84	535	7056	31329	1943	4094	14868	16.94
31	27.1	23	81	734	6561	529	2195	623.3	1863	6.73
32	21	75	80	441	6400	5625	1680	1575	6000	10.12
33	16.95	164	81	287	6561	26896	1373	2779.8	13284	16.00
34	8.65	413	87	74.8	7569	170569	753	3572.5	35931	32.54
35	12.93	576	87	167	7569	331776	1125	7447.7	50112	43.26
36	15.66	340	85	245	7225	115600	1331	5324.4	28900	27.69
37	13.09	264	83	171	6889	69696	1086	3455.8	21912	22.63
38	15.83	437	85	251	7225	190969	1346	6917.7	37145	34.07
39	20.19	387	83	408	6889	149769	1676	7813.5	32121	30.72
40	16.4	65	83	269	6889	4225	1361	1066	5395	9.55
41	19.42	142	79	377	6241	20164	1534	2757.6	11218	14.50
42	22.03	4	80	485	6400	16	1762	88.12	320	5.45
43	19.6	38	79	384	6241	1444	1548	744.8	3002	7.66
44	30.78	1	78	947	6084	1	2401	30.78	78	5.20
45	24.06	0	75	579	5625	0	1805	0	0	5.05
46	26.92	0	76	725	5776	0	2046	0	0	5.08
47	17.88	117	80	320	6400	13689	1430	2092	9360	12.88
48	18.57	112	80	345	6400	12544	1486	2079.8	8960	12.56
49	17.58	498	86	309	7396	248004	1512	8754.8	42828	38.10
50	21.22	235	83	450	6889	55225	1761	4986.7	19505	20.73
51	18.99	210	84	361	7056	44100	1595	3987.9	17640	19.11
52	20.14	113	86	406	7396	12769	1732	2275.8	9718	12.78
53	31	13	82	961	6724	169	2542	403	1066	6.10
54	29.57	12	81	874	6561	144	2395	354.84	972	6.01
55	27.99	14	77	783	5929	196	2155	391.86	1078	6.03
56	21.94	0	78	481	6084	0	1711	0	0	5.14
57	23.22	32	78	539	6084	1024	1811	743.04	2496	7.24
58	19.97	35	77	399	5929	1225	1538	698.95	2695	7.41
59	28.72	439	86	825	7396	192721	2470	12608	37754	34.22
60	17.8	380	86	317	7396	144400	1531	6764	32680	30.34
Total	1177.8	11322	4918	#####	4E+05	4E+06	#####	201917	950542	
$\Sigma x1^2$	-2E+06	b1	0.07314206							

Σx^2	4E+06	b2	0.02893705	Y	X1	X2				
Σy^2	1608.3	a1	3.45588545	3.46	0.073	0.0289				
$\Sigma x1Y$	-1E+05									
$\Sigma x2Y$	105378									
$\Sigma x1x2$	22515									

Lampiran 9 Hasil Persamaan Regresi Linear Sederhana dan Berganda

Jenis regresi	Variabel Dependent y	Intercept (a)	b untuk x1				b untuk x2			
			suhu	kelembapan	curah hujan	Kecepatan angin	suhu	kelembapan	curah hujan	Kecepatan angin
Sederhana	Pm 2,5	17.64	0.0005							
	Pm 2,5	17.59		0.0008						
	Pm 2,5	19.12			-0.0078					
	Pm 2,5	23.19				0.3792				
	Pm 10	9.63	0.3792							
	Pm 10	78.24		-0.7150						
	Pm 10	21.70			-0.0110					
Berganda	Pm 2,5	3.02			0.0658		0.0271			
	Pm 10	3.46			0.0731		0.0289			

Lampiran 10 Hasil Regresi R² dan R

Variabel pasangan	Persamaan Regresi Y=a+bX	R ²	R	Nilai RMSE
PM 2,5 Rata-Rata Perbulan - suhu T (°C)	y=17,64+0,0004 x	0.002	0.049	5.42
PM 2,5 Rata-Rata Perbulan-Kelembaban Relatif	y=17,58+0,0008 x	0.097	0.312	5.42
PM 2,5 Rata-Rata Perbulan-Curah Hujan	y=19,12+-0,008 x	0.064	0.252	5.25
PM 2,5 Rata-Rata Perbulan - Kecepatan Angin	y=23,20+0,38 x	0.058	0.241	5.26
PM 10 Rata-Rata Perbulan - suhu T (°C)	y=9,62+0.38 x	0.002	0.045	5.17
PM 10 Rata-Rata Perbulan-Kelembaban Relatif	y=78,23+-0,71 x	0.170	0.412	4.72
PM 10 Rata-Rata Perbulan-Curah Hujan	y=21,70+-0,011 x	0.139	0.373	4.80
PM 10 Rata-Rata Perbulan - Kecepatan Angin	y=21,26+-0,48 x	0.006	0.074	5.16
Pasangan Variabel Berganda	Y=a+b1X1+b2X2	R ²	R	Nilai RMSE
PM 2,5-curah hujan-kelembaban	y =3.021393726+0.065768429 x1 +0.027101714 x2	0.099	0.314	14.003021
PM 10-curah hujan-kelembaban	y =3.455885449+0.073142064 x1+0.028937052 x2	0.182	0.427	14.506463

