

TUGAS AKHIR
STUDI RELASI ANTARA PARAMETER METEOROLOGIS
DENGAN TINGKAT PENCEMARAN UDARA SECARA
TEMPORAL DI KOTA YOGYAKARTA

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



AVRIASTRI HAYYU GUSMARANTI

20513209

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

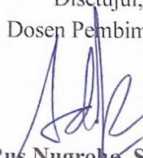
TUGAS AKHIR
STUDI RELASI ANTARA PARAMETER METEOROLOGIS
DENGAN TINGKAT PENCEMARAN UDARA SECARA
TEMPORAL DI YOGYAKARTA

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

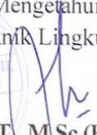


Disusun Oleh:
Avriastri Hayyu Gusmaranti
20513209

Disetujui,
Dosen Pembimbing


Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
Tanggal: 21 Agustus 2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII


Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.
Tanggal: 21 Agustus 2024

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI RELASI ANTARA PARAMETER METEOROLOGIS
DENGAN TINGKAT PENCEMARAN UDARA SECARA
TEMPORAL DI YOGYAKARTA**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Selasa

Tanggal: 20 Agustus 2024

Disusun Oleh:

Avriastri Hayyu Gusmaranti

20513209

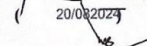
Tim Penguji:

Adam Rus Nugroho, ST., MT., Ph.D.

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

Ikrom Mustofa, S.Si., M.Sc.

() 20/08/2024

() 20/08/2024

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 21 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Avriastri Hayyu Gusmaranti

NIM:20513209

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Studi Relasi Antara Parameter Meteorologis Dengan Tingkat Pencemaran Udara di Kota 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. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki berupa Kesehatan, Ridho, dan Rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa, serta kasih sayang atas semua kegiatan dan keputusan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu, ilmu, dan bimbingannya selama penulisan tugas akhir.
4. Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Bronyowiyon, M.Sc dan Pak Ikrom Mustofa S.Si., M.Sc. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan kritik terhadap penulisan tugas akhir ini
5. Teman-Teman masa perkuliahan saya dari seluruh mahasiswa/I Teknik Lingkungan 2020
6. Teman-teman seperjuangan terdekat yang telah menemani dan membantu saya selama masa perkuliahan Monica, Bibil, Esty, Ishmah, Mae, Bintang, April, Salman, Rafli, 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.

Yogyakarta, 21 Agustus 2024

Avriastri Hayyu Gusmaranti

ABSTRAK

Kualitas udara menjadi isu penting di tingkat nasional dan lokal karena dampaknya terhadap kesehatan. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi interaksi faktor meteorologis dengan Sulfur Dioksida (SO_2) dan Nitrogen Dioksida (NO_2) di Yogyakarta selama 2019 hingga 2021. Metode analisis meliputi uji korelasi Pearson, uji normalitas, uji signifikansi, dan analisis regresi. Analisis menunjukkan distribusi normal data, mendukung validitas analisis statistik lanjutan. Hasil korelasi menyoroti pengaruh signifikan variabel meteorologis seperti kelembaban udara, suhu, curah hujan, lama penyinaran matahari, dan kecepatan angin terhadap konsentrasi SO_2 dan NO_2 . Selama musim hujan, kelembaban dan kecepatan angin memiliki pengaruh negatif signifikan terhadap konsentrasi SO_2 . Pada musim kemarau, suhu, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari menunjukkan korelasi negatif signifikan dengan konsentrasi SO_2 . Namun, pengaruh faktor meteorologis terhadap NO_2 tidak begitu kuat yang disebabkan oleh perbedaan proses atmosferik dan pengendapan yang mempengaruhi kedua polutan tersebut. Analisis regresi linier menunjukkan bahwa selama musim hujan, kecepatan angin dan kelembaban menjadi prediktor yang baik dalam menjelaskan variasi konsentrasi udara ambien. Sebaliknya, pada musim kemarau, suhu, kecepatan angin dan lama penyinaran matahari menjadi prediktor yang baik. Penambahan variabel indeks Niño 3.4 yang mencerminkan fenomena El Niño dan La Niña telah memperkuat model, meningkatkan kemampuannya untuk memprediksi variasi konsentrasi udara. Pembahasan korelasi ini menunjukkan bahwa faktor meteorologis memainkan peran penting dalam fluktuasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 di Yogyakarta, dengan implikasi penting untuk pengelolaan dan kebijakan lingkungan di wilayah Yogyakarta. Hasil penelitian ini memberikan pemahaman yang mendalam tentang bagaimana faktor meteorologis, seperti El Nino, La Nina, serta variabilitas musiman lainnya mempengaruhi konsentrasi SO_2 dan NO_2 di Yogyakarta.

Kata Kunci: Konsentrasi SO_2 dan NO_2 , faktor-faktor meteorologis, Korelasi Pearson, Analisis regresi

ABSTRACT

Air quality is a significant issue at both national and local levels due to its impact on the health. This study aims to explore the interaction of meteorological factors with Sulfur Dioxide (SO₂) and Nitrogen Dioxide (NO₂) in Yogyakarta from 2019 to 2021. The Analysis methods includes Pearson correlation test, normality test, significance test, and regression analysis. The analysis shows a normal distribution of data, supporting the validity of advanced statistical analysis. Correlation result highlights the significant impact of meteorological variables such as humidity, temperature, rainfall, sunshine duration, and wind speed on SO₂ and NO₂ concentrations. During the rainy season, humidity and wind speed have a significant negative effect on SO₂ concentrations. In the dry season, temperature, wind speed, and sunshine duration show a significant negative correlation with SO₂ concentrations. However, the influence of meteorological factors on NO₂ is not strong, which may be attributed to the differences in atmospheric processes and deposition affecting these two pollutants. Linier regression analysis indicates that during the rainy season wind speed and humidity are good predictors in explaining variations in ambient air concentrations. Conversely, in the dry season, temperature, wind speed, and sunshine duration are good predictors. The addition of the Nino 3.4 index variable, reflecting El Nino and La Nina phenomena has strengthened the model, enhancing its ability to predict air concentrations variations. The correlations discussions underscore the pivotal role of meteorological factor in influencing SO₂ and NO₂ concentrations in Yogyakarta, with significant implications for environmental management and policy in the region. This research provides comprehensive insights into how meteorological factors, including El Nino, La Nina, and seasonal variability impact SO₂ and NO₂ concentrations in Yogyakarta.

Keywords: SO₂ and NO₂ concentrations, Meteorological factor, Pearson correlation, Regression analysis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN.....	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.6 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pencemaran Udara di Yogyakarta.....	4
2.2 Faktor-Faktor Meteorologis	5
2.3 Kualitas Udara Ambien.....	6
2.4 Perangkat Lunak R.....	7
2.5 Variabilitas Iklim	8
2.6 Fenomena COVID-19	9
2.7 Penelitian Terdahulu	9
BAB III METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Kerangka Penelitian	14
3.2 Pengumpulan Data	15
3.2.1 Paramater/Variabel.....	15
3.2.2 Waktu dan Lokasi	15

3.3	Analisis data	17
3.3.1	Statistik Dasar	17
3.3.2	Uji Normalitas.....	18
3.3.3	Analisis Korelasi	18
3.3.4	Analisis Regresi	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		23
4.1	Data Kualitas Udara Ambien	23
4.2	Data Meteorologis.....	26
4.3	Uji Korelasi	28
4.3.1	Uji Normalitas.....	28
4.3.2	Uji Korelasi Pearson	29
4.3.3	Uji T (Signifikansi)	34
4.4	Analisis Regresi Linier.....	37
4.5	Penambahan Variabel Indeks Nino 3.4.....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		56
5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA		58
LAMPIRAN.....		61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien di Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan Keputusan Gubernur Nomor 153 Tahun 2002	7
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3.1 Parameter udara dan Variabel Meteorologis yang digunakan	15
Tabel 4.1 Data Konsentrasi SO ₂ dan NO ₂ pada Musim Penghujan	23
Tabel 4.2 Data Konsentrasi SO ₂ dan NO ₂ pada Musim Kemarau	24
Tabel 4.3 Hasil Uji Normalitas	28
Tabel 4.4 Korelasi Pearson pada Musim Penghujan	30
Tabel 4.5 Korelasi Pearson pada Musim Kemarau	31
Tabel 4.6 Korelasi Data set Tahunan	32
Tabel 4.7 Uji T pada Musim Hujan	34
Tabel 4.8 Uji T pada Musim Kemarau	34
Tabel 4.9 Uji T data Set Tahunan	35
Tabel 4.10 Data Set Temporal	37
Tabel 4.11 Hasil Analisis Regresi pada Musim Hujan	38
Tabel 4.12 Hasil Analisis Regresi pada Musim Kemarau	38
Tabel 4.13 Hasil Analisis Regresi Data Set Tahunan	43
Tabel 4.14 Hasil uji Mann Kendall	46
Tabel 4.15 Hasil Analisis Regresi dengan Indeks El Nino pada Musim Hujan	50
Tabel 4. 16 Hasil Analisis Regresi dengan Indeks El Nino pada Musim Kemarau	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	14
Gambar 3.2 Peta Pengambilan sampel udara (Dinas Lingkungan Hidup Yogyakarta)	16
Gambar 4.1 Konsentrasi Udara pada Musim Hujan dari DLH.....	25
Gambar 4.2 Konsentrasi Udara pada Musim Kemarau dari DLH.....	25
Gambar 4.3 Curah Hujan di tahun 2019 dari BMKG	26
Gambar 4.4 Curah Hujan di tahun 2020 dari BMKG	27
Gambar 4.5 Curah Hujan di tahun 2021 dari BMKG	27
Gambar 4.6 Koefisien korelasi dan determinasi dari hasil regresi pada Musim Hujan (a) dan Musim Kemarau (b)	41
Gambar 4.7 Nilai Root Mean Square Error (RMSE) dari hasil regresi pada Musim Hujan (a) dan Kemarau (b)	41
Gambar 4.8 Koefisien korelasi, determinasi, (a) dan RMSE (b) dari hasil analisis regresi data set tahunan	43
Gambar 4.9 Nilai Root Mean Square Error (RMSE) dari hasil regresi pada Musim Hujan (a) dan Kemarau (b)	52
Gambar 4.10 Koefisien korelasi dan determinasi dari hasil regresi pada Musim Hujan (a) dan Musim Kemarau (b)	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Distribusi T tabel

Lampiran 2 : Nilai Kritis Uji Komogorov-Smirnov

Lampiran 3 : Tabel Z score

Lampiran 4 : Contoh Perhitungan Tren Mann-Kendall

Lampiran 5 : Contoh Perhitungan Uji Normalitas

Lampiran 6 : Contoh Perhitungan Uji Korelasi Pearson

Lampiran 7 : Contoh Perhitungan Uji T (Signifikansi)

Lampiran 8 : Contoh Perhitungan Regresi Linier Sederhana

Lampiran 9 : Tabel Perbandingan Y data dan Y regresi

Lampiran 10 : Grafik Plot Korelasi Analisis Regresi

Lampiran 11 : Dokumentasi Pemantauan Kualitas Udara

Lampiran 12 : Dokumentasi Pengambilan Sampel Faktor Meteorologis

Lampiran 13 : Data Meteorologis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Iklim mempengaruhi suatu kualitas udara dimana terdapat emisi, polutan, transportasi, dispersi, dan pengendapan yang dipengaruhi oleh faktor meteorologis seperti suhu, kelembaban, dan karakteristik angin (Kinney PL, 2008). Kualitas udara dapat mempengaruhi kondisi manusia yang sensitif terhadap variasi cuaca secara temporal. Polutan udara tergolong menjadi polutan primer yang terdiri dari karbon monoksida (CO), Sulfur oksida (SO_x), Nitrogen Oksida (NO_x), Hidrokarbon (HC), dan bahan partikulat (PM) (Gustafson, 2005). Kualitas udara menjadi perhatian Indonesia sesuai arah kebijakan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TBM) yang menjadi prioritas pembangunan nasional Indonesia (Kementerian PPN/Bappenas 2020).

Kualitas udara menjadi masalah penting di tingkat nasional dan lokal karena berkaitan dengan kesehatan makhluk hidup. Pemantauan kualitas udara di Yogyakarta menggunakan metode aktif sampling dan pasif sampling. Metode aktif sampling yaitu pengukuran kualitas udara yang dilakukan dengan pengukuran secara langsung dan tidak langsung (Analisa Laboratorium) yang terbagi menjadi sektor roadside dan pemukiman (Laporan Analisa Hasil Pemantauan Kualitas Udara Kota Yogyakarta, 2021).

Beberapa faktor yang telah mempengaruhi polusi udara yaitu curah hujan, kelembaban, suhu, dan pergerakan udara. Pola curah hujan yang bervariasi dapat mempengaruhi distribusi polutan di atmosfer, namun jika musim hujan tidak normal atau terlalu singkat, maka polutan tersebar secara tidak efektif dan menyebabkan peningkatan polusi udara. Ketika suhu udara naik, gas dan partikel udara di permukaan ikut naik akibat pemanasan (Adi dkk, 2011). Kelembaban udara dapat mempengaruhi konsentrasi kontaminan, ketika kelembaban tinggi maka uap air di udara bereaksi dengan polutan udara dan mengubahnya menjadi zat tidak berbahaya atau polutan sekunder (Budi, 2002). Kecepatan angin dapat

berpengaruh terhadap dispersi polutan, apabila kecepatannya bertambah maka polusi udara di area yang terkena pencemar akan bergerak menyebar dan menjadi luas (Assabraini, 2014).

Persebaran pencemaran udara yang tidak memenuhi baku mutu dapat berdampak terhadap kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan serta memerlukan penanganan cepat (Permenlhk P.14, 2020). Pentingnya pemantauan, analisis dan upaya mitigasi terhadap pencemaran udara sebagai langkah untuk melindungi kesehatan masyarakat dan menjaga keberlangsungan hidup. Dengan pemahaman mendalam mengenai relasi antara meteorologis dan tingkat pencemaran udara, langkah-langkah yang efektif dapat diambil untuk mengurangi dampak negatifnya. Hal yang dapat dilakukan yaitu memahami hubungan antara cuaca dan polutan. Selanjutnya, strategi pencegahan yang tepat dapat dilakukan seperti menerapkan kebijakan sementara, transportasi gratis, edukasi terkait praktik lingkungan dan penghijauan kota.

Upaya kolektif untuk meningkatkan kesadaran, menerapkan kebijakan keberlanjutan, serta memanfaatkan teknologi dan inovasi dalam mitigasi pencemaran udara menjadi investasi berharga untuk memastikan generasi mendatang dapat menikmati udara bersih dan lingkungan yang sehat. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait pengaruh faktor meteorologis dengan konsentrasi udara seperti SO_2 dan NO_2 di Kota Yogyakarta.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Apakah ada perbedaan signifikan korelasi faktor meteorologis dengan konsentrasi SO_2 dan NO_2 antara musim kemarau dan penghujan?
- 2) Bagaimana variabilitas iklim berpengaruh terhadap konsentrasi SO_2 dan NO_2 ?

1.3 Tujuan Penelitian

- 1) Mengetahui signifikansi korelasi faktor meteorologis dengan konsentrasi SO_2 dan NO_2

- 2) Mendapatkan model regresi hubungan variabilitas iklim dengan konsentrasi SO₂ dan NO₂

1.4 Manfaat Penelitian

- 1) Hasil dari penelitian dapat dijadikan data acuan untuk penelitian selanjutnya
- 2) Penelitian ini dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya faktor meteorologis dalam menentukan kualitas udara

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini yaitu :

- 1) Data udara yang digunakan adalah SO₂ dan NO₂ udara di Yogyakarta selama 3 tahun dari 2019 hingga 2021
- 2) Data udara didapatkan dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Yogyakarta
- 3) Parameter meteorologis yang digunakan adalah kelembaban, suhu, kecepatan angin, curah hujan, dan lama penyinaran matahari di Yogyakarta dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara di Yogyakarta

Berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta nomor 5 tahun 2007 tentang pengendalian pencemaran udara bab 1 pasal 1 disebutkan bahwa pencemaran udara yaitu masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Udara segar memiliki ciri-ciri tidak berbau, terasa segar, dan ringan saat dihirup (Siburian, 2020).

Pencemaran udara berdasarkan asalnya dapat dibagi menjadi dua yaitu polutan primer dan sekunder (Arianto, 2016). Polutan primer merupakan polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu yang dapat dibedakan menjadi polutan gas dan partikulat. Sedangkan polutan sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari pencemar primer di atmosfer. Polutan sekunder memiliki sifat fisik dan kimia yang tidak stabil seperti ozon, peroxy acyl nitrat, dan formaldehid (Arinto Yudi Ponco, 2016).

Menurut Statistika Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2022 bahwa kondisi pencemaran udara di Yogyakarta mencapai 41 desa/kelurahan. Berdasarkan sumber pencemar polusi udara di Yogyakarta terbagi menjadi dua yaitu pencemar yang bersumber dari benda bergerak seperti gas buang dari kendaraan bermotor atau sarana transportasi. Pencemaran udara tersebut disebabkan penggunaan bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor dan umur kendaraan tersebut. Jumlah kendaraan pada tahun 2022 meningkat secara signifikan menjadi sebesar 3,27 juta unit. Jenis kendaraan masih didominasi oleh sepeda motor sebesar 2,7 juta unit (Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Dalam Angka 2023). Selain sumber bergerak terdapat juga sumber diam atau tidak bergerak seperti gas buang yang dihasilkan oleh aktivitas industri seperti mesin-mesin produksi pabrik yang membuang limbah asapnya melalui cerobong.

2.2 Faktor-Faktor Meteorologis

Pencemaran udara di atmosfer dapat dipengaruhi beberapa faktor (Mukono, 2011), yaitu kelembaban, suhu, kecepatan angin, lama penyinaran matahari, dan curah hujan. Iklim merupakan kondisi atmosfer di lokasi tertentu dalam jangka waktu yang lama; yang merupakan kombinasi jangka panjang dari unsur-unsur atmosfer dan variasinya yang dalam periode waktu singkat merupakan cuaca. Kelembaban udara bervariasi, bila kondisi tercemar maka kelembaban udara relatif rendah ($<60\%$) maka akan mengurangi efek korosif di daerah tersebut. Jika kelembaban bersifat relatif lebih atau sama dengan 80% maka peningkatan korosif terjadi di daerah tersebut (Bima putra dan Ana, 2019).

Penurunan suhu pada permukaan bumi berpengaruh terhadap kelembaban udara sehingga meningkatkan efek korosif bahan pencemar di daerah yang udaranya tercemar. Suhu udara yang meningkat dapat menyebabkan kadar gas nitrogen dioksida di udara semakin rendah (Bima putra dan Ana, 2019). Pergerakan udara yang cepat mampu meningkatkan persebaran polusi udara. Kecepatan angin yang cepat dapat membantu mencampur dan menyebarkan polutan di atmosfer, angin yang cepat dapat mengangkut polutan dari satu lokasi ke lokasi lain.

Cuaca merujuk pada perubahan karakteristik atmosfer di suatu wilayah dalam jangka tertentu. Pola cuaca dapat mempengaruhi tumbuhan, hewan dan makhluk hidup di permukaan bumi. Perubahan cuaca yang tidak menentu terdapat di beberapa daerah di Indonesia, termasuk di Kota Yogyakarta.

Curah hujan merupakan jumlah air yang jatuh di permukaan tanah selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm) di atas permukaan horizontal bila tidak terjadi evaporasi, runoff, dan infiltrasi (Martin, 2020). Karakteristik curah hujan di berbagai daerah tidak sama. Hal ini diakibatkan oleh faktor letak daerah, keadaan muka bumi, struktur bumi, dan orientasi kepulauan. Curah hujan merupakan parameter yang tingkat variabilitasnya tinggi baik terhadap lokasi maupun waktu yang mencakup variasi harian, bulanan, musiman, dan tahunan (Kumar, dkk., 2006).

2.3 Kualitas Udara Ambien

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam Republik Indonesia serta mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. Unsur-unsur berbahaya yang terdapat pada atmosfer antara lain seperti Sulfur Dioksida (SO_2) dan Nitrogen Dioksida (NO_2).

a. Sulfur Dioksida

Sulfur dioksida merupakan gas yang memiliki sifat bau, tidak berwarna, tidak mudah meledak, tidak mudah terbakar, dan larut dalam air (Ukpebor dkk., 2010). Sulfur dioksida berasal dari pembakaran bahan bakar fosil pada pembangkit listrik, fasilitas industri, dan kendaraan bermotor. Sulfur dioksida mampu memberikan deposisi asam yang dapat mencemari lingkungan, endapan asam dapat menyebabkan kerusakan pada alam seperti sungai, danau, tanaman, dan tumbuhan lainnya (Koukouli dkk., 2016)

b. Nitrogen Dioksida

Sebagai polutan penting, nitrogen dioksida tersebar dan memiliki peran penting di troposfer dan stratosfer (Zheng dkk., 2019). Secara umum nitrogen dioksida yang ada di udara muncul secara alami atau dapat berasal dari emisi antropogenik (Seinfeld & Pandis, 2016). Emisi antropogenik berasal dari pembakaran pertanian, bahan bakar fosil, emisi kendaraan, dan produksi industri. Konsentrasi nitrogen dioksida di udara juga bergantung pada faktor meteorologis seperti kecepatan dan arah angin (Woang dkk., 2020).

Berdasarkan Keputusan Gubernur Nomor 153 Tahun 2022 tentang Baku Mutu Udara Ambien di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta menyebutkan bahwa baku mutu dijadikan batas atas mutu udara ambien untuk pengendalian pencemaran udara dari sumber bergerak dan tidak bergerak. Dibawah ini merupakan tabel baku mutu udara di Yogyakarta.

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien di Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan Keputusan Gubernur Nomor 153 Tahun 2002

No	Parameter	Waktu Pengukuran	BMUA Primer		Metode Analisis	Peralatan
			(ppm)	(µg/m³)		
1	Sulfur Dioksida	1 jam	0,34	900	Pembentukan kompleks dengan pararosanilin	Spektrofotometer UV-Vis
		24 jam	0,14	365		
		1 tahun	0,03	60		
2	Nitrogen Dioksida	1 jam	0,212	400	Pembentukan kompleks dengan pereaksi Saltzman	Spektrofotometer UV-Vis
		24 jam	0,080	150		
		1 tahun	0,053	100		

2.4 Perangkat Lunak R

Perangkat lunak R dikenal sebagai (GNU S) yang merupakan pemrograman dan perangkat lunak untuk analisis statistika dan grafik (John, 2005). Ross Ihaka dan Robert Gentleman dari Universitas Auckland, Selandia baru membuat aplikasi R dan kini dikembangkan oleh R Development Core Team, dimana Chambers merupakan anggotanya. R dinamakan Sebagian setelah nama dua pembuatnya (Robert Gentleman dan Ross Ihaka), dan sebagian dari permainan nama dari S (Hornik, 2020).

