TA/TL/2025/2065

JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Analisis Spasiotemporal Kualitas Udara Ambien Sebelum, Saat, dan Sesudah Pandemi Covid-19 di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman

Reza Mella Sari
21513078

Dosen Pembimbing I :
Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng.

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

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

DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Spasiotemporal Analysis Of Ambient Air Quality Before, During, and After The Covid-19 Pandemic In Yogyakarta City and Sleman Regency

Reza Mella Sari
21513078

Supervisor I :
Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng.

Supervisor II :
Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Environmental Engineering Bachelor Program
Faculty of Civil Engineering and Planning
Universitas Islam Indonesia
2025

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

Analisis Spasiotemporal Kualitas Udara Ambien Sebelum, Saat, dan Sesudah Pandemi Covid-19 di KotaYogyakarta dan Kabupaten Sleman

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

Reza Mella Sari
20513078

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 10 Oktober 2025 dan disetujui oleh:

Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng. (Pembimbing 1)

Adam Rus Noerhoho, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)

Ana Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. (Penguji 1)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

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

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan *(artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
   a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
   b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.

   Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 10 Oktober 2025
Yang membuat pernyataan,



Reza Mella Sani
21513078

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirobbil'alamin Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi teladan dan pembimbing umat manusia. Berkat izin-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "**Analisis Spasiotemporal Kualitas Udara Ambien Sebelum, Saat, dan Sesudah Pandemi Covid-19 di Kota Yogyakarta dan Kabupaten** ".

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi kurikulum Program Studi Teknik Lingkungan dan menjadi wujud kontribusi pemikiran dalam mencari solusi atas permasalahan di bidang Teknik Lingkungan. Penulisan tugas akhir ini juga merupakan salah satu syarat akademik guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak dukungan, semangat, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Any Julianti, S.T., M.Sc.(Res.Eng), Ph.D. Selaku ketua program studi yang telah menjadi wadah pembelajaran, pengembangan diri, serta tempat berproses selama masa studi hingga tersusunnya laporan ini.
2. Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng. dan Bapak Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, memberikan arahan, ilmu, serta motivasi yang sangat berarti dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Ibu Ana Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji yang memberikan masukan guna membangun penulis serta saran-saran yang sangat bermanfaat untuk terselesaikannya tugas akhir ini
4. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Kedua orang tua tercinta, Bapak Asmiadi dan Ibu Martini, atas doa, dukungan, kerja keras, dan segala pengorbanan yang tidak dapat diungkapkan dengan kata-kata. Serta kakak-kakaku tersayang, Astin tajriah utama dan Amalia Barikah, yang selalu menjadi sumber semangat dan dukungan dalam setiap langkah perjalanan ini.

6. Naufal Arkan yang telah menemani penulis dalam berproses. yang selalu sabar membantu, mendukung, menghibur dalam kesedihan, dan meyakinkan penulis untuk pantang menyerah hingga penyusunan tugas akhir ini terselesaikan.
7. Sahabat penulis yaitu Nazla, Rifcha, dan Fida yang telah menemani penulis dari awal perkuliahan hingga saat ini. Yang menjadi sahabat dalam mengerjakakan tugas maupun bermain di sela-sela kegiatan perkuliahan. Terima kasih telah memberi warna indah pada masa perkuliahan penulis. Penulis selalu menganggap Nazla, Rifcha, dan Fida sebagai sahabat dan bagian penting dari hidup penulis.
8. Sahabat penulis dari perantauan yaitu Farah, Dzaki, dan Risky yang telah menemani penulis di Kota perantauan ini. Yang memberi semangat penulis agar segerah menyelesaikan tugas akhir ini. serta selalu mengajak penulis bermain dan mengeliling kota Yogyakarta yang penuh warna ini
9. Sahabat penulis yaitu Andin yang selalu menemani penulis, memberikan semangat dan mengajak penulis jalan-jalan di akhir pekan.
10. Kepada diri sendiri, terima kasih telah berjuang hingga sejauh ini. Perjalanan yang menguras tenang dan pikiran akan memberikan pelajaran berharga untuk masa depan kelak. Tetap semangat dan raih mimpi-mimpi yang diharapkan.

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan laporan ini. Penulis menyadari masih terdapat banyaknya kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun serta menambah pengetahuan penulis dalam penyusunan Tugas Akhir. Diharapkan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan digunakan sebaik-baiknya bagi penulis dan semua pihak.

Wassalamualaikum Warrahmatullah.

Sleman, 10 Oktober 2025

Reza Mella Sari

Analisis Spasiotemporal Kualitas Udara Ambien Sebelum, Saat, dan Sesudah Pandemi Covid-19 di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman

Mahasiswa	: Reza Mella Sari
NIM	: 21513078
Program Studi	: Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing I	: Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng.
Pembimbing II	: Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Polusi udara merupakan salah satu isu lingkungan yang berdampak signifikan terhadap kesehatan manusia dan kualitas lingkungan. Pandemi Covid-19 yang terjadi sejak awal 2020 mempengaruhi aktivitas masyarakat dan berpotensi memberikan dampak terhadap kualitas udara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren temporal dan perbedaan konsentrasi polutan udara (SO_2, PM_{10}, CO, dan O_3) pada periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19, serta memetakan sebaran konsentrasi SO_2 dan NO_2 secara spasial di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman. Data yang digunakan berupa Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) untuk parameter SO_2, PM_{10}, CO, dan O_3, yang dianalisis menggunakan uji Mann-Kendall untuk mendeteksi tren, serta uji Shapiro-Wilk untuk normalitas, diikuti uji-t berpasangan atau Wilcoxon Signed Rank untuk perbedaan signifikan antarperiode. Analisis spasial dilakukan dengan metode interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) pada perangkat lunak QGIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PM_{10} meningkat signifikan saat pandemi Covid-19 hingga sesudah pandemi Covid-19. CO mengalami penurunan signifikan sebelum pandemi Covid-19 hingga saat pandemi Covid-19. Konsentrasi SO_2, PM_{10}, dan CO dibeberapa periode menunjukan perbedaan yang signifikan, sedangkan O_3 tidak mengalami perbedaan yang signifikan antar periode akibat sifatnya sebagai polutan sekunder. Pada Pemetaan spasial mengungkap dinamika distribusi SO_2 dan NO_2 yang dipengaruhi oleh aktivitas transportasi, perkantoran, dan industri.

Kata kunci: Kualitas Udara, Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Analisis Temporal, Analisis Spasial

Spasiotemporal Analysis Of Ambient Air Quality Based Before, During, and After The Covid-19 Pandemic In Yogyakarta City and Sleman Regency

Student	: Reza Mella Sari
Student Number	: 21513078
Study Program	: Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor I	: Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng.
Supervisor II	: Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

Air Pollution is one of the enviromental issues that significantly impacts human healty and environmental quality. The Covid-19 pancemic that has been ongoing since early 2020 has effected community activietis and has the potential to impact air quality. This study aims to analyze the temporal trends anda differences in air pollutant concentrations (SO_2, PM_{10}, CO, and O_3) during the periods before, during, and after the covid-19 pandemic, as well as to map the spatial distribution of SO_2 and NO_2 concentrations in Yogyakarta City and Sleman regency. The data used were Air Pollutant Standard Index (APSI) values for SO_2, PM_{10}, CO, and O_3, analyzed using the Mann-Kendall test to detect trends, the Shapiro-Wilk test for normality, followed by paired t-test or Wilcoxon Signed Rank tests for significant difference between periods. Spasial analysis was conducted using the Inverse distance Weighting (IDW) interpolation method in QGIS software. The result of the study indicate that PM_{10} increased significantly before the Covid-19 pandemic and after the pandemic. CO decreased signifiantly before the Covid-19 pandemic and during the pandemic. The concentrations of SO2, PM_{10}, and CO in several periods Showed significant differences, while O_3 did not experience significant between periods dueto its nature as a secondary pollutant. Spasial mapping revealed the dynamics of SO_2 and NO_2 distribution influenced by transportation, office, and industrial activities.

Key words: Air Quality, Yogyakarta City, Sleman Regency, Temporal Analysis, Spasial Analysis

DAFTAR ISI

PRAKATA i
Abstrak iii
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL vii
DAFTAR GAMBAR viii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat Penelitian 5
1.5 Ruang Lingkup 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Kualitas Udara Ambien 7
2.1.1 Particulate Matter 10 (PM_{10}) 7
2.1.2 Sulfur Dioksida (SO_2) 8
2.1.3 Nitrogen Dioksida (NO_2) 9
2.1.4 Karbon Monoksida (CO) 10
2.1.5 Ozon (O_3) 11
2.1.6 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) 12
2.1.7 Baku Mutu Udara Ambien 14
2.2 Dampak Pandemi Covid-19 Terhadap Kualitas udara 15
2.3 Analisis Temporal Kualitas Udara 16
2.3.1 Mann-Kendall 16
2.3.2 Uji Normalitas Shapiro-Wilk 17
2.3.3 Uji T berpasangan (Paired T-Test) 17
2.3.4 Wilcoxon Signed Rank 18
2.4 Analisis Spasial Kualitas Udara dengan SIG 18

2.5 Faktor Meteorologi yang berpengaruh terhadap kualitas udara..... 19
2.6 Pengaruh Musim Terhadap Kualitas Udara 20
2.7 Perbandingan Metode Sampling Aktif dan Pasif 21
2.9 Penelitian Terdahulu 24
BAB III METODE PENELITIAN 29
3.1 Waktu dan Lokasi 29
3.2 Tahapan Penelitian 31
3.3 Pengumpulan Data 32
3.4 Analisis Data Temporal 34
3.4.1 Uji Tren Mann-Kendall 34
3.4.2 Uji Normalitas Shapiro Wilk 35
3.4.3 Uji-t berpasangan (Paired t-test) 36
3.4.4 Uji Wilcoxon Signed Rank 38
3.5 Analisis Data Spasial 39
3.5.1 Penerapan IDW menggunakan QGIS 39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 40
4.1 Hasil Analisis Temporal 40
4.1.1 Analisis tren 40
4.1.2 Hasil Uji Normalitas Shapiro Wilk 43
4.1.3 Hasil Uji Perbedaan Rata-rata Nilai Setdata 45
4.2 Hasil Analisis Spasial 54
4.2.1 Pola Sebaran SO_2 57
4.2.2 Pola Sebaran NO_2 61
BAB V PENUTUP 65
5.1 Kesimpulan 65
5.2 Saran 67
DAFTAR PUSTAKA 68
LAMPIRAN 77
RIWAYAT HIDUP 81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batas ISPU dalam Satuan SI 13
Tabel 2.2 Kategori Angka Rentang ISPU..... 13
Tabel 2.3 Baku Mutu Kualitas Udara Ambien 15
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu..... 24
Tabel 4.5 Hasil Uji Mann-Kendall 43
Tabel 4.6 Hasil Uji Shapiro-Wilk..... 44
Tabel 4.7 Hasil uji perbedaan rata-rata nilai ISPU Parameter SO_2, PM_{10}, CO, dan O_3..... 46
Tabel 4.8 Pembagian titik lokasi pemantauan kualitas udara..... 54
Tabel 4.9 Lokasi pemantauan kualitas udara Kota Yogyakarta 55
Tabel 4.10 Lokasi pemantauan kualitas udara Kabupaten Sleman 56
Tabel 11 Rata-rata Nilai ISPU Parameter PM_{10}, SO_2, CO, dan O_3 77
Tabel 12 Hasil Uji Mann-Kendall 78
Tabel 13 Hasil Uji Shapiro Wilk 79
Tabel 14 Hasil Uji-t Berpasangan..... 80
Tabel 15 Hasil Uji Wilcoxon Signed Rank 80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Peta titik lokasi pemantauan kualitas udara data temporal 30
Gambar 3.2 Peta lokasi pemantauan kualitas udara data Spasial 31
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian 32
Gambar 4.4 Rata-rata nilai ISPU parameter SO_2 periode sebelum hingga sesudah pandemi Covid-19 49
Gambar 4.5 Rata-rata nilai ISPU parameter PM_{10} periode sebelum hingga sesudah pandemi Covid-19 50
Gambar 4.6 rata-rata nilai ISPU parameter CO sebelum hingga sesudah pandemi Covid-19 52
Gambar 4.7 Rata-rata nilai ISPU parameter O_3 sebelum dengan sesudah pandemi covid-19 53
Gambar 4.8 Pola persebaran konsentrasi SO_2 dari tahun 2019 hingga tahun 2023 60
Gambar 4.9 Pola persebaran konsentrasi NO_2 dari tahun 2019 hingga tahun 2025 64

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polusi udara diakui sebagai isu lingkungan yang paling signifikan di seluruh dunia. WHO memberitahukan sekitar 7 juta kematian terutama akibat penyakit tidak menular, disebabkan oleh efek gabungan dari polusi udara (World Health Organization, 2021). Polusi udara terjadi ketika kualitas udara menurun karena adanya zat-zat yang masuk ke dalam atmosfer bumi. Zat-zat berbahaya tersebut mencakup karbon monoksida, nitrogen dioksdia, klorofluorokarbon, sulfur dioksida, bahan partikulat, dan karbon dioksida (Rahmawati *et al.,* 2024). Paparan terhadap polusi udara diperkirakan mengakibatkan jutaan orang kehilangan nyawa dan mengurang kehidupan yang sehat, serta mengakibatkan kerugian yang mencapai triliunan dolar setiap tahunnya. Saat ini, polusi udara diakui sebagai ancaman lingkungan terbesar bagi Kesehatan serta kesejahteraan manusia (World Health Organization, 2021).

Pada Desember 2019 tepatnya di Kota Wuhan, Cina pertama kalinya virus korona terdeteksi. Indonesia mengkonfirmasi resmi terdampak pandemi Covid-19 pertama kali pada 2 Maret 2020 yang disampaikan langsung oleh Presiden Republik Indonesia (Setyowaki *et al*., 2021). Dalam upaya pencegahan penyebaran virus Covid-19 pemerintah memutuskan melakukan pembatan aktivitas untuk menekan penyebaran virus Covid-19. Menurut Kumari & Toshniwa (2020) Pada kota-kota dengan tingkat pencemaran tinggi seperti Beijing, Bengaluru, Delhi, Lima, Mumbai, Roma, dan Wuhan mengalami penurunan signifikan dalam tingkat pencemaran udara selama masa *lockdown* di tahun 2020 dibandingkan periode yang sama di tahun 2019. Tingkat konsentrasi PM_{10} mengalami penurunan antara 23,7% hingga 47,3% sementara itu, penurunan lebih besar terjadi pada NO_2 berkisar antara 31,6% hingga 64,5%. Menurut (Setyowati *et al*., 2021) pandemi Covid-19

berpengaruh positif pada polusi udara secara global. Kualitas udara semakin membaik setelah adanya pandemi Covid-19 yang sangat berdampak pada kota-kota besar di Indonesia seperti Jakarta dan Surabaya. Menurut (Pemerintah Jawa Timur, 2022) terjadinya peningkatan kualitas udara ambien perkotaan di tunjukan dengan penurunan nilai Sulfur Dioksida dan Nitrogen Dioksida sejak tahun 2019 hingga tahun 2022. Kegiatan PSBB di kota Padang berpengaruh terhadap penurunan nilai CO sebesar 5,2% (Irawan *et al.,* 2021).