Lampiran 11 Analisis Root Mean Square Error (RMSE)

PM 2,5 -Suhu			
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)
2020	Januari	16.94	17.6536
	Febuari	20.27	17.6535
	Maret	18.94	17.6535
	April	28.87	17.6537
	Mei	17.07	17.6537
	Juni	18.94	17.6534
	Juli	19.64	17.6531

PM 2,5 -Suhu				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	RMSE Suhu 5 Tahun
	Agustus	22.63	17.6532	
	September	18.61	17.6535	
	Oktober	17.64	17.6535	
	November	12.50	17.6534	
	Desember	12.04	17.6536	
2021	Januari	17.90	17.6533	
	Febuari	22.73	17.6532	
	Maret	15.21	17.6533	
	April	14.77	17.6535	
	Mei	19.18	17.6537	
	Juni	17.93	17.6533	
	Juli	13.85	17.6532	
	Agustus	10.39	17.6531	
	September	9.04	17.6534	
	Oktober	7.42	17.6534	
	November	7.51	17.6532	
	Desember	5.62	17.6533	
2022	Januari	7.74	17.6534	
	Febuari	12.37	17.6533	
	Maret	10.75	17.6533	
	April	20.2	17.6529	
	Mei	21.21	17.6536	
	Juni	21.4	17.6531	
	Juli	22.13	17.6529	
	Agustus	19.21	17.6530	
	September	15.55	17.6533	
	Oktober	9.22	17.6528	
	November	11.97	17.6530	
	Desember	17.58	17.6532	
2023	Januari	14.79	17.6533	
	Febuari	17.74	17.6531	
	Maret	22.62	17.6533	
	April	18.7	17.6534	
	Mei	22.36	17.6534	
	Juni	25.31	17.6533	
	Juli	22.82	17.6527	
	Agustus	29.64	17.6526	
	September	20.59	17.6529	
	Oktober	23.77	17.6537	
	November	17.13	17.6539	
Desember	15.47	17.6538		
2024	Januari	14.58	17.6534	

PM 2,5 -Suhu				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	RMSE Suhu 5 Tahun
	Febuari	16.31	17.6536	
	Maret	15.11	17.6536	
	April	16.47	17.6537	
	Mei	31	17.6535	
	Juni	24.72	17.6535	
	Juli	22.52	17.6529	
	Agustus	16.63	17.6528	
	September	18.13	17.6535	
	Oktober	17.35	17.6539	
	November	24.89	17.6534	
	Desember	15.58	17.6533	

PM 2,5 -Kelembapan				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	Kelembapan Relatif (RH)	RMSE Kelembapan 5 Tahun
2020	Januari	16.94	17.6534	5.421837336
	Febuari	20.27	17.6549	
	Maret	18.94	17.6549	
	April	28.87	17.6534	
	Mei	17.07	17.6534	
	Juni	18.94	17.6510	
	Juli	19.64	17.6518	
	Agustus	22.63	17.6541	
	September	18.61	17.6534	
	Oktober	17.64	17.6534	
	November	12.50	17.6534	
	Desember	12.04	17.6565	
2021	Januari	17.90	17.6541	
	Febuari	22.73	17.6557	
	Maret	15.21	17.6541	
	April	14.77	17.6526	
	Mei	19.18	17.6526	
	Juni	17.93	17.6549	
	Juli	13.85	17.6502	
	Agustus	10.39	17.6510	
	September	9.04	17.6494	
	Oktober	7.42	17.6573	
	November	7.51	17.6573	
Desember	5.62	17.6549		
2022	Januari	7.74	17.6526	
	Febuari	12.37	17.6534	
	Maret	10.75	17.6557	

PM 2,5 -Suhu				RMSE Suhu 5 Tahun
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	
	April	20.2	17.6526	
	Mei	21.21	17.6534	
	Juni	21.4	17.6549	
	Juli	22.13	17.6526	
	Agustus	19.21	17.6518	
	September	15.55	17.6526	
	Oktober	9.22	17.6573	
	November	11.97	17.6573	
	Desember	17.58	17.6557	
2023	Januari	14.79	17.6541	
	Febuari	17.74	17.6557	
	Maret	22.62	17.6541	
	April	18.7	17.6541	
	Mei	22.36	17.6510	
	Juni	25.31	17.6518	
	Juli	22.82	17.6510	
	Agustus	29.64	17.6502	
	September	20.59	17.6478	
	Oktober	23.77	17.6486	
	November	17.13	17.6518	
	Desember	15.47	17.6518	
2024	Januari	14.58	17.6565	
	Febuari	16.31	17.6541	
	Maret	15.11	17.6549	
	April	16.47	17.6565	
	Mei	31	17.6534	
	Juni	24.72	17.6526	
	Juli	22.52	17.6494	
	Agustus	16.63	17.6502	
	September	18.13	17.6502	
	Oktober	17.35	17.6494	
	November	24.89	17.6565	
	Desember	15.58	17.6565	

PM 2,5 -Curah Hujan				RMSE Curah Hujan 5 Tahun
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	Curah Hujan (rainfall mm)	
2020	Januari	16.94	19.1230	
	Febuari	20.27	16.1323	
	Maret	18.94	14.8239	
	April	28.87	15.5716	
	Mei	17.07	17.1915	