Perangkat lunak R termasuk kelompok perangkat statistik yang tidak memerlukan lisensi atau dikenal dengan *freeware*. Paket R memiliki fasilitas untuk analisis data statistik. Adapun kelebihan dari aplikasi R yaitu efektif dalam pengolahan dan fasilitas penyimpanan, lengkap dalam operator perhitungan array, terdiri dari koleksi alat statistik yang terintegrasi untuk analisis data mulai statistik deskriptif, fungsi probabilitas, berbagai macam uji statistik, hingga time series, memiliki tampilan grafik yang menarik dan fleksibel, R bersifat multiplatform

yakni dapat diinstal dan digunakan dengan baik pada sistem Windows, UNIX/LINUX, maupun pada Macintosh (Suhartono, 2008)

Perangkat lunak R merupakan bagian dari proyek GNU. Dalam pengoperasian aplikasi R memerlukan sebuah kode yang sumbernya tersedia secara bebas di bawah lisensi publik umum GNU dan versi biner prekompiasinya tersedia untuk berbagai sistem operasi. R menggunakan antarmuka baris perintah, meski beberapa antarmuka penggunaan grafik juga tersedia. Program R adalah alat analisis statistika yang sangat lengkap dan sering digunakan. Program ini hasil kolaborasi riset dari statistik di seluruh dunia (Nugraha, 2014).

2.5 Variabilitas Iklim

Variabilitas iklim adalah berubahnya kondisi fisik atmosfer bumi antara lain suhu dan distribusi curah hujan yang membawa dampak luas terhadap sektor kehidupan manusia. Perubahan yang terjadi tidak hanya sesaat tetapi dalam kurun waktu yang sangat Panjang (Laporan Perubahan Iklim, 2002). Salah satu variabilitas iklim di Indonesia adalah ENSO (El Nino-Southern Oscillation) yang mencakup dua fase utama, yaitu El Nino dan La Nina. ENSO merupakan fenomena Dimana suhu permukaan laut di Samudra Pasifik dekat ekuator bagian tengah dan timur mengalami penyimpangan. El Nino adalah fase hangat dari ENSO, ditandai dengan kenaikan suhu permukaan laut, sementara La Nina adalah fase dinginnya, dengan kecenderungan penurunan suhu permukaan laut (Wang dkk., 2017).

Indonesia terletak di persimpangan dua benua, yaitu Asia dan Australia, serta dua Samudra, yaitu Samudra Hindia dan Pasifik. Kondisi geografis ini membuat Indonesia terpengaruh oleh sirkulasi monsoon yang berganti arah dua kali setahun. Akibatnya, musim hujan terjadi selama periode monsoon Asia dari Oktober hingga April, sementara musim kemarau terjadi pada periode monsun Australia dari Mei hingga September. Meskipun monsun bersifat periodik, awal musim hujan dan musim kemarau tidak selalu sama setiap tahunnya (Tjasyono, 2008). Hal ini dipengaruhi oleh fenomena global seperti El Nino/La Nina (Yamagata dkk., 2002)

Untuk memantau fenomena ENSO, digunakan beberapa indeks seperti ONI (Ocean Nino Index). ONI mengukur suhu permukaan laut rata-rata di wilayah Nino

3.4 dan digunakan sebagai indikator utama untuk memantau, mengevaluasi, dan memprediksi ENSO (Zakir dkk., 2009).

2.6 Fenomena COVID-19

Pada tahun 2020, virus Corona telah menyebar yang disebut sebagai penyakit Coronavirus 2019 (COVID-19) (Yuliana, 2020). Dalam Upaya mengurangi kasus kematian akibat virus corona, banyak negara yang menerapkan aturan pembatasan kegiatan Masyarakat atau lockdown. Tindakan karantina selama lockdown menghasilkan penurunan emisi sumber antropogenik di Daratan Cina Utara (Ding dkk., 2021).

Pemberlakuan pembatasan kegiatan masyarakat menjadi salah satu cara untuk mencegah penyebaran kasus. Akibatnya, aktivitas industri dan transportasi berkurang, berdampak pada berkurangnya emisi antropogenik di atmosfer sehingga mengurangi pencemaran udara terutama di negara Indonesia (James, 2015).

Perkembangan COVID-19 terus meningkat dari tahun 2020 hingga awal januari di tahun 2021. COVID-19 mencapai puncaknya pada gelombang pertama di bulan April dan Mei Kemudian pada gelombang kedua Agustus dan September dan terus berlanjut pada minggu 8-14 Januari 2021 (Kementrian Kesehatan Republik Indonesia). Peningkatan ini mencerminkan penyebaran virus yang semakin luas, dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk pergerakan Masyarakat, kepatuhan terhadap protokol kesehatan, dan varian baru yang muncul.

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dapat dijadikan acuan bagi peneliti untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang perkembangan temuan yang telah ada sebelumnya. Tabel 2.2 berikut ini menyajikan informasi tentang judul, metode, dan hasil penelitian.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1.	Arghade ep Bose (2023)	Investigating the Association between Air Pollutants Concentration and Meteorological Parameters in a Rapidly Growing Urban Center of West Bengal, India: a Statistical Modelling-based Approach	<p>1. Penelitian tipe deskriptif dengan pendekatan observasional</p> <p>2. Analisis korelasi untuk mengetahui hubungan polutan udara dan faktor meteorologi</p> <p>3. Klasifikasi musiman yaitu pra monsoon (Maret-Mei), monsun (Juni-September), pasca monsun (Oktober-November), dan musim dingin.</p>	<p>1. Konsentrasi NO_2 dan SO_2 menunjukkan nilai korelasi yang signifikan negatif, hal ini disebabkan oleh fakta kelembaban mempengaruhi mobilitas partikel dan dapat mengendapkan partikel di tanah.</p> <p>2. Analisis regresi menunjukkan $Y = 119.85 - 1.73X_1 - 0.22X_2 + 0.46X_3$ untuk NO_2 dan $Y = 15.05 - 0.15X_1 + 0.23X_2 - 0.57X_3$ untuk SO_2, dengan keterangan X_1</p>

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
				X_2 , X_3 adalah Suhu, Curah hujan, dan Kecepatan Angin.
2	Lauren Prox (2023)	Investigating Relationship between Air Pollution, Meteorology, and COPD Trends in Pokhara Metropolitan City, Nepal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian tipe deskriptif dengan pendekatan observasional 2. Menggunakan analisis korelasi Spearman terhadap data yang didapatkan 3. Analisis dan visualisasi data menggunakan perangkat lunak R Studio (versi 4.21) dan paket R 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tingkat polusi udara menurun selama musim hujan yang ditunjukkan dengan nilai korelasi negatif signifikan. 2. Hasil Regresi menunjukkan $R^2 > 0,85$ dan $p\text{ value} < 0,05$.
3	Arie Dipareza Syafie (2014)	Analyzing and Interpreting Air Quality Monitoring Data in Surabaya	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian tipe deskriptif dengan pendekatan observasional 2. Menggunakan algoritma EMB dengan aplikasi R untuk menganalisis data 3. Menggunakan metode 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Profil konsentrasi berbeda setiap hari karena besarnya emisi yang berbeda 2. Berdasarkan hasil regresi linier,

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
			ICA (Independent Component) untuk memisahkan sumber dan state-space model untuk memperkirakan pola temporal.	pada musim hujan konsentrasi polutan menurun karena faktor kelembaban, Pada musim kemarau, arah angin mempengaruhi konsentrasi pencemar yaitu mengurangi konsentrasi NO ₂ .
4	Nguyen Thanh Giao (2021)	Assessment of Air Quality in Can Tho City, Vietnam Using Cluster Analysis	1. Penelitian tipe deskriptif dengan pendekatan observasional 2. Analisa data menggunakan SPSS 20.0 membandingkan perbedaan musim kemarau dan hujan	1. Konsentrasi SO ₂ dan NO ₂ tidak melebihi ambang batas baku mutu pada musim hujan dan kemarau. 2. Pada musim kemarau, suhu udara berkorelasi negatif dengan konsentrasi polutan dan pada musim hujan kelembaban yang tinggi berkorelasi

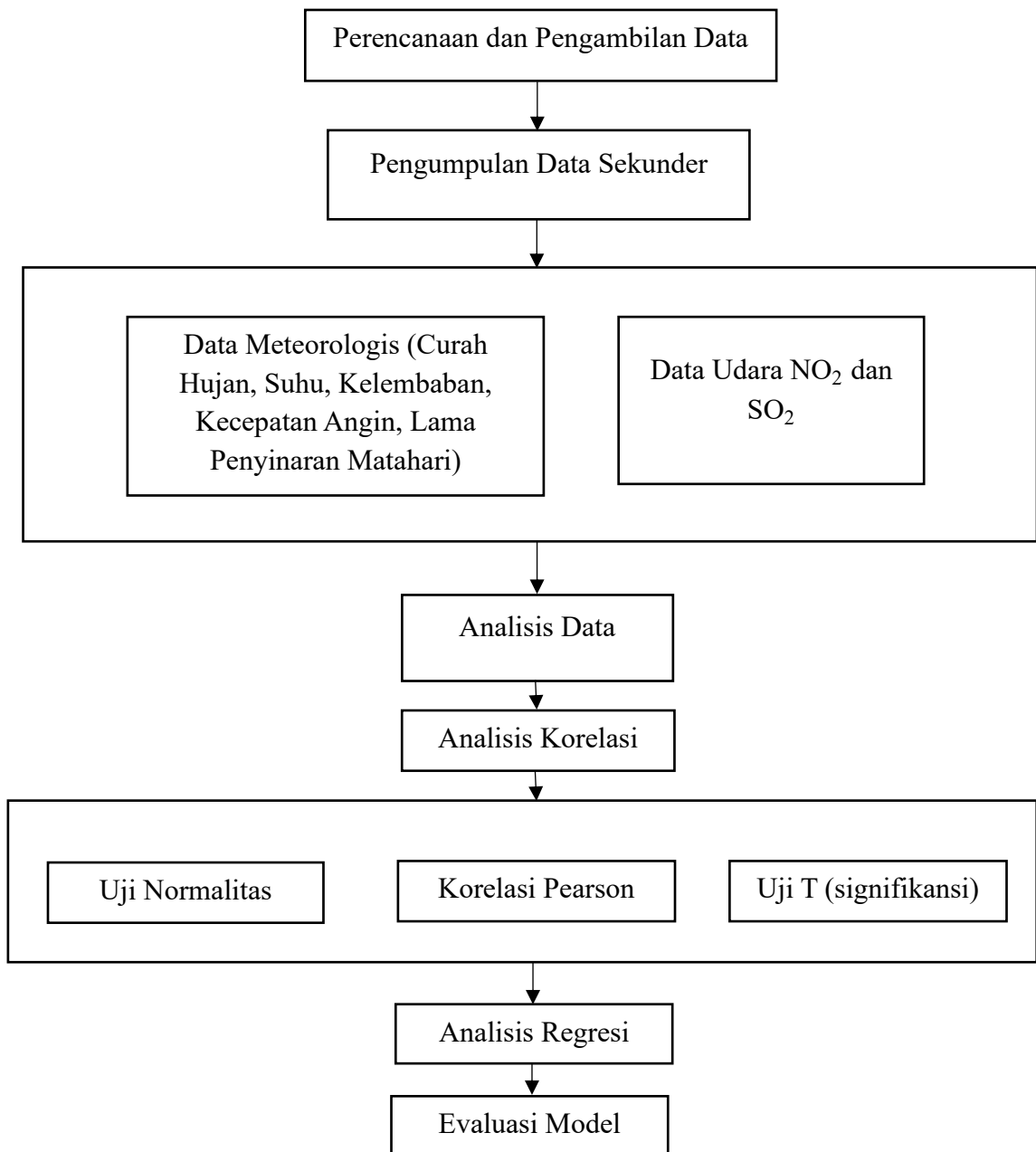
No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
				negatif dengan konsentrasi polutan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Pada bab ini penulis akan menjelaskan tahapan alur penelitian. Berikut merupakan alur penelitian yang akan dilakukan oleh penulis.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Pengumpulan Data

3.2.1 Paramater/Variabel

Pada penelitian ini, terdapat sejumlah variabel yang menjadi fokus utama dalam memahami relasi antara faktor meteorologis dan tingkat pencemaran udara secara temporal. Variabel meteorologis yang akan diamati melibatkan suhu udara, curah hujan, kelembaban udara, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari. Suhu udara dapat mempengaruhi kecepatan reaksi kimia dan proses fisika yang mempengaruhi pencemaran udara, sementara kelembaban dan kecepatan angin mempengaruhi penyebaran polutan.

Parameter pencemaran udara yang diidentifikasi mencakup Nitrogen Dioksida (NO_2) dan Sulfur Dioksida (SO_2). Dalam penelitian ini, penggunaan parameter NO_2 dan SO_2 sebagai fokus penelitian dilatarbelakangi oleh kebijakan Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta. Pengambilan sampel di kota Yogyakarta menggunakan metode aktif sampling dengan alat impinger yang difokuskan hanya pada parameter gas NO_2 dan SO_2 (Laporan Analisa Hasil Pemantauan Kualitas Udara Kota Yogyakarta, 2021).

Tabel 3.1 Parameter udara dan Variabel Meteorologis yang digunakan

No	Variabel	Parameter Udara
1	Suhu	NO_2
2	Kelembaban	SO_2
3	Kecepatan Angin	
4	Curah Hujan	
5	Lama Penyinaran Matahari	

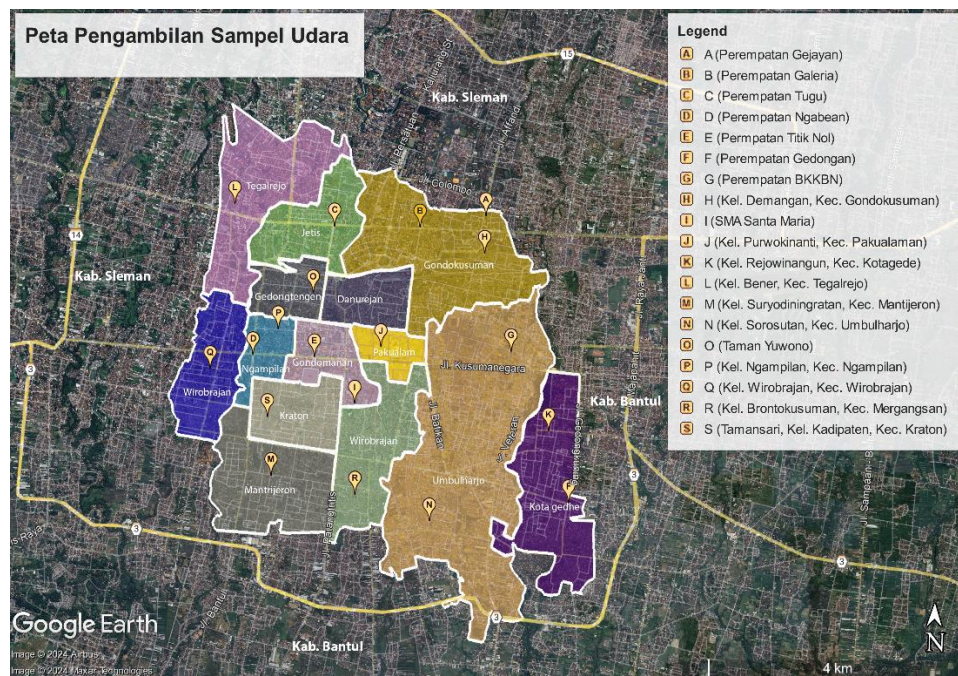
3.2.2 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini menggunakan data kualitas udara ambien pada periode 2019 hingga 2021. Adapun lokasi pemantauan kualitas udara ambien terletak di Kota

Yogyakarta. Lokasi penelitian dipilih karena mewakili kondisi urban dengan berbagai sumber emisi termasuk transportasi dan aktivitas domestik.

Pengambilan sampel udara di Yogyakarta pada tahun 2019, 2020, dan 2021 dilakukan dua kali dalam setahun, masing-masing selama 14 hari. Untuk pengambilan sampel meteorologis, data diambil secara harian selama periode penelitian yang mencakup satu tahun penuh.

Pemantauan kualitas udara yang dilakukan selama periode tiga tahun memberikan data yang penting untuk dianalisis terkait korelasi faktor meteorologis dan konsentrasi udara ambien di Kota Yogyakarta. Penelitian ini memberikan gambaran yang lebih komperhensif tentang pola polusi udara di kota Yogyakarta. Berikut merupakan peta lokasi sampling udara di Kota Yogyakarta.



Gambar 3.2 Peta Pengambilan Sampel Udara
(Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Yogyakarta)

3.3 Analisis data

Analisis yang dilakukan berupa perhitungan statistik dasar dari data kualitas udara yaitu Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Sulfur Dioksida (SO₂) serta faktor meteorologis yang meliputi curah hujan, suhu, kelembaban, lama penyinaran matahari, dan kecepatan angin.

3.3.1 Statistik Dasar

Statistik digunakan untuk menganalisis data dengan cara menggambarkan data yang telah terkumpul tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi (Sugiyono, 2019). Dalam analisa data, Suripin (2004) menyatakan bahwa digunakan beberapa nilai statistik yang meliputi:

- Rata -rata

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^i x_i$$

- Standar Deviasi

$$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^i (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

- Koefisien Variasi

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}}$$

- Skewnes

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^i (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

- Koefisien Kurtosis

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^i (x_i - \bar{x})^4$$

Dengan :

n : jumlah pengamatan

C_v : Koefisien variasi

C_s : Asimetri (skewness)

C_k : Koefisien kurtosis

3.3.2 Uji Normalitas

Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov (K-S) dirancang untuk mengidentifikasi dispersitas antar distribusi (Destercke dkk, 2014). Metode ini mengukur perbedaan maksimum antara dua probabilitas kumulatif yang dilambangkan dengan D. Dalam melakukan Uji K-S (L.Mora dkk, 2015), kita perlu membandingkan distribusi data yang kita amati dengan distribusi yang diharapkan. Proses yang perlu dilakukan yaitu dengan mengumpulkan data (X_i). Berikut merupakan persamaan yang akan digunakan dalam perhitungan Uji Kolmogorov Smirnov:

$$Z\ skor = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

Dimana:

$\bar{x}$: rata-rata

σ : simpangan baku

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

3.3.3 Analisis Korelasi

Hipotesis dalam penelitian diartikan sebagai jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian. Dalam penelitian, Hipotesis nol menandakan “tidak ada” namun bukan tidak terdapat perbedaan antara data populasi dan data sampel tetapi dapat berbentuk tidak adanya hubungan antara satu variabel dengan variabel yang lain (Sugiyono, 2009).

Korelasi Pearson merupakan alat statistik untuk menguji antara dua variabel jika datanya berskala interval atau rasio. Korelasi Pearson dikembangkan oleh Karl Pearson (Oktavia, 2021). Metode ini bertujuan untuk

meneliti sejauh mana hubungan antara suatu variabel dengan variabel lainnya (Raufaidah dkk, 2019). Berikut merupakan persamaan Korelasi Pearson (r).

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Dengan :

$\bar{x}$: Rata-rata dari variabel x

$\bar{y}$: Rata-rata dari variabel y

Nilai koefisien korelasi berada di antara -1, 0, dan 1. Jika nilai korelasi (r) adalah -1 maka hubungan antara variabel adalah negatif sempurna, yang artinya ketika nilai x meningkat, nilai y akan turun secara signifikan. Jika nilai r adalah 1, itu berarti hubungan antara variabel adalah positif sempurna, yang menunjukkan bahwa ketika nilai x meningkat, nilai y juga akan meningkat secara signifikan. Jika nilai korelasi adalah 0, maka tidak ada hubungan antara dua variabel yang sedang dianalisis.

Uji Spearman ditemukan oleh Carl Spearman pada tahun 1904. Metode ini digunakan untuk mengukur keeratan antar dua variabel. Kedua variabel tidak harus mengikuti distribusi normal dan kondisi variabel tidak diketahui sama. Korelasi rank akan diperlukan apabila pengukuran kuantitatif secara eksak tidak mungkin dilakukan. Berikut merupakan persamaan koefisien korelasi rank (ρ).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum b_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Dengan :

ρ : Koefisien korelasi Spearman

b_i : Perbedaan setiap pasang rank

n : Jumlah pasangan rank

Hipotesis H_0 akan diuji yang menyatakan bahwa dua variabel yang diteliti bersifat independen, artinya tidak ada hubungan antara variabel yang satu dengan yang lainnya. Kriteria pengambilan keputusannya sebagai berikut.

H_0 diterima apabila $\rho \text{ hitung} \leq \rho \text{ tabel}$

H_0 ditolak apabila $\rho \text{ hitung} > \rho \text{ tabel}$

ρ tabel dapat dilihat pada tabel spearman. Untuk nilai $n \geq 10$ dapat menggunakan tabel t, dimana nilai t sample dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$t = \rho \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho^2}}$$

Bila t hitung $\leq$ t tabel maka H_0 diterima

Bila t hitung $>$ t tabel maka H_0 ditolak

Uji Pearson cocok digunakan ketika data berskala interval atau rasio, sementara uji Spearman cocok digunakan ketika data berskala ordinal. Meskipun metodenya berbeda, keduanya memiliki tujuan yang sama yaitu menentukan seberapa erat hubungan antara dua variabel tersebut. Dalam situasi di mana data tidak memenuhi syarat untuk pengujian parametrik, penggunaan kedua metode secara bersamaan dapat memberikan pemahaman yang lebih komperhensif tentang korelasi antara variabel.

3.3.4 Analisis Regresi

Analisis regresi adalah salah satu metode konvensional untuk menganalisis tren data lingkungan termasuk kontaminan (Nunifu, 2019). Metode regresi digunakan untuk memperkirakan nilai suatu variabel seperti konsentrasi polutan, berdasarkan waktu dengan mempertimbangkan asumsi-asumsi yang berlaku. Asumsi ini diuji dan dipertanggungjawabkan untuk memastikan bahwa tren yang diamati sesuai dengan hipotesis nol yang

menyatakan bahwa tidak ada tren yang signifikan. Berikut merupakan persamaan regresi linier.

$$Y_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t$$

Dengan:

Y_t : Pengamatan lingkungan pada waktu t

α : Parameter regresi yang mewakili intersep

β : Parameter regresi (slope) yang memperkirakan tren lingkungan observasi

ε_t : Istilah kesalahan acak yang terkait dengan setiap observasi

Pendekatan umum dalam estimasi regresi linier melibatkan transformasi data untuk mencapai normalitas dan homoskedastisitas (varian seragam). Sebagai contoh, dalam kasus data yang memiliki distribusi lognormal, transformasi log dapat digunakan untuk mengubahnya menjadi data yang berdistribusi normal. Meskipun interpretasi langsung dari koefisien tidak selalu jelas, transformasi ini memungkinkan pengujian hipotesis yang valid. Berikut merupakan transformasi umum yang sering digunakan untuk analisis tren data kualitas udara (Nunifu, 2019).

$$\log(Y_t) = \alpha + \beta t + \varepsilon_t$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk mentransformasikan Y_t untuk mencapai normalitas. Dalam kasus seperti ini, interpretasi literal dari β tidak berlaku lagi, ketika terjadi peningkatan dalam satuan waktu akan ada nilai baru Y_{t+1} dihitung dengan mengkalikan nilai Y_t dengan eksponen dari β . Dengan demikian, peningkatan satu satuan waktu tidak lagi menghasilkan peningkatan Y_t secara konstan (Nunifu, 2019).