Menurut Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta (2021) Kota Yogyakarta adalah salah satu daerah dengan tingkat kesibukan penduduk yang cukup tinggi. Pertumbuhan yang pesat terjadi di Kota Yogyakarta mengakibatkan peningkatan kendaraan sebagai alat transportasi untuk memenuhi kebutuhan hidup yang berujung pada mobilitas masyarakat yang signifikan. Kualitas udara di Kota Yogyakarta selama ini dipengaruhi oleh aktivitas kendaraan, di mana sumber polusi berasal dari kendaraan atau sumber bergerak. Kondisi ini semakin parah karena Kota Yogyakarta dikenal sebagai destinasi pariwisata, serta pusat untuk industri, perkantoran, dan Pendidikan. Selain itu, Kota Yogyakarta merupakan Ibu Kota Provinsi tentunya menjadi pusat dari aktivitas tersebut. Sementara itu Kabupaten Sleman mengalami perkembangan pesat sebagai wilayah Peri-urban (Kamal *et al.,* 2025). Wilayah Peri-urban adalah area yang berada di sekitar atau pinggiran kota yang berada antara wilayah yang sepenuhnya perkotaan dan wilayah sepenuhnya pedesaan. Kabupaten Sleman secara administratif berbatas langsung dengan Kota Yogyakarta. Merujuk dari berbagai kondisi tersebut, maka pemantauan kualitas udara ambien secara temporal dan spasial sangat penting untuk dilakukan. Hal tersebut untuk memonitoring kondisi lingkungan baik secara temporal maupun spasial agar kualitas udara tetap terjaga bagi keberlangsungan Kesehatan masyarakat.

Analisis temporal adalah pendekatan analisis data yang berfokus pada perubahan atau variasi suatu fenomena dari waktu ke waktu. Analisis temporal dengan menggunakan uji Mann-Kendall sangat relevan karena Mann-Kendall adalah metode non-parametrik yang umum digunakan untuk

mendeteksi pola dalam data deret waktu hidrometeorologi (Sucitra, 2024). Setelah tren diuji Langkah selanjutnya adalah menganalisis perbedaan antar periode waktunya. Untuk menentukan jenis uji perbandingan yang tepat maka dilakukan uji Shapiro-Wilk. Uji Shapiro-Wilk merupakan salah satu teknik paling terkenal dalam menguji normalitas, khususnya pada data dengan ukuran sampel kecil (umumnya kurang dari 50)(Sianturi, 2025). Apabila sampel berdistribusi normal maka analisis perbandingan rata-rata akan dilanjutkan dengan Uji-t berpasangan. Tetapi, apabila sampel tidak berdistribusi normal maka analisis perbandingan rata-rata akan menggunakan pendekatan non-parametrik dengan uji Wilcoxon.

Analisis spasial menjadi bagian penting dalam memetakan distribusi polutan dan memahami pola persebaran kualitas udara di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman. Pemetaan secara digital menggunakan Sistem Informasi geografis (SIG) dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi persebaran kualitas udara dalam bentuk grafis dan peta persebaran. Mengetahui sebaran kualitas udara di Yogyakarta menggunakan analisis spasial dan SIG berfungsi untuk mengidentifikasi area yang terpapar polusi, sehingga dapat diambil langkah-langkah mitigasi yang tepat. Selain itu, informasi ini dapat digunakan sebagai informasi pendukung perencanaan kota yang lebih baik untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang isu lingkungan. Pemetaan terkait pencemaran udara bisa dilakukan dengan perangkat lunak QGIS melalui proses interpolasi. Interpolasi adalah fungsi atau model matematika yang digunakan untuk memprediksikan data yang belum diketahui menggunakan data yang sudah ada. Interpolasi pada Software QGIS dapat menggunakan metode Inverse Distance Weighting (IDW). IDW adalah metode interpolasi yang digunakan untuk menafsirkan suatu nilai pada lokasi yang tidak tersampel melalui data di sekitarnya (Purnomo, 2018).

Penelitian mengenai kualitas udara ambien di Yogyakarta sudah pernah dilakukan, khususnya terkait perubahan konsentrasi polutan sebelum dan saat pandemi Covid-19. Pada penelitian Novianto *et al.,* (2022) tentang analisis

perubahan system kualitas udara Kota Yogyakarta pada masa sebelum hingga saat pandemi covid-19 menggunakan Chi-square. Chi-square adalah studi analisis statistik komparasi untuk membandingkan keadaan variabel dari dua atau lebih. Terkait dari penelitian yang dilakukan Sihayuardi *et al*., (2021) menggunakan metode IDW untuk pemetaan dengan membandingkan data kualitas udara periode sebelum pandemi (tahun 2019) dan saat pandemi (tahun 2020). Penelitian tersebut memberikan gambaran awal dan dampak yang terjadi saat pandemi covid-19 berlangsung. Dari penelitian tersebut belum meneliti lebih lanjut tentang sebaran udara setelah pelonggaran pembatasan dan pemulihan aktivitas masyarakat pasca covid-19. Ramadhan (2021) melakukan penelitian serupa menggunakan metode IDW untuk analisis spasial, tetapi untuk lokasinya berasa di Kabupaten Gunung Kidul. Gunung kidul secara umum dikenal sebagai wilayah dengan karakteristik geografis dominan perbukitan kapur, aktivitas pertanian, pariwisata alam, dan kepadatan penduduk yang relative rendah dibandingkan perkotaan. Pada Penelitian selanjutnya dapat menganalisis data spasial menggunakan metode IDW pada daerah lain yang memiliki karakteristik geografis yang berbeda.

Dengan mempertimbangkan urgensi pemantauan kualitas udara di periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi yang belum pernah dilakukan. Kemudian perlunya penelitian lebih lanjut terhadap dampak pandemi Covid-19 terhadap Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman. Oleh karena itu, penelitian ini akan menganalisis tren temporal konsentrasi polutan (SO_2, PM_{10}, CO, dan O_3) dan perbedaan signifikan antara periode-periode berbeda, serta sebaran konsentrasi SO_2 dan NO_2 menggunakan analisis spasial.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah serta fokus penelitian yang telah dipaparkan peneliti, maka rumusan masalahnya sebagai berikut :

1) Bagaimana tren konsentrasi polutan (SO_2, PM_{10}, CO, dan O_3) pada periode sebelum hingga saat dan saat hingga sesudah, pandemi Covid-19?

2) Apakah terdapat perbedaan signifikan rata-rata konsentrasi polutan (SO_2, PM_{10}, CO, dan O_3) pada periode sebelum dan saat, saat dan sesudah, serta sebelum dan sesudah pandemi Covid-19?
3) Bagaimana sebaran konsentrasi SO_2 dan NO_2 di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman sebelum, saat, dan setelah pandemi Covid-19 ?

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan penelitian digunakan untuk menemukan dan membuktikan pengetahuan. Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1) Menganalisis tren temporal konsentrasi polutan (SO_2, PM_{10}, CO, dan O_3) pada periode sebelum hingga saat dan saat hingga sesudah, pandemi Covid-19.
2) Mengetahui perbedaan signifikan konsentrasi polutan (SO_2, PM_{10}, CO, dan O_3) pada periode sebelum dan saat, saat dan sesudah, serta sebelum dan sesudah pandemi Covid-19.
3) Mengetahui sebaran konsentrasi SO_2 dan NO_2 pada periode sebelum, saat, dan setelah pandemi Covid-19 dengan analisis spasial.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat. Adapun manfaat pada penelitian ini sebagai berikut :

1) Penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk memperkaya literatur dalam bidang pencemaran udara dan analisis udara.
2) Menjadi studi kasus tentang penerapan metode IDW (Inverse Distance Weighting) dalam pemetaan kualitas udara berbasis data nyata.
3) Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk merancang strategi mitigasi yang lebih tepat saran dalam mengurangi emisi gas polutan sehingga dapat menjadi pertimbangan bagi pemerintahan kota

Yogyakarta, kabupaten Sleman dan instansi terkait dalam menyusun kebijakan yang lebih tepat dalam mengatas pencemaran udara.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) Penelitian ini mencakup periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19 , yaitu dari tahun 2019 hingga 2023.
2) Data analisis temporal mencakup Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dengan konsentrasi PM_{10}, SO_2, CO,dan O_3 selama periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19.
3) Data Temporal diperoleh dari alat AQMS yang berada di Stasiun pemantauan kualitas udara Gondokusuman, Yoyakarta.
4) Analisis Spasial dilakukan di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman.
5) Parameter yang dianalisis secara spasial adalah SO_2 dan NO_2.
6) Data SO_2 dan NO_2 Kota Yogyakarta menggunakan metode aktif sampling pada tahun 2019 hingga 2021 dan pada tahun 2022 hingga 2023 menggunakan metode pasif sampling. Penggunaan kedua jenis metode sampling pada wilayah dan periode berbeda berdasarkan pada pertimbangan ketersedian data serta validitas ilmiah, dimana metode aktif dan pasif telah terbukti tidak berbeda nyata dalam mengukur konsentrasi polutan SO_2 dan NO_2 melalui beberapa studi sebelumnya. Kemudian untuk Kabupaten Sleman pada tahun 2019 hingga tahun 2023 menggunakan metode aktif sampling.
7) Analisis spasial menggunakan IDW pada perangkat lunak QGIS.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas Udara Ambien

Kualitas udara merupakan kondisi udara memiliki kandungan gas atau partikel tertentu yang berkaitan dengan kesehatan manusia. Kualitas udara ambien merupakan indikator penting dalam mengukur tingkat pencemaran udara di suatu wilayah. Kualitas udara dinilai berdasarkan konsentrasi parameter polutan udara yang diukur lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai kualitas udara (Subagiyo *et al*., 2020).

2.1.1 Particulate Matter 10 (PM_{10})

Particulate Matter 10 (PM_{10}) merupakan partikulat padat dan cair yang ada di atmosfer dengan diameter aerodinamik sebesar 10 mikron. Partikulat ini terdiri dari ion organik, elemen karbon, senyawa organik, logam berat, dan berbagai senyawa lainnya. Beberapa partikulat memiliki sifat higroskopis dan mengandung partikel yang mengikat air. Partikulat organik yang kompleks mengandung ratusan hingga ribuan senyawa organik yang kompleks mengandung ratusan hingga ribuan senyawa organik. Secara alami, PM_{10} dapat dijumpai dalam partikulat garam, penguapan air laut, tanah, jamur, serta virus dan bakteri. Sementara itu, aktivitas manusia menghasilkan PM_{10} dari proses industri, kendaraan bermotor, aktivitas di jalan, pembangkit listrik, dan hasil pembakaran (Nurhidayat, 2020).

Partikulat terutama PM_{10} yang terdapat di udara dapat terhirup ke dalam tubuh setiap kali bernapas. Di paru-paru, ini memiliki dampak fisik langsung dan atau dapat terserap ke dalam aliran darah. Setiap individu akan terpapar dalam kadar tertentu, kecuali berada di lingkungan yang disaring secara khusus. Paparan di kawasan perkotaan dan industri cenderung lebih tinggi, namun tidak menutup

kemungkinan juga terjadi di lingkungan alami (Nurhidayat, 2020). PM_{10} sering kali dianggap sepele karena dampak negatifnya terhadap manusia tidak secara langsung dirasakan. Namun, dalam jangka panjang PM_{10} dapat memicu masalah pernapasan Kardivaskular seperti asma dan bahkan berpotensi menyebabkan kematian akibat penyalit jantung da kanker paru-paru. PM_{10} merupakan partikel kasar, tetapi cukup mudah dihirup dan dapat masuk ke dalam paru-paru serta dapat menurunkan visibilitas dan mempengaruhi kualitas air serta lingkungan (Adli dan Febrita, 2024).

2.1.2 Sulfur Dioksida (SO_2)

Sulfur Dioksida merupakan gas jernih yang tidak berwarna serta termasuk dalam kategori pencemaran udara. Sebanyak 80% dari SO_2 dihasilkan melalui proses oksidasi H_2S. sisa 20% sisanya merupakan hasil aktivitas manusia, yakni berasal dari bahan bakar yang mengandung belerang dan peleburan logam non-ferro, kilang minyak dan letusan gunung (Takuloe *et al.,* 2023).

Jenis polutan SO_2 adalah zat pencemar yang dapat mengiritasi saluran pernapasan manusia. Paparan jangka pendek dengan kadar rendah pun dapat berakibat buruk bagi kesehatan, khususnya saluran pernapasan. Pengaruh SO_2 terhadap kesehatan manusia dan hewan meliputi gangguan sistem pernapasan dan iritasi pada mata. Apabila konsentrasi sangat tinggi, ini bisa berujung pada kematian. Di Belgia pada saat nilai SO_2 sebesar 38 ppm menyebabkan 60 meninggal, serta mengakibatkan kematian pada ratusan sapi dan hewan ternak lainnya (Takuloe *et al.,* 2023).

Peningkatan kadar SO_2 tidak hanya memengaruhi kesehatan manusia, tetapi juga berdampak buruk terhadap lingkungan terutama pada tanaman. Paparan SO_2 dapat mengubah fitur morfologi, fisiologi, dan komposisi biokimia tanaman. Beberapa konsekuensi yang sering muncul adalah perlambatan pertumbuhan, penurunan aktivitas

fotosintesis, berkurangnya jumlah klorofil, serta rendahnya kadar karotenoid di dalam jaringan tanaman (Lutfia, 2025).