PM 2,5 -Suhu				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	RMSE Suhu 5 Tahun
	Juni	18.94	19.0840	
	Juli	19.64	19.0451	
	Agustus	22.63	19.0061	
	September	18.61	18.8893	
	Oktober	17.64	17.7367	
	November	12.50	19.1230	
	Desember	12.04	15.9610	
2021	Januari	17.90	15.9376	
	Febuari	22.73	16.1868	
	Maret	15.21	17.3239	
	April	14.77	19.1230	
	Mei	19.18	19.0529	
	Juni	17.93	17.6121	
	Juli	13.85	19.0217	
	Agustus	10.39	19.0529	
	September	9.04	18.1884	
	Oktober	7.42	18.2195	
	November	7.51	15.0887	
	Desember	5.62	17.0279	
2022	Januari	7.74	17.2226	
	Febuari	12.37	16.1167	
	Maret	10.75	16.4049	
	April	20.2	16.7164	
	Mei	21.21	17.8068	
	Juni	21.4	17.7445	
	Juli	22.13	18.9438	
	Agustus	19.21	18.5388	
	September	15.55	17.8457	
	Oktober	9.22	15.9065	
	November	11.97	14.6370	
	Desember	17.58	16.4750	
2023	Januari	14.79	17.0669	
	Febuari	17.74	15.7195	
	Maret	22.62	16.1089	
	April	18.7	18.6167	
	Mei	22.36	18.0170	
	Juni	25.31	19.0918	
	Juli	22.82	18.8270	
	Agustus	29.64	19.1152	
	September	20.59	19.1230	
	Oktober	23.77	19.1230	
	November	17.13	18.2117	

PM 2,5 -Suhu				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	RMSE Suhu 5 Tahun
2024	Desember	15.47	18.2507	
	Januari	14.58	15.2445	
	Febuari	16.31	17.2927	
	Maret	15.11	17.4874	
	April	16.47	18.2429	
	Mei	31	19.0217	
	Juni	24.72	19.0295	
	Juli	22.52	19.0139	
	Agustus	16.63	19.1230	
	September	18.13	18.8737	
	Oktober	17.35	18.8504	
	November	24.89	15.7040	
	Desember	15.58	16.1635	

PM 2,5 -Kecepatan Angin				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	Wind speed (m/s)	RMSE Wind speed (m/s) 5 Tahun
2020	Januari	16.94	18.2812	5.261302714
	Febuari	20.27	18.2812	
	Maret	18.94	18.2812	
	April	28.87	18.2812	
	Mei	17.07	18.2812	
	Juni	18.94	16.6434	
	Juli	19.64	16.6434	
	Agustus	22.63	16.6434	
	September	18.61	15.0056	
	Oktober	17.64	16.6434	
	November	12.50	16.6434	
	Desember	12.04	23.1946	
2021	Januari	17.90	16.6434	
	Febuari	22.73	16.6434	
	Maret	15.21	16.6434	
	April	14.77	16.6434	
	Mei	19.18	16.6434	
	Juni	17.93	16.6434	
	Juli	13.85	16.6434	
	Agustus	10.39	16.6434	
	September	9.04	16.6434	
	Oktober	7.42	15.0056	
	November	7.51	18.2812	
Desember	5.62	16.6434		
2022	Januari	7.74	16.6434	

PM 2,5 -Suhu				RMSE Suhu 5 Tahun
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	
	Febuari	12.37	18.2812	
	Maret	10.75	16.6434	
	April	20.2	18.2812	
	Mei	21.21	18.2812	
	Juni	21.4	18.2812	
	Juli	22.13	18.2812	
	Agustus	19.21	16.6434	
	September	15.55	16.6434	
	Oktober	9.22	18.2812	
	November	11.97	18.2812	
	Desember	17.58	18.2812	
2023	Januari	14.79	18.2812	
	Febuari	17.74	18.2812	
	Maret	22.62	18.2812	
	April	18.7	19.9190	
	Mei	22.36	19.9190	
	Juni	25.31	19.9190	
	Juli	22.82	19.9190	
	Agustus	29.64	18.2812	
	September	20.59	16.6434	
	Oktober	23.77	16.6434	
	November	17.13	16.6434	
Desember	15.47	16.6434		
2024	Januari	14.58	16.6434	
	Febuari	16.31	18.2812	
	Maret	15.11	18.2812	
	April	16.47	18.2812	
	Mei	31	18.2812	
	Juni	24.72	18.2812	
	Juli	22.52	18.2812	
	Agustus	16.63	16.6434	
	September	18.13	18.2812	
	Oktober	17.35	16.6434	
	November	24.89	18.2812	
Desember	15.58	18.2812		

PM 10 -Suhu				RMSE Suhu 5 Tahun
	Bulan	PM 10 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	
2020	Januari	18.14	19.87	
	Febuari	21.76	19.76	
	Maret	20.91	19.79	
	April	31.48	19.95	