Selain regresi linier sederhana, terdapat regresi linier berganda yang dapat digunakan untuk meramalkan tren variabel dependen dengan minimal dua

variabel (Sugiyono, 2018). Berikut merupakan persamaan regresi linier berganda, sebagai berikut :

$$Y = \alpha + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 + e$$

Dengan:

Y : Variabel dependen

α : Intercept

$\beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3$: Koefisien regresi yang mengukur pengaruh masing-masing variabel independent terhadap variabel dependen

$X_1, X_2, \text{ dan } X_3$: Variabel Independent

e : error

RMSE (*Root Mean Squared Error*) akan digunakan setelah uji regresi linier berganda untuk mengukur seberapa baik model tersebut dapat memprediksi nilai variabel dependen (Y) berdasarkan variabel independent yang telah dimasukkan ke dalam model. RMSE telah digunakan sebagai metrik statistik standar untuk mengukur kinerja model dalam studi penelitian meteorologi, kualitas udara, dan iklim. Semakin rendah nilai RMSE maka akan semakin baik hasil perkiraan atau prediksi model regresi (Normah dll., 2022). Berikut persamaan RMSE.

$$RMSE = \frac{\sum_{t=1}^n (Y'_t - Y_t)^2}{n}$$

Dengan :

Y'_t : nilai data sebenarnya (actual) ke- t ($t= 1, \dots, n$)

Y_t : nilai sebenarnya (actual) ke- t ($t= 1, \dots, n$)

n : banyaknya data yang diuji

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kualitas Udara Ambien

Penelitian ini dilakukan menggunakan data kualitas udara skala bulanan yang dikumpulkan dari tahun 2019 hingga 2021. Lokasi penelitian mencakup daerah kota Yogyakarta. Untuk mendapatkan gambaran yang lebih mendalam mengenai perubahan temporal, data dibagi menjadi dua periode yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Musim kemarau meliputi bulan Mei hingga Oktober dan musim penghujan meliputi bulan November hingga April. Selain itu, untuk mendapatkan gambaran yang lebih mendetail mengenai variansi bulanan, data juga dianalisis berdasarkan rentang tahunan. Perbandingan ini ditujukan untuk mengevaluasi apakah terjadi perubahan signifikan korelasi antara kedua musim dan mencari model regresi terbaik yang dapat menjelaskan hubungan antara parameter meteorologis dengan konsentrasi udara ambien. Berikut merupakan tabel data yang digunakan pada penelitian ini. Pada bulan Mei dan Desember di tahun 2019 serta Mei, Juni, dan Desember di tahun 2020 tidak dianalisa karena ketersediaan data yang minimum.

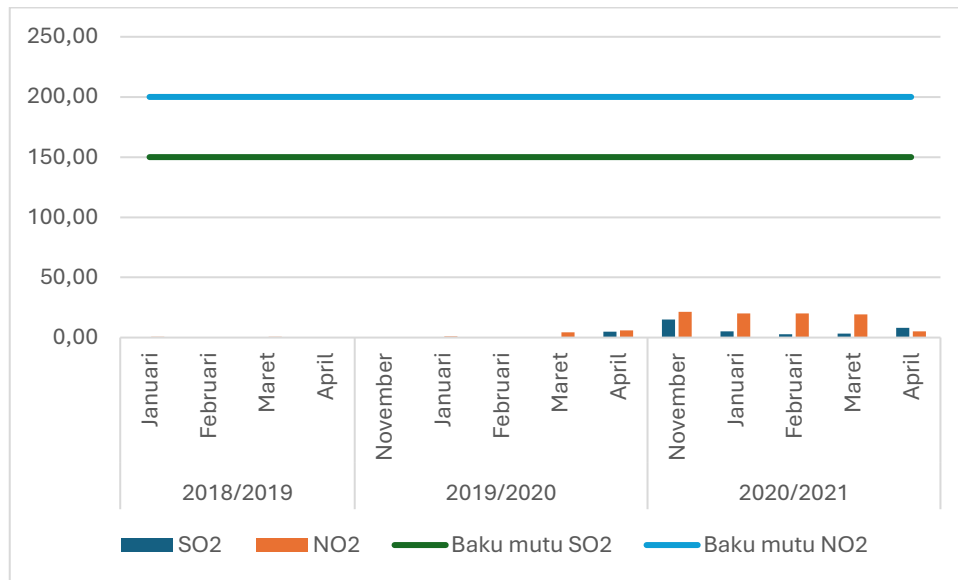
Tabel 4.1 Data Konsentrasi SO₂ dan NO₂ pada Musim Penghujan

Tahun	Bulan	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
2018/2019	Januari	0,44	0,71
	Februari	0,45	0,22
	Maret	0,18	0,60
	April	0,18	0,38
2019/2020	November	0,18	0,41
	Januari	0,24	0,90
	Februari	0,20	0,34
	Maret	0,30	4,46

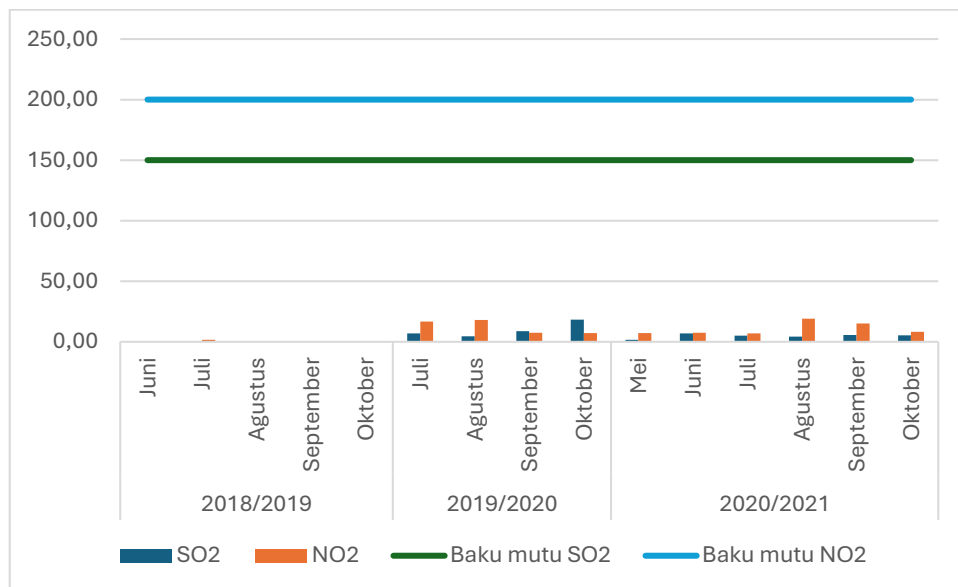
Tahun	Bulan	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
	April	5,00	6,05
2020/2021	November	14,90	21,39
	Januari	5,22	20,05
	Februari	2,69	20,17
	Maret	3,37	19,25
	April	8,13	5,28

Tabel 4.2 Data Konsentrasi SO₂ dan NO₂ pada Musim Kemarau

Tahun	Bulan	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
2018/2019	Juni	0,24	0,21
	Juli	0,33	1,77
	Agustus	0,25	0,63
	September	0,12	0,37
	Oktober	0,13	0,32
2019/2020	Juli	6,90	16,78
	Agustus	4,50	18,07
	September	8,66	7,42
	Oktober	18,30	7,30
2020/2021	Mei	1,76	7,20
	Juni	6,89	7,35
	Juli	5,20	7,03
	Agustus	4,23	19,18
	September	5,49	15,13
	Oktober	5,45	8,33



Gambar 4.1 Konsentrasi Udara pada Musim Hujan dari DLH



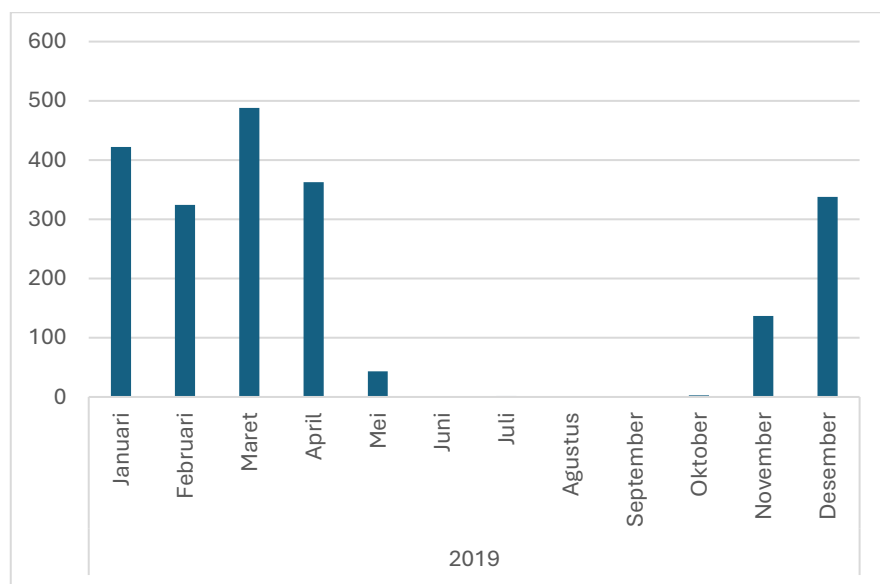
Gambar 4.2 Konsentrasi Udara pada Musim Kemarau dari DLH

Selama musim hujan dan kemarau, ditemukan bahwa konsentrasi SO_2 dan NO_2 tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Batas baku mutu untuk parameter SO_2 adalah $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sementara untuk NO_2 adalah $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil analisis ini menunjukkan

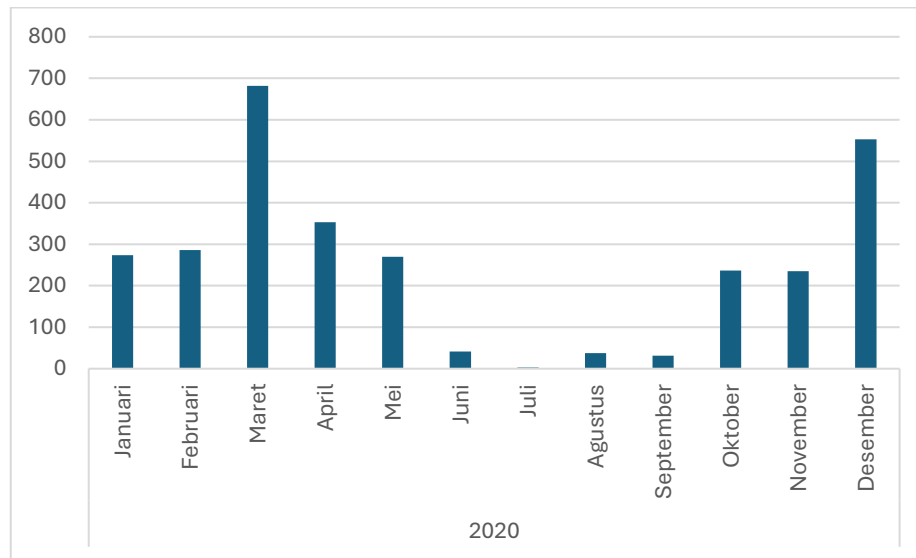
bahwa kualitas udara selama kedua musim tersebut memenuhi standar yang ditetapkan dalam peraturan tersebut.

4.2 Data Meteorologis

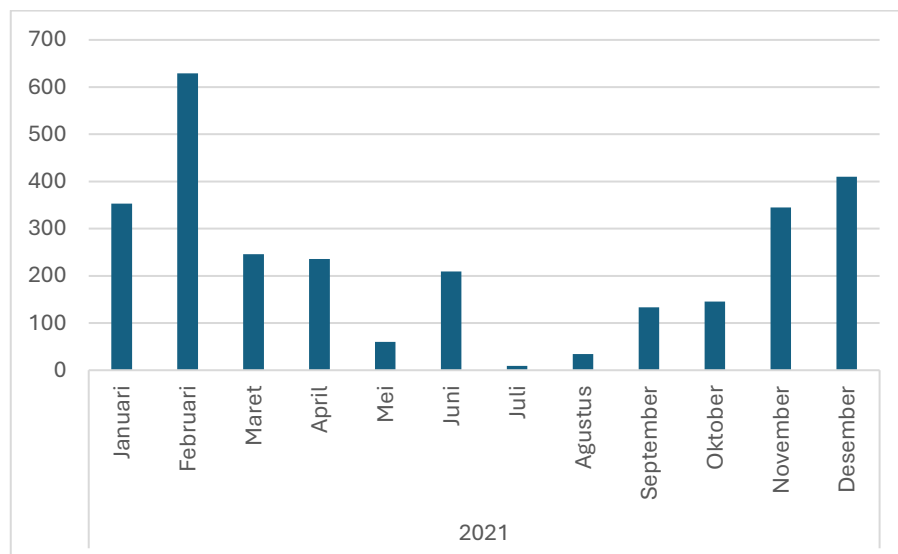
Data meteorologis yang digunakan berupa curah hujan, suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari dari stasiun Klimatologi Yogyakarta terlampir pada lampiran 13. Periode data berlangsung dari tahun 2019 hingga 2021. Berikut merupakan grafik curah hujan.



Gambar 4.3 Curah Hujan di tahun 2019 dari BMKG



Gambar 4.4 Curah Hujan di tahun 2020 dari BMKG



Gambar 4.5 Curah Hujan di tahun 2021 dari BMKG

Grafik curah hujan bulanan tahun 2019-2021 menunjukkan variasi yang cukup besar. Curah hujan bulanan menunjukkan fluktuasi signifikan dengan hujan yang sangat lebat hingga sedikit hujan. Tahun 2020 dan 2021 menunjukkan variasi curah hujan yang lebih merata sepanjang tahun dibandingkan dengan tahun 2019.

Musim hujan umumnya berlangsung dari bulan Oktober hingga April dan musim kemarau berlangsung dari bulan Mei hingga September. Jumlah hari hujan paling tinggi terjadi pada bulan Desember, Januari, Februari, dan Maret, yang

merupakan periode musim hujan. Sebaliknya, jumlah hari hujan menurun signifikan dari bulan Mei hingga September yang menandakan musim kemarau.

4.3 Uji Korelasi

4.3.1 Uji Normalitas

Uji Normalitas perlu dilakukan untuk mengetahui sejauh mana distribusi data yang digunakan mendekati distribusi normal. Pengujian untuk membuktikan normal atau tidaknya suatu data menggunakan analisis Kolmogorov-Smirnov. Pengujian ini menggunakan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : Sampel berdistribusi normal

H_1 : Sampel berdistribusi tidak normal

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data konsentrasi SO_2 dan NO_2 , baik secara keseluruhan maupun dibagi berdasarkan musim hujan dan kemarau, cenderung berdistribusi normal. Hal ini ditunjukkan pada tabel 4.5 bahwa nilai D maks yang lebih kecil dari nilai D tabel. Ini menegaskan bahwa data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dianggap mewakili distribusi normal, memenuhi syarat untuk analisis statistik lebih lanjut. Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) diterima, yang menyatakan bahwa sampel tersebut berdistribusi normal.

Tabel 4.3 Hasil Uji Normalitas

Set Data	D maks	D tabel
Data Musim Hujan SO_2	0,293	0,349
Data Musim Hujan NO_2	0,265	0,349
Data Musim Kemarau SO_2	0,179	0,338
Data Musim Kemarau NO_2	0,202	0,338
Data SO_2 Tahunan	0,207	0,231
Data NO_2 Tahunan	0,184	0,231

4.3.2 Uji Korelasi Pearson

Setelah memverifikasi bahwa variabel yang digunakan mengikuti distribusi normal maka uji korelasi yang digunakan yaitu uji korelasi Pearson. Uji korelasi Pearson lebih sesuai karena memiliki skala interval atau rasio dan diasumsikan mengikuti distribusi normal. Analisis korelasi Pearson bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan antara SO_2 dan NO_2 dengan variabel meteorologis yang relevan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi SO_2 dan NO_2 dengan variabel curah hujan, kelembaban, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada musimnya. Analisis korelasi selama musim hujan dan musim kemarau dengan faktor meteorologis ditemukan bahwa terdapat nilai yang mendekati 1 dan -1. Nilai korelasi yang mendekati 1 menunjukkan hubungan positif yang kuat, artinya ketika variabel meteorologis meningkat, maka variabel konsentrasi SO_2 atau NO_2 ikut meningkat. Sebaliknya, nilai korelasi yang mendekati -1 menunjukkan hubungan negatif kuat, di mana ketika variabel meteorologis meningkat, maka konsentrasi SO_2 atau NO_2 cenderung menurun.

Tabel 4.4 Korelasi Pearson pada Musim Penghujan

Musim Hujan				
Variabel Korelasi	(2019-2021)	2019 (6 bulan)	2020 (6 bulan)	2021 (6 bulan)
SO ₂ (µg/m ³) & Hujan (mm)	-0,29	-0,43	0,20	-0,55
NO ₂ (µg/m ³) & Hujan (mm)	0,06	0,82	0,63	0,33
SO ₂ (µg/m ³) & Suhu (°C)	-0,01	-0,18	0,82	0,67
NO ₂ (µg/m ³) & Suhu (°C)	-0,40	-0,53	0,60	-0,47
SO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	-0,56	0,50	0,29	-0,78
NO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	-0,19	0,49	0,48	0,58
SO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	0,23	0,96	-0,91	-0,27
NO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	0,48	-0,04	-0,93	0,83
SO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	-0,06	0,11	-0,40	0,29
NO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	-0,48	-0,72	-0,47	-0,73

Tabel 4.5 Korelasi Pearson pada Musim Kemarau

Musim Kemarau				
Variabel Korelasi	(2019-2021)	2019 (6 bulan)	2020 (6 bulan)	2021 (6 bulan)
SO ₂ (µg/m ³) & Hujan (mm)	0,72	0,16	0,93	0,60
NO ₂ (µg/m ³) & Hujan (mm)	0,20	0,32	-0,60	-0,20
SO ₂ (µg/m ³) & Suhu (°C)	-0,22	-0,92	0,11	-0,45
NO ₂ (µg/m ³) & Suhu (°C)	-0,01	-0,62	0,55	-0,49
SO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	0,64	0,78	0,15	0,19
NO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	0,45	0,44	-0,15	-0,43
SO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	0,10	-0,80	0,68	0,60
NO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	-0,35	-0,35	-0,74	0,04

Musim Kemarau				
Variabel Korelasi	(2019-2021)	2019 (6 bulan)	2020 (6 bulan)	2021 (6 bulan)
SO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	-0,76	-0,20	-0,98	-0,18
NO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	-0,41	0,26	0,65	-0,19

Tabel 4.6 Korelasi Data set Tahunan

Data Set Tahunan				
Pencemar Udara	3 tahun	2019	2020	2021
SO ₂ (µg/m ³) & Hujan (mm)	-0,060	0,357	-0,363	0,065
NO ₂ (µg/m ³) & Hujan (mm)	0,040	-0,136	-0,498	0,331
SO ₂ (µg/m ³) & Suhu (°C)	-0,232	-0,295	-0,198	-0,158
NO ₂ (µg/m ³) & Suhu (°C)	-0,069	-0,636	0,021	-0,198
SO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	0,062	0,592	-0,621	-0,036
NO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	0,087	-0,018	-0,700	0,092
SO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	0,1425	-0,2626	0,5801	-0,3597
NO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	0,09	-0,2011	-0,0202	0,6735
SO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	-0,3182	-0,356	-0,1556	0,0078

Data Set Tahunan				
Pencemar Udara	3 tahun	2019	2020	2021
NO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	-0,3205	0,155	0,4883	-0,3391

4.3.3 Uji T (Signifikansi)

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

Tabel 4.7 Uji T pada Musim Hujan

Variabel Uji T	Tahun	p value
SO ₂ (µg/m ³) & Suhu (°C)	2020	0,042
SO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	2019-2021	0,018
SO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	2019	0,018
SO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	2020	0,016
NO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	2019-2021	0,039
NO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	2020	0,009
NO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	2021	0,039
NO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	2019-2021	0,040

Tabel 4.8 Uji T pada Musim Kemarau

Variabel Uji T	Tahun	p value
SO ₂ (µg/m ³) & Hujan (mm)	2020	0,0303
SO ₂ (µg/m ³) & Hujan (mm)	2019-2021	0,0011
SO ₂ (µg/m ³) & Suhu (°C)	2019	0,0133
SO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	2019-2021	0,0046
NO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	2019-2021	0,0454
SO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	2019	0,0485
SO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	2019-2021	0,0005

Variabel Uji T	Tahun	p value
SO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	2020	0,0097

Setelah dilakukan pengujian signifikansi pada data musim hujan dan musim kemarau, didapatkan hasil uji T yang memperlihatkan bahwa tidak semua data uji korelasi pearson menunjukkan tingkat signifikansi. Data yang signifikan ditunjukkan dengan nilai p-value < 0,05. Penelitian ini, menegaskan bahwa variabilitas musiman mempengaruhi secara signifikan selama musim hujan dan kemarau.

Berdasarkan hasil analisis yang melibatkan nilai korelasi Pearson untuk konsentrasi SO₂ dan NO₂ dengan faktor meteorologis. Selama musim hujan, faktor meteorologis seperti kecepatan angin menunjukkan hubungan yang signifikan. Terdapat korelasi negatif yang signifikan antara konsentrasi SO₂ dan kecepatan di tahun 2020 ($r = -0,911$, p-value = 0,016). SO₂ dan kelembaban selama 3 tahun dengan nilai ($r = -0,562$, p-value = 0,018).

Selama musim kemarau, variabel suhu, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari memiliki pengaruh yang signifikan. Terlihat dari korelasi negatif yang signifikan antara SO₂ dan suhu pada tahun 2019 ($r = -0,921$, p-value = 0,0133). Konsentrasi SO₂ dan kecepatan angin di tahun 2019 ($r = -0,809$, p-value = 0,048). Konsentrasi SO₂ dan lama penyinaran matahari selama 3 tahun dengan nilai ($r = -0,763$, p-value = 0,0005).