2.1.3 Nitrogen Dioksida (NO_2)

Nitrogen Dioksida (NO_2) terbentuk dari hasil reaksi antara Nitrogen dan oksigen pada suhu tinggi seperti yang terjadi saat pembakaran bahan bakar fosil. Selain itu, NO_2 juga bisa terbentuk dari proses dekomposisi bahan organik yang mengandung Nitrogen. Dalam konteks ini NO_2 berperan sebagai salah satu bentuk Nitrogen yang penting dalam siklus Nitrogen tetapi dapat juga menyebabkan polusi udara dan dampak negatif bagi kesehatan manusia (Laimeheriwa, 2017). Emisi gas NO_2 dipengaruhi oleh jumlah penduduk, karena sumber utama dari gas NO_2 dihasilkan oleh aktivitas manusia yang berasal dari proses pembakaran arang, bensin, minyak, dan gas. Berbagai jenis Nitrogen Dioksida dapat terbentuk melalui pembakaran bahan bakar minyak dan bahan bakar fosil lainnya pada suhu tinggi, termasuk dari sumber yang tidak bergerak dan yang bergerak seperti dalam pembakaran yang terjadi pada kendaraan bermotor, proses peleburan besi, pembangkit listrik, serta kegiatan industri yang mengeluarkan emisi ke lingkungan melalui cerobong pabrik di daerah industri (Rumselly *et al*., 2024).

Gas NO_2 yang mencemari udara dapat dikenali dari aroma yang tajam dan warna coklat kemerahan. Sifat racun (toksisitas) gas NO_2 dapat empat kali lebih kuat dari pada gas NO. Apabila Gas NO teroksidasi oleh oksigen akan menjadi lebih berbahaya sehingga menjadi Gas NO_{2-} (Wardhana 2004 dalam Cahyono 2016). Udara yang mengandung gas NO_2 dalam kadar normal tergolong aman dan tidak menimbulkan bahaya, kecuali ketika konsentrasi gas NO_2 meningkat, yang dapat mengganggu sistem saraf dan memicu kejang. Jika keracunan terus berlangsung, hal ini dapat mengakibatkan kelumpuhan. Gas NO menjadi lebih berbahaya setelah teroksidasi oleh oksigen

menjadi NO_2. Di atmosfer nitrogen monoksida (NO) mengalami oksidasi dengan cepat menjadi Nitrogen Dioksida (NO_2) yang selanjutnya akan teroksidasi secara fotokimia menjadi nitrat (Rumselly *et al.*, 2024).

Selain berdampak pada Kesehatan manusia, NO2 juga berdampak terhadap lingkungan misalnya hujan asam. Hujan asam dapat menyebabkan rusaknya ekosistem hewan dan tumbuhan. Disamping itu, hujan asam juga berkontribusi terhadap terbentuknya kabut asap fotokimia dan aerosol. Hujan asam ini dapat berujung pada penurunan kesuburan tanah dan berdampak pada aliran sungai, yang pada akhirnya akan merusak biota air (Kusumawati, 2025).

2.1.4 Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida (CO) adalah gas yang tidak memiliki warna dan tidak berbau, tetapi dapat menjadi berbahaya jika dihirup dalam jumlah besar. Gas CO dihasilkan dari proses pembakaran. sumber utama gas CO di udara adalah kendaraan bermotor, mobil, truk, serta mesin yang membakar bahan bakar fosil. Selain itu, berbagai perangkat di rumah seperti pemanas ruangan berbahan bakar minyak tanah, cerobong asap , tungku yang bocor, dan kompor gas merupakan produk-produk yang dapat melepaskan gas CO di dalam ruangan. Tempat dan waktu dengan tingkat lalu lintas tinggi biasanya mempunyai konsentrasi CO yang lebih tinggi dibandingkan lokasi dengan lalu lintas rendah. Manusia dapat terpapar gas CO akibat asap rokok, baik yang merokok secara langsung maupun yang terpapar sebagai perokok pasif, serta penggunaan peralatan gas atau tungku pembakaran kayu yang juga berpotensi mendatangkan paparan CO dan berbagai sebab lainnya (Rizaldi *et al.*, 2022).

kadar CO yang tinggi secara signifikan dapat berakibat fatal. Peningkatann kadar CO di udara berpotensi menimbulkan berbagai masalah kesehatan, salah satunya penyakit jantung. Orang yang

mengidap penyakit jantung seseorang yang beresiko mengalami penurunan kadar oksigen menuju jantung, karena kapasitas untuk memperoleh oksigen diastorik lebih rendah. Paparan asap rokok yang mengandung CO juga dapat meningkatkan timbulnya penyakit ISPA. Pada balita, paparan asap rokok yang mengandung CO berdampak pada kejadian stunting, terkait dengan terhambatnya penyerapan nutrisi (Rizaldi *et al.*, 2022). Gas CO yang melebihi tingkat kemampuan penyerapan alami atmosfer dari waktu ke waktu akan menyebabkan berbagai kerusakan terhadap lingkungan lainnya, seeperti peningkatan suhu global karena menipisnya lapisan ozon, iklim yang berubah secara drastis, dan terbentuknya kabut asap atau yang kita kenal sebagai polusi udara(Arifin dan Rahman, 2024).

2.1.5 Ozon (O_3)

Ozon (O_3) merupakan senyawa yang terdiri dari tiga atom oksigen. O_3 juga dianggap sebagai bentuk oksigen yang kurang stabil jika dibandingkan dengan O_2 . Ozon (O_3) adalah salah satu polutan sekunder yang terbentuk dari hasil reaksi fotokimia. O_3 dikenal sebagai polutan sekunder karena O_3 terbentuk dari reaksi atau perubahan berbagai partikel gas lainnya. Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu prekursor penting pembentukan O_3 di atmosfer. Dalam sistem fotokimia troposfer, CO bereaksi dengan radikal hidroksil (OH) membentuk radikal H dan CO_2, kemudian membentuk hidroperoksi radikal (HO_2). HO_2 dan alkil peroksi radikal (RO_2) mengoksidasi NO menjadi NO_2, yang selanjutnya melalui fotolisis menghasilkan O_3. Secara keseluruhan, proses ini menunjukkan bahwa peningkatan CO dapat meningkatkan pembentukan ozon. Konsentrasi O_3 troposfer sangat dipengaruhi oleh proses fotokimia, kondisi meteorologi, transportasi polutan, dan sirkulasi atmosfer (Sulityono *et al.*, 2019). rombakan atau O_3 menghasilkan cairan yang berwarna violet pada suhu < - 112°C dan berbentuk padat berwarna violet gelap pada suhu < -

193°C. Di samping itu, O_3 memiliki aroma yang tajam dan menyengat hidung , serta terbentuk pada konsentrasi rendah di udara akibat aliran listrik seperti petir, dan oleh energi tinggi seperti radiasi matahari secara elektromagnetik (Widowati & Sutoyo, 2009).O_3 memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi ultraviolet yang berasal dari matahari, yang berkontribusi terhadap pemanasan total lapisan atmosfer. Pemanasan ini mengarah pada naiknya suhu atmosfer dan menyebabkan perbedaan suhu antara troposfer dan stratosfer. Di samping itu, kemampuan besar O_3 dalam menyerap radiasi ultraviolet juga berfungsi untuk mengurangi radiasi UV yang mencapai permukaan bumi (Faidah, 2016).

Proses fotokimia yang berlangsung di atmosfer berperan dalam pembentukan O_3 dengan bantuan radiasi UV matahari akan berdampak berbahaya bagi bumi. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi O_3 yang tinggi di troposfer yang dapat mengakibatkan masalah pada sistem pernapasan, risiko serangan jantung, dan bahkan kematian. Dampak menipisnya lapisan O_3 yaitu kerusakan lingkungan, terbatasnya akses ke sumber air bersih, gangguan pada rantai makanan di laut, hilangnya ekosistem terumbu karang, serta dampak pada sumber daya laut lainnya (Faidah, 2016).

2.1.6 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Kualitas udara di informasikan kepada publik melalui Indeks Standar pencemaran Udara atau yang disingkat ISPU. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14 /Menlhk/ Setjen/ KUM.1/7/2020 ISPU yaitu angka yang tidak memiliki satuan yang menggambarkan suatu kondisi mutu udara ambien berdasarkan lokasi tertentu yang berdampak kepada Kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup. ISPU merupakan sebuah laporan mengenai kualitas udara yang di tunjukan kepada masyarakat untuk menjelaskan seberapa bersih atau seberapa tercemarnya kualitas udara kita, serta bagaimana pengaruh terhadap Kesehatan kita setelah

menghirup udara tersebut selama beberapa jam atau hari (Sianipar dan Yuliani, 2017).

Angka ISPU berasal dari konsentrasi setiap parameter melalui stasiun Pemantau Kualitas Udara Ambien (SPKUA) atau Air Quality Monitoring System (AQMS). Nilai ISPU dihasilkan melalui perhitungan secara otomatis pada konsentrasi setiap parameter dari AQMS dengan rumus yang digunakan menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14/Menlhk/Setjen/KUM.1/7/2020 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara. ISPU ditentukan dengan metode mengkonversi kadar polutan udara yang terdeteksi menjadi sebuah angka tanpa satuan (Mukhtar *et al.*, 2018). Batas nilai konsentrasi untuk melakukan perhitungan parameter ISPU dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Batas ISPU dalam Satuan SI

Indeks Standar Pencemar Udara	PM_{10} µg/m^3	SO_2 µg/m^3	CO µg/m^3	O_3 µg/m^3
1 - 50	50	52	4000	120
51 - 100	150	180	8000	235
101 - 200	350	400	15000	400
201 - 300	420	800	30000	800
≥ 301	500	1200	45000	1000

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara.

Untuk menunjukkan kondisi ISPU pada suatu daerah dapat digambarkan melalui kategori ISPU yang bisa dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Kategori Angka Rentang ISPU

Kategori	Status Warna		Angka Rentang
Baik	Hijau		1 - 50
Sedang	Biru		51 - 100
Tidak Sehat	Kuning		101 - 200
Sangat Tidak Sehat	Merah		201 - 300
Berbahaya	Hitam		≥ 301

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia

Nomor 14 tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara.

Kategori ISPU terbagi menjadi lima yaitu kategori baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat, dan berbahaya. Kategori baik menunjukkan kualitas udara sangat baik, tidak memberikan dampak buruk bagi manusia, hewan, dan tumbuhan. Sangat disarankan untuk beraktivitas di luar. Kategori sedang, kualitas udara masih dalam batas wajar bagi kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan. Disarankan kurangi durasi atau intensitas aktivitas fisik. Serta setiap orang masih bisa berkegiatan di luar. Kategori tidak sehat, kualitas udara yang dapat berdampak negative bagi manusia, hewan dan tumbuhan. Tetap diizinkan untuk beraktivitas di luar, tetap perlu lebih sering beristirahat dan memilih aktivitas lebih ringan. Perhatikan gejala seperti batuk atau kesulitan bernapas. Penderita asma harus mengikuti panduan medis untuk menyiapkan dan menyimpan obatnya. Penderita penyakit jantung yang memiliki gejala seperti detak jantung yang cepat, sesak napas, atau kelelahan yang tidak biasa bisa menjadi tanda adanya masalah serius. Disarankan setiap orang untuk mengurangi kegiatan fisik yang terlalu lama di luar. Kategori sangat tidak sehat, kualitas udara yang dapat meningkatkan risiko Kesehatan bagi segmen populasi tertentu yang terpapar. Disarankan hindari aktivitas semua kegiatan di luar. Lebih baik beraktivitas di dalam ruangan atau sesuaikan jadwal pada waktu dengan kualitas udara yang lebih baik. Serta, menjauhi aktivitas fisik yang berkepanjangan di luar, dan pertimbangkan untuk melaksanakan aktivitas dalam ruangan. Kategori berbahaya, kualitas udara yang dapat membahayakan Kesehatan secara serius bagi populasi dan memerlukan Tindakan segera. Dihimbau tetap berada di dalam ruangan dan lakukan sedikit aktivitas. Setiap orang diharapkan menghindari semua aktivitas di luar (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2020).

2.1.7 Baku Mutu Udara Ambien

Baku mutu udara ambien merupakan tingkat batas atau kadar unsur pencemar udara yang ada dalam udara ambien. Ditetapkannya batu mutu udara ambien nasional Indonesia diharapkan dapat mencegah terjadinya pencemaran udara di wilayah Indonesia (Subagiyo *et al*.,

2020). Baku mutu udara ambien dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Baku Mutu Kualitas Udara Ambien

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Sistem Pengukuran
1	Sulfur Dioksida (SO_2)	1 Jam	150 µg/m^3	Aktif kontinu
				Aktif Manual
		24 Jam	75 µg/m^3	Aktif Kontinu
		1 Tahun	45 µg/m^3	Aktif Kontinu
2	Karbon Monoksida (CO)	1 Jam	10000 µg/m^3	Aktif Kontinu
		8 Jam	4000 µg/m^3	Aktif Kontinu
3	Nitrogen Dioksida (NO_2)	1 Jam	200 µg/m^3	Aktif kontinu
				Aktif Manual
		24 Jam	65 µg/m^3	Aktif Kontinu
		1 Tahun	50 µg/m^3	Aktif Kontinu
4	Okisdan fotokimia (O_x) sebagai Ozon (O_3)	1 Jam	150 µg/m^3	Aktif kontinu
				Aktif Manual
		8 Jam	100 µg/m^3	Aktif Kontinu
		1 Tahun	35 µg/m^3	Aktif Kontinu
5	Partikulat debu < 10 µm (PM_{10})	24 Jam	65 µg/m^3	Aktif kontinu
				Aktif Manual
		1 Tahun	50 µg/m^3	Aktif Kontinu

Sumber : Lampiran VII Peraturan pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggarann Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

2.2 Dampak Pandemi Covid-19 Terhadap Kualitas udara

Pada Desember 2019 tepatnya di kota Wuhan, Cina pertama kalinya virus korona terdeteksi. Corona Virus Disease 2019 atau yang biasa disingkat Covid-19 merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh sindrom saluran pernapasan akut oleh corona virus 2 (SARS-Co V-2) (Setyowaki *et al*., 2021). Indonesia mengkonfirmasi resmi terdampak pandemi Covid-19 pertama kali pada 2 Maret 2020 yang disampaikan langsung oleh Presiden Republik Indonesia. Pemerintahan dengan cepat menerapkan kebijakan pembatasan sosial berskala besar (PSBB), Work from home (WFH), dan

penutupan sementara sektor industri dan transportasi. Hal tersebut menyebabkan penurunan terhadap emisi dari kendaraan bermotor dan emisi dari kegiatan industri.

Pada masa pandemi Covid-19 banyak peneliti di berbagai kota di seluruh dunia melakukan tinjauan tentang kualitas udara. Hal tersebut disebabkan oleh adanya tren perubahan berupa peningkatan kualitas udara. ditemukan bahwa konsentrasi NO_2 dan $PM_{2,5}$ secara global dari 164 negara mengalami penurunan sebesar 5% dan 4% (Novianti *et al.*, 2022) mendapatkan bahwa hasil kualitas udara saat masa pandemi Covid-19 tahun 2020 di Wuhan, Cina jauh lebih baik dibandingkan sebelum masa pandemi tahun 2019. Kemudian terungkap bahwa selama masa *lockdown* yang diakibatkan oleh Covid-19, emisi CO_2 harian secara global mengalami penurunan sebesar 17% pada awal April 2020 dibandingkan dengan rata-rata tahun 2019. Tindakan pembatasan kegiatan dan *lockdown* telah mengakibatkan penurunan polusi udata di seluruh dunia dengan cara yang beragam (Barua dan Nath, 2021).