PM 2,5 -Suhu				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	RMSE Suhu 5 Tahun
	Mei	18.73	19.95	
	Juni	20.91	19.72	
	Juli	21.30	19.45	
	Agustus	22.23	19.49	
	September	16.87	19.79	
	Oktober	13.40	19.76	
	November	14.46	19.72	
	Desember	14.69	19.83	
2021	Januari	16.37	19.57	
	Febuari	18.71	19.49	
	Maret	17.82	19.60	
	April	18.91	19.76	
	Mei	24.15	19.91	
	Juni	25.23	19.60	
	Juli	21.09	19.49	
	Agustus	16.31	19.45	
	September	15.39	19.68	
	Oktober	13.14	19.68	
	November	13.37	19.49	
	Desember	17.61	19.60	
2022	Januari	18.14	19.72	
	Febuari	14.32	19.64	
	Maret	7.65	19.57	
	April	13.43	19.30	
	Mei	22.93	19.83	
	Juni	23.13	19.41	
	Juli	27.10	19.30	
	Agustus	21.00	19.38	
	September	16.95	19.57	
	Oktober	8.65	19.22	
	November	12.93	19.34	
	Desember	15.66	19.49	
2023	Januari	13.09	19.60	
	Febuari	15.83	19.45	
	Maret	20.19	19.60	
	April	16.40	19.72	
	Mei	19.42	19.72	
	Juni	22.03	19.60	
	Juli	19.60	19.11	
	Agustus	30.78	19.00	
	September	24.06	19.26	
	Oktober	26.92	19.95	

PM 2,5 -Suhu				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	RMSE Suhu 5 Tahun
	November	17.88	20.10	
	Desember	18.57	19.98	
2024	Januari	17.58	19.68	
	Febuari	21.22	19.83	
	Maret	18.99	19.83	
	April	20.14	19.91	
	Mei	31.00	19.79	
	Juni	29.57	19.76	
	Juli	27.99	19.30	
	Agustus	21.94	19.22	
	September	23.22	19.76	
	Oktober	19.97	20.10	
	November	28.72	19.72	
	Desember	17.80	19.64	

PM 10 -Kelembapan Relatif (RH)				
	Bulan	PM 10 Rata-Rata Perbulan	Kelembapan Relatif (RH)	RMSE Kelembapan Relatif (RH) 5 Tahun
2020	Januari	18.14	19.6058	4.717496701
	Febuari	21.76	18.1758	
	Maret	20.91	18.1758	
	April	31.48	19.6058	
	Mei	18.73	19.6058	
	Juni	20.91	21.7509	
	Juli	21.30	21.0359	
	Agustus	22.23	18.8908	
	September	16.87	19.6058	
	Oktober	13.40	19.6058	
	November	14.46	19.6058	
	Desember	14.69	16.7457	
2021	Januari	16.37	18.8908	
	Febuari	18.71	17.4607	
	Maret	17.82	18.8908	
	April	18.91	20.3209	
	Mei	24.15	20.3209	
	Juni	25.23	18.1758	
	Juli	21.09	22.4660	
	Agustus	16.31	21.7509	
	September	15.39	23.1810	
	Oktober	13.14	16.0307	
	November	13.37	16.0307	
Desember	17.61	18.1758		
2022	Januari	18.14	20.3209	

PM 2,5 -Suhu				RMSE Suhu 5 Tahun
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	
	Febuari	14.32	19.6058	
	Maret	7.65	17.4607	
	April	13.43	20.3209	
	Mei	22.93	19.6058	
	Juni	23.13	18.1758	
	Juli	27.10	20.3209	
	Agustus	21.00	21.0359	
	September	16.95	20.3209	
	Oktober	8.65	16.0307	
	November	12.93	16.0307	
	Desember	15.66	17.4607	
	2023	Januari	13.09	18.8908
Febuari		15.83	17.4607	
Maret		20.19	18.8908	
April		16.40	18.8908	
Mei		19.42	21.7509	
Juni		22.03	21.0359	
Juli		19.60	21.7509	
Agustus		30.78	22.4660	
September		24.06	24.6111	
Oktober		26.92	23.8960	
November		17.88	21.0359	
Desember		18.57	21.0359	
2024	Januari	17.58	16.7457	
	Febuari	21.22	18.8908	
	Maret	18.99	18.1758	
	April	20.14	16.7457	
	Mei	31.00	19.6058	
	Juni	29.57	20.3209	
	Juli	27.99	23.1810	
	Agustus	21.94	22.4660	
	September	23.22	22.4660	
	Oktober	19.97	23.1810	
	November	28.72	16.7457	
	Desember	17.80	16.7457	

PM 10 -Curah Hujan (rainfall mm)				RMSE Curah Hujan (rainfall mm) 5 Tahun
	Bulan	PM 10 Rata-Rata Perbulan	Curah Hujan (rainfall mm)	
2020	Januari	18.14	21.7018	
	Febuari	21.76	17.4851	
	Maret	20.91	15.6403	