Tabel 4.9 Uji T data Set Tahunan

Variabel Uji T	Tahun	p value
NO ₂ (µg/m ³) & Suhu (°C)	2019	0,0239
SO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	2019	0,0356
SO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	2020	0,0373
NO ₂ (µg/m ³) & Kelembaban (%)	2020	0,0178

Variabel Uji T	Tahun	p value
NO ₂ (µg/m ³) & Kecepatan Angin (m/s)	2021	0,0082
SO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	3 tahun	0,0405
NO ₂ (µg/m ³) & Lama Penyinaran Matahari (jam)	3 tahun	0,0394

Analisis data set tahunan menunjukkan bahwa, pada tahun 2019 Suhu dan kelembaban menunjukkan hubungan signifikan. sementara itu, di tahun 2020, konsentrasi SO₂ dan kelembaban menunjukan hubungan signifikan yang konsisten dari tahun sebelumnya, dan di tahun 2021 ditemukan bahwa konsentrasi NO₂ dan kecepatan angin bernilai signifikan.

Hasil uji T ini mendukung temuan sebelumnya dan memperkuat kesimpulan bahwa faktor meteorologis memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi SO₂ di berbagai musim. Temuan ini penting dalam konteks pengelolaan kualitas udara, karena menunjukkan bahwa variabilitas musiman harus dipertimbangkan dalam upaya mitigasi polusi udara. Analisis ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk merancang kebijakan dan strategi yang efektif dalam mengendalikan emisi polutan berdasarkan kondisi meteorologis spesifik setiap musim.

4.4 Analisis Regresi Linier

Setelah melakukan serangkaian analisis yang meliputi uji normalitas, korelasi pearson, dan uji T, Langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah melakukan analisis regresi linier. Analisis ini digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel konsentrasi udara dengan faktor meteorologis secara lebih dalam. Langkah ini memungkinkan kita untuk memprediksi nilai konsentrasi SO_2 dan NO_2 dengan menggunakan faktor meteorologis yaitu curah hujan, kelembaban, lama penyinaran matahari, dan kecepatan angin. Berikut merupakan data set yang digunakan dalam analisis regresi.

Tabel 4.10 Data Set Temporal

Data Set	Nama Kode	Bulan dan Tahun	Jumlah Data Teoritis	Jumlah Data yang ada
Tahunan	a	Januari-Desember 2019	12	10
	b	Januari-Desember 2020	12	9
	c	Januari-Desember 2021	12	12
	d	2019,2020, dan 2021	36	31
Musim Hujan	e	November - April 2018/2019	6	4
	f	November - April 2019/2020	6	5
	g	November - April 2020/2021	6	5
	h	November - April (2019-2021)	18	14
Musim Kemarau	i	Mei - Oktober 2019	6	5
	j	Mei - Oktober 2020	6	4
	k	Mei - Oktober 2021	6	6
	l	Mei - Oktober (2019-2021)	18	13

Data set yang digunakan dalam analisis regresi ini mencakup periode waktu tahunan dan musimam selama tiga tahun, dari 2019 hingga 2021. Data dikumpulkan dan dibagi menjadi tiga kategori yaitu tahunan, musim hujan, dan musim kemarau. Secara keseluruhan data set ini terdiri dari 58 data yang tersedia dari total 72 data teoritis yang diharapkan. Tingkat ketersediaan ini cukup memadai untuk melakukan analisis regresi yang komperhensif.

Tabel 4.11 Hasil Analisis Regresi pada Musim Hujan

Variabel Regresi	R	RMSE	R ²	Persamaan	Jumlah Data
SO ₂ & Kelembaban (2019-2021)	0,562	3,398	0,316	$y = 107,01 - 1,24 x$	14
SO ₂ & Suhu (2019)	0,827	0,117	0,685	$y = -32,18 + 1,03 x$	5
SO ₂ & Kecepatan Angin (2019)	0,964	0,110	0,929	$y = -0,01 + 0,07 x$	4
SO ₂ & Kecepatan Angin (2020)	0,911	0,086	0,829	$y = 2,65 - 0,51 x$	5
NO ₂ & Kecepatan Angin (2020)	0,939	0,814	0,882	$y = 29,62 - 6,02 x$	5
NO ₂ & Kecepatan Angin (2021)	0,835	3,310	0,697	$y = -61,21 + 16,42 x$	5
NO ₂ & Kecepatan Angin (2019-2021)	0,485	7,411	0,236	$y = -46,75 + 12,95 x$	14
NO ₂ & Lama Penyinaran Matahari (2019-2021)	0,483	7,421	0,234	$y = 30,79 - 4,44 x$	14

Tabel 4.12 Hasil Analisis Regresi pada Musim Kemarau

Variabel Regresi	R	RMSE	R ²	Persamaan	Jumlah Data
SO ₂ & Hujan (2020)	0,939	1,798	0,882	$y = 5,50 + 0,05 x$	4
SO ₂ & Hujan (2019-2021)	0,724	3,190	0,524	$y = 1,97 + 0,04 x$	15
SO ₂ & Kelembaban (2019-2021)	0,647	3,526	0,419	$y = -85,51 + 1,12 x$	15

Variabel Regresi	R	RMSE	R ²	Persamaan	Jumlah Data
NO ₂ & Kelembaban (2019-2021)	0,452	5,770	0,204	$y = -80,16 + 1,09 x$	15
SO ₂ & Suhu (2019)	0,921	0,031	0,847	$y = 2,82 - 0,08 x$	5
SO ₂ & Kecepatan Angin (2019)	0,809	0,046	0,655	$y = 0,77 - 0,12 x$	5
SO ₂ & Kecepatan Angin (2020)	0,981	1,024	0,962	$y = 35,19 - 4,17 x$	4
SO ₂ & Lama Penyinaran Matahari (2019-2021)	0,763	2,991	0,582	$y = 24,7 - 3,04 x$	15

Selama musim penghujan terdapat model regresi dengan RMSE rendah, seperti pada hubungan antara SO₂ dan kecepatan angin di tahun 2020. Untuk data 3 tahun, RMSE yang rendah terdapat pada hubungan antara SO₂ dan Kelembaban. Hal ini menunjukkan bahwa variabel ini memberikan kontribusi yang kuat dalam menjelaskan variasi konsentrasi SO₂. Sebagai contoh, hubungan antara SO₂ dan kecepatan angin di tahun 2020 menunjukkan koefisien korelasi (R) sebesar 0,911 dan R² sebesar 0,829 yang mengindikasikan bahwa 82,9% variasi dalam konsentrasi SO₂ dapat dijelaskan oleh kecepatan angin. Kecepatan angin yang lebih tinggi pada musim hujan meningkatkan pencampuran udara di atmosfer, sehingga konsentrasi SO₂ dan NO₂ lebih cepat menyebar dan tidak terkumpul di satu tempat.

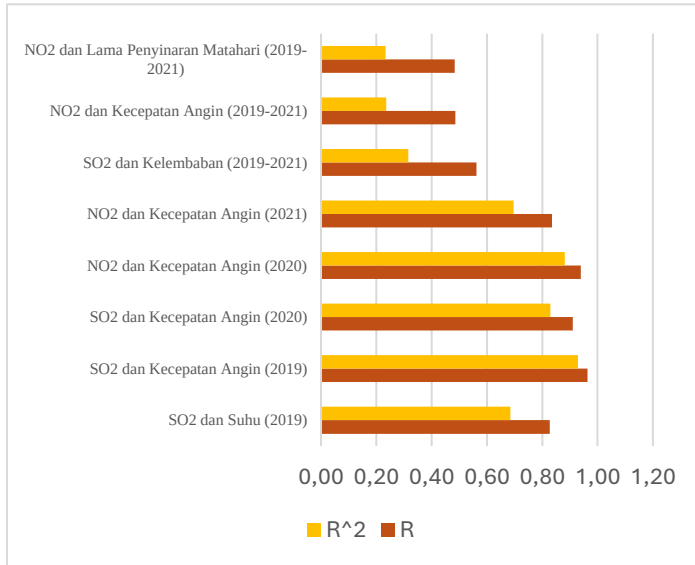
Intersep mewakili nilai konsentrasi SO₂ dan NO₂ pada titik awal, sementara slope menunjukkan seberapa besar perubahan konsentrasi SO₂ dan NO₂ ketika faktor meteorologis mengalami perubahan satu unit. Sebagai contoh, hubungan antara SO₂ dan kelembaban selama periode 3 tahun memiliki nilai intersep sebesar 107,01 dan slope sebesar -1,24. Ini mengindikasikan bahwa setiap satuan peningkatan kelembaban selama 3 tahun akan menurunkan konsentrasi SO₂ sebesar 1,24 unit. Persamaan regresinya adalah $y = 107,01 - 1,24x_1$. Ketika kelembaban

udara meningkat, terutama dalam kondisi disertai hujan. Fenomena dekomposisi basah dapat terjadi. Kelembaban yang tinggi memungkinkan partikel air atau embun untuk menyerap konsentrasi SO_2 .

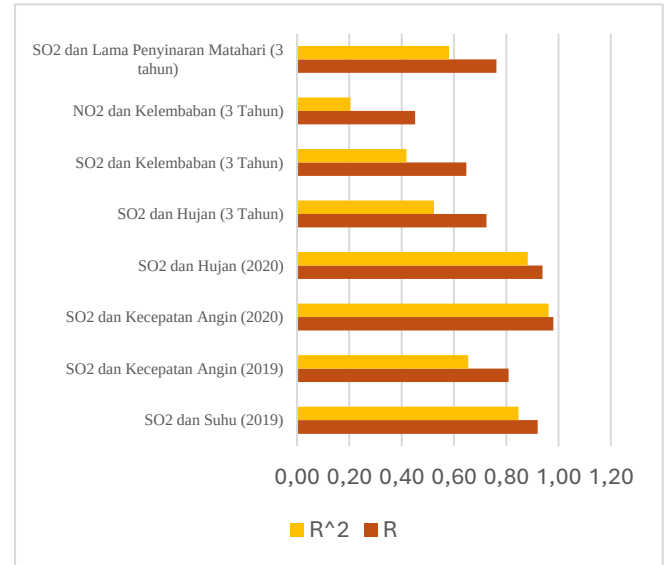
Perlu juga dipertimbangkan jumlah data yang digunakan. Dengan data yang lebih sedikit seperti pada kasus SO_2 dan hujan tahun 2019, interpretasi hasilnya menjadi lebih bervariasi seperti nilai slope yang diperoleh menjadi tidak stabil dan mungkin tidak mewakili hubungan yang sebenarnya antara SO_2 dan hujan. Penting untuk mempertimbangkan jumlah data yang mencukupi agar hasil regresi lebih dapat mewakili hubungan yang sebenarnya antara variabel yang dianalisis.

Selama musim kemarau, hasil analisis regresi menunjukkan bahwa variabel seperti suhu, kecepatan angin di tahun 2019, serta lama penyinaran matahari periode 3 tahun memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi SO_2 . Sebagai contoh, hubungan SO_2 dan suhu pada tahun 2019 menunjukkan RMSE sebesar 0,031 dan R^2 yang tinggi yaitu 0,847, menandakan bahwa suhu memiliki pengaruh yang kuat dalam menjelaskan variasi konsentrasi SO_2 selama musim kemarau.

Nilai intersep sebesar 2,82 dan slope sebesar -0,08 mengindikasikan bahwa peningkatan suhu di tahun 2019 secara signifikan akan menurunkan konsentrasi SO_2 sebesar 0,08. Peningkatan suhu selama musim kemarau menyebabkan partikel-partikel udara bergerak secara acak dan turbulen. Kecepatan angin yang meningkat membawa konsentrasi SO_2 ke arah yang lebih luas dari sumber emisi, sehingga konsentrasinya dapat terdispersi lebih luas di udara. Durasi penyinaran matahari yang lebih lama, tanaman dan vegetasi dapat meningkatkan fotosintesis sehingga menyerap konsentrasi SO_2 .

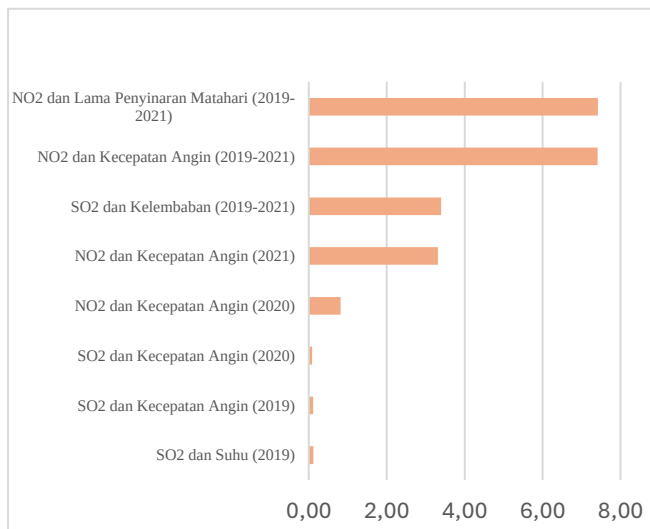


(a)

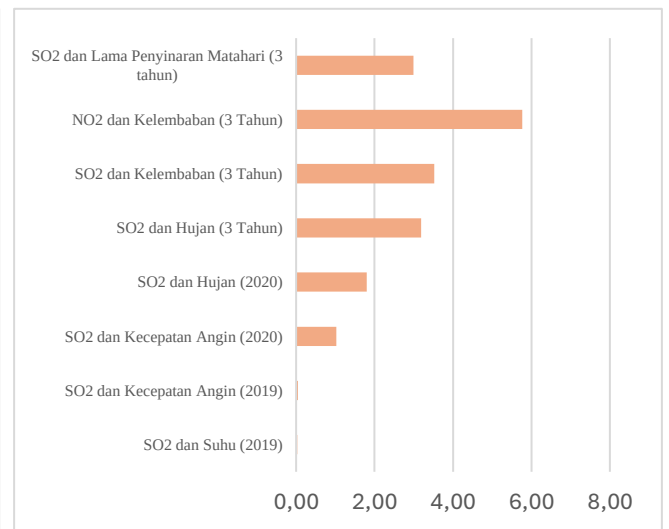


(b)

Gambar 4.6 Koefisien korelasi dan determinasi dari hasil regresi pada Musim Hujan (a) dan Musim Kemarau (b)



(a)



(b)

Gambar 4.7 Nilai Root Mean Square Error (RMSE) dari hasil regresi pada Musim Hujan (a) dan Kemarau (b)

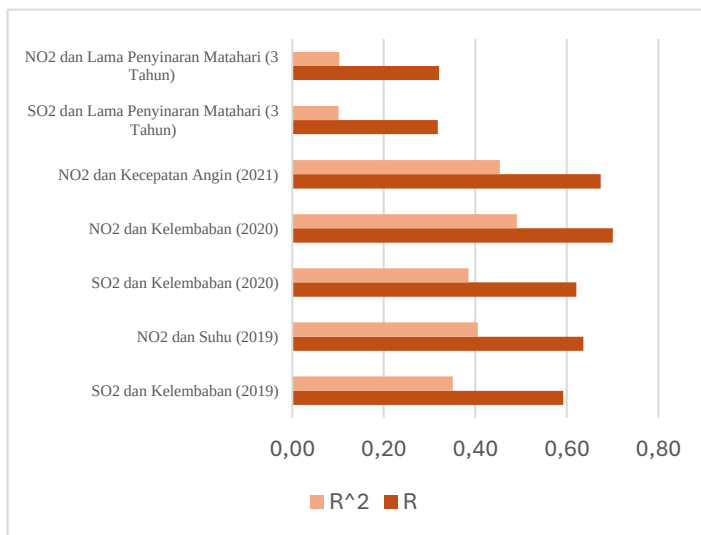
Selama musim penghujan, kecepatan angin di tahun 2020 dan kelembaban selama periode 3 tahun, menjadi prediktor yang baik dalam menjelaskan variasi konsentrasi udara ambien, sementara variabel lainnya seperti lama penyinaran matahari, suhu, dan curah hujan tidak memberikan kontribusi prediktif yang sebanding. Hujan yang tidak merata atau intensitas yang rendah tidak memberikan efek pencucian konsentrasi udara yang signifikan. Selain itu, variasi lama penyinaran matahari mungkin terbatas. Untuk variabel curah hujan sendiri, tidak bisa menjadi prediktor yang baik karena jumlah data sedikit. Hal ini dapat mengurangi kemampuan variabel ini untuk memberikan prediksi yang akurat. Variabel suhu sendiri memiliki nilai RMSE yang lebih tinggi dibandingkan variabel kecepatan angin. RMSE yang lebih rendah menunjukkan bahwa kecepatan angin lebih efektif dalam menjelaskan variabilitas konsentrasi SO_2 dibandingkan suhu.

Selama musim kemarau, suhu dan kecepatan angin di tahun 2019 serta lama penyinaran matahari periode 3 tahun menjadi prediktor yang baik dalam menjelaskan variasi konsentrasi udara ambien dibandingkan variabel lainnya seperti hujan dan kelembaban. Terdapat beberapa alasan utama mengapa faktor ini tidak memberikan kontribusi yang signifikan sebagai prediktor yang baik dalam model regresi untuk kualitas udara yaitu pengaruh hujan yang minimal, kelembaban cenderung relatif lebih rendah dan nilai RMSE yang cukup tinggi.

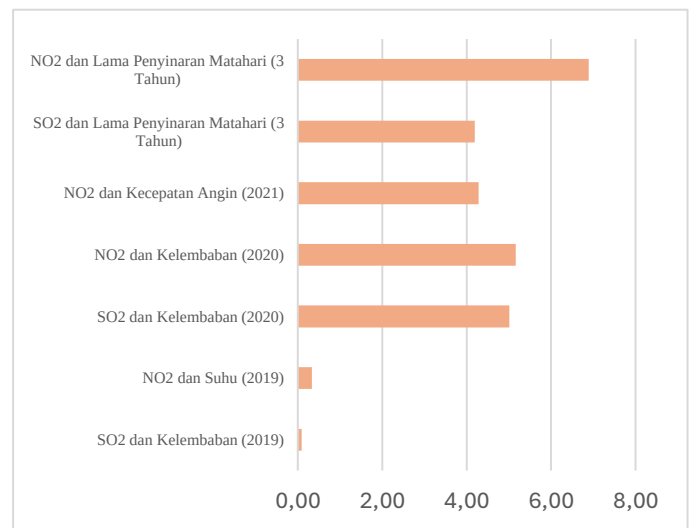
Hasil analisis regresi linier menunjukkan bahwa faktor meteorologis memiliki pengaruh signifikan terhadap konsentrasi pencemar udara SO_2 dan NO_2 , dengan variasi kekuatan hubungan tergantung pada musim dan jenis faktor meteorologisnya. Terdapat beberapa faktor yang dapat meningkatkan kualitas model regresi untuk memprediksi konsentrasi SO_2 dan NO_2 yaitu memasukan variabel interaksi antara faktor meteorologis yang signifikan dapat membantu menggambarkan lebih baik bagaimana faktor ini saling mempengaruhi dan berkontribusi terhadap konsentrasi SO_2 dan NO_2 .

Tabel 4.13 Hasil Analisis Regresi Data Set Tahunan

Variabel Regresi	R	RMSE	R ²	Persamaan	Jumlah Data
SO ₂ dan Kelembaban (2019)	0,592	0,092	0,351	$y = -1,24 + 0,018$	10
SO ₂ dan Kelembaban (2020)	0,621	5,012	0,385	$y = 247,69 - 2,87$	9
NO ₂ dan Kelembaban (2020)	0,700	5,166	0,490	$y = 317,81 - 3,67$	9
NO ₂ dan Suhu (2019)	0,636	0,334	0,405	$y = 12,13 - 0,37$	10
NO ₂ dan Kecepatan Angin (2021)	0,674	4,281	0,454	$y = -46,75 + 12,95$	12
SO ₂ dan Lama Penyinaran Matahari (3 Tahun)	0,318	4,195	0,101	$y = 10,14 - 1,07$	31
NO ₂ dan Lama Penyinaran Matahari (3 Tahun)	0,321	6,893	0,103	$y = 17,97 - 1,78$	31



(a)



(b)

Gambar 4.8 Koefisien korelasi, determinasi, (a) dan RMSE (b) dari hasil analisis regresi data set tahunan

Pada datas set tahunan terdapat model regresi dengan RMSE rendah, seperti pada hubungan antara SO₂ dan kelembaban serta NO₂ dan suhu pada tahun 2019.

Sebagai contoh, hubungan antara NO₂ dan suhu di tahun 2019 menunjukkan koefisien korelasi (R) sebesar 0,636 dan R² sebesar 0,405 yang mengindikasikan bahwa 40,5% variasi dalam konsentrasi NO₂ dapat dijelaskan oleh suhu. Model regresi ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan negatif antara suhu dan konsentrasi NO₂, dengan persamaan regresi $y = 12,13 - 0,37x$. Ini berarti suhu meningkat, konsentrasi NO₂ cenderung menurun. Hal ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor, seperti peningkatan suhu yang dapat mempercepat proses dispersi dan reaksi kimia yang mengurangi konsentrasi NO₂ di udara.

Begitupun hubungan antara SO₂ dan kelembaban yang memiliki pengaruh cukup besar terhadap variasi konsentrasi SO₂ pada tahun 2019. Hal ini didukung oleh pendapat yang menyatakan bahwa suhu udara dan kelembaban adalah bagian dari parameter meteorologis yang dapat mempengaruhi konsentrasi gas pencemar di udara (Istantinova dkk., 2012). Nilai korelasi antara SO₂ dan kelembaban berbanding lurus sebesar 0,592. Saat kelembaban udara tinggi, konsentrasi SO₂ akan cenderung tinggi. Hal ini didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Maharini (2017), Kelembaban udara yang tinggi menyebabkan dispersi udara menjadi lambat karena banyaknya uap air di udara akan memperlambat aliran udara baik secara vertikal maupun horizontal, sehingga konsentrasi SO₂ menjadi tinggi.

Ditemukan korelasi negatif signifikan antara konsentrasi udara dengan faktor meteorologis tertentu di tahun 2020. Hasil ini dapat dijelaskan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah dampak fenomena COVID-19 yang signifikan pada kegiatan manusia seperti pembatasan mobilitas dan penurunan aktivitas transportasi yang berkurang selama pandemi COVID-19 telah mengurangi emisi polutan udara, terutama di daerah perkotaan Yogyakarta.

Selama tahun 2020, Yogyakarta, seperti banyak daerah lainnya, mengalami puncak pandemi COVID-19 yang tinggi pada beberapa bulan tertentu. Puncak pertama terjadi pada bulan April dan Mei, ketika pemerintah memberlakukan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB). Pembatasan ketat ini mengakibatkan penurunan signifikan dalam aktivitas industri dan transportasi, yang berkontribusi pada penurunan emisi polutan udara.