2.3 Analisis Temporal Kualitas Udara

Analisis temporal adalah pendekatan analisis data yang berfokus pada perubahan atau variasi suatu fenomena dari waktu ke waktu. Dalam konteks kualitas udara, analisis temporal digunakan untuk mempelajari perubahan konsentrasi polutan udara dalam periode tertentu. Dengan memantau pola waktu kualitas udara dapat menjadikan pengingat akan terjadinya peningkatan konsentrasi polutan sehingga dapat mengambil tindakan mitigasi lebih awal.

2.3.1 Mann-Kendall

Mann-Kendall adalah metode non-parametrik yang umum digunakan untuk mendeteksi pola dalam data deret waktu hidrometeorologi. Mann-kendall tidak memerlukan anggapan bahwa data harus mengikuti distribusi normal dan mampu mengelola data yang

bersifat independen serta dapat menangani keberadaan nilai outliner. Uji non-parametrik seperti Mann-Kendall memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan uji parametrik yang mensyaratkan data terdistribusi normal. Hal ini karena data yang berkaitan dengan fenomena alam sering kali tidak sepenuhnya mematuhi pola distribusi normal (Sucitra, 2024).

2.3.2 Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Uji Shapiro-Wilk merupakan salah satu Teknik paling terkenal dalam menguji normalitas, khususnya pada data dengan ukuran sampel kecil (umumnya kurang dari 50). Uji ini mengevaluasi seberapa dekat data terdistribusi normal dengan membandingkan urutan data observasi dengan nilai-nilai yang diharapkan dari distribusi normal (Sianturi, 2025). Untuk menentukan apakah data berdistribusi normal pada Shapiro-Wilk apabila Sig. atau signifikansi $\leq$ 0,05 menunjukan distribusi tidak normal dan apabila nilai Sig. atau signifikansi $\geq$ 0,05 menjukan distribusi normal (Tamara, 2020). Kriteria untuk mengambil keputusan uji normalitas adalah sebagai berikut :

1. Apabila nilai Sig. atau signifikansi $\leq$ 0,05 maka H_0 ditolak.
2. Apabila nilai Sig. atau signifikansi $\geq$ 0,05 maka H_0 diterima.

Apabila sampel berdistribusi normal maka analisis perbandingan rata-rata akan dilanjutkan dengan Uji-t berpasangan. Tetapi, apabila sampel tidak terdistribusi normal maka analisis perbandingan rata-rata akan menggunakan pendekatan non-parametrik dengan uji Wilcoxon.

2.3.3 Uji T berpasangan (Paired T-Test)

Uji-t berpasangan merupakan bagian dari analisis statistik yang bersifat parametrik. Uji-t berpasangan berfungsi untuk menentukan apakah terdapat perbedaan antara nilai rata-rata dari dua kelompok yang berhubungan atau saling terkait. Yang dimaksud dengan berpasangan di sini adalah data pada sampel kedua mencerminkan perubahan atau

variasi dari data pada sampel pertama, atau dengan kata lain satu sampel terdiri dari subjek yang sama yang menjalani dua jenis perlakuan (Sheilliarika *et al.*, 2020).

2.3.4 Wilcoxon Signed Rank

Uji Wilcoxon Signed Rank merupakan tes non-parametrik. Ini dapat digunakan sebagai alternatif saat uji-t berpasangan tidak bisa diterapkan karena populasinya tidak terdistribusi normal atau jika data berada pada skala ordinal. Uji Wilcoxon Signed Rank digunakan untuk menganalisis perbandingan nilai rata-rata dari dua sampel pada data yang berkaitan. Dalam Uji Wilcoxon Signed Rank perhatian tidak hanya tertuju pada tanda melainkan juga pada selisih antara sampel yang terkait. Uji Wilcoxon Signed Rank bertujuan untuk mengevaluasi perbedaan antara data sebelum dan sesudah perlakukan diberikan, serta mengukur efektivitas suatu perlakuan. (Windi *et al.,* 2021).

2.4 Analisis Spasial Kualitas Udara dengan SIG

Sistem informasi geografis (SIG) merupakan salah satu alat dalam pengelolaan dan analisis data spasial. SIG adalah tipe perangkat lunak (*Sofware*) yang dapat dimanfaatkan untuk untuk pemasukan, penyimpanan, manipulasi, menampilkan, dan keluaran informasi geografis . Teknologi SIG menggabungkan fungsi-fungsi dalam data Base, seperti query dan analisa statistik. Dengan fitur visualisasi dan analisis yang khas dari pemetaan. Keunggulan inilah yang menjadikan SIG berbeda dari sistem informasi lainnya, sehingga dapat dimanfaatkan oleh banyak pihak untuk mendeskripsikan peristiwa, merencanakan strategi, dan memprediksi apa yang akan terjadi (Adil & Kom, 2017). SIG dapat digunakan dalam sejumlah sektor, termasuk pada perencanaan perkotaan, pengelolaan sumber daya alam, dan analisis lingkungan.

Data Spasial merupakan data yang memiliki lokasi atau yang bersumber geografis (Faudzhan *et al*., 2015). Analisis data adalah salah satu hal penting

dalam bidang geospasial yang berfungsi untuk mengkaji. Salah satu metode yang diterapkan yaitu metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) . IDW adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan atau memprediksikan nilai di titik-titik tertentu dengan mengacu pada nilai-nilai yang sudah diketahui di sekitarnya, dengan bobot yang dihitung berdasaarkan jarak relatif antara lokasi yang memiliki data dan lokasi yang akan diperkirakan. Dapat juga diasumsukan bahwa lokasi yang lebih dekat memiliki pengaruh lebih tinggi (Ashari *et al*., 2023).

2.5 Faktor Meteorologi yang berpengaruh terhadap kualitas udara

Kualitas udara dari suatu wilayah tidak hanya ditentukan oleh sumber emisi polutan, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh faktor meteorologi. Menurut penelitian Melya, (2025) menyimpulkan bahwa beberapa faktor meteorologi berpengaruh terhadap Indeks Standar Pencemaran udara (ISPU). suhu memilihi hubungan yang signifikan dengan naiknya kadar SO_2. Ketika suhu meningkat, level CO cenderung mengalami Penurunan. Suhu juga memiliki dampak kuat terhadap peningkatan kadar O_3. Suhu udara bervariasi pada setiap tingkat ketinggian atmosfer. Di area yang lebih tinggi, suhu cenderung lebih rendah. Namun, ada juga fenomena inversi di mana suhu akan meningkat saat ketinggian bertambah, yang dapat mengakibatkan polutan terpengaruh dan Kembali turun ke lapisan rendah atau permukaan awal (Jannah, 2024).

Kelembapan yang tinggi berperan dalam mengurangi PM_{10} di atmosfer. Kelembapan mempunyai berkontribusi terhadap pencemaran udara. Kelembapan yang tinggi dapat meningkatkan jumlah partikel dengan cara mempercepat proses kondensasi uap air, yang selanjutnya mempengaruhi kualitas udara (Shiddiq, 2025). Curah hujan secara efektif menurunkan PM_{10} dengan cara membersihkan partikel dari udara. Curah hujan berperan sebagai pembersih polutan dari atmosfer, sehingga dapat menurunkan jumlah polutan di atmosfer (Shiddiq, 2025). Selain PM_{10} curah hujan juga mempengaruhi CO (Wandayantolis *et al*., 2023). Menurut Penelitian Turyanti, (2011) Suhu tidak

berperan dalam konsentrasi PM_{10} di Cisaranten, sementara kecepatan angin berpengaruh secara negatif, yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin, semakin rendah konsentrasi PM_{10} di Cisaranten. Penjelasan untuk hal ini adalah bahwa partikel-partikel dapat dipindahkan ke lokasi lain oleh adanya angin.

2.6 Pengaruh Musim Terhadap Kualitas Udara

Selain faktor meteorologi, perubahan musim juga memengaruhi kondisi kualitas udara secara signifikan. Menurut penelitian Nurlaili dan Hendrasarie, (2025) pada empat lokasi berbeda yang mewakili wilayah pemukiman, perkantoran, transportasi, dan industri menunjukkan perbedaan kualitas udara. Wilayah pemukiman pada musim kemarau menunjukkan nilai kadar SO_2 4,75 $\mu g/m^3$ dan pada musim penghujan dengan nilai kadar 3,79 $\mu g/m^3$. Wilayah pemukiman pada musim kemarau menunjukkan nilai kadar SO_2 7,36 $\mu g/m^3$ dan pada musim penghujan dengan nilai kadar 8,66 $\mu g/m^3$. Wilayah pemukiman pada musim kemarau menunjukkan nilai kadar SO_2 9,32 $\mu g/m^3$ dan pada musim penghujan dengan nilai kadar 5,37 $\mu g/m^3$. Wilayah pemukiman pada musim kemarau menunjukkan nilai kadar SO_2 10,32 $\mu g/m^3$ dan pada musim penghujan dengan nilai kadar 7,19 $\mu g/m^3$. Jika dilihat secara keseluruhan, terdapat pengurangan kadar polutan SO_2 selama musim hujan. Hal ini terjadi karena suhu tinggi melebihi batas normal dan bertahan lama, gelombang panas yang tercipta dapat memperburuk kualitas udara. Sementara itu, saat hujan turun, air hujan dapat menangkap partikel polutan dan gas berbahaya dari atmosfer dan membawa keduanya ke permukaan tanah. Hujan juga memiliki efek pembersih udara. Hujan mampu mengendapkan partikel-partikel polutan yang terangkat oleh udara seperti debu, asap, dan partikel halus. Saat hujan terjadi, partikel-partikel ini menjadi terlalu berat untuk tetap melayang di udara. Namun, penting untuk diperhatikan bahwa efek hujan dalam mengurangi polutan dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk intensitas hujan, durasi, tipe polutan, serta kondisi geografis dan meterologi lainnya.

Menurut penelitian Wandayantolis *et al*., (2023) ISPU berpotensi meningkat saat musim kemarau, hal itu disebabkan pada musim kemarau banyak debu partikel yang lepas ke atmosfer, dan terjadinya peningkatan pembakaran biomasa pada saat ini dalam berbagai aktivitas. Pada penelitiannya yang berada di Kotatabang konsentrasi PM_{10} meningkat pada musim penghujan dikarenakan pada saat hujan terjadilah kemacetan lalu lintas dan penumpukan kendaraan bermotor yang melepaskan polutan partikulat secara bersamaan. Sedangkan, konsentrasi CO memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi di saat curah musim kemarau. Selain CO, O_3 juga memiliki nilai yang lebih tinggi pada musim kemarau dari pada musim penghujan.

2.7 Perbandingan Metode Sampling Aktif dan Pasif

Menurut penelitian Jodi (2020) pengambilan sampel udara ambien menggunakan dua metode aktif dan pasif berada di area industri PT Surya Toto dan di pemukiman sekitarnya di wilayah Cilenggang, kecamatam Serpong, tanggerang Selatan. Pengolahan data dari hasil penelitian dilakukan dengan metode ANOVA. Metode untuk menentukan konsentrasi NO_2 dengan metode aktif sampling mengacu pada ASTM D 1607-91 (2011) melalui reaksi Griess-Saltzman. Gas NO_2 akan diserap ke dalam larutan Griess-Saltzman menghasilkan senyawa azo dye berwarna merah mudah yang stabil selama 15 menit. Pengukuran konsentrasi larutan dilakukan dengan spektrofotometri pada panjang gelombang 550nm. Metode untuk menentukan konsentrasi SO_2 dengan metode aktif sampling mengacu pada ASTM D 2914-15 (West-Gaeke Method). Prinsipnya penentuan SO_2 secara aktif dilakukan melalui penyerapan udara dengan menggunakan larutan tetrakloromerkurat yang membentuk kompleks senyawa diklorosulfonatomerkuat. Dengan menambahkan larutan pararosaniline dan formaldehida ke dalam sulfonate yang memiliki warna ungu. Konsentrasi larutan dievaluasi menggunakan spektrofotometer pada Panjang gelombang 550 nm. Kemudian untuk menentukan konsentrasi NO_2 dan SO_2 dengan metode pasif sampling

mengacu pada CSIRO-Passive sampler. Pada dasarnya metode ini adalah penyerap gas dari udara ambien memanfaatkan campuran larutan NaOH +Nal dalam methanol melalui proses difusi selaman dua minggu (Jodi, 2020).

Hasil perbandingan konsentrasi NO_2 antara metode pasif dan aktif yang di analisis menggunakan statistik ANOVA menunjukkan nilai F hitung untuk NO_2 adalah 4,07 dan 4,24, yang keduanya lebih rendah daripada nilai F tabel yaitu 5,32. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara metode pengambilan sampel aktif dan pasif untuk parameter NO_2. Sementara itu, hasil perbandingan SO_2 antara metode aktif dan pasif dengan menggunakan analisis statistik Anova menunjukkan nilai F hitung adalah 4,08 dan 4,25, yang juga lebih kecil daripada nilai F tabel 5,32. Ini menunjukkan bahwa metode pengambilan sampel aktif dan pasif untuk parameter SO_2 tidak memiliki perbedaan yang signifikan(Jodi, 2020).

Pada penelitian Indrawati et al., (2021) yang melakukan sampling di satu titik stasiun pemantauan kualitas udara LLHD Provinsi DKI. Jakarta, yaitu Bundaran HI, Jakarta Pusat. Dengan periode sampling yaitu dari bulan Februari 2019 hingga Mei 2019 untuk durasi sampling per tiga hari untuk satu data. Parameter yang di uji pada penelitian ini yaitu SO_2 dan NO_2. Peralatan yang di gunakan pada penelitian ini adalah passive sampler dan AQMS. Passive sampler memiliki prinsip kerja berdasarkan prinsip difusi molekul. Molekul gas akan berdifusi masuk ke dalam sampler dan terakumulasi pada filter, di mana filter tersebut sebelumnya telah dilapisi dengan larutan penyerap khusus untuk masing-masing gas sebanyak 50 µL dengan ukutan penampang penyerap 25 mm. AQMS yang digunakan untuk mengukur SO_2 adalah tipe APSA-370, sedangkan untuk NO_2 yaitu tipe APNA-370. Metode yang diterapkan untuk SO_2 adalah flouresensi UV, dan untuk NO_2 menggunakan metode Chemiluminescence.