PM 2,5 -Suhu				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	RMSE Suhu 5 Tahun
	April	31.48	16.6944	
	Mei	18.73	18.9785	
	Juni	20.91	21.6469	
	Juli	21.30	21.5920	
	Agustus	22.23	21.5371	
	September	16.87	21.3724	
	Oktober	13.40	19.7472	
	November	14.46	21.7018	
	Desember	14.69	17.2435	
2021	Januari	16.37	17.2105	
	Febuari	18.71	17.5619	
	Maret	17.82	19.1652	
	April	18.91	21.7018	
	Mei	24.15	21.6030	
	Juni	25.23	19.5715	
	Juli	21.09	21.5590	
	Agustus	16.31	21.6030	
	September	15.39	20.3841	
	Oktober	13.14	20.4280	
	November	13.37	16.0136	
	Desember	17.61	18.7479	
2022	Januari	18.14	19.0224	
	Febuari	14.32	17.4631	
	Maret	7.65	17.8694	
	April	13.43	18.3087	
	Mei	22.93	19.8460	
	Juni	23.13	19.7581	
	Juli	27.10	21.4492	
	Agustus	21.00	20.8782	
	September	16.95	19.9009	
	Oktober	8.65	17.1666	
	November	12.93	15.3767	
	Desember	15.66	17.9682	
2023	Januari	13.09	18.8028	
	Febuari	15.83	16.9031	
	Maret	20.19	17.4521	
	April	16.40	20.9880	
	Mei	19.42	20.1425	
	Juni	22.03	21.6579	
	Juli	19.60	21.2845	
	Agustus	30.78	21.6908	
	September	24.06	21.7018	

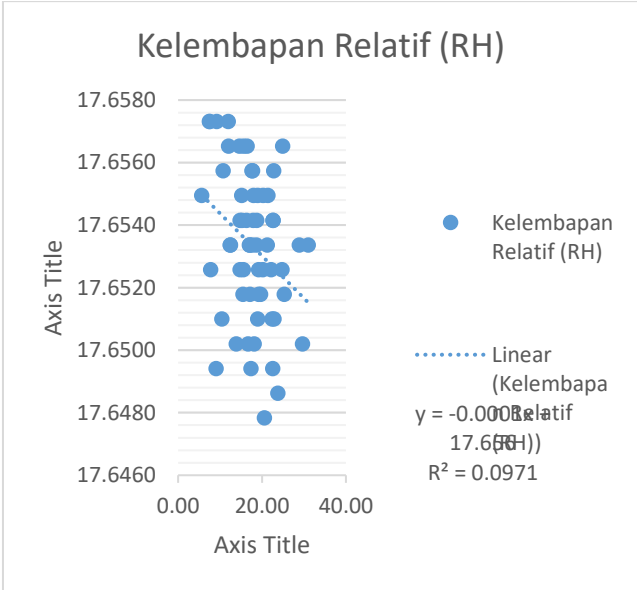
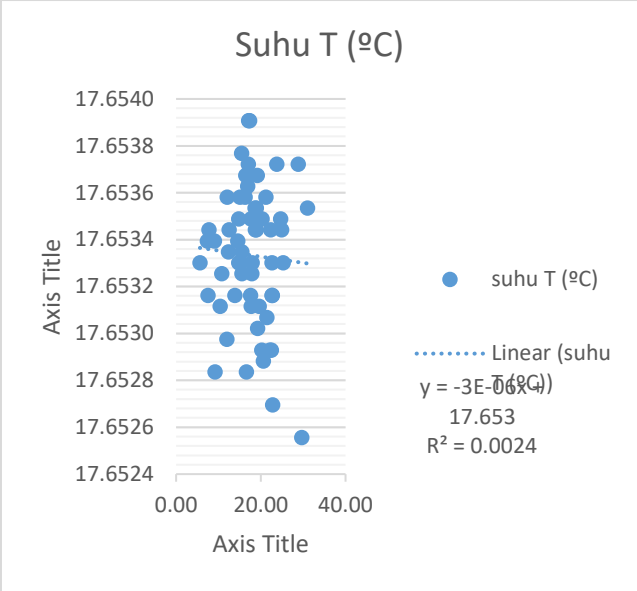
PM 2,5 -Suhu				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	RMSE Suhu 5 Tahun
	Oktober	26.92	21.7018	
	November	17.88	20.4170	
	Desember	18.57	20.4719	
2024	Januari	17.58	16.2332	
	Febuari	21.22	19.1212	
	Maret	18.99	19.3958	
	April	20.14	20.4609	
	Mei	31.00	21.5590	
	Juni	29.57	21.5700	
	Juli	27.99	21.5481	
	Agustus	21.94	21.7018	
	September	23.22	21.3504	
	Oktober	19.97	21.3174	
	November	28.72	16.8811	
	Desember	17.80	17.5290	