Kemudian, puncak kedua terjadi pada bulan Agustus dan September, ketika ada peningkatan jumlah kasus yang signifikan, sehingga pemerintah kembali menerapkan pembatasan ketat. Penurunan aktivitas ekonomi dan sosial selama periode ini juga berkontribusi pada penurunan konsentrasi polutan udara di Yogyakarta. Dengan adanya penurunan aktivitas manusia selama bulan-bulan puncak COVID-19, korelasi negatif yang signifikan antara konsentrasi polutan udara dan faktor meteorologis tertentu menjadi lebih jelas. Hal ini memberikan bukti tambahan bahwa intervensi manusia memiliki dampak yang nyata pada kualitas udara. Namun, keterbatasan ini menyebabkan variasi data yang tidak biasa, yang dapat mempengaruhi keandalan dan konsistensi analisis, sehingga interpretasi hasil harus dilakukan dengan hati-hati mempertimbangkan bahwa perubahan yang diamati mungkin lebih disebabkan oleh kondisi pandemi daripada kondisi lingkungan yang normal.

Pada tahun 2020, dengan variasi curah hujan yang lebih merata dapat dianggap sebagai tahun basah. Selama tahun ini, curah hujan yang stabil dan terus menerus dapat berkontribusi pada variasi konsentrasi polutan yang lebih kecil. Seperti pada korelasi antara SO_2 dan kecepatan angin pada musim hujan di tahun 2020, serta korelasi positif antara SO_2 dan kelembaban di tahun 2019 pada data set tahunan menunjukkan bahwa pada tahun yang lebih kering, peningkatan kelembaban berkontribusi pada peningkatan konsentrasi SO_2 . Sebaliknya, korelasi negatif antara suhu dan NO_2 menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi pada tahun-tahun basah dapat membantu mengurangi konsentrasi NO_2 . Hal ini didukung dengan penelitian yang dilakukan Arghadeep Bose (2023) bahwa, korelasi konsentrasi SO_2 dan suhu di musim hujan juga bernilai negatif.

Untuk mendeteksi tren dari data udara, dilakukan uji tren Mann-Kendall. Tren yang diamati antara tahun 2019 hingga 2021. Pengujian ini dilakukan menggunakan aplikasi R. Berikut merupakan tabel uji tren kendall.

Tabel 4.14 Hasil uji Mann Kendall

Data Set	tau Kendall nilai τ	p-value	slope	Tren
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Musim Hujan	0,495	0,016	0,009	Naik
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Musim Hujan	0,538	0,0085	0,02	Naik
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Musim Kemarau	0,352	0,0748	0,06	Naik
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Musim Kemarau	0,41	0,0376	0,013	Naik
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tahunan	0,456	0,0003	0,007	Naik
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tahunan	0,492	0,001	0,013	Naik

Analisis tren konsentrasi SO₂ dan NO₂ menunjukkan bahwa kedua polutan mengalami peningkatan yang signifikan selama musim hujan, musim kemarau, dan data set tahunan. Nilai tau Kendall yang lebih tinggi dan p-value yang signifikan selama musim hujan dan data set tahunan menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang kuat dan tren peningkatan konsentrasi polutan.

Tren Kendall yang menunjukkan kecenderungan naik dan korelasi pearson yang negatif menggambarkan dinamika yang kompleks dalam data yang dianalisis. Tren Kendall mengindikasikan perubahan jangka panjang, sementara korelasi pearson menangkap hubungan jangka pendek antara variabel yang dianalisis. Misalnya, selama musim hujan kelembaban memiliki korelasi negatif yang berarti meskipun ada peningkatan jangka panjang dalam konsentrasi SO₂, dalam jangka pendek, faktor meteorologis seperti kelembaban memiliki pengaruh yang berbeda. Hal ini didukung dengan penelitian yang dilakukan Arghadeep Bose (2023) bahwa, kelembaban memiliki korelasi negatif dengan konsentrasi SO₂ dan perubahan cuaca jangka panjang berdampak pada kualitas udara, dengan kelembaban yang mempengaruhi konsentrasi berbagai polutan.

Pada data set tahunan, analisis menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif antara kelembaban dan konsentrasi SO₂, yang berarti bahwa ketika kelembaban meningkat, konsentrasi SO₂ juga meningkat. Ini sejalan dengan tren jangka panjang yang menunjukkan pola peningkatan konsentrasi SO₂. Dalam konteks ini,

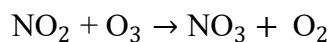
hubungan positif tersebut mengindikasikan bahwa selama tahun 2019, fluktuasi kelembaban secara langsung berhubungan dengan peningkatan konsentrasi SO_2 .

Dalam penelitian ini, meskipun konsentrasi SO_2 dan NO_2 berasal dari sumber yang sama, yaitu emisi kendaraan, terdapat perbedaan signifikan dalam hasil yang diperoleh. Perbedaan ini dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan beberapa faktor kimia dan fisika atmosfer yang mempengaruhi SO_2 dan NO_2 . Menurut Seinfeld dan Pandis (2016), menyatakan bahwa konsentrasi SO_2 dan NO_2 memiliki reaktivitas yang berbeda di atmosfer. NO_2 lebih reaktif dan dapat mengalami reaksi kimia kompleks dengan senyawa lain seperti hidrokarbon dan ozon, menghasilkan senyawa baru atau partikel yang menyebabkan konsentrasi NO_2 lebih bervariasi dan tidak selalu berkorelasi dengan kondisi meteorologis secara langsung. Selain itu pengendapan basah dan kering lebih efektif menghilangkan konsentrasi SO_2 dibandingkan NO_2 dari atmosfer, karena SO_2 lebih mudah larut dalam air dan lebih mudah dioksidasi menjadi sulfat (Wang dan Hao, 2012).

Menurut Seinfeld dan Pandis (2016), perubahan kimiawi yang terjadi pada SO_2 dan NO_2 di atmosfer. SO_2 di atmosfer dapat mengalami oksidasi melalui reaksi dengan radikal hidroksil (OH) atau dengan ozon (O_3). Hasil dari oksidasi ini adalah asam sulfat (H_2SO_4) sebagai berikut:



NO_2 dapat bereaksi dengan ozon untuk membentuk nitrogen trioksida (NO_3) dan nitrogen pentaoksida (N_2O_5) sebagai berikut :



NO_2 juga dapat bereaksi dengan radikal hidroksil (OH) untuk membentuk asam nitrat (HNO_3) sebagai berikut:



NO_2 dapat berperan dalam pembentukan partikel sekunder seperti nitrat aerosol, yang merupakan komponen penting dalam polusi partikel halus di atmosfer. Secara keseluruhan, SO_2 cenderung berubah menjadi asam sulfat, sementara NO_2 cenderung terlibat dalam reaksi kompleks yang menghasilkan

berbagai senyawa, termasuk asam nitrat dan aerosol nitrat. Reaktivitas yang lebih tinggi dari NO_2 ini yang menjelaskan mengapa konsentrasinya dapat berubah lebih cepat dibandingkan dengan SO_2 di atmosfer.

Selain itu, dalam studi yang dilakukan oleh Arie Dipareza Syafei (2014) yang menganalisis data kualitas udara di Surabaya, polutan gas seperti SO_2 dan NO_2 berbeda dalam sifat fisik dan perilaku atmosfer dibandingkan dengan partikulat (PM). Syafei menyatakan bahwa polutan gas cenderung lebih tersebar dan memiliki mekanisme pengendapan yang berbeda, sehingga perubahan konsentrasinya tidak langsung terlihat seperti partikel padat. Polutan gas berinteraksi dengan atmosfer dalam bentuk gas yang tersebar, sedangkan partikel lebih mungkin mengalami pengendapan dan perubahan fisik yang signifikan dalam kondisi meteorologis tertentu.

Secara umum, presentase pengaruh faktor meteorologis terhadap konsentrasi SO_2 dan NO_2 dapat bervariasi antara 40% hingga 50% tergantung pada studi dan kondisi spesifik (Wang dkk., 2018). Faktor lingkungan lain seperti aktivitas manusia dan lalu lintas kendaraan juga memiliki peran penting. Seperti yang dijelaskan oleh Seinfeld dan Pandis (2016), kombinasi dari berbagai sumber emisi dan kondisi meteorologis yang signifikan dapat menyebabkan fluktuasi yang signifikan dalam kualitas udara. Keterbatasan dalam penelitian ini salah satunya adalah kompleksitas interaksi antara berbagai faktor tersebut, yang membuat prediksi kualitas udara menjadi tantangan.

Beberapa keterbatasan dalam analisis ini perlu diperhatikan. Pertama, data yang digunakan hanya mencakup periode dari tahun 2019 hingga 2021, yang mungkin tidak cukup untuk menangkap semua variasi jangka panjang dalam konsentrasi polutan dan faktor meteorologis. Kedua, Meskipun analisis ini telah mempertimbangkan berbagai faktor meteorologis, tidak semua variabel yang mungkin berkontribusi polutan dapat diukur atau dimasukkan dalam model. Ketiga, penelitian ini harus mempertimbangkan bahwa perubahan yang diamati mungkin dipengaruhi oleh kondisi pandemi COVID-19 yang dapat menyebabkan perubahan pola aktivitas manusia dan emisi polutan.

Untuk mengatasi keterbatasan yang ada dan memperoleh pemahaman yang lebih komperhensif mengenai kualitas udara, diperlukan penelitian lanjutan. Pendekatan yang melibatkan data yang lebih lengkap serta penerapan metode analisis yang regresi berganda dapat mengurangi dampak variabilitas eksternal dan memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas udara secara menyeluruh.

4.5 Penambahan Variabel Indeks Nino 3.4

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui model mana yang baik dalam memprediksi konsentrasi SO_2 dan NO_2 . Salah satu aspek penting yang dianalisis adalah pengaruh fenomena iklim seperti El Nino dan La Nina. Dengan membandingkan indeks Nino 3.4 dengan hasil analisis regresi, kita dapat memahami sejauh mana El Nino dan La Nina mempengaruhi variabel meteorologis yang digunakan. Dengan analisis ini, dapat dievaluasi apakah indeks Nino 3.4 perlu dimasukkan sebagai variabel tambahan dalam model regresi untuk meningkatkan akurasi prediksi konsentrasi SO_2 dan NO_2 . Perhitungan ini dengan bantuan aplikasi R studio.

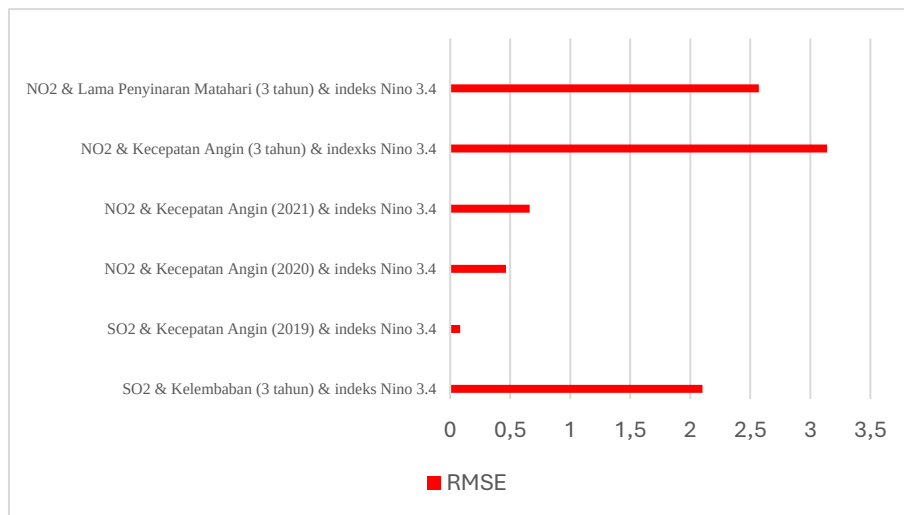
Tabel 4.15 Hasil Analisis Regresi dengan Indeks El Nino pada Musim Hujan

Variabel Regresi	R	RMSE	R ²	Persamaan	Jumlah Data
SO ₂ & Kelembaban (3 tahun) & indeks Nino 3.4	0,858	2,103	0,737	$y = 50,84 - 0,57x_1 - 3,80 x_2$	14
SO ₂ & Kecepatan Angin (2019) & indeks Nino 3.4	0,913	0,084	0,834	$y = 2,73 - 0,56x_1 + 0,31 x_2$	5
NO ₂ & Kecepatan Angin (2020) & indeks Nino 3.4	0,980	0,465	0,961	$y = 32,51 - 7,67 x_1 + 9,87 x_2$	5
NO ₂ & Kecepatan Angin (2021) & indeks Nino 3.4	0,993	0,661	0,987	$y = -75,32 + 15,80 x_1 + 35,62 x_2$	5
NO ₂ & Kecepatan Angin (3 tahun) & indeks Nino 3.4	0,928	3,140	0,862	$y = 1,04 + 1,36 x_1 - 9,9 x_2$	14
NO ₂ & Lama Penyinaran Matahari (3 tahun) & indeks Nino 3.4	0,952	2,570	0,907	$y = 18,64 - 2,11 x_1 - 9,47 x_2$	14

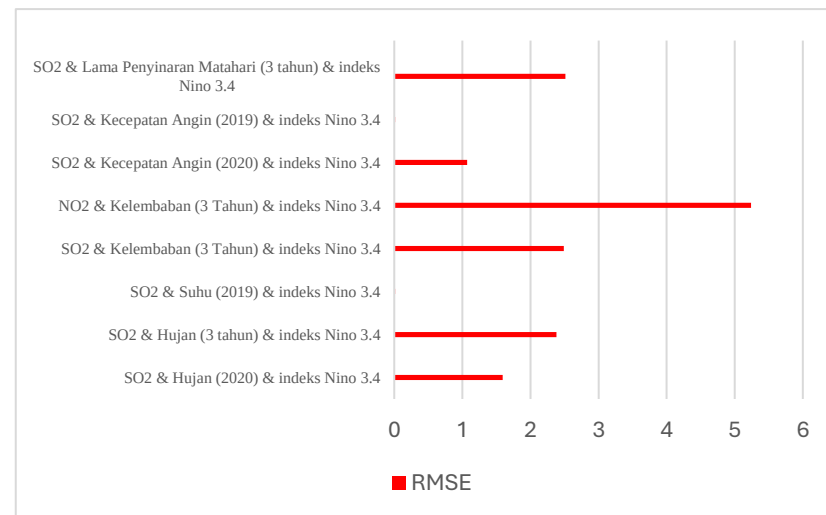
Tabel 4. 16 Hasil Analisis Regresi dengan Indeks El Nino pada Musim Kemarau

Variabel Regresi	R	RMSE	R ²	Persamaan	Jumlah Data
SO ₂ & Hujan (2020) & indeks Nino 3.4	0,952	1,59	0,907	$y = 4,83 + 0,04 x_1 - 5,60 x_2$	4
SO ₂ & Hujan (3 tahun) & indeks Nino 3.4	0,856	2,38	0,733	$y = 1,57 + 0,01 x_1 - 5,62 x_2$	15
SO ₂ & Suhu (2019) & indeks Nino 3.4	0,983	0,013	0,968	$y = 3,03 - 0,09 x_1 + 0,15 x_2$	5
SO ₂ & Kelembaban (3 Tahun) & indeks Nino 3.4	0,841	2,490	0,708	$y = -32,20 + 0,43 x_1 - 6,26 x_2$	15
NO ₂ & Kelembaban (3 Tahun) & indeks Nino 3.4	0,586	5,240	0,343	$y = -28,36 + 0,42 x_1 - 6,08 x_2$	15
SO ₂ & Kecepatan Angin (2020) & indeks Nino 3.4	0,981	1,070	0,962	$y = 33,48 - 3,97 x_1 - 0,75 x_2$	4
SO ₂ & Kecepatan Angin (2019) & indeks Nino 3.4	0,797	0,013	0,968	$y = 0,75 - 0,113 x_1 + 0,02 x_2$	5

Variabel Regresi	R	RMSE	R ²	Persamaan	Jumlah Data
SO ₂ & Lama Penyinaran Matahari (3 tahun) & indeks Nino 3.4	0,839	2,515	0,704	$y = 11,04 - 1,23 x_1 - 5,36 x_2$	15

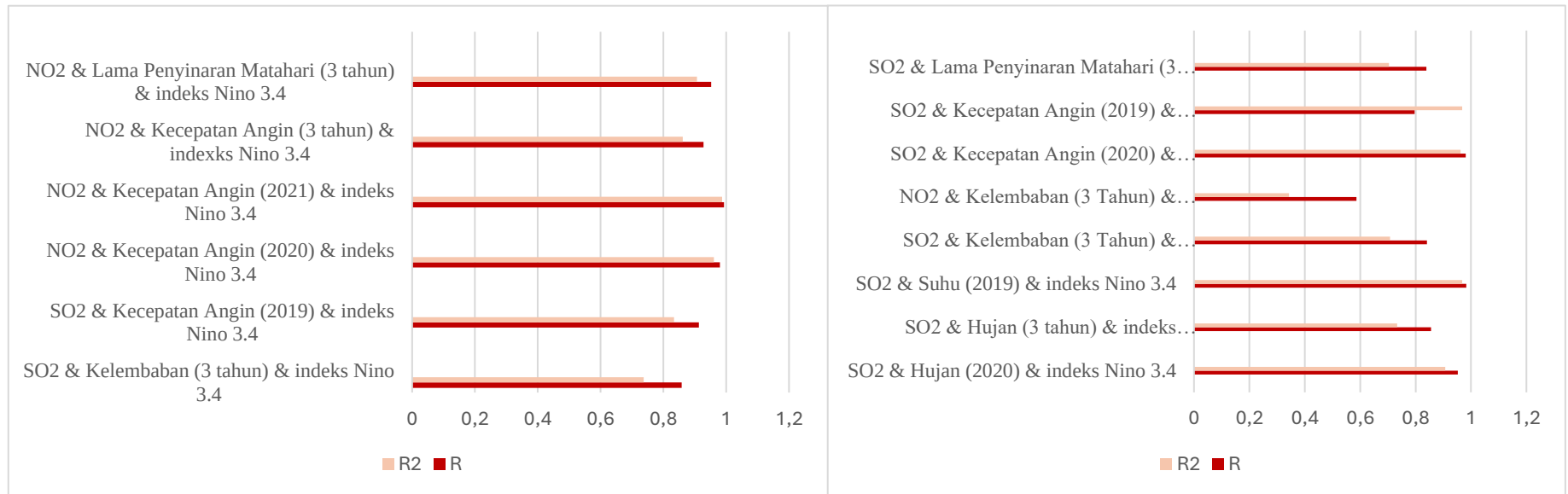


(a)



(b)

Gambar 4.9 Nilai Root Mean Square Error (RMSE) dari hasil regresi pada Musim Hujan (a) dan Kemarau (b)



(a)

(b)

Gambar 4.10 Koefisien korelasi dan determinasi dari hasil regresi pada Musim Hujan (a) dan Musim Kemarau (b)

Dalam analisis regresi untuk konsentrasi SO_2 , nilai koefisien korelasi kelembaban sebesar 0,42. Hal ini berarti setiap peningkatan unit kelembaban diperkirakan akan meningkatkan konsentrasi SO_2 sebesar 0,42 unit. Nilai koefisien korelasi indeks Nino 3.4 sebesar -0,68 yang menunjukkan adanya interaksi yang antara indeks Nino 3.4 dengan konsentrasi SO_2 . Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan pola cuaca global yang terkait dengan El Nino, yang dapat mempengaruhi transportasi udara dan kondisi meteorologis.

Pada musim hujan, penambahan variabel indeks Nino 3.4 memberikan perubahan yang terlihat pada beberapa set data seperti SO_2 dan Kelembaban. Sebelum penambahan indeks nino 3.4, nilai R^2 sebesar 0,316 dan setelah penambahan indeks nino menjadi 0,708. Nilai RMSE juga menunjukkan perubahan dari 3,398 menjadi 2,103. Peningkatan ini menandakan bahwa fenomena El Nino dan La Nina memiliki dampak signifikan terhadap kondisi meteorologis yang mempengaruhi konsentrasi udara ambien selama musim hujan.

Pada musim kemarau, terlihat bahwa penambahan variabel indeks Nino 3.4 memberikan perubahan terhadap kemampuan model dalam menjelaskan variasi konsentrasi SO_2 dan NO_2 . Sebelum penambahan indeks nino 3.4, nilai R^2 pada beberapa set data tergolong rendah misalnya untuk SO_2 dan lama penyinaran matahari sebesar 0,582. Namun, setelah memasukan indeks Nino 3.4 terjadi peningkatan signifikan dalam R^2 menjadi 0,704. Nilai RMSE juga menunjukkan penurunan dari 2,991 menjadi 2,515.

Berdasarkan gambar 4.9, nilai RMSE pada musim hujan bernilai lebih kecil dibandingkan musim kemarau. Hal ini mengindikasikan bahwa model regresi lebih baik atau lebih dapat diprediksi pada musim hujan dibandingkan musim kemarau. Oleh karena itu, perhatian lebih perlu diberikan pada pengelolaan kualitas udara selama musim kemarau.

Sebagai bahan diskusi, temuan ini menyoroti pentingnya mempertimbangkan perbedaan musiman dalam pengelolaan dan pemantauan kualitas udara untuk memitigasi dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat

dan lingkungan. Salah satu cara untuk mengurangi polusi udara di lingkungan adalah memanfaatkan tanaman hias lidah mertua. Lidah mertua mampu menyerap kadar sulfur dioksida (SO_2), semakin lama waktu kontak maka akan semakin besar penurunan konsentrasi SO_2 (Sukaningtyas dkk., 2013). Lidah mertua mengandung bahan aktif pregnane glikosid yang berfungsi mereduksi polutan menjadi asam organik, asam amino, dan gula yang menjadi tidak berbahaya bagi manusia. Pada respirasinya, lidah mertua menghasilkan gas oksigen yang bermanfaat bagi manusia (Adawiyah dkk., 2013).

Penggunaan vegetasi yang efektif mampu menyerap polutan salah satunya adalah konsentrasi NO_2 . Penelitian yang dilakukan oleh Nasrullah dkk., (2000) menemukan beberapa tanaman yang efektif menyerap polutan NO_2 yaitu *Jacobina carnea*, Kihujan, Akalipa Merah, Lolipop Kuning, dan Nusa Indah Merah. Pengelolaan lain yang dapat dilakukan yaitu penyiraman jalan untuk mengurangi resuspensi partikel debu dan polutan (Gertel, 2016).