Analisis statistik yang dilakukan mencakup uji korelasi sederhana dan juga uji korelasi multivariat. Dalam analisis multivariat, meteorologi ditambahkan untuk menguji hubungan antara konsentrasi gas SO_2 dan NO_2 dari passive sampler, karena didguna faktor meteorologi berpengaruh dalam

proses difusi gas ke dalam passive sampler. Dari hasil penelitian, diperoleh bahwa perbandingan konsentrasi gas SO_2 dan SO_2 di antara metode pasif dan aktif menunjukkan nilai koefisien korelasi yang kuat dan signifikan. Ini menunjukkan bahwa metode pasif menggunakan passive sampler CSIRO memiliki kemampuan yang setara dengan metode aktif pengukuran gas SO_2 dan NO_2 di udara ambien (Indrawati et al., 2021).

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Sihayuardhi *et al*., 2021	*The Effect of the Covid-19 Pandemic on Ambient Air Quality in Yogyakarta Urban Area Parameters SO_2, CO and, NO_2 with Inverse Distance Weighting (IDW)*	Pola distribusi pemetaan kualitas udara ambien selama tahun 2019 hingga tahun 2020 dengan parameter SO_2, CO, dan NO_2 menunjukkan kecenderungan penurunan yang mengindikasi perbaikan dalam kualitas udara. Meski demikian, beberapa lokasi pemantauan parameter tersebut mengalami peningkatan namun masih dalam level yang diizinkan. Penurunan kualitas udara dan memburuknya kondisi udara akibat pandemi Covid-19 di tahun 2020 sehingga masyarakat mengurangi aktivitas di luar rumah dan beralih bekerja secara remote sehingga terbatas untuk beraktivitas.
Ramadhan, 2024	Pola distribusi kualitas udara ambien sebelum, saat, dan setelah pandemi di	Sebelum Covid-19, lokasi yang memiliki nilai konsentrasi SO_2 tertinggi terletak di area Perkantoran, namun nilai konsentrasi tidak melebihi baku mutu. Parameter NO_2 memiliki nilai ISPU dikategorikan sebagai Baik. Parameter CO memiliki nilai ISPU dikategorikan sebagai Baik.

Nama Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
	Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta	Sedangkan parameter TSP memiliki nilai konsentrasi tertinggi yaitu di area Industri, namun nilai konsentrasi tidak melebihi baku mutu. Saat Covid-19, lokasi yang memiliki nilai konsentrasi SO_2 tertinggi terletak di area Industri, namun nilai konsentrasi tidak melebihi baku mutu. Saat Covid-19,
Novianto *et al*., 2022	Analisis Perubahan Sistem Kualitas Udara Yogyakarta pada masa Pandemi Covid-19	Pada masa pandemi Covid-19 tahun 2020, kualitas udara Kota Yogyakarta mengalami perubahan berupa peningkatan dari kategori Baik: 31,85% ISPU (tahun 2019) menjadi Baik: 90,37% ISPU (tahun 2020). Kualitas udara antara sebelum pandemi tahun 2019 dan masa pandemi Covid-19 tahun 2020 di Kota Yogyakarta berbeda secara signifikan yang ditunjukkan oleh nilai chi-square asymp. sig. < 0,05. Konsentrasi polutan udara PM_{10}, SO_2, dan CO mengalami penurunan selama masa pandemi Covid-19 tahun 2020 dibandingkan dengan sebelum masa pandemi tahun 2019, sedangkan konsentrasi O_3 meningkat. Polutan udara primer PM_{10}, SO_2, dan CO memiliki hubungan positif terhadap faktor meteorologi penyinaran matahari, tetapi memiliki hubungan negatif terhadap polutan

Nama Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		udara sekunder O_3 serta faktor meteorologi suhu udara, kelembaban udara, curah hujan, dan kecepatan angin.
Kumari dan Toshniwal, 2020	*Impact of lockdown on air quality over major cities across the globe during Covid-19 pandemic*	Polutan utama, termasuk $PM_{2,5}$, PM_{10} dan NO_2, telah menunjukkan penurunan yang luar biasa pada periode pasca-penutupan akses dibandingkan dengan periode pra-penutupan akses, untuk semua lokasi yang dipilih karena emisi yang dibatasi selama fase penutupan akses. Demikian pula dengan konsentrasinya konsentrasi polutan ini telah sangat berkurang pada bulan Maret, April dan Mei 2020 dibandingkan dengan tahun 2019. Kota-kota yang sangat tercemar seperti Beijing, Bengaluru, Delhi, Lima, Mumbai, Roma, dan Wuhan telah menyaksikan penurunan polusi udara yang mencolok pada periode penguncian tahun 2020 dibandingkan dengan waktu yang sama pada tahun 2019. Tingkat konsentrasi $PM_{2.5}$ menunjukkan penurunan di berkisar antara 20,2% hingga 34,3%. Demikian pula, konsentrasi PM 10berkurang 23,7% hingga 47,3%. Namun, penurunan yang lebih tinggi, antara 31,6% hingga 64,5%, telah diamati dalam kasus NO_2. Tingkat konsentrasi SO_2 menunjukkan

Nama Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		tren yang beragam selama fase karantina wilayah. Untuk beberapa kota seperti Lima, Madrid, Moskow, Roma, Sao Paulo dan Wuhan, konsentrasi SO_2 tetap tidak berubah selama fase karantina wilayah karena sumber emisi utama SO_2 adalah pembangkit listrik, yang tetap beroperasi di sebagian besar lokasi. Tingkat konsentrasi O_3menunjukkan peningkatan pada fase penguncian di banyak lokasi, yang mungkin disebabkan oleh berkurangnya konsumsi O_3 dalam proses titrasi dan perubahan kondisi meteorologi dari waktu ke waktu.
Jodi, 2020	Perbandingan Metode sampling aktif dan pasif dalam penentuan kadar Nitrogen Dioksida (NO_2) dan Sulfur Dioksida (SO_2) di sekitar Kawasan Industri	Hasil analisis perbandingan nitrogen dioksida pada kedua metode dengan menggunakan analisis statistik Anova menunjukkan nilai F yang hitung untuk nitrogen oksida di PT Surya Toto dan kelurahan cilenggang adalah 4,07 dan 4,24 lebih kecil dari F tabel yaitu 5,32. ini menunjukkan bahwa metode sampling aktif dan pasif untuk parameter NO_2 tidak berbeda nyata. Sementara itu, untuk analisis perbandingan sulfur dioksida pada kedua metode dengan menggunakan statistik Anova didapat nilai F hitung untuk sulfur oksida di PT Surya Toto dan kelurahan cilenggang adalah 4,08 dan

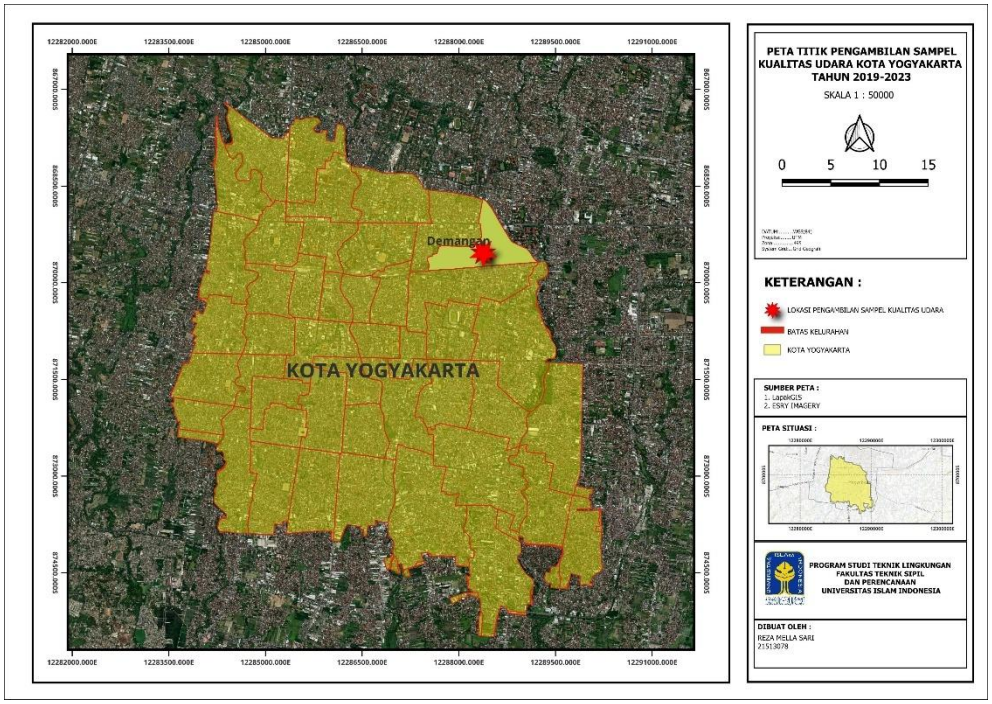
Nama Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		4,25 yang lebih kecil dari F tabel 5,32. ini menunjukkan bahwa metode sampling aktif dan pasif untuk parameter SO_2 tidak berbeda nyata.
Indrawati *et al.*, 2021	Perbandingan tingkat kadar SO_2 dan NO_2 di Udara Ambien antara metode pasif dan metode aktif (studi kasus : Kota Jakarta)	Berdasarkan hasil studi, ditemukan bahwa perbandingan antara konsentrasi gas SO_2 dan NO_2 melalui metode pasif dan metode aktif menunjukkan adanya koefisien korelasi yang cukup kuat dan signifikan. Penambahan faktor meteorologi meningkatkan nilai koefisien korelasi menjadi lebih baik. Perkiraan konsentrasi AQMS dengan menggunakan persamaan korelasi yang melibatkan faktor meteorologi memberikan nilai bias dan RMSE yang mendekati nilai sebenarnya yang ditandai dengan kecilnya nilai RMSE, yaitu sebesar 0,89 untuk SO2 dan 4,14 untuk NO_2. Hal ini menunjukkan bahwa metode pasif dengan passive sampler CSIRO memiliki kemampuan yang sama dengan metoda aktif dalam pengukuran gas SO_2 dan NO_2 di udara ambien.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

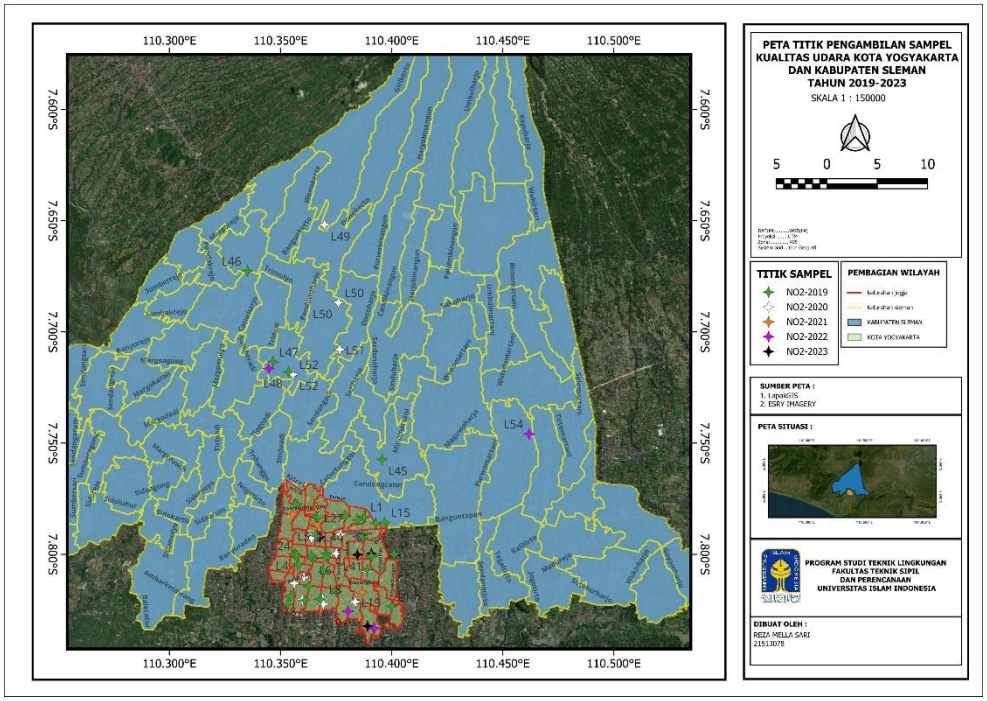
Penelitian ini dilaksanakan pada April 2025 hingga Juli 2025, yang mencakup proses pengumpulan data sekunder, analisis temporal dan analisis spasial. Data analisis temporal mencakup periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19 yaitu dari Agustus 2019 hingga Desember 2023. Periode sebelum pandemi yaitu Agustus 2019 hingga Maret 2020, periode saat pandemi yaitu April 2020 hingga Desember 2021, dan periode sesudah pandemi yaitu Januari 2022 hingga Desember 2023. Data analisis temporal mencakup periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19 yaitu dari tahun 2019 hingga tahun 2023. Pemilihan rentang waktu tersebut didasarkan pada kebijakan pembatasan aktivitas manusia yang berdampak signifikan terhadap emisi dan konsentrasi polutan, serta diakibatkan oleh keterbatasan data yang tersedia.