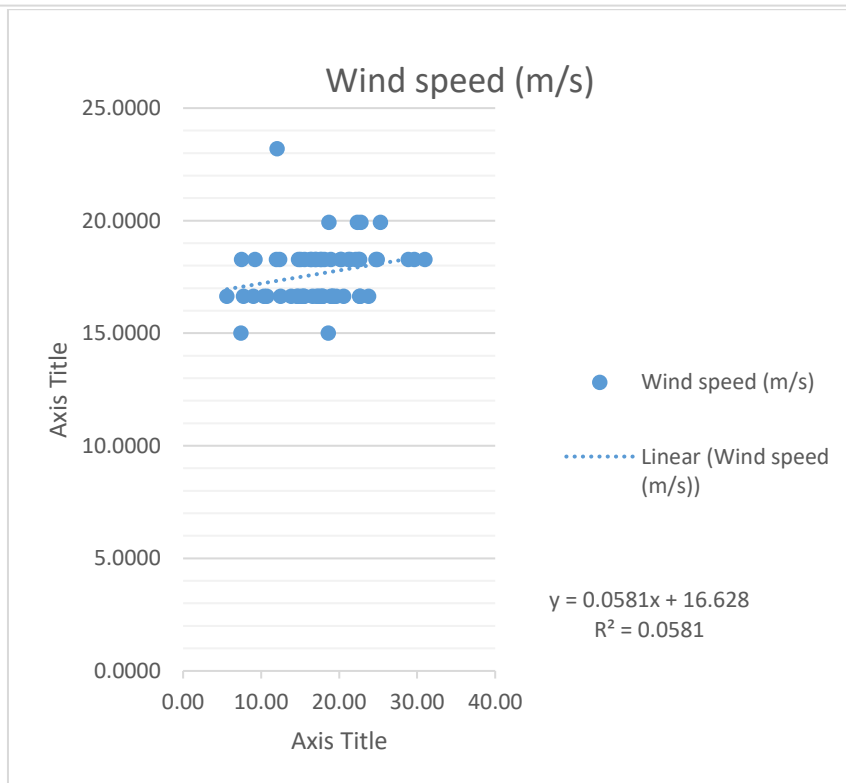
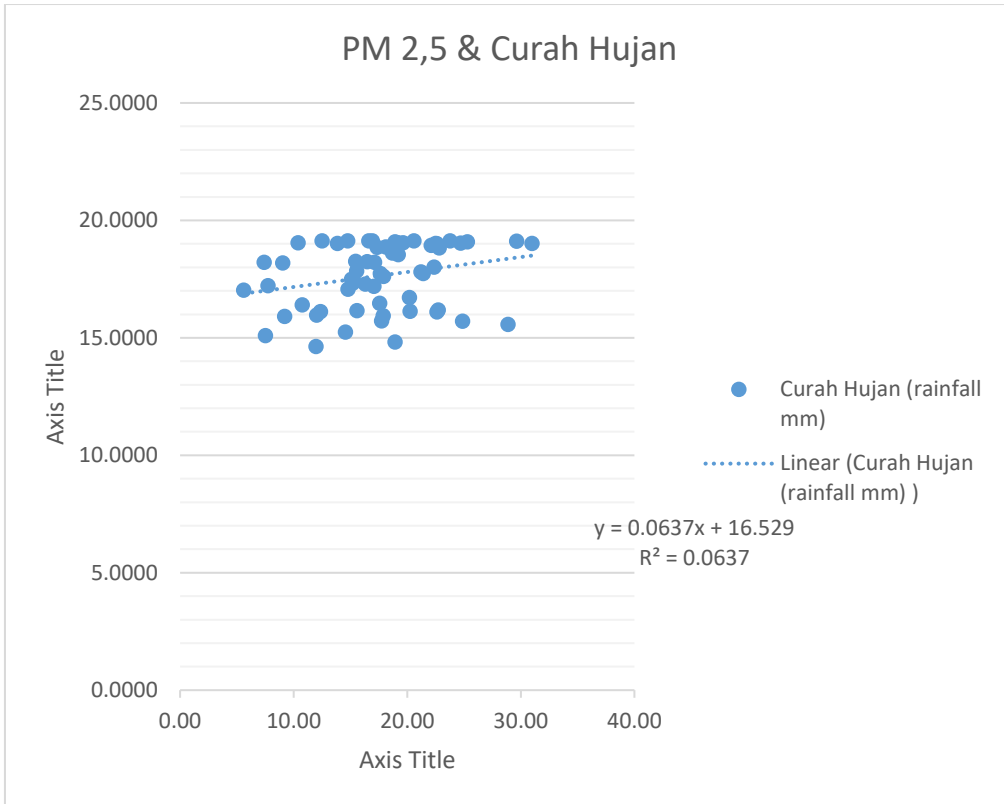
PM 10 -Wind speed (m/s)				
	Bulan	PM 10 Rata-Rata Perbulan	Wind speed (m/s)	RMSE Wind speed (m/s) 5 Tahun
2020	Januari	18.14	19.8147	5.162968959
	Febuari	21.76	19.8147	
	Maret	20.91	19.8147	
	April	31.48	19.8147	
	Mei	18.73	19.8147	
	Juni	20.91	19.3320	
	Juli	21.30	19.3320	
	Agustus	22.23	19.3320	
	September	16.87	18.8492	
	Oktober	13.40	19.3320	
	November	14.46	19.3320	
	Desember	14.69	21.2629	
2021	Januari	16.37	19.3320	
	Febuari	18.71	19.3320	
	Maret	17.82	19.3320	
	April	18.91	19.3320	
	Mei	24.15	19.3320	
	Juni	25.23	19.3320	
	Juli	21.09	19.3320	
	Agustus	16.31	19.3320	
	September	15.39	19.3320	
	Oktober	13.14	18.8492	
	November	13.37	19.8147	
	Desember	17.61	19.3320	