Dengan menambahkan variabel baru dalam analisis ini, kita dapat lebih memahami bagaimana hubungan antara kualitas udara dan faktor meteorologis dapat berubah seiring waktu dan musim dalam periode 2019, 2020, dan 2021. Hal ini memungkinkan kita untuk mengambil langkah-langkah pencegahan yang lebih efektif serta merencanakan intervensi yang tepat waktu untuk menjaga kualitas udara tetap dalam batas yang aman sepanjang tahun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Konsentrasi SO_2 dengan faktor meteorologis pada musim hujan dan kemarau bernilai signifikan. Selama musim hujan, kelembaban udara dan kecepatan angin mempengaruhi konsentrasi SO_2 secara negatif signifikan yang kuat. Pada musim kemarau, suhu, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari menunjukkan korelasi yang negatif signifikan yang kuat dengan konsentrasi SO_2 . Namun, pengaruh faktor meteorologis terhadap NO_2 tidak sekuat pengaruhnya terhadap SO_2 , hal ini disebabkan oleh perbedaan proses atmosferik dan mekanisme pengendapan yang mempengaruhi kedua polutan tersebut.
2. Hasil analisis regresi linier menunjukkan bahwa selama musim penghujan, kecepatan angin dan kelembaban menjadi prediktor yang baik dalam menjelaskan variasi konsentrasi udara ambien. Pada musim kemarau prediktor yang baik adalah suhu, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari. Penambahan variabel indeks iklim Niño 3.4 yang mencerminkan fenomena El Niño dan La Niña telah memperkuat model regresi, meningkatkan kemampuannya untuk memprediksi variasi konsentrasi udara.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka disarankan:

1. Dikarenakan adanya keterbatasan data, maka pada bulan Mei dan Desember di tahun 2019 serta Mei, Juni, dan Desember di tahun 2020 tidak dapat dianalisis karena ketersediaan data yang minimum. Untuk mengatasi hal ini, perlu meningkatkan jumlah data kualitas udara ambien agar hasil regresi lebih dapat mewakili hubungan yang sebenarnya antara variabel yang dianalisis.

2. Menambah variabel meteorologis untuk memperkuat hasil regresi seperti menambahkan variabel meteorologis yang signifikan pada persamaan regresi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bose A, Chowdhury I R. 2023. Investigating The Association Between Air Pollutants Concentration And Meteorological Parameters In A Rapidly Growing Urban Center Of West Bengan, India: A Statistical Modelling-Based Approach.
- Faradilla AR, Yulinawati H, Suswantoro E. 2016. Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Adsorben Karbon Monoksida dan Karbon Dioksida Pada Emisi Kendaraan Bermotor.
- Forouzanfar, M.H., Alexander, L., Bachman, V.F., Biryukov, S., Brauer, M., Casey, D., Coates, M.M., Delwiche, K., Estep, K., Frostad, J.J., Astha, K.C., Kyu, H.H., MoradiLakeh, M., Ng, M., Slepak, E., Thomas, B.A., Wagner, J., Achoki, T., Atkinson, C., Zhu, S., 2015. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease D. Bousiotis et al. *Environment International* 174 (2023) 107907 15 Study 2013. *Lancet* 386 (10010), 2287–2323. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00128-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00128-2)
- Gustafson, P.; Barregård, L.; Lindahl, L.; Sällsten, G. Formaldehyde Levels in Sweden: Personal Exposure, Indoor, and Outdoor Concentrations. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2005, 15, 252–260.
- Gavrilov, M. B., Tošić, I., Marković, S. B., Unkašević, M., & Petrović, P. (2016). Analysis of annual and seasonal temperature trends using the Mann-Kendall test in Vojvodina, Serbia. *Idojaras*, 120(2), 183–198.
- Hornik, K. (2020). The R FAQ: Why is R named R?
- Koukoulis, M.E., Balis, D.S., Ronald J.V.D., Theys, N., Hedelt, A.R., Krotkov, N., Taylor, M. 2016. Anthropogenic Sulphur Dioxide Load Over China as Observed from Different Satellite Sensors. *Atmospheric Environment Journal*, 145, hal. 45-59

- Krzyzanowski, J. 2012. Environmental Pathways of Potential Impacts to Human Health from Oil and Gas Development in Northeast British Columbia, Canada. *Environ. Rev*, 20, hal. 122-134.
- Kodir, Tuti Anggarawati. 2021. Hubungan Ketergantungan Rokok dengan Kadar Karbonmonoksida Udara Ekspirasi Pada Mahasiswa Akper Kesdam IV/Diponegoro Semarang.
- L. Mora-López and J. Mora, “An adaptive algorithm for clustering cumulative probability distribution functions using the KolmogorovSmirnov two-sample test,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 8, pp. 4016–4021, 2015
- Maharani, G. A. (2017). Studi Reduksi Sulfur Dioksida (SO₂) Udara Ambien Oleh Ruang Terbuka (Rth) Untuk Wilayah Permukiman dan Transportasi di Kota Surabaya. Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh November.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., Bezirtzoglou, E., 2020. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front. Public Health* 8 (February), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Nunifu, T. and L. Fu. 2019. Methods and Procedures for Trend Analysis of Air Quality Data. Government of Alberta, Ministry of Environment and Parks. ISBN 978-1-4601-3637-9. Available at: <https://open.alberta.ca/publications/9781460136379>
- Nugraha, J. 2014. *Pengantar Analisis Data Kategorik Metode dan Aplikasi menggunakan Program R*. Yogyakarta: deepublish.
- Oktavia, P. 2021. *Metode Analisis Perencanaan tentang Analisis Korelasi* (Vol. 13). Cikarang: Institut Teknologi Sains Bandung.
- Rivas, I., Mazaheri, M., Viana, M., Moreno, T., Clifford, S., He, C., Bischof, O.F., Martins, V., Reche, C., Alastuey, A., Alvarez-Pedrerol, M., Sunyer, J., Morawska, L., Querol, X., 2017. Identification of technical problems affecting performance of DustTrak DRX aerosol monitors. *Sci. Total Environ.* 584–585, 849–855. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.129>.

- Saleh. 2018. Keselamatan dan Kesehatan Kerja Kelautan: (Kajian Keselamatan dan Kesehatan Kerja Sektor Maritim). Yogyakarta: CV Budi Utama
- S. Destercke, O. Strauss, S. Destercke, O. Strauss, K. Test, and I. Data, "Kolmogorov-Smirnov Test for Interval Data To cite this version : HAL Id : hal-01045013," 2014.
- Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. (2016) Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Suhartono. 2008. *Analisis Data Statistik dengan R*. Surabaya: Lab. Statistik Komputasi, ITS.
- Wang, Z., Uno, I., Yumimoto, K., Itahashi, S., Chen, X., Yang, W. and Wang, Z.: Impacts of COVID-19 lockdown, Spring Festival and meteorology on the NO₂ variations in early 2020 over China based on in-situ observations, 25 satellite retrievals and model simulations, *Atmos. Environ.*, 117972, doi:10.1016/j.atmosenv.2020.117972, 2020.
- Wang, S., & Hao, J. (2012). Air quality management in China: Issues, challenges, and options. *Journal of Environmental Sciences*, 24(1), 2-13. DOI: 10.1016/S1001-0742(11)60724-9
- Walpole, R.E., R.H. Myers. (1995). Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan Edisi ke-4. Bandung: Penerbit ITB
- Yenigün, K., Gümüş, V., & Bulut, H. (2008). Trends in streamflow of the Euphrates basin, Turkey. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management*, 161(4), 189–198. <https://doi.org/10.1680/wama.2008.161.4.189>
- Yue, S., P. Pilon, B. Phinney, and G. Cavadias. 2002. The influence of autocorellation on the ability to detect tren in hydological series. *Hydrol. Process.*, 16: 1807-1829. doi:10.1002/hyp.1095.
- Zheng Z.H., Yang Z.W., Wu Z.F., Marinello F. Spatial variation of NO₂ and its impact factors in China: an application of sentinel-5P products. *Remote Sens.* 2019;1

LAMPIRAN

Lampiran 1. Distribusi T tabel

d.f	t _{0.10}	t _{0.05}	t _{0.025}	t _{0.01}	t _{0.005}
1	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831

d.f	t _{0.10}	t _{0.05}	t _{0.025}	t _{0.01}	t _{0.005}
61	1.296	1.671	2.000	2.390	2.659
62	1.296	1.671	1.999	2.389	2.659
63	1.296	1.670	1.999	2.389	2.658
64	1.296	1.670	1.999	2.388	2.657
65	1.296	1.670	1.998	2.388	2.657
66	1.295	1.670	1.998	2.387	2.656
67	1.295	1.670	1.998	2.387	2.655
68	1.295	1.670	1.997	2.386	2.655
69	1.295	1.669	1.997	2.386	2.654
70	1.295	1.669	1.997	2.385	2.653
71	1.295	1.669	1.996	2.385	2.653
72	1.295	1.669	1.996	2.384	2.652
73	1.295	1.669	1.996	2.384	2.651
74	1.295	1.668	1.995	2.383	2.651
75	1.295	1.668	1.995	2.383	2.650
76	1.294	1.668	1.995	2.382	2.649
77	1.294	1.668	1.994	2.382	2.649
78	1.294	1.668	1.994	2.381	2.648
79	1.294	1.668	1.994	2.381	2.647
80	1.294	1.667	1.993	2.380	2.647
81	1.294	1.667	1.993	2.380	2.646

d.f	t _{0.10}	t _{0.05}	t _{0.025}	t _{0.01}	t _{0.005}
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
31	1.309	1.696	2.040	2.453	2.744
32	1.309	1.694	2.037	2.449	2.738
33	1.308	1.692	2.035	2.445	2.733
34	1.307	1.691	2.032	2.441	2.728
35	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724
36	1.306	1.688	2.028	2.434	2.719
37	1.305	1.687	2.026	2.431	2.715
38	1.304	1.686	2.024	2.429	2.712
39	1.304	1.685	2.023	2.426	2.708
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
41	1.303	1.683	2.020	2.421	2.701
42	1.302	1.682	2.018	2.418	2.698
43	1.302	1.681	2.017	2.416	2.695
44	1.301	1.680	2.015	2.414	2.692
45	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690
46	1.300	1.679	2.013	2.410	2.687

d.f	t _{0.10}	t _{0.05}	t _{0.025}	t _{0.01}	t _{0.005}
82	1.294	1.667	1.993	2.379	2.645
83	1.294	1.667	1.992	2.379	2.645
84	1.294	1.667	1.992	2.378	2.644
85	1.294	1.666	1.992	2.378	2.643
86	1.293	1.666	1.991	2.377	2.643
87	1.293	1.666	1.991	2.377	2.642
88	1.293	1.666	1.991	2.376	2.641
89	1.293	1.666	1.990	2.376	2.641
90	1.293	1.666	1.990	2.375	2.640
91	1.293	1.665	1.990	2.374	2.639
92	1.293	1.665	1.989	2.374	2.639
93	1.293	1.665	1.989	2.373	2.638
94	1.293	1.665	1.989	2.373	2.637
95	1.293	1.665	1.988	2.372	2.637
96	1.292	1.664	1.988	2.372	2.636
97	1.292	1.664	1.988	2.371	2.635
98	1.292	1.664	1.987	2.371	2.635
99	1.292	1.664	1.987	2.370	2.634
100	1.292	1.664	1.987	2.370	2.633
101	1.292	1.663	1.986	2.369	2.633
102	1.292	1.663	1.986	2.369	2.632
103	1.292	1.663	1.986	2.368	2.631
104	1.292	1.663	1.985	2.368	2.631
105	1.292	1.663	1.985	2.367	2.630
106	1.291	1.663	1.985	2.367	2.629

d.f	t _{0.10}	t _{0.05}	t _{0.025}	t _{0.01}	t _{0.005}
47	1.300	1.678	2.012	2.408	2.685
48	1.299	1.677	2.011	2.407	2.682
49	1.299	1.677	2.010	2.405	2.680
50	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678
51	1.298	1.675	2.008	2.402	2.676
52	1.298	1.675	2.007	2.400	2.674
53	1.298	1.674	2.006	2.399	2.672
54	1.297	1.674	2.005	2.397	2.670
55	1.297	1.673	2.004	2.396	2.668
56	1.297	1.673	2.003	2.395	2.667
57	1.297	1.672	2.002	2.394	2.665
58	1.296	1.672	2.002	2.392	2.663
59	1.296	1.671	2.001	2.391	2.662
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660

d.f	t _{0.10}	t _{0.05}	t _{0.025}	t _{0.01}	t _{0.005}
107	1.291	1.662	1.984	2.366	2.629
108	1.291	1.662	1.984	2.366	2.628
109	1.291	1.662	1.984	2.365	2.627
110	1.291	1.662	1.983	2.365	2.627
111	1.291	1.662	1.983	2.364	2.626
112	1.291	1.661	1.983	2.364	2.625
113	1.291	1.661	1.982	2.363	2.625
114	1.291	1.661	1.982	2.363	2.624
115	1.291	1.661	1.982	2.362	2.623
116	1.290	1.661	1.981	2.362	2.623
117	1.290	1.661	1.981	2.361	2.622
118	1.290	1.660	1.981	2.361	2.621
119	1.290	1.660	1.980	2.360	2.621
120	1.290	1.660	1.980	2.360	2.620

Sumber : "Table of Percentage Points of the t-Distribution." Biometrika, Vol. 32. (1941), p. 300. Reproduced by permission of the Biometrika Trustess.

Lampiran 2. Nilai Kritis Uji Komogorov-Smirnov

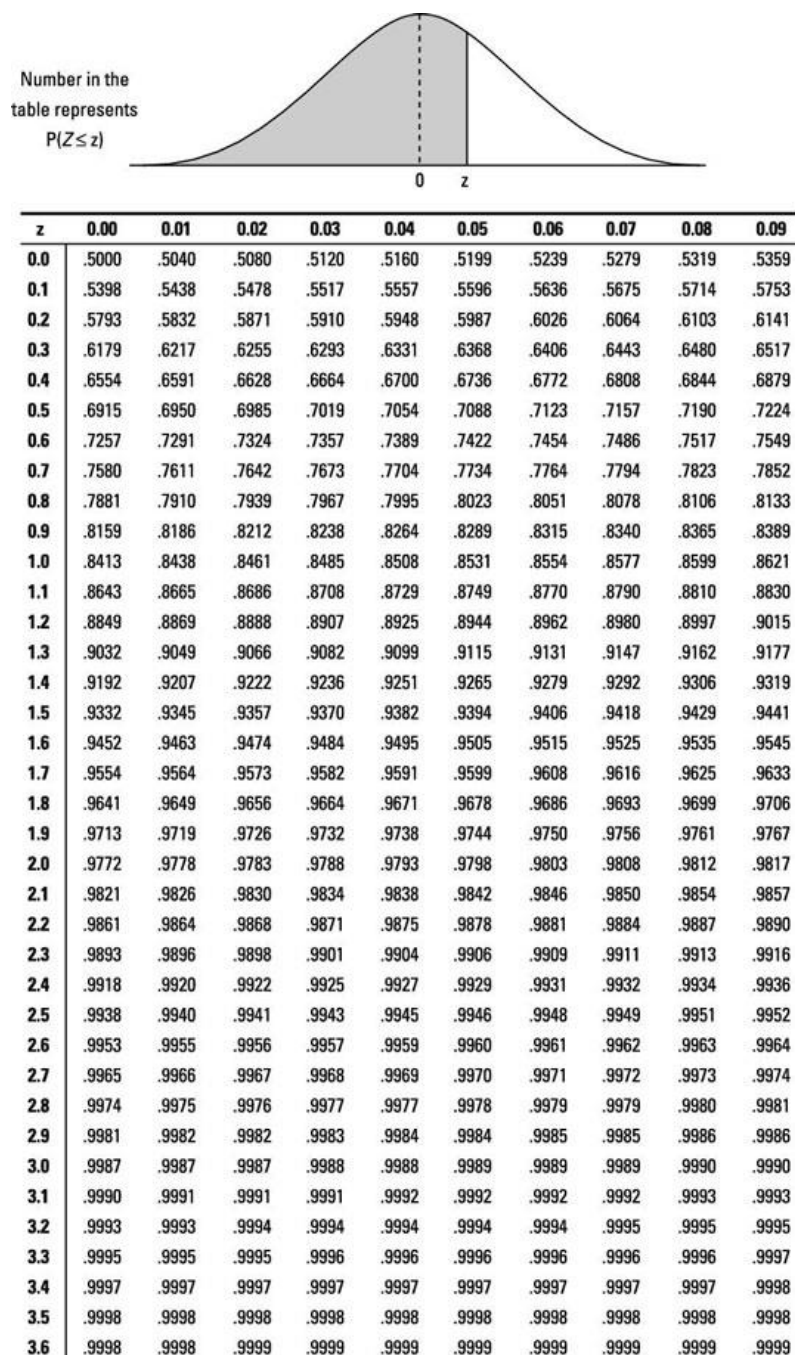
n/ α	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2
1		0,9950 0	0,9900 0	0,9750 0	0,9500 0	0,9250 0	0,9000 0
2	0,9776 4	0,9293 0	0,9000 0	0,8418 9	0,7763 9	0,7261 4	0,6837 7
3	0,9206 3	0,8290 0	0,7845 6	0,7076 0	0,6360 4	0,5958 2	0,5648 1

4	0,8504 6	0,7342 1	0,6888 7	0,6239 4	0,5652 2	0,5247 6	0,4926 5
5	0,7813 7	0,6685 5	0,6271 8	0,5632 7	0,5094 5	0,4743 9	0,4469 7
6	0,7247 9	0,6166 0	0,5774 1	0,5192 6	0,4679 9	0,4352 6	0,4103 5
7	0,6793 0	0,5758 0	0,5384 4	0,4834 3	0,4360 7	0,4049 7	0,3814 5
8	0,6409 8	0,5418 0	0,5065 4	0,4542 7	0,4096 2	0,3806 2	0,3582 8
9	0,6084 6	0,5133 0	0,4796 0	0,4300 1	0,3874 6	0,3600 6	0,3390 7
10	0,5804 2	0,4889 5	0,4566 2	0,4092 5	0,3686 6	0,3425 0	0,3225 7
11	0,5558 8	0,4677 0	0,4367 0	0,3912 2	0,3524 2	0,3273 4	0,3082 6
12	0,5342 2	0,4490 5	0,4191 8	0,3754 3	0,3381 5	0,3140 8	0,2957 3
13	0,5149 0	0,4324 6	0,4036 2	0,3614 3	0,3254 8	0,3023 3	0,2846 6
14	0,4975 3	0,4176 0	0,3897 0	0,3489 0	0,3141 7	0,2918 1	0,2747 7
15	0,4818 2	0,4042 0	0,3771 3	0,3376 0	0,3039 7	0,2823 3	0,2658 5
16	0,4675 0	0,3920 0	0,3657 1	0,3273 3	0,2947 1	0,2737 2	0,2577 4
17	0,4544 0	0,3808 5	0,3552 8	0,3179 6	0,2862 7	0,2658 7	0,2503 5
18	0,4423 4	0,3706 3	0,3456 9	0,3093 6	0,2785 1	0,2586 7	0,2435 6

19	0,4311 9	0,3611 6	0,3368 5	0,3014 2	0,2713 5	0,2520 2	0,2373 1
20	0,4208 5	0,3524 0	0,3286 6	0,2940 7	0,2647 3	0,2458 7	0,2315 2
25	0,3784 3	0,3165 6	0,3034 9	0,2640 4	0,2376 7	0,2207 4	0,2078 6
30	0,3467 2	0,2898 8	0,2770 4	0,2417 0	0,2175 6	0,2020 7	0,1902 9
35	0,3218 7	0,2689 8	0,2564 9	0,2242 4	0,2018 4	0,1874 8	0,1765 5
40	0,3016 9	0,2518 8	0,2399 3	0,2101 7	0,1893 9	0,1761 0	0,1660 1
45	0,2848 2	0,2378 0	0,2262 1	0,1984 2	0,1788 1	0,1662 6	0,1567 3
50	0,2705 1	0,2258 5	0,2146 0	0,1884 5	0,1698 2	0,1579 0	0,1488 6
OVER 50	1,9494 7	1,6276 2	1,5174 3	1,3581 0	1,2238 5	1,1379 5	1,0727 5
	—	—	—	—	—	—	—
	Ö n	Ö n	Ö n	Ö n	Ö n	Ö n	Ö n

Sumber : Kanji, G. K. (2006) *100 Statistical tests. 3rd Ed.* SAGE

Lampiran 3. Z score



Sumber : The Experts at Dummies. *Statistics: 1001 Practice Problems For Dummies*. John Wiley & Sons, 2022.

Lampiran 4. Contoh Perhitungan Tren Mann-Kendall

1. Mencari jumlah selisih observasi ($x_j - x_i$)

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i)$$

Berikut merupakan tabel selisih dari pasangan data:

0,44													
0,45	1												
0,18	-1	-1											
0,18	-1	-1	1										
0,18	-1	-1	-1	-1									
0,24	-1	-1	1	1	1								
0,20	-1	-1	1	1	1	-1							
0,30	-1	-1	1	1	1	1	1						
5,00	1	1	1	1	1	1	1	1					
14,90	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
5,22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1			
2,69	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1		
3,37	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	
8,13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1
JUMLAH (S)													45

4. Mencari nilai τ dengan persamaan sebagai berikut bila diketahui $n = 14$

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)}$$

$$\tau = \frac{2 \times 45}{(14 \times 13)}$$

$$\tau = 0,495$$

5. Mencari nilai standar error

$$s.e = \sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}}$$

$$s.e = \sqrt{\frac{14(14-1)(28+5)}{18}}$$

$$s.e = 18,266$$

6. Mencari nilai z-statistik

$$Z \text{ statistik} = \frac{Jumlah(S) - 1}{s.e}$$

$$Z \text{ statistik} = \frac{45 - 1}{18,266}$$

$$Z \text{ statistik} = 2,4$$

Lampiran 5. Contoh Perhitungan Uji Normalitas

Setelah merumuskan hipotesis, terdapat langkah-langkah perhitungan Uji Normalitas K-S untuk konsentrasi udara SO_2 yaitu:

- Mengurutkan data (X_i) dari yang terkecil hingga terbesar.

Tabel A.1 Data SO_2 dan X_i

Data ke	SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	X_i
1	0,44	0,12
2	0,45	0,13
3	0,18	0,18
4	0,18	0,18
5	0,24	0,18
6	0,33	0,20
7	0,25	0,24
8	0,12	0,24
9	0,13	0,25

Data ke	SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	X_i
10	0,18	0,30
11	0,24	0,33
12	0,20	0,44
13	0,30	0,45
14	0,74	0,74
15	6,90	1,76
16	4,50	2,69
17	8,66	3,37
18	18,30	4,23
19	14,90	4,50
20	5,22	5,20
21	2,69	5,22
22	3,37	5,38
23	8,13	5,45
24	1,76	5,49
25	6,89	6,89
26	5,20	6,90
27	4,23	8,13
28	5,49	8,30
29	5,45	8,66
30	5,38	14,90
31	8,30	18,30

- b. Kemudian menghitung frekuensi data (f), menghitung frekuensi relative (fr) dengan persamaan sebagai berikut :

$$frekuensi\ relatif = \frac{frekuensi}{total\ jumlah\ data}$$

- c. Menghitung frekuensi relative kumulatif (frk), frekuensi kumulatif sebelum (frk-sb), menghitung rata-rata dan simpangan baku, mentransformasi data ke skor baku (Z_i),

Tabel A.2 Data SO_2 dan NO_2 penuh selama 3 tahun.