Penelitian ini dilakukan di kota Yogyakarta dan kabupaten Sleman. Lokasi tersebut dipilih karena merupakan Kawasan dengan kepadatan penduduk tinggi, aktivitas transportasi, dan pembangunan yang intensif, serta ketersediaan data kualitas udara yang relatif lengkap. Analisis temporal dilakukan di stasiun pemantauan kualitas udara (AQMS) yang berlokasi di stasiun Gondokusuman, kota Yogyakarta. Data yang digunakan adalah data Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang terdiri dari parameter PM_{10}, So_2, Co, dan O_3. Peta lokasi pemantauan kualitas udara data Temporal dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta titik lokasi pemantauan kualitas udara data temporal

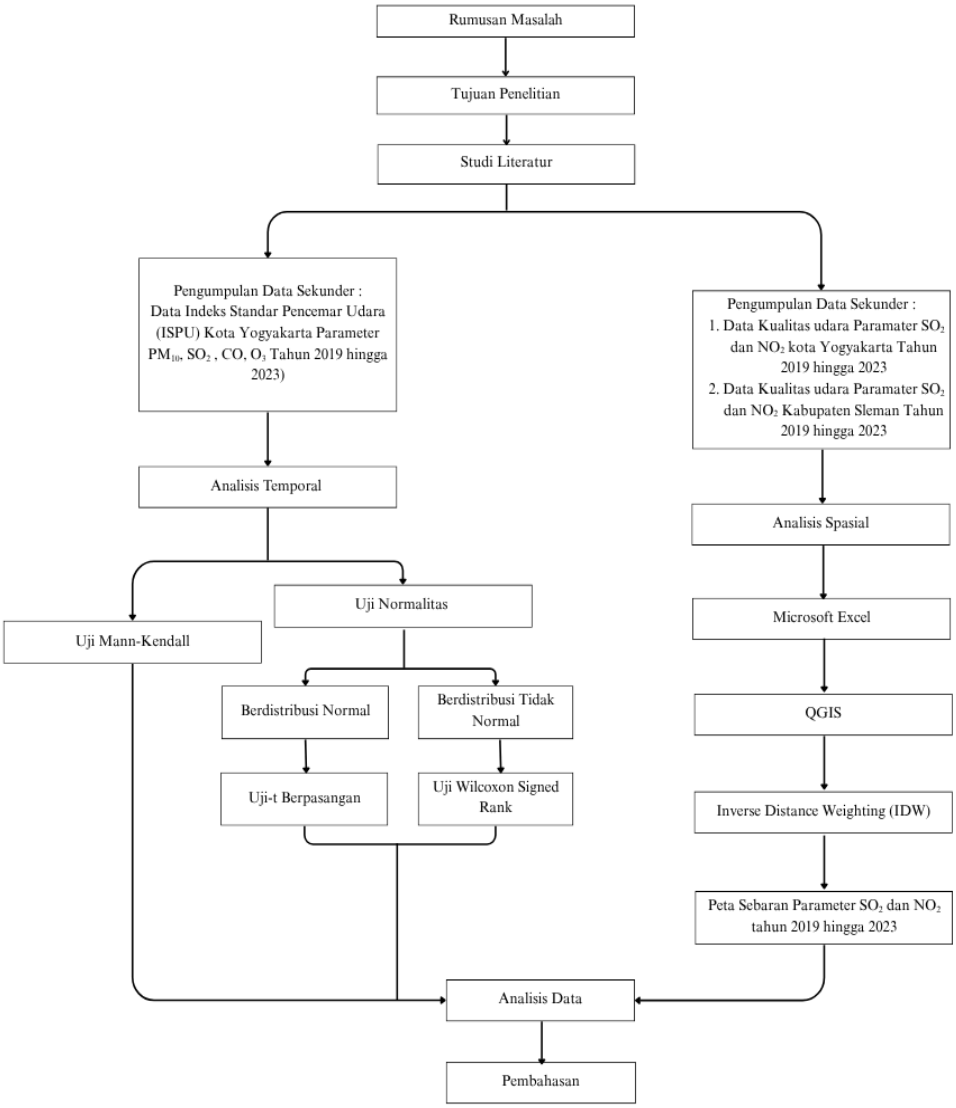
Analisis spasial dilakukan pada wilayah Kota Yogyakarta. Parameter yang dianalisis secara Spasial adalah konsentrasi SO_2 dan NO_2. Adapun penentuan titik lokasi pemantauan kualitas udara ambien sebanyak 61 titik lokasi. Peta lokasi pemantauan kualitas udara data Spasial dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Peta lokasi pemantauan kualitas udara data Spasial

3.2 Tahapan Penelitian

Pada bab penelitian ini penulis akan menjelaskan tahapan alur penelitian. Berikut merupakan tahapan alur penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.3**.**



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

3.3 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh melalui penelusuran data daring dari situs resmi instansi lingkungan hidup yang relevan. Data yang digunakan meliputi data temporal dan spasial kualitas udara ambien di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman, dengan cakupan waktu sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19 pada tahun 2019 hingga tahun 2023. Data temporal diperoleh dari website resmi Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta, yang menyediakan data harian Indeks

Standar Pencemar Udara (ISPU) dari alat pemantau otomatis (Air Quality Monitoring System/AQMS) yang berlokasi di stasiun pemantau kualitas udara Gondokusuman, Kota Yogyakarta. Data tersebut dapat diakses melalui laman https://lingkunganhidup.jogjakota.go.id/page/index/basis-data-lingkungan-hidup. Parameter kualitas udara yang dikumpulkan yaitu PM_{10}, SO_2, CO, dan O_3. Data ISPU ini digunakan untuk analisis tren temporal kualitas udara dengan metode Mann-Kendall, serta dilakukan pengujian signifikansi statistik menggunakan uji normalitas Shapiro-wilk, dan dilanjutkan dengan Uji-t berpasangan untuk data berdistribusi normal atau Uji Wilcoxon untuk data yang berdistribusi tidak normal.

Data spasial diperoleh dari dua sumber resmi yaitu website Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta dengan akses laman https://lingkunganhidup.jogjakota.go.id/page/index/basis-data-lingkungan-hidup dan Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup (DIKPLH) Kabupaten Sleman dengan akses laman https://dlh.slemankab.go.id/dikplhd/. data yang digunakan berupa konsentrasi polutan udara SO_2 dan NO_2 hasil pengukuran dari beberapa titik pantauan di wilayah kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman pada tahun 2019 hingga tahun 2023. Metode pengambilan data oleh kedua instansi menggunakan metode aktif sampling dan pasif sampling. Kabupaten Sleman menggunakan metode Pasif sampling pada tahun 2019 hingga 2023. Kota Yogyakarta menggunakan metode aktif sampling pada tahun 2019 hingga 2021 dan pada tahun 2022 hingga 2023 menggunakan metode pasif sampling. Mengacu pada penelitian Jodi (2020) Hasil perbandingan konsentrasi SO_2 dan NO_2 antara metode pasif dan aktif yang dianalisis menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara metode pengambilan sampel aktif dan pasif untuk parameter tersebut. Sehingga data dari kedua metode digabungkan untuk keperluan analisis spasial. Data analisis spasial ini digunakan untuk interpolasi spasial menggunakan metode Inverse Distance Weighting (IDW) dengan bantuan perangkat lunak QGIS. Guna menghasilkan peta sebaran spasial kualitas udara ambien di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman.

3.4 Analisis Data Temporal

Analisis temporal bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan kualitas udara ambien berdasarkan data Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan pada periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19. Data rentang waktu tersebut meliputi waktu sebelum pandemi pada Agustus 2019 hingga Maret 2020, saat terjadi pandemi April 2020 hingga Desember 2021, dan setelah terjadi pandemi Januari 2022 hingga Desember 2023. dengan parameter kualitas udara yaitu PM_{10}, So_2, CO dan O_3 yang diperoleh dari stasiun pemantauan kualitas udara di Gondokusuman, kota Yogyakarta. Berdasarkan Permen LHK No.14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar udara berikut merupakan rumus perhitungan ISPU.

$$I = \frac{Ia-Ib}{Xa-Xb}(Xx - Xb) + Ib$$

Keterangan :

I = ISPU terhitung

Ia = ISPU batas atas

Ib = ISPU batas bawah

Xa = Konsentrasi ambien batas atas (µg/m^3)

Xb = Konsentrasi ambien batas bawah (µg/m^3)

Xx = Konsentrasi ambienn nyata hasil Pengukuran (µg/m^3)

3.4.1 Uji Tren Mann-Kendall

Analisis tren Konsentrasi PM_{10}, So_2, CO dan O_3 dilakukan untuk mengetahui berbagai jenis perubahan dalam data sepanjang periode tertentu. Metode yang diterapkan dalam analisis tren konsentrasi PM_{10}, So_2, CO dan O_3 adalah uji Mann-Kendall. Uji statistik Mann-Kendall adalah metode non-parametik yang tidak memerlukan asusmi distribusi normal dengan menggunakan data yang bersifat independen dan menoleransi outlier. Uji non-parametik memberikan hasil yang lebih unggul dibandingkan dengan metode parametik yang memerlukan asumsi bahwa data terdistribusi normal. Hal ini disebabkan oleh kenyataan bahwa fenomena alam sering kali tidak mengikuti distribusi

normal secara sempurna. Dalam pengujian hipotesis digunakan tingkat signifikansi α = 5% dengan nilai Zcr ditetapkan adalah 1,65 (Sucitra, 2024). Uji statistik Mann-Kendall mengenai kecenderungan (S) dapat dijelaskan dengan cara berikut :

$$S = P\text{-}M$$

Dimana P menunjukkan frekuensi kasus dimana Yi > Yj dan M menunjukkan frekuensi kasus Yi< Yj. Variabel I berada dalam urutan data dari 1 sampau n-1, sedangkan j mulai dari i + 1 hingga n. Parameter yang digunakan dalam metode Mann-Kendal adalah parameter Z. Perhitungan parameter Z dilakukan sebagai berikut :

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{Var(s)}} & S < 0 \end{cases}$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+)-\sum_{i=1}^{m} ti\ (ti-1)(2ti+5)}{18}$$

Dimana n adalah total tahun data konsentrasi PM_{10}, So_2, CO dan O_3, m adalah jumlah pasangan data dengan nilai yang sama, dan t_i merujuk pada jumlah data dalam kelompok.

3.4.2 Uji Normalitas Shapiro Wilk

Uji *Shapiro-Wilk* adalah metode uji normalisasi untuk sampel ≤ 50 Data (Oktaviani dan Notobroto, 2014). Nilai normalisasi data dapat diketahui berdasarkan kriteria apabila nilai signifikasinya ≥ 0,05 maka data tersebut terdistribusi normal. Apabila nilai signifikasi ≤ 0,05 maka data tidak terdistribusi normal. Uji normalitas Shapiro-wilk dapat dilanjutkan dengan Uji-t berpasangan untuk data terdistribusi normal atau Uji Wilcoxon untuk data yang terdistribusi tidak normal. (Sofian *et al*, 2022).

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

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

Dengan :

T_3 = Uji Shapiro-Wilk

α = Koefisien Uji Shapiro Wilk

X_{n-1+1} = Data ke n-1+1

X_i = Data ke i

$\overline{X}$ = Rata – rata data

3.4.3 Uji-t berpasangan (Paired t-test)

Untuk menganalisis perubahan konsentrasi PM_{10}, So_2, CO dan O_3 sebelum, saat, dan setelah pandemi Covid-19 digunakan *Uji-t* Sampel Berpasangan (Paired Sample t-test). *Uji-t* sampel berpasangan bertujuan untuk menentukan adanya perbedaan rata-rata antara dua sampel atau dua kelompok yang saling terkait. Konsep berpasangan di sini memiliki arti bahwa data pada sampel kedua menunjukan perubahan atau perbedaan dari data pada sampel pertama atau dengan kata lain sampel itu melibatkan subjek yang sama yang mengalami dua perlakukan berbeda (Sheilliarika *et al*., 2021). Metode ini memungkinkan perbandingan dua kondisi yang saling berhubungan sehingga sesuai untuk menguji hipotesis tentang adanya perbedaan rerata konsentrasi PM_{10}, So_2, CO dan O_3 antar periode. Berikut ini adalah rumus uji-*t* berpasangan :

$$T_{hit} = \frac{\bar{D}}{SD/\sqrt{n}}$$

Dengan

$$SD = \sqrt{var}$$

$$var = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2$$

Dimana :

t : nilai t hitung

$\bar{D}$: rata-rata selisih pengukuran 1 dan 2

SD : standar deviasi selisih pengukuran 1 dan 2

n : jumlah sampel

Untuk interpretasinya :

a. Untuk menginterpretasikan uji-*t* terlebih dahulu harus ditentukan :
   - Nilai signifikasi α
   - *Degree of freedom* d*f* = N – k, khusus untuk uji-t berpasangan, d*f* = N -1

b. Bandingkan nilai thit dengan ttab

c. Apabila :
   - $T_{hit} > t_{tab}$ maka berbeda secara signifikan (H_0 ditolak)
   - $T_{hit} < t_{tab}$ maka tidak berbeda secara signifikan (H_0 diterima)

   Hipotesisi untuk kasus ini adalah :

   - H_{01} : Tidak ada perbedaan signifikan dalam konsentrasi $PM_{10}/SO_2/CO/O_3$ antar periode sebelum pandemi (Agustus 2019 - maret 2020) dan saat pandemi (April 2020 - Desember 2021)
   - H_{02} : Tidak ada perbedaan signifikan dalam konsentrasi $PM_{10}/SO_2/CO/O_3$ antara periode saat pandemi (April 2020 - Desember 2021) dan setelah pandemi (januari 2022-desember 2023)
   - H_{03} : Tidak ada perbedaan signifikan dalam konsentrasi $PM_{10}/SO_2/CO/O_3$ antara periode sebelum pandemi (Agustus 2019- Maret 2020) dan setelah pandemi (Januari 2022-desember 2023)
   - H_{11} : Terdapat perbedaan signifikan dalam konsentrasi $PM_{10}/SO_2/CO/O_3$ antar periode sebelum pandemi (Agustus 2019 - Maret 2020) dan saat pandemi (April 2020 - Desember 2021)
   - H_{12} : Terdapat perbedaan signifikan dalam konsentrasi $PM_{10}/SO_2/CO/O_3$ antara periode saat pandemi (April

2020 - Desember 2021) dan setelah pandemi (Januari 2022 - Desember 2023)

- H_{13} : terdapat perbedaan signifikan dalam konsentrasi $PM_{10}/SO_2/CO/O_3$ antara periode sebelum pandemi (Agustus 2019- Maret 2020) dan setelah pandemi (Januari 2022 - Desember 2023)

  Penjelasan :

H_0 menyatakan bahwa tidak ada perubahan signifikan dalam konsentrasi $PM_{10}/SO_2/CO/O_3$ di antara ketiga periode yang dianalisis.

H_1 menyatakan bahwa terdapat perubahan signifikan dalam konsentrasi $PM_{10}/SO_2/CO/O_3$ di antara ketigaa periode yang dianalisis.