PM 2,5 -Suhu				
	Bulan	PM 2,5 Rata-Rata Perbulan	suhu T (°C)	RMSE Suhu 5 Tahun
2022	Januari	18.14	19.3320	
	Febuari	14.32	19.8147	
	Maret	7.65	19.3320	
	April	13.43	19.8147	
	Mei	22.93	19.8147	
	Juni	23.13	19.8147	
	Juli	27.10	19.8147	
	Agustus	21.00	19.3320	
	September	16.95	19.3320	
	Oktober	8.65	19.8147	
	November	12.93	19.8147	
	Desember	15.66	19.8147	
2023	Januari	13.09	19.8147	
	Febuari	15.83	19.8147	
	Maret	20.19	19.8147	
	April	16.40	20.2974	
	Mei	19.42	20.2974	
	Juni	22.03	20.2974	
	Juli	19.60	20.2974	
	Agustus	30.78	19.8147	
	September	24.06	19.3320	
	Oktober	26.92	19.3320	
	November	17.88	19.3320	
	Desember	18.57	19.3320	
2024	Januari	17.58	19.3320	
	Febuari	21.22	19.8147	
	Maret	18.99	19.8147	
	April	20.14	19.8147	
	Mei	31.00	19.8147	
	Juni	29.57	19.8147	
	Juli	27.99	19.8147	
	Agustus	21.94	19.3320	
	September	23.22	19.8147	
	Oktober	19.97	19.3320	
	November	28.72	19.8147	
	Desember	17.80	19.8147	

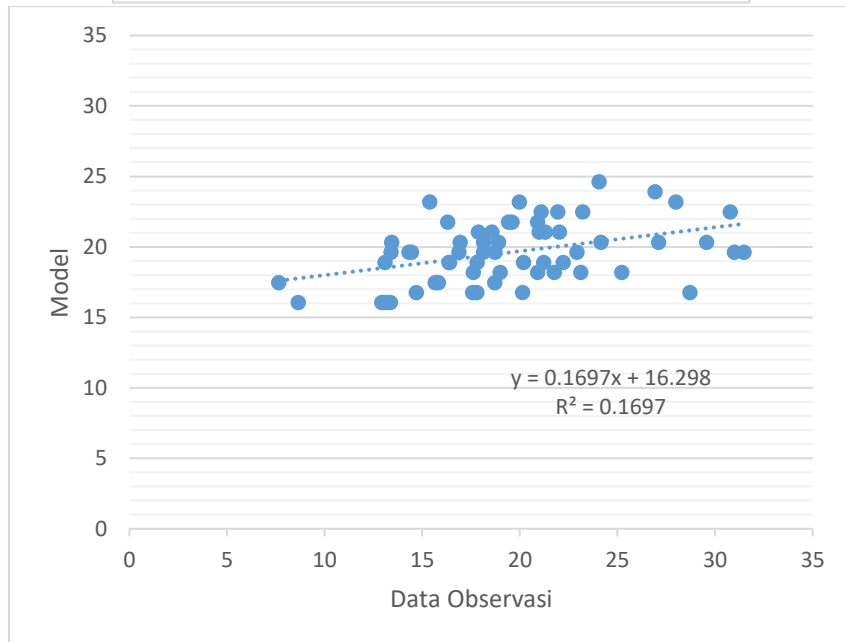
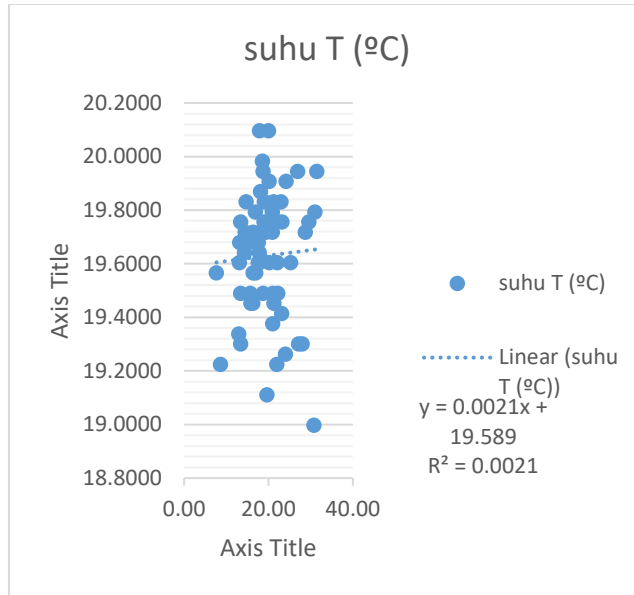
Lampiran 12 Grafik hasil regresi