Tahun	Bulan	SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2019	Januari	0,44	0,71
	Februari	0,45	0,22
	Maret	0,18	0,60
	April	0,18	0,38
	Juni	0,24	0,21
	Juli	0,33	1,77
	Agustus	0,25	0,63
	September	0,12	0,37
	Oktober	0,13	0,32
	November	0,18	0,41
2020	Januari	0,24	0,90
	Februari	0,20	0,34
	Maret	0,30	4,46
	April	0,74	6,05
	Juli	6,90	16,78
	Agustus	4,50	18,07
	September	8,66	7,42
	Oktober	18,30	7,30
	November	14,90	21,39
2021	Januari	5,22	20,05
	Februari	2,69	20,17
	Maret	3,37	19,25
	April	8,13	5,28

Tahun	Bulan	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
	Mei	1,76	7,20
	Juni	6,89	7,35
	Juli	5,20	7,03
	Agustus	4,23	19,18
	September	5,49	15,13
	Oktober	5,45	8,33
	November	5,38	7,10
	Desember	8,30	9,68

menentukan nilai untuk fungsi distribusi kumulatif dari (Z_i) yaitu (FZ_i). berikut tabel lengkapnya.

Tabel A.3 Perhitungan Uji Normalitas

xi	f	fr	frk	frk-sb	Zi	F(Zi)	D1	D2
0,12	1	0,032	0,032	0,0000	-0,8291	0,2035	0,2035	0,1713
0,13	1	0,032	0,065	0,0323	-0,8269	0,2042	0,1719	0,1396
0,18	3	0,097	0,161	0,0645	-0,8166	0,2071	0,1426	0,0458
0,20	1	0,032	0,194	0,1613	-0,8121	0,2084	0,0471	0,0148
0,24	2	0,065	0,258	0,1935	-0,8034	0,2109	0,0173	0,0472
0,25	1	0,032	0,290	0,2581	-0,8002	0,2118	0,0463	0,0785
0,30	1	0,032	0,323	0,2903	-0,7896	0,2149	0,0754	0,1077
0,33	1	0,032	0,355	0,3226	-0,7824	0,2170	0,1056	0,1379
0,44	1	0,032	0,387	0,3548	-0,7574	0,2244	0,1304	0,1627
0,45	1	0,032	0,419	0,3871	-0,7559	0,2249	0,1622	0,1945
0,74	1	0,032	0,452	0,4194	-0,6920	0,2445	0,1749	0,2072
1,76	1	0,032	0,484	0,4516	-0,4645	0,3212	0,1305	0,1627
2,69	1	0,032	0,516	0,4839	-0,2588	0,3979	0,0860	0,1182
3,37	1	0,032	0,548	0,5161	-0,1065	0,4576	0,0585	0,0908

xi	f	fr	frk	frk-sb	Zi	F(Zi)	D1	D2
4,23	1	0,032	0,581	0,5484	0,0847	0,5337	0,0146	0,0469
4,50	1	0,032	0,613	0,5806	0,1447	0,5575	0,0231	0,0554
5,20	1	0,032	0,645	0,6129	0,2998	0,6178	0,0049	0,0273
5,22	1	0,032	0,677	0,6452	0,3037	0,6193	0,0258	0,0581
5,38	1	0,032	0,710	0,6774	0,3393	0,6328	0,0446	0,0769
5,45	1	0,032	0,742	0,7097	0,3559	0,6391	0,0706	0,1029
5,49	1	0,032	0,774	0,7419	0,3656	0,6427	0,0993	0,1315
6,89	1	0,032	0,806	0,7742	0,6750	0,7502	0,0240	0,0563
6,90	1	0,032	0,839	0,8065	0,6783	0,7512	0,0552	0,0875
8,13	1	0,032	0,871	0,8387	0,9518	0,8294	0,0093	0,0416
8,30	1	0,032	0,903	0,8710	0,9896	0,8388	0,0322	0,0644
8,66	1	0,032	0,935	0,9032	1,0696	0,8576	0,0456	0,0779
14,90	1	0,032	0,968	0,9355	2,4570	0,9930	0,0575	0,0253
18,30	1	0,032	1	0,9677	3,2129	0,9993	0,0316	0,0007
Jumlah	31	1						

$$(\text{rata-rata}) \bar{x} = \frac{119,32}{31}$$

$$\bar{x} = 3,85$$

$$(\text{simpangan baku}) \sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{606,89}{31-1}}$$

$$\sigma = 4,49$$

Contoh perhitungan zi skor :

$$Z \text{ skor} = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

$$Z \text{ skor} = \frac{0,12 - 3,85}{4,49}$$

$$Z \text{ skor} = -0,829$$

Untuk nilai F(FZ_i) didapatkan dari tabel z score

Persamaan

D_1 dan D_2 sebagai berikut dan contoh perhitunganya :

$$D_1 = |FZ_i - F_{rk}sb|$$

$$D_1 = |0,203523402 - 0|$$

$$D_1 = |0,203523402|$$

$$D_2 = |FZ_i - F_{rk}|$$

$$D_2 = |0,203523402 - 0,032258|$$

$$D_2 = 0,1727$$

Setelah itu perlu cari nilai maksimal D_1 dan D_2 . Didapatkan bahwa D_1 maksimal sebesar 0,2035 dan D_2 maksimal sebesar 0,20715. Nilai D maks yang dipilih adalah D_2 . Kemudian, mencari D tabel dan didapatkan sebesar 0,231. Maka dapat disimpulkan bahwa $D \text{ maks} < D \text{ tabel}$ maka terima H_0 dan dapat data sampel berdistribusi normal.

Lampiran 6. Contoh Perhitungan Uji Korelasi Pearson

Berikut Langkah-langkah perhitungan korelasi pearson.

- Mengumpulkan data dan menghitung rata-rata

Tabel A.4 Uji Korelasi SO_2 dan Curah Hujan (CH)

Tahun	Bulan	SO_2 ($\mu g/m^3$)	CH (mm)
2020	Juli	6,90	2,8
	Agustus	4,50	37,9

Tahun	Bulan	SO ₂ (μg/m ³)	CH (mm)
	September	8,66	31,4
	Oktober	18,30	236,5
	Jumlah	38,4	308,6

$$(\text{Rata-rata SO}_2) \bar{x} = \frac{38,4}{4} = 9,6$$

$$(\text{Rata-Rata CH}) \bar{y} = \frac{308,6}{4} = 77,2$$

b. Menghitung simpangan baku tiap variabel

Tabel A.5 Simpangan baku SO₂

Bulan	SO ₂ (μg/m ³)	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
Juli	6,90	-2,69	7,24
Agustus	4,50	-5,09	25,91
September	8,66	-0,93	0,86
Oktober	18,30	8,71	75,86
		Jumlah	109,87

$$(\text{Simpangan baku SO}_2) S_x = \frac{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$S_x = \frac{\sqrt{109,87}}{4-1} = 6,1$$

Tabel A.6 Simpangan baku Curah Hujan (CH))

Bulan	CH (mm) (Y)	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$
Juli	2,8	-74,4	5.527,9
Agustus	37,9	-39,3	1.540,6
September	31,4	-45,8	2.093,1
Oktober	236,5	159,4	25.392,4
		Jumlah	34.553,97

$$(\text{Simpangan baku } CH) S_y = \frac{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}{n-1}$$

$$S_y = \frac{\sqrt{34.553,97}}{4-1} = 107,3$$

c. Menghitung Nilai Korelasi Pearson

Tabel A.7 Korelasi Pearson SO₂ dan Curah Hujan (CH))

Bulan	$x_i - \bar{x}$ (X) (SO ₂)	$y_i - \bar{y}$ (Y) (Curah Hujan)	XY
Juli	-2,69	-74,4	200
Agustus	-5,09	-39,3	200
September	-0,93	-45,8	43
Oktober	8,71	159,4	1.388
		Jumlah	1830

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \text{ atau } r_{xy} = \frac{\sum xy}{(n-1) \times S_x \times S_y}$$

$$r_{xy} = \frac{1830}{(4 - 1) \times 6,1 \times 107,3}$$

$$r_{xy} = 0,939$$

Untuk memastikan bahwa hubungan ini tidak terjadi secara kebetulan maka perlu dilakukan uji signifikansi statistik dengan uji T.

Lampiran 7. Contoh Perhitungan Uji T (Signifikansi)

a. Mengumpulkan data dan menghitung korelasi pearson

Tabel A.8 Korelasi Pearson SO₂, nilai n, df, dan signifikansi

Tahun	Nilai Korelasi Pearson SO ₂ vs Curah Hujan (mm)	n	df	signifikansi (α)
2020	0,939	4	2	0,05

$$\text{Derajat kebebasan (df)} = n-2$$

$$= 4-2$$

$$= 2$$

- b. Mencari nilai t kritis dari tabel uji T, menghitung t hitung, dan p value

Tabel A.9 Nilai uji T

Nilai t kritis	Nilai t hitung	p value	Signifikansi
2,92	3,87	0,03	signifikan

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

$$t = 0,939 \sqrt{\frac{4-2}{1-0,939^2}}$$

$$t \text{ hitung} = 3,87$$

Hipotesis yang dibuat adalah H_0 menandakan tidak ada hubungan atau pengaruh signifikan H_1 menandakan adanya hubungan signifikan. Analisis data menunjukkan bahwa apabila P- value < (α) 0,05 maka terima H_1 dan apabila p-value > (α) 0,05 maka terima H_0 . Dengan nilai p-value sebesar 0,004, dapat ditafsirkan bahwa terdapat bukti yang kuat untuk menolak H_0 .

Lampiran 8. Contoh Perhitungan Regresi Linier Sederhana

Berikut merupakan Langkah-langkah perhitungan analisis regresi:

- a. Menentukan Variabel Dependen (Y) dan Independen (X)

Tabel A.10 Perhitungan analisis regresi

Tahun	Bulan	SO ₂ (µg/m ³) (Y)	CH (mm) (X)	(Y) ²	(X) ²	(XY)
2020	Juli	6,90	2,8	47,6	7,8	19,3
	Agustus	4,50	37,9	20,3	1436,4	170,6
	September	8,66	31,4	75,0	986,0	271,9
	Oktober	18,30	236,5	334,9	55932,3	4328,0
			Jumlah	477,7	58362,5	4789,7

- b. Menghitung rata-rata

$$\text{Rata - rata } x: \bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{38,36}{4} = 9,59$$

$$\text{Rata - rata } y: \bar{Y} = \frac{\sum Y}{n}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum 2,50}{4} = 77,2$$

- c. Menghitung koefisien regresi

Tabel A.2 Perhitungan Nilai Slope

Bulan	(Y _i - $\bar{Y}$)	(X _i - $\bar{X}$)	(X _i - $\bar{X}$) ²	(X _i - $\bar{X}$)(Y _i - $\bar{Y}$)
Juli	-74,4	-2,69	5535,36	200,136
Agustus	-39,3	-5,09	1544,49	200,037
September	-45,8	-0,93	2097,64	42,594

Oktober	159,4	8,71	25408,36	1388,374
		Jumlah	34585,85	1831,141

$$\text{Slope : } b = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2}$$

$$b = \frac{34585,85}{1831,141}$$

$$b = 0,052$$

$$\text{Intersep : } a = \bar{Y} - b \times \bar{X}$$

$$a = 77,2 - 0,052 \times 9,59$$

$$a = 5,50$$

d. Membentuk persamaan Regresi Linier

$$Y = a + bX$$

e. Menghitung nilai prediksi

$$Y_{Juli} = 5,50 + 0,052(2,8)$$

$$Y_{Juli} = 5,56$$

Tabel A.32 Perhitungan nilai prediksi

Tahun	Bulan	Y= a +b X
2020	Januari	5,65
	Februari	7,51
	Maret	7,17
	April	18,03

f. Perbandingan Y data dan Y regresi dan perhitungan residual

Tabel A.4 Perbandingan Y data dan Y regresi

Bulan	SO ₂ (µg/m ³) (Y data)	SO ₂ (µg/m ³) (Y regresi)	Residual (E)
Juli	6,90	5,65	1,25
Agustus	4,50	7,51	-3,01
September	8,66	7,17	1,49
Oktober	18,30	18,03	0,27

Perhitungan residual menjadi penting dalam tahap ini untuk mengevaluasi seberapa baik model regresi memprediksi nilai sebenarnya dari variabel dependen berdasarkan variabel independent yang digunakan. Dengan rumus residual sebagai berikut:

$$E_i = Y \text{ data} - Y \text{ regresi}$$

$$E_{ijuli} = 6,90 - 5,56$$

$$E_{ijuli} = 1,25$$

Model regresi memberikan prediksi yang bervariasi untuk konsentrasi SO₂, residual positif berarti prediksi yang diberikan oleh model regresi lebih rendah dari nilai sebenarnya dan sebaliknya, residual negatif menunjukkan prediksi yang lebih tinggi dari nilai sebenarnya.

g. Perhitungan Root Square Error (RMSE)

Setelah melakukan perhitungan residual untuk regresi, Langkah berikutnya adalah menghitung RMSE. RMSE digunakan untuk mengukur seberapa baik model regresi cocok dengan data sebenarnya. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$RMSE = \frac{\sum_{t=1}^n (Y'_t - Y_t)^2}{n}$$

Tabel A.5 Perhitungan RMSE

Bulan	SO ₂ (µg/m ³) (Y data)	SO ₂ (µg/m ³) (Y regresi)	Y data -Y regresi	(Y data-Y regresi)^2
Juli	6,90	5,65	1,25	1,558
Agustus	4,50	7,51	-3,01	9,066
September	8,66	7,17	1,49	2,230
Oktober	18,30	18,03	0,27	0,073
			Jumlah	12,927

$$RMSE = \frac{12,927}{4}$$

$$RMSE = 1,79$$

Nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa model regresi yang telah dihitung secara keseluruhan dapat memprediksi konsentrasi SO₂ dengan tingkat kesalahan yang rendah. Dalam analisis yang akan dilakukan, hanya variabel yang memiliki hasil uji t yang signifikan yang akan diuji lebih lanjut. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa hanya hubungan antara variabel dari model yang dihasilkan dapat lebih akurat dalam menggambarkan pengaruh variabel independent terhadap variabel dependen.

Lampiran 9. Tabel Perbandingan Y data dan Y regresi

a. Perbandingan Regresi dari Korelasi Konsentrasi Udara dan Curah Hujan

Tabel A.6 Perbandingan Y data dan Y regresi pada Musim Kemarau

Bulan	SO ₂ (µg/m ³) (Y data)	SO ₂ (µg/m ³) (Y regresi)
Juli	6,90	5,65
Agustus	4,50	7,51
September	8,66	7,17
Oktober	18,30	18,03

Tahun	Bulan	SO ₂ (µg/m ³) (Y data)	SO ₂ (µg/m ³) (Y regresi)
2018/2019	Juni	0,24	2,0
	Juli	0,33	2,0
	Agustus	0,25	2,0
	September	0,12	2,0
	Oktober	0,13	2,1
2019/2020	Juli	6,90	2,1
	Agustus	4,50	3,6
	September	8,66	3,3
	Oktober	18,30	12,1
2020/2021	Mei	1,76	4,6
	Juni	6,89	10,9
	Juli	5,20	2,3
	Agustus	4,23	3,4
	September	5,49	7,7
	Oktober	5,45	8,2

b. Perbandingan Regresi dari Korelasi Konsentrasi Udara dan Kelembaban

Tabel A.7 Perbandingan Y data dan Y regresi pada Musim Hujan (3 Tahun)

Tahun	Bulan	SO ₂ (µg/m ³) (Y data)	SO ₂ (µg/m ³) (Y regresi)
2019	Januari	0,44	0,059
	Februari	0,45	0,866
	Maret	0,18	0,259
	April	0,18	3,372
2019/2020	November	0,18	7,239
	Januari	0,24	2,817
	Februari	0,20	1,043
	Maret	0,30	0,172
	April	0,74	1,840
2020/2021	November	14,90	5,766

	Januari	5,22	3,379
	Februari	2,69	0,954
	Maret	3,37	2,939
	April	8,13	6,496

Tabel A.8 Perbandingan Y data dan Y regresi Musim Kemarau (3 Tahun)

Tahun	Bulan	SO ₂ (µg/m ³) (Y data)	SO ₂ (µg/m ³) (Y regresi)
2018/2019	Juni	0,24	3,94
	Juli	0,33	3,83
	Agustus	0,25	0,98
	September	0,12	-0,79
	Oktober	0,13	1,11
2019/2020	Juli	6,90	6,22
	Agustus	4,50	9,02
	September	8,66	7,84
	Oktober	18,30	8,40
2020/2021	Mei	1,76	5,45
	Juni	6,89	8,63
	Juli	5,20	2,20
	Agustus	4,23	3,93
	September	5,49	1,89
	Oktober	5,45	5,81

c. Perbandingan Regresi dari Korelasi Konsentrasi Udara dan Suhu

Tabel A.18 Perbandingan Y data dan Y Regresi pada data musim hujan dan kemarau

Penghujan			Kemarau		
Bulan	SO ₂ (μg/m ³) (Y data)	SO ₂ (μg/m ³) (Y regresi)	Bulan	SO ₂ (μg/m ³) (Y data)	SO ₂ (μg/m ³) (Y regresi)
November	0,18	0,3286	Juni	0,24	0,2352
Januari	0,24	0,1228	Juli	0,33	0,2944
Februari	0,20	0,3286	Agustus	0,25	0,2774
Maret	0,30	0,2257	September	0,12	0,1675
April	0,74	0,6373	Oktober	0,13	0,0998

d. Perbandingan Regresi dari Korelasi Konsentrasi Udara dan Kecepatan Angin

Tabel A.19 Perbandingan nilai Y data dan Y regresi pada musim penghujan (2 tahun)

Tahun	Bulan	SO ₂ (μg/m ³) (Y data)	SO ₂ (μg/m ³) (Y regresi)
2018/2019	Januari	0,44	0,2818
	Februari	0,45	0,2995
	Maret	0,18	0,4054
	April	0,18	0,3725

Tabel A.20 Perbandingan nilai Y data dan Y regresi pada musim kemarau 2019

Tahun	Bulan	SO ₂ (μg/m ³)(Y data)	SO ₂ (μg/m ³)(Y regresi)
2018/2019	Juni	0,24	0,2959
	Juli	0,33	0,2664
	Agustus	0,25	0,2180

	September	0,12	0,1765
	Oktober	0,13	0,1174

e. Perbandingan Regresi dari Korelasi Konsentrasi Udara dan Lama Penyinaran Matahari

Tabel A.21 Perbandingan nilai Y data dan Y Regresi pada Musim Hujan (3 tahun)

Tahun	Bulan	NO ₂ (µg/m ³)(Y data)	NO ₂ (µg/m ³)(Y regresi)
2018/2019	Januari	0,71	7,57
	Februari	0,22	3,70
	Maret	0,60	10,89
	April	0,38	1,80
2019/2020	November	0,41	0,09
	Januari	0,90	7,22
	Februari	0,34	9,05
	Maret	4,46	8,60
	April	6,05	8,76
2020/2021	November	21,39	7,87
	Januari	20,05	15,30
	Februari	20,17	11,83
	Maret	19,25	6,05
	April	5,28	1,48

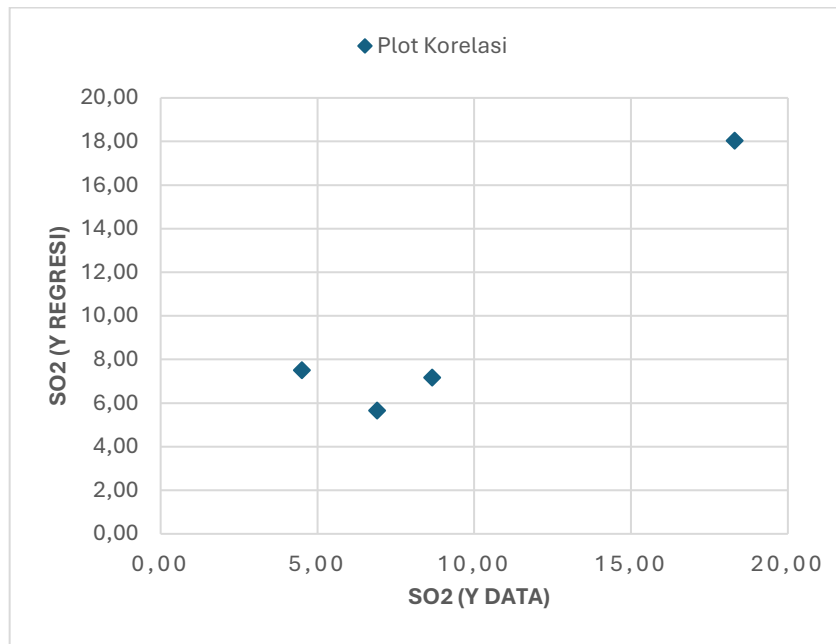
Tabel A.22 Perbandingan nilai Y data dan Y Regresi pada Musim Kemarau (3 tahun)

Tahun	Bulan	SO ₂ (µg/m ³) (Y data)	SO ₂ (µg/m ³)(Y regresi)
2018/2019	Juni	0,24	4,03

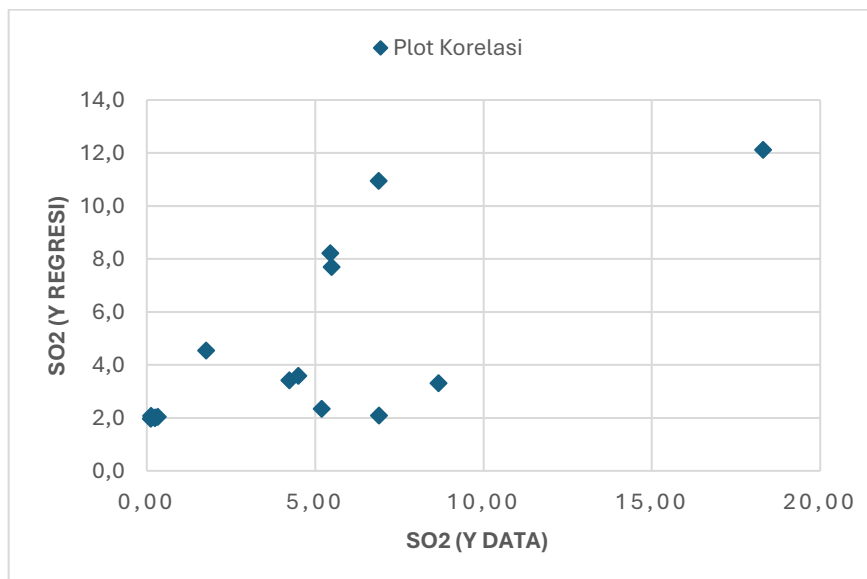
Tahun	Bulan	SO ₂ (µg/m ³) (Y data)	SO ₂ (µg/m ³)(Y regresi)
	Juli	0,33	0,75
	Agustus	0,25	0,45
	September	0,12	1,70
	Oktober	0,13	-0,81
2019/2020	Juli	6,90	3,80
	Agustus	4,50	3,46
	September	8,66	4,44
	Oktober	18,30	12,51
2020/2021	Mei	1,76	5,87
	Juni	6,89	7,76
	Juli	5,20	1,66
	Agustus	4,23	7,05
	September	5,49	6,44
	Oktober	5,45	9,35