3.4.4 Uji Wilcoxon Signed Rank

Uji Wilcoxon signed rank dapat dijadikan alternatif saat uji-t berpasangan tidak bisa diterapkan karena populasinya tidak berdistribusi normal atau jika data berada pada skala ordinal. Uji Wilcoxon Signed Rank digunakan untuk menganalisis perbandingan nilai rata-rata dari dua sampel pada data yang berkaitan. Dalam Uji Wilcoxon Signed Rank perhatian tidak hanya tertuju pada tanda melainkan juga pada selisih antara sampel yang terkait. Uji Wilcoxon Signed Rank bertujuan untuk mengevaluasi perbedaan antara data sebelum dan sesudah perlakukan diberikan, serta mengukur efektivitas suatu perlakuan (Windi *et al.,* 2021). Berikut ini adalah rumus uji Wilcoxon Signed Rank berpasangan :

$$\mu W_R = \frac{n(n+1)}{4}$$

$$\sigma W_R = \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24} - \frac{\sum t^3 - \sum t}{48}}$$

$$Z_w = \frac{W_R - \mu W W_R}{\sigma W_R}$$

Keterangan :

μW_R : Wilcoxon rang/rata-rata

Sp : rangking positif

Sn : rangking negatif

$\sum t$: jumlah rangking dari nilai selisih yang negatif

Z_w : table z adalah untuk menguji z score

3.5 Analisis Data Spasial

Analisis spasial dalam penelitian ini bertujuan untuk memetakan sebaran spasial konsentrasi polutan udara khususnya NO_2 dan SO_2 di wilayah kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman selama periode sebelum pandemi Covid-19 yaitu tahun 2019, periode saat pandemi Covid-19 yaitu tahun 2020 hingga tahun 2021, dan periode sesudah pandemi Covid-19 yaitu tahun 2022 hingga tahun 2023.

3.5.1 Penerapan IDW menggunakan QGIS

Perangkat lunak yang digunakan untuk melihat suatu pola sebaran udara di setiap tahunnya adalah QGIS dan Microsoft Excel. Berikut proses yang dilakukan dalam menganalisis kualitas udara ambien dengan metode IDW (Khasanah *et al*., 2021) yaitu :

1. Memasukan data lokasi titik sampling dan konsentrasi SO_2 atau NO_2 menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel.
2. Ganti file Excel menjadi CSV
3. Masukan file CSV ke QGIS
4. Gunakan processsing Toolbox untuk interpolasi
5. Atur tampilan Raster Ubah warna untuk membedakan intensitas atau tingkatannya.
6. Potong Raster sesuai Wilayah
7. Output akan berbentuk raster yang menunjukan distribusi spasial konsentrasi SO_2 atau NO_2

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Temporal

Analisis temporal bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan dan tren kualitas udara ambien berdasarkan data Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) pada periode sebelum, saat, dan setelah Covid-19. Data rentang waktu tersebut meliputi waktu sebelum pandemi pada Agustus 2019 hingga Maret 2020, saat terjadi pandemi April 2020 hingga Desember 2021, dan setelah terjadi pandemi Januari 2022 hingga Desember 2023. Dengan parameter kualitas udara yaitu PM_{10}, So_2, CO dan O_3 yang diperoleh dari stasiun pemantauan kualitas udara di Jalan Bimasakti No.1, Demangan, Gondokusuman, Kota Yogyakarta.

4.1.1 Analisis tren

Analisis Uji Mann-Kendall terhadap parameter PM_{10}, SO_2, CO dan O_3 dilakukan untuk mendeteksi adanya tren jangka Panjang. Pada periode sebelum pandemi Covid-19 yaitu Agustus 2019 hingga Maret 2020, saat terjadi pandemi Covid-19 yaitu April 2020 hingga Desember 2021, dan sesudah pandemi Covid-19 yaitu Januari 2022 hingga Desember 2023.

SO_2 pada periode sebelum hingga saat pandemi Covid-19 dengan nilai tau-kendall yaitu -0,002 dan *p*-value yaitu 0,91 menunjukkan bahwa adanya penurunan tren namun tidak signifikan. SO_2 pada periode saat hingga saat sesudah Covid-19 dengan nilai tau-kendall yaitu -0,256 dan *p*-value yaitu 0,10 menunjukkan bahwa adanya peningkatan tren namun tidak signifikan. Dapat disimpulkan untuk parameter SO_2 tidak terjadi tren yang signifikan pada periode sebelum hingga saat dan saat hingga sesudah pandemi Covid-19. Ini

mengindikasi fluktuasi yang tidak cukup kuat untuk dinyatakan sebagai tren statistik.

Pada periode sebelum hingga saat pandemi untuk parameter PM_{10} dengan nilai tau-kendall yaitu -0,256 dan *p*-value yaitu 0,052 menunjukkan bahwa terjadinya penurunan tren yang tidak signifikan. Parameter PM_{10} pada periode saat hingga sesudah pandemi covid-19 dengan nilai tau-kendall yaitu 0,308 dan *p*-value yaitu 0,019 menunjukkan terjadinya peningkatan yang signifikan. aktivitas manusia yang menghasilkan PM_{10} berasal dari proses industri, kendaraan bermotor, pembangkit listrik, dan hasil pembakaran (Nurhidayat, 2020). Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada periode sebelum hingga saat pandemi covid-19 terjadinya penurunan PM_{10} tetapi tidak konsisten atau tidak besar diindikasi karena faktor ketidak sengajaan dan bukan pola yang nyata. sementara pada periode saat hingga sesudah pandemi Covid-19 terjadinya peningkatan PM_{10} dikarenakan adanya perubahan aktivitas manusia yang melonjak saat masa peralihan. Setelah pembatasan aktivitas mulai dilonggarkan, Aktivitas industri dan lalu lintas Kembali normal yang menjadi sumber penghasil PM_{10}.

CO pada periode sebelum hingga saat pandemi Covid-19 dengan nilai tau-kendall yaitu -0,734 dan *p*-value yaitu 0,000001 menunjukkan bahwa adanya penurunan tren yang signifikan. CO pada periode saat hingga saat sesudah Covid-19 dengan nilai tau-kendall yaitu -0,064 dan *p*-value yaitu 0,637 menunjukkan bahwa tidak adanya tren. sumber utama gas CO di udara adalah kendaraan bermotor, mobil, truk, serta mesin yang membakar bahan bakar fosil. Selain itu, berbagai perangkat di rumah seperti pemanas ruangan berbahan bakar minyak tanah, cerbong asap, tungku yang bocor, dan kompor gas merupakan produk-produk yang dapat melepaskan gas CO di dalam ruangan (Rizaldi *et al.*, 2022). Emisi CO harian secara global mengalami penurunan sebesar 17% pada awal April 2020 dibandingkan dengan rata-rata tahun 2019.

Tindakan pembatasan kegiatan dan *lockdown* telah mengakibatkan penurunan polusi udara di seluruh dunia dengan cara yang beragam (Barua & Nath, 2021). Sehingga disimpulkan untuk parameter CO merupakan salah satu polutan yang mengalami penurunan yang signifikan selama pandemi Covid-19 karena pembatasan kegiatan selama Covid-19. tetapi untuk periode saat hingga sesudah pandemi Covid-19 tidak terjadi tren yang berlanjut setelahnya.

Pada periode sebelum hingga saat pandemi untuk parameter O_3 dengan nilai tau-kendall yaitu -0,064 dan *p*-value yaitu 0,204 menunjukkan bahwa tidak adanya tren yang signifikan. Parameter O_3 pada periode saat hingga sesudah pandemi covid-19 dengan nilai tau-kendall yaitu -0,202 dan *p*-value yaitu 0,204 menunjukkan terjadinya penurunan yang tidak signifikan. Sehingga pada kedua periode tersebut tidak terdapat tren yang signifikan secara statistik. Kondisi ini dapat dijelaskan oleh karakteristik dari Ozon (O_3). Ozon (O_3) adalah salah satu polutan sekunder yang terbentuk dari hasil reaksi fotokimia antar senyawa prekustor. CO dan NO_2 merupakan salah satu prekutsor O_3 di atmosfer. Parameter O_3 sangat dipengaruhi oleh proses fotokimia, kondisi meteorologi, transportasi polutan, dan sirkulasi atmosfer (Sulityono *et al.*, 2019). Oleh karena itu, perubahan aktivitas manusia selama pandemi, termasuk pengurangan aktivitas transportasi dan industri secara tidak langsung menurunkan konsentrasi O_3. Hasil uji tren Mann-Kendal dapat dilihat Pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Uji Mann-Kendall

Data set	tau-kendall		P-value	Signifikan
SO_2 (µg/m3) periode sebelum-saat pandemi covid-19	-0,002	tren turun	0,910	tidak signifikan
SO_2 (µg/m3) periode saat-sesudah pandemi covid-19	0,217	tren naik	0,101	tidak signifikan
PM_{10} (µg/m3) periode sebelum-saat pandemi covid-19	-0,256	tren turun	0,052	tidak signifikan
PM_{10} (µg/m3) periode saat-sesudah pandemi covid-19	0,308	tren naik	0,019	signifikan
CO (µg/m3) periode sebelum-saat pandemi covid-19	-0,734	tren turun	0,000	signifikan
CO (µg/m3) periode saat-sesudah pandemi covid-19	-0,064	tanpa tren	0,637	tidak signifikan
O_3 (µg/m3) periode sebelum-saat pandemi covid-19	-0,064	tanpa tren	0,204	tidak signifikan
O_3 (µg/m3) periode saat-sesudah pandemi covid-19	-0,202	tren turun	0,204	tidak signifikan

4.1.2 Hasil Uji Normalitas Shapiro Wilk

Uji Shapiro-wilk digunakan untuk menguji apakah data distribusi parameter PM_{10}, So_2, CO dan O_3 pada periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi covide-19 memenuhi asumsi distribusi normal. Nilai W hitung dibandingkan dengan W tabel. Jika W hitung > W tabel maka data dianggap berdistribusi normal sehingga dapat dilanjutkan dengan Uji-t berpasangan. Tetapi, jika W hitung < W tabel data di anggap tidak berdistribusi normal sehingga dapat dilanjutkan Uji Wilcoxon Signed Rank. Hasil uji Normalitas Shapiro Wilk dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji Shapiro-Wilk

Data	Periode	W hitung	W Tabel	Kesimpulan
SO_2	Sebelum pandemi covid-19 (Agustus 2019- Maret 2020)	0,863	0,818	Terdistribusi normal
	Saat pandemi covid-19 (April 2020 - Desember 2021)	0,824	0,908	Tidak terdistribusi normal
	Sesudah pandemi covid-19 (januari 2022- Desember 2023)	0,929	0,916	Terdistribusi normal
PM_{10}	sebelum pandemi covid-19 (Agustus 2019- Maret 2020)	0,881	0,818	Terdistribusi normal
	Saat pandemi covid-19 (April 2020 - Desember 2021)	0,946	0,908	Terdistribusi normal
	Sesudah pandemi covid-19 (januari 2022- Desember 2023)	0,983	0,916	Terdistribusi normal
CO	sebelum pandemi covid-19 (Agustus 2019- Maret 2020)	0,960	0,818	Terdistribusi normal
	Saat pandemi covid-19 (April 2020 - Desember 2021)	0,955	0,908	Terdistribusi normal
	Sesudah pandemi covid-19 (januari 2022- Desember 2023)	0,933	0,916	Terdistribusi normal
O_3	sebelum pandemi covid-19 (Agustus 2019- Maret 2020)	0,891	0,818	Terdistribusi normal
	Saat pandemi covid-19 (April 2020 - Desember 2021)	0,135	0,908	Tidak berdistribusi normal
	Sesudah pandemi covid-19 (januari 2022- Desember 2023)	0,923	0,916	Terdistribusi normal

Dari Tabel 4.6 dapat dijelaskan bahwa untuk Parameter SO_2 pada periode sebelum pandemi covid-19 dengan sesudah pandemi covid-19 dapat dilakukan uji-t berpasangan, sedangkan pada periode sebelum pandemi covid-19 dengan saat pandemi covid-19 dan saat pandemi covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19 dapat dilanjutkan dengan uji Wilcoxon Signed Rank. Pada parameter PM_{10} didapatkan seluruh periode terdistribusi normal, sehingga pengujian dapat dilanjutkan

dengan uji-t berpasangan antar periode. Sama seperti parameter PM_{10} untuk konsentrasi CO didapatkan seluruh periode berdistribusi normal, maka pengujian dapat dilanjutkan dengan uji-t berpasangan untuk analisis antar periode. Terakhir pada parameter O_3 pada periode saat pandemi Covid-19 tidak terdistribusi normal. Sehingga periode yang dapat dilanjutkan dengan uji-t berpasangan dan pada periode sebelum pandemi covid-19 dengan saat pandemi covid-19 dan saat pandemi covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19 harus dianalisis menggunakan uji Wilcoxon Signed rank.

4.1.3 Hasil Uji Perbedaan Rata-rata Nilai Setdata

Uji-t berpasangan bertujuan untuk menentukan adanya perbedaan yang signifikan antara rata-rata parameter PM_{10}, So_2, CO dan O_3 pada periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19. Pengujian ini dilakukan terhadap konsentrasi yang memenuhi asumsi distribusi normal berdasarkan uji Shapiro wilk. Dalam mengambil keputusan pada uji-t berpasangan, jika T hitung > T tabel, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. H_1 menyatakan bahwa terdapat perubahan signifikan dalam konsentrasi SO_2/ PM_{10}/CO/O_3 di antara sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19. H_0 menyatakan bahwa tidak ada perubahan signifikan dalam parameter SO_2/ PM_{10}/CO/O_3 di antara periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19.