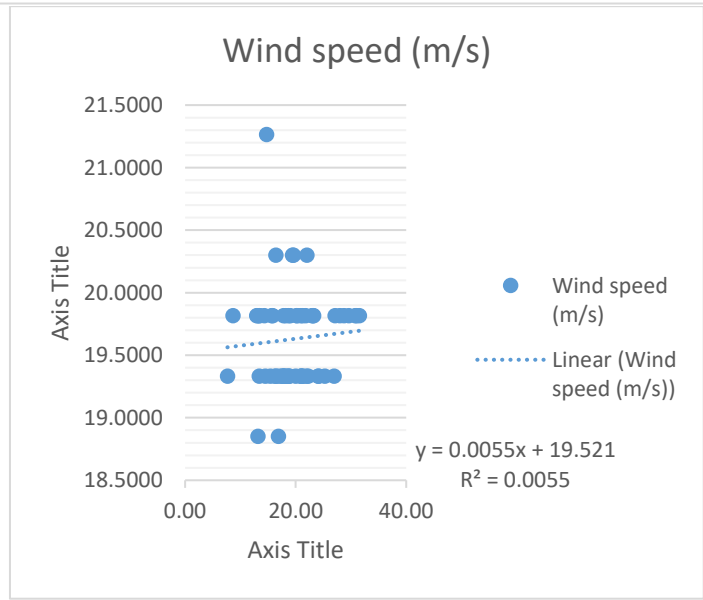
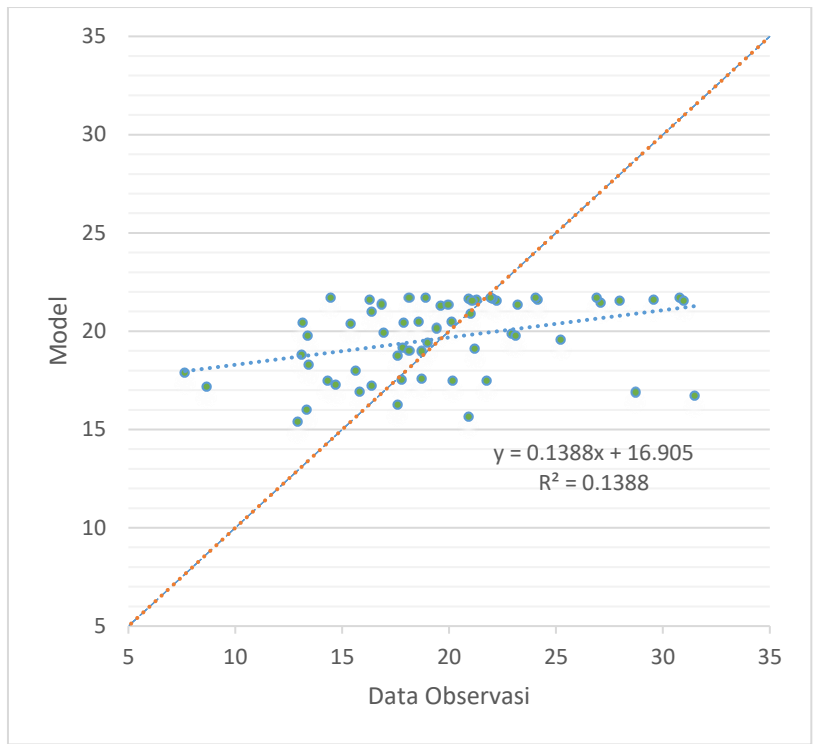
PM 2,5



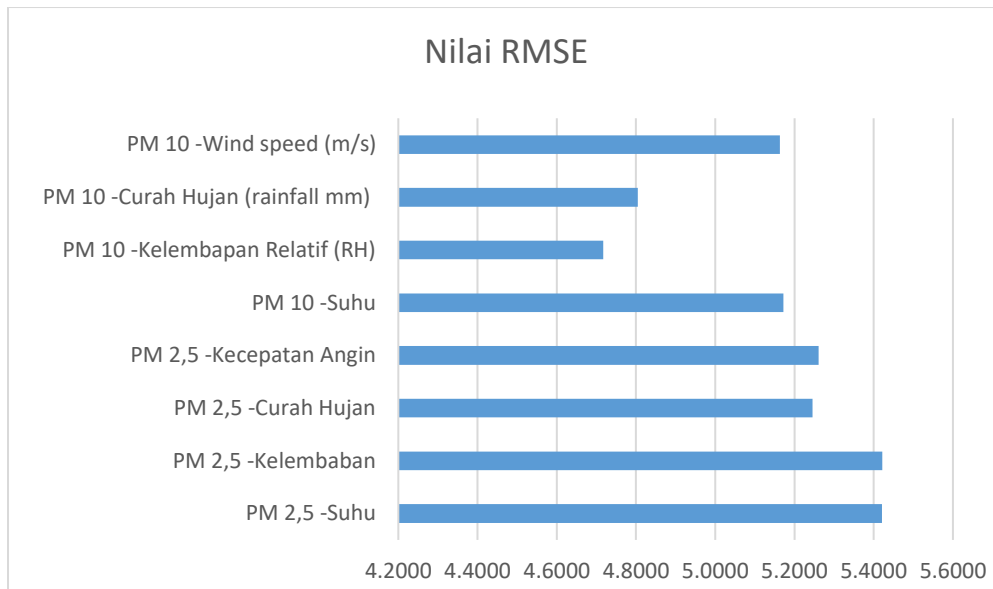


PM 10





Lampiran 13 Grafik RMSE



Lampiran 14 Dokumentasi pengambilan sampel

Gambar Pengukur cuaca Automatis curah hujan, suhu, kelembapan, kecepatan dan arah angin dan Penakar Hujan otomatis



Sensor Arah Dan Kecepatan Angin





Alat Perhitungan suhu Manual







Alat Pengukur Kecepatan angin

RIWAYAT HIDUP



Rafi Rabbani Shiddiq, lahir di Cirebon pada 25 Agustus 2001, adalah anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Evy Kurniawan dan Ira Iriani Ramadhani. saya menempuh pendidikan menengah kejuruan di SMK Daarut Tauhiid Boarding School dengan mengambil jurusan Teknik Komputer Jaringan (TKJ). Selama masa studi tersebut, Saya aktif mengembangkan keahlian non-akademik yang sangat menunjang kompetensinya, seperti merancang desain UI/UX untuk website dan membuat konten visual (*feeds*) serta beberapa artikel yang informatif mengenai dunia otomotif dan lainnya.