Lampiran 10. Grafik Plot Korelasi Analisis Regresi

a. Konsentrasi Udara dan Hujan

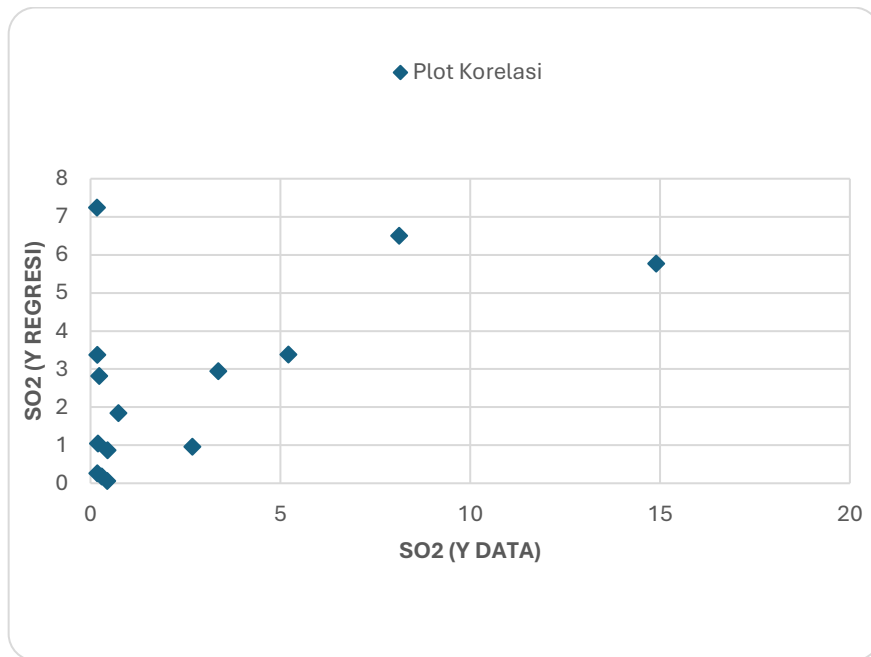


Gambar A.1 Konsentrasi SO_2 dan Hujan pada Kemarau (2020)

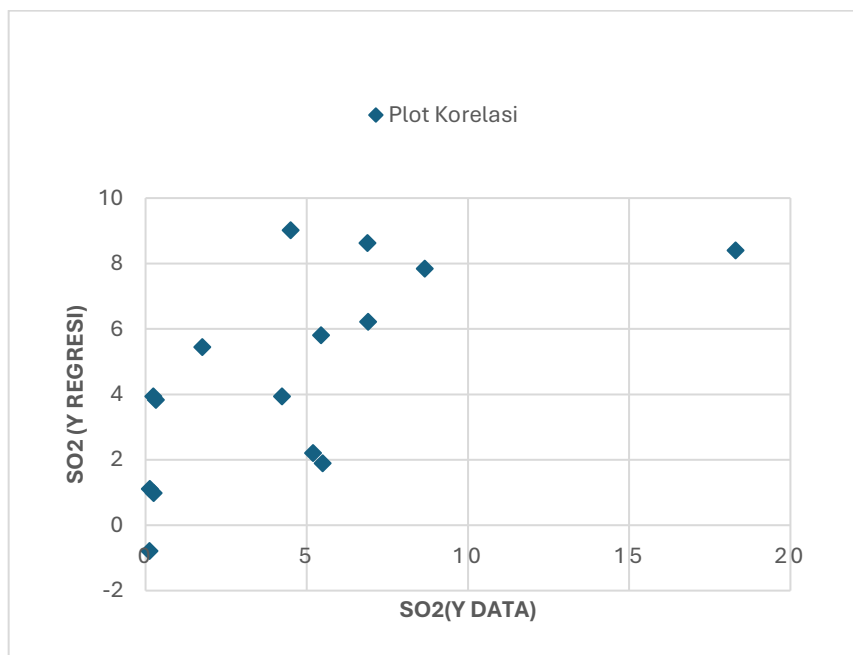


Gambar A.2 Konsentrasi SO_2 dan Hujan pada Musim Kemarau (2019-2021)

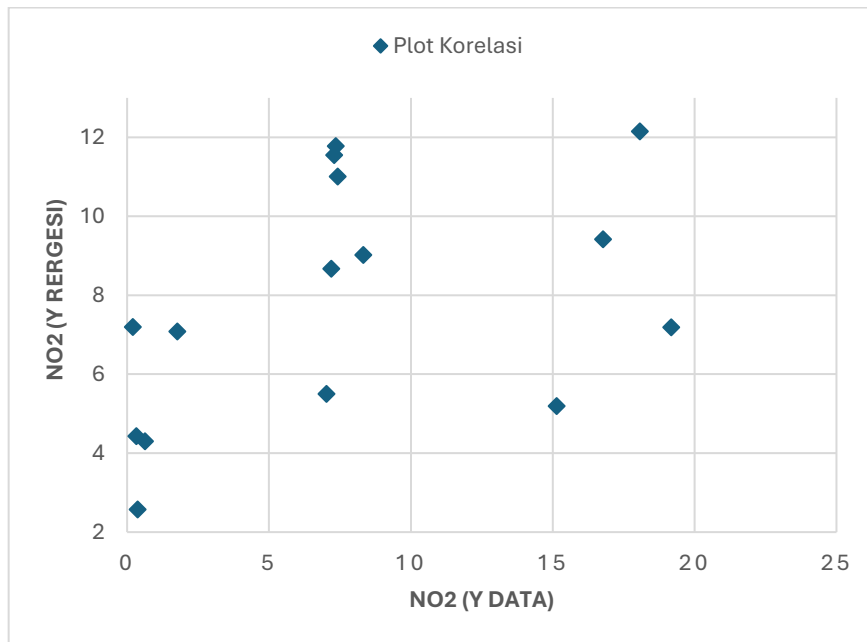
b. Konsentrasi Udara dan Kelembaban



Gambar A.3 Konsentrasi SO_2 dan Kelembaban pada Musim Hujan (3tahun)

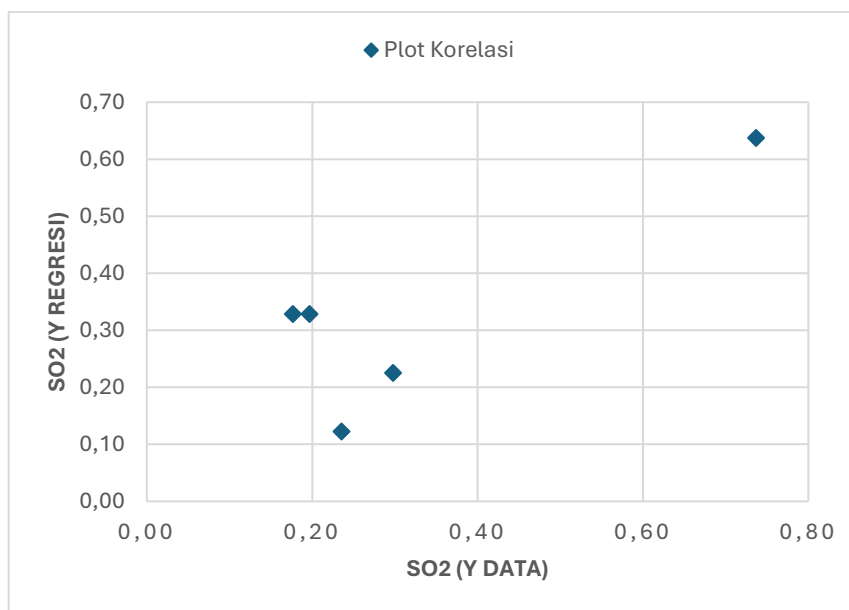


Gambar A.4 Konsentrasi SO_2 dan Kelembaban pada Musim Kemarau (3tahun)

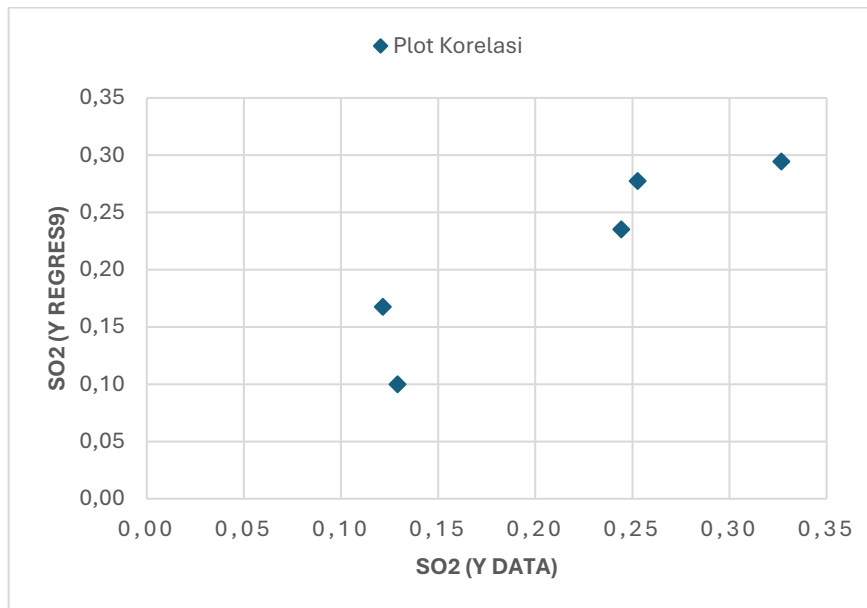


Gambar A.5 Konsentrasi NO_2 dan Kelembaban pada Musim Kemarau (3tahun)

c. Konsentrasi Udara dan Suhu

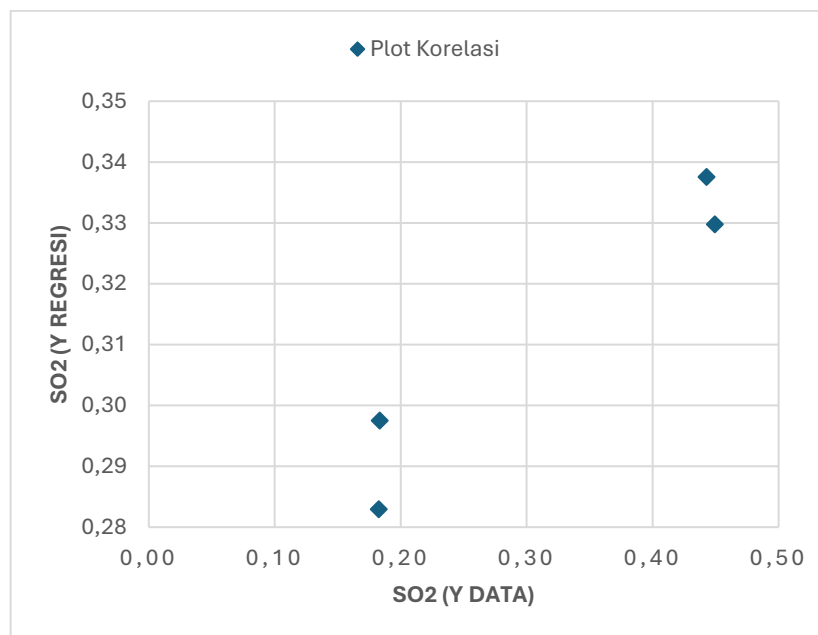


Gambar A.6 Konsentrasi SO_2 dan Suhu pada Musim Hujan

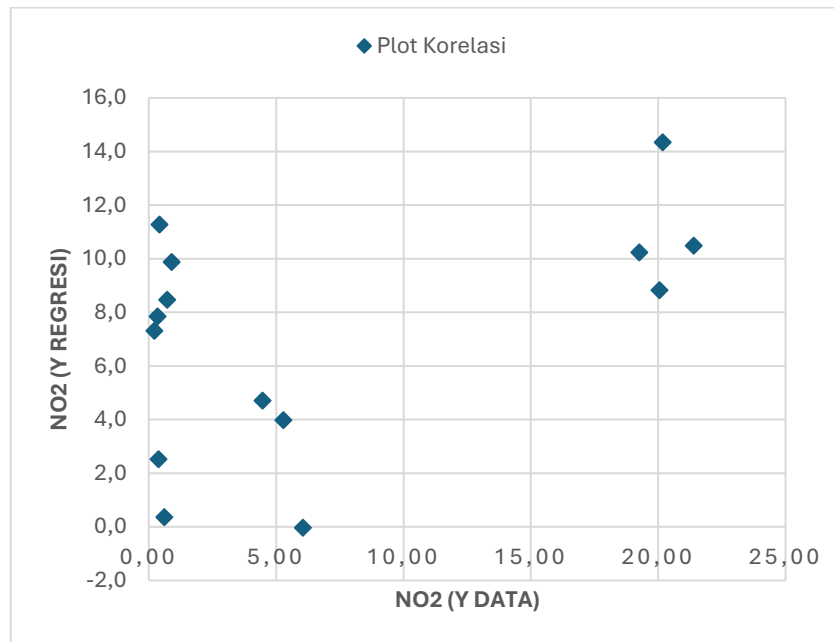


Gambar A.7 Konsentrasi SO_2 dan Suhu pada Musim Kemarau

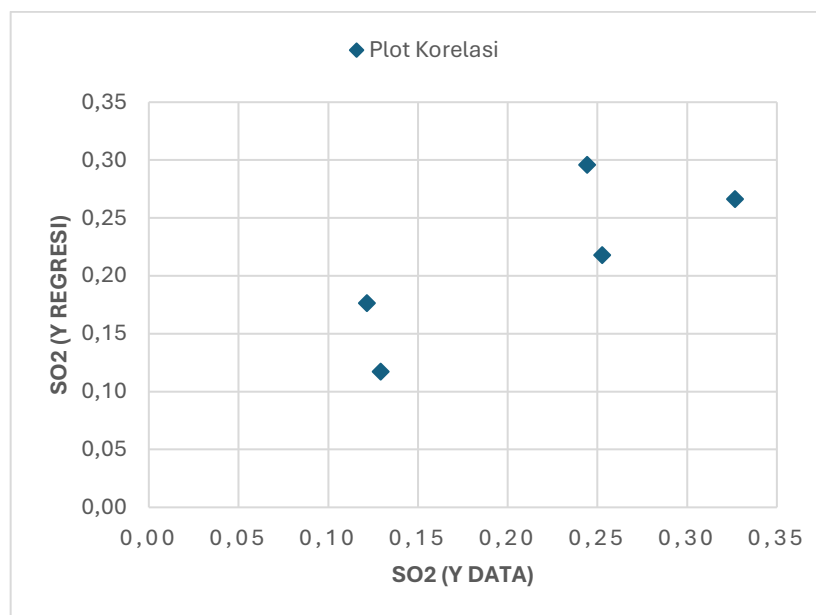
d. Konsentrasi Udara dan Kecepatan Angin



Gambar A.8 Konsentrasi SO_2 dan Kecepatan Angin pada Musim Hujan (2019)

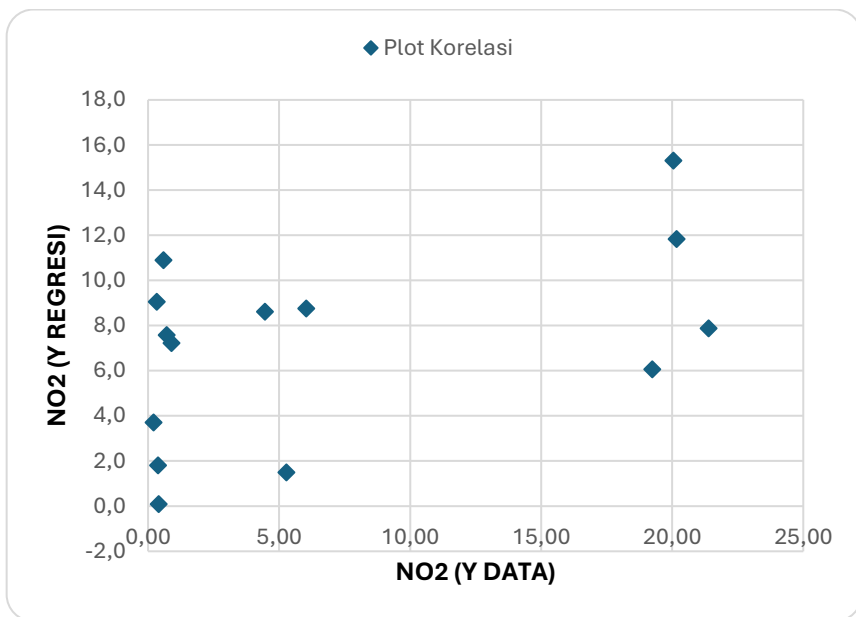


Gambar A.9 Konsentrasi NO_2 dan Kecepatan Angin pada Musim Hujan (3 tahun)

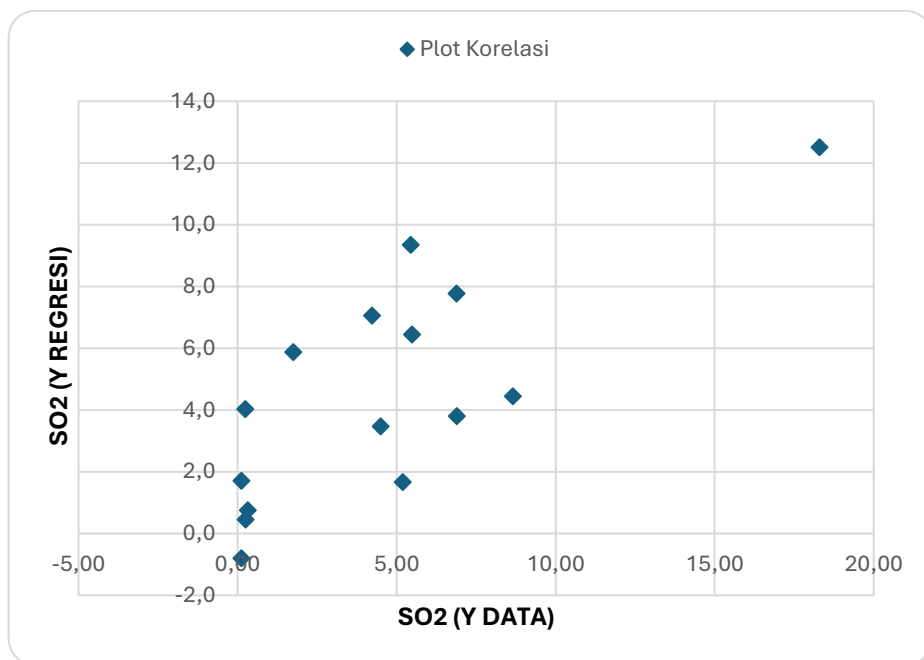


Gambar A.10 Konsentrasi SO_2 dan Kecepatan Angin pada Musim Kemarau (2019)

e. Konsentrasi Udara dan Lama Penyinaran Matahari



Gambar A.11 Konsentrasi NO_2 dan Lama Penyinaran Matahari pada Musim Hujan (3 tahun)



Gambar A.12 Konsentrasi NO_2 dan Lama Penyinaran Matahari pada Musim Kemarau (3 tahun)

Lampiran 11 : Dokumentasi Pemantauan Kualitas Udara di Yogyakarta

(Sumber : Laporan Kualitas Udara 2019,2020, dan 2021)

- Tahun 2019
 - Pengukuran Kualitas Udara Ambien Permukaan



- Pengukuran Kualitas Udara Ambien Roadside



- Tahun 2020
 - Pengambilan sampel Udara Pemukiman di Kelurahan Suryodiningratan





- Tahun 2021



Lampiran 12 : Dokumentasi Pengambilan Sampel Faktor Meteorologis

(Sumber: Stasiun Klimatologi Yogyakarta)

- Lama Penyinaran Matahari



(Campbell Stokes)

- Kecepatan Angin



(Cup Counter Anemometer 0.5m)

- Curah Hujan



(Penakar Hujan Observatorium dan Penakar Hujan Hellmann)

- Kelembaban



(Automatic Weather Station)

- Suhu



Lampiran 13 : Data Meteorologi dari BMKG

Tahun	Bulan	Hujan (mm)	Kelembaban (%)	Suhu (°C)	Kecepatan Angin (m/s)	Lama Penyinaran Matahari (Jam)
2019	Januari	422,1	86,26	31,20	4,68	5,23
	Februari	324,1	85,61	31,40	4,57	6,10
	Maret	488	86,10	30,90	3,94	4,48
	April	362,4	83,59	32,00	4,13	6,53
	Juni	0,7	80,07	30,50	4,10	6,81
	Juli	1,8	79,97	29,80	4,35	7,89
	Agustus	1,3	77,42	30,00	4,77	7,99
	September	0	75,83	31,30	5,13	7,58
	Oktober	2,5	77,53	32,10	5,65	8,40
	November	137	80,47	31,60	4,93	6,91
2020	Januari	273,6	84,03	31,40	4,81	5,31
	Februari	286,2	85,46	31,60	4,62	4,90
	Maret	681,4	86,17	31,50	4,33	5,00
	April	352,7	84,82	31,90	3,90	4,96
	Juli	2,8	82,11	30,50	4,03	6,89
	Agustus	37,9	84,61	30,90	4,65	7,00
	September	31,4	83,56	22,70	4,81	6,68
	Oktober	236,5	84,06	30,90	5,13	4,02
	November	234,9	81,66	31,60	4,86	5,16
2021	Januari	352,8	83,58	30,70	4,71	3,49
	Februari	628,9	85,54	30,90	5,21	4,27
	Maret	245,9	83,94	31,30	4,84	5,57
	April	236	81,07	31,60	4,27	6,60
	Mei	60,1	81,42	31,90	4,29	6,20
	Juni	209,1	84,27	31,20	4,53	5,58
	Juli	8,8	78,52	30,70	4,45	7,59

Tahun	Bulan	Hujan (mm)	Kelembaban (%)	Suhu (°C)	Kecepatan Angin (m/s)	Lama Penyinaran Matahari (Jam)
	Agustus	33,9	80,06	30,30	4,52	5,81
	September	133,6	78,23	31,10	4,50	6,02
	Oktober	145,7	81,74	30,60	4,81	5,06
	November	344,8	87,13	30,10	4,00	3,31
	Desember	409,9	83,75	30,70	4,45	4,55