Uji Wilcoxon signed rank dapat dijadikan alternatif saat uji-t berpasangan tidak bisa diterapkan karena populasinya tidak terdistribusi normal. Uji Wilcoxon signed rank digunakan dalam penelitian ini untuk menguji apakah terdapat perbedaan signifikan antara parameter PM_{10}, So_2, CO dan O_3 pada periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19. Dalam mengambil keputusan pada uji Wilcoxon Signed Rank, jika W hitung > W tabel, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. H_1 menyatakan bahwa terdapat perubahan signifikan dalam parameter SO_2/ PM_{10}/CO/O_3 di antara sebelum, saat, dan sesudah

pandemi Covid-19. H_0 menyatakan bahwa tidak ada perubahan signifikan dalam parameter SO_2/ PM_{10}/CO/O_3 di antara periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19. Hasil uji perbedaan rata-rata nilai ISPU Parameter SO_2, PM_{10}, CO, dan O_3 dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil uji perbedaan rata-rata nilai ISPU Parameter SO_2, PM_{10}, CO, dan O_3

Parameter	Periode Covid-19	Metode	T/W hitung	Kesimpulan
SO_2	Sebelum vs Saat	Wilcoxon Signed Rank	15	Tidak ada perbedaan signifikan
	Saat vs Sesudah	Wilcoxon Signed Rank	8	Tidak ada perbedaan signifikan
	Sebelum vs Sesudah	Uji - t Berpasangan	-4,378	Ada perbedaan signifikan
PM_{10}	Sebelum vs Saat	Uji - t Berpasangan	4,034	Ada perbedaan signifikan
	Saat vs Sesudah	Uji - t Berpasangan	1,364	Tidak ada perbedaan signifikan
	Sebelum vs Sesudah	Uji - t Berpasangan	5,291	Ada perbedaan signifikan
CO	Sebelum vs Saat	Uji - t Berpasangan	8,155	Ada perbedaan signifikan
	Saat vs Sesudah	Uji - t Berpasangan	1,517	Tidak ada perbedaan signifikan
	Sebelum vs Sesudah	Uji - t Berpasangan	9,032	Ada perbedaan signifikan
O_3	Sebelum vs Saat	Wilcoxon Signed Rank	4	Tidak ada perbedaan signifikan
	Saat vs Sesudah	Wilcoxon Signed Rank	8	Tidak ada perbedaan signifikan
	Sebelum vs Sesudah	Uji - t Berpasangan	-0,588	Tidak ada perbedaan signifikan

Keterangan :

T tabel (untuk n = 8) = 2,364

W tabel (untuk n = 8) = 3

Dari Tabel 4.7 dapat dijelaskan bahwa untuk parameter SO_2 pada periode sebelum pandemi Covid-19 dengan saat pandemi Covid-19 dan saat pandemi Covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19 menunjukan bahwa tidak adanya perubahan yang signifikan terhadap parameter SO_2 pada periode tersebut. Tidak adanya perbedaan yang signifikan ini dapat disebabkan oleh peningkatan aktivitas ekonomi secara bertahap

disaat pelonggaran pembatasan kegiatan masyarakat. SO_2 pada periode sebelum dengan sesudah pandemi Covid-19 terdapat perbedaan yang signifikan, hal ini mengindikasi bahwa parameter SO_2 mengalami perubahan signifikan antara periode sebelum dengan sesudah pandemi Covid-19. Hal tersebut menunjukkan bahwa pandemi Covid-19 berdampak nyata terhadap perubahan emisi SO_2 di udara. Dengan demikian, meskipun terdapat perbedaan yang signifikan antara periode sebelum dengan sesudah pandemi Covid-19, serta tidak adanya perbedaan yang signifikan antara periode sebelum pandemi Covid-19 dengan saat pandemi Covid-19 dan saat pandemi Covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19 menunjukkan bahwa kenaikan emisi SO_2 berlangsung secara bertahap dan terjadi fluktuatif.

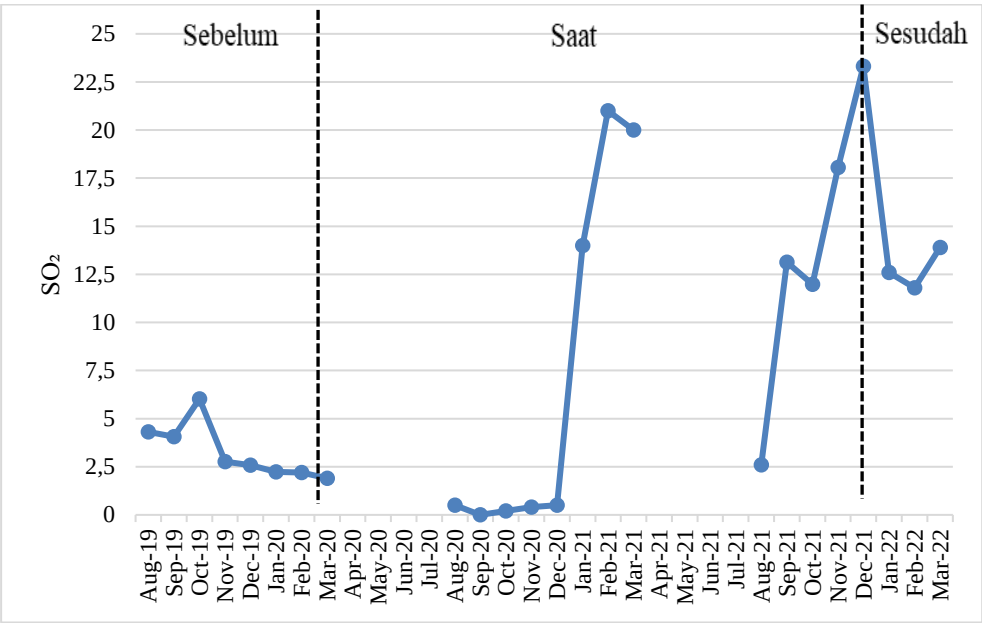
Nilai SO_2 di stasiun pemantauan kualitas udara di Jalan Bimasakti No.1, Demangan, Gondokusuman, Kota Yogyakarta pada tahun 2021 lebih tinggi dibandingkan tahun 2020 dapat dijelaskan melalui beberapa faktor yang berkaitan dengan aktivitas manusia dan lingkungan. Pada 20 Maret 2020 hingga 29 Mei 2020 sebagian besar aktivitas masyarakat mengalami pembatasan ketat akibat Covid-19 dengan dilakukan penerapan tanggap darurat Covid-19 (Pemerintahan Daerah Istimewa Yogyakarta, 2020). Sehingga lalu lintas kendaraan bermotor, aktivitas industri, serta kegiatan ekonomi yang berpotensi menghasilkan emisi SO_2 menurun. Tanggal 11 Januari 2021 hingga 25 Januari 2021 diberlakukan pengetatan terbatas kegiatan masyarakat (PTKM), di mana mobilitas masyarakat masih cukup terbatas (Azanella & Wedhaswary, 2021). Dari kebijakan pusat selanjutnya Yogyakarta menerapkan pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) Mikro pada 23 Februari 2021 hingga 8 Maret 2021(Warta Jogja Kota, 2021). PPKM tidak jauh berbeda dengan PTKM. PTKM merupakan kebijakan lokasi yang diterapkan di Daerah Istimewa Yogyakarta sedangkan PPKM merupakan kebijakan nasional. Selanjutnya, pada 3

Juli 2021 hingga 20 Juli 2021 diberlakukannya PPKM darurat Covid-19 (Warta Jogja Kota, 2021).

Pada 26 Juli 2021 hingga 2 Agustus 2021 lanjutan PPKM darurat, diberlakukannya PPKM level 4 untuk mengendalikan Covid-19 secara ketat di daerah dengan risiko tinggi namun dengan pendekatan yang lebih fleksibel dibandingkan PPKM darurat (Warta Jogja, 2021). Meskipun PPKM level 4 telah diberlakukan di Yogyakarta, masih ditemukan wisatawan yang mengunjungi objek wisata di Yogyakarta. Berbedah dari PPKM sebelumnya Yogyakarta melakukan PPKM level 3 pada 7 September 2021 hingga 13 September 2021. Dengan terjadinya penurunan PPKM level 4 ke level 3 pemerintahan Yogyakarta mengizinkan sektor Pendidikan untuk melalukan uji coba pembelajaran tatap muka (Widya, 2021).

Pada 24 Desember 2021 pemberlakuan PPKM level 3 dibatalkan serentak di seluruh Indonesia (Pangaribowo & Widyanti, 2021). Hal tersebut memberi ruang lebih besar bagi transportasi, perdagangan, dan pariwisata, termasuk mulai beroperasinya kembali kawasan wisata seperti Malioboro. Pemulihan mobilitas inilah yang berkontribusi terhadap kenaikan emisi kendaraan bermotor dan aktivitas ekonomi, sehingga konsentrasi SO_2 meningkat dibandingkan tahun sebelumnya sapat dilihat pada Gambar 4.4. Dengan demikian, naiknya nilai SO_2 pada tahun 2021 berkaitan dengan pelonggaran bertahap kebijakan PPKM yang memicu peningkatan aktivitas transportasi dan industri di Kota Yogyakarta.

Selain itu, kenaikan SO_2 juga dapat dipengaruhi oleh faktor meteorologi seperti suhu. Menurut Melya (2025), suhu memiliki hubungan yang signifikan terhadap parameter SO_2. Jika suhu naik terdapat peningkatan kadar SO_2 terutama pada daerah padat industri atau transportasi. Grafik rata-rata nilai ISPU parameter SO_2 sebelum hingga sesudah pandemi Covid-19 dapat dilihat pada Gambar 4.4.



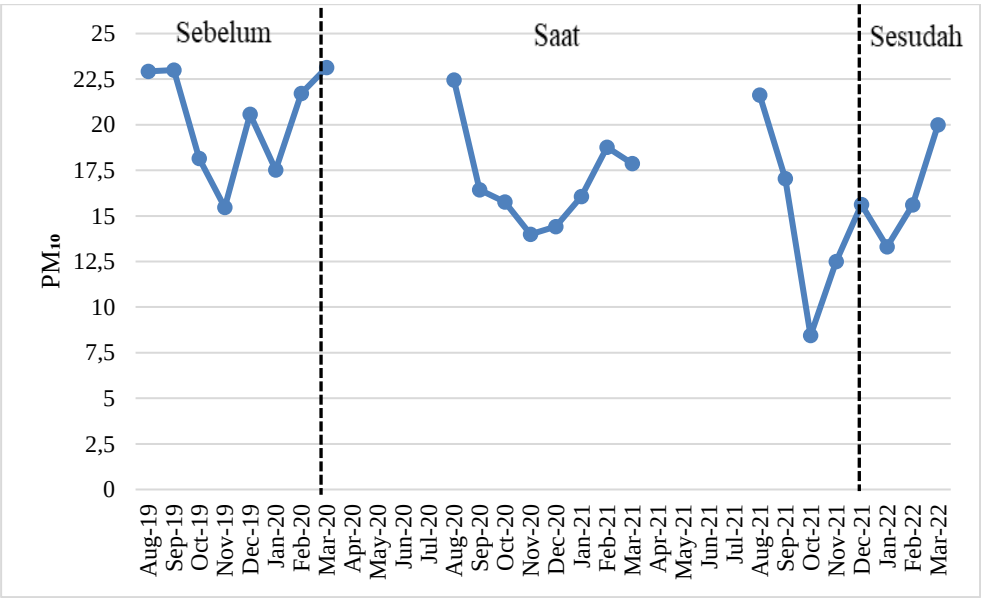
Gambar 4.4 Rata-rata nilai ISPU parameter SO_2 periode sebelum hingga sesudah pandemi Covid-19

Pada parameter PM_{10} untuk periode sebelum dengan saat dan sebelum dengan sesudah pandemi Covid-19 terjadi perbedaan yang signifikan. Menurut Kumari & Toshniwa (2020) Perbedaan yang signifikan dipengaruhi oleh penurunan signifikan dalam tingkat pencemaran udara selama masa *lockdown* di tahun 2020 dibandingkan periode yang sama di tahun 2019. Tingkat parameter PM_{10} mengalami penurunan antara 23,7% hingga 47,3%

Namun, untuk periode saat dengan sesudah pandemi tidak ada perbedaan yang signifikan yang artinya kondisi sesudah pandemi Covid-19 tidak berbeda secara nyata dari saat pandemi Covid-19. Sehingga dapat diasumsikan bahwa kualitas udara setelah pandemi tidak mengalami lonjakan yang tinggi dikarenakan pemulihan aktivitas manusia bersifat bertahap kembali ke kondisi sebelum pandemi Covid-19. Banyak perusahaan sebelumnya mendorong karyawan untuk bekerja secara daring, kini karyawan diperbolehkan kembali ke tempat kerja. Namun, ini tidak sepenuhnya kembali ke keadaan semula dan beberapa perusahaan menetapkan model kerja yang fleksibel dimana

karyawan memiliki kebebasan untuk bekerja baik dari kantor maupun dari rumah (Prasetya *et al.*, 2024).

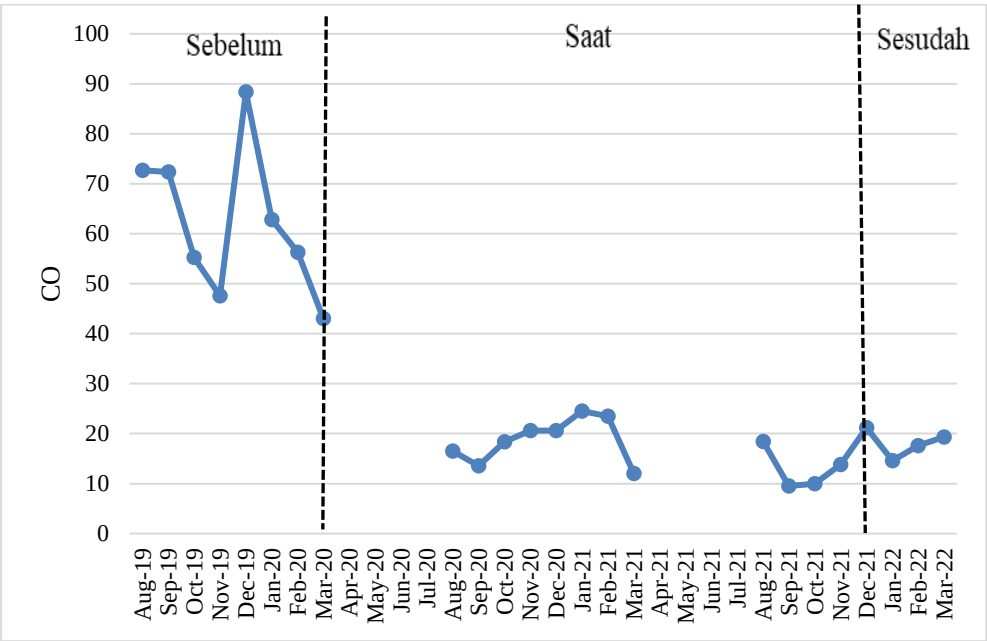
selanjutnya untuk periode sebelum dengan sesudah pandemi Covid-19 terdapat perbedaan yang signifikan disebabkan oleh perubahan dalam gaya hidup masyarakat pada periode sesudah pandemi Covid-19. Adapun perubahan gaya hidup masyarakat seperti model kerja yang fleksibel, seperti bekerja dari rumah maupun bekerja di kantor yang terus berlanjut. Meskipun interaksi sosial secara langsung kembali menjadi gaya hidup, tetapi orang akan lebih berhati-hati saat berpartisipasi dalam kerumunan besar sehingga cenderung memilih dengan kelompok kecil, atau kegiatan di luar ruangan. Dan yang terpenting adalah kesadaran mengenai isu lingkungan terus meningkat (Adawiyah *et al.*, 2023). Oleh sebab itu, meskipun aktivitas mulai Kembali normal seperti sebelum Covid-19 tetapi konsentrasi PM_{10} tetap lebih rendah dibandingkan aktivitas periode sebelum pandemi Covid-19. Grafik rata-rata nilai ISPU parameter PM_{10} sebelum hingga sesudah pandemi Covid-19 dapat dilihat pada Gambar 4.5 .



Gambar 4.5 Rata-rata nilai ISPU parameter PM_{10} periode sebelum hingga sesudah pandemi Covid-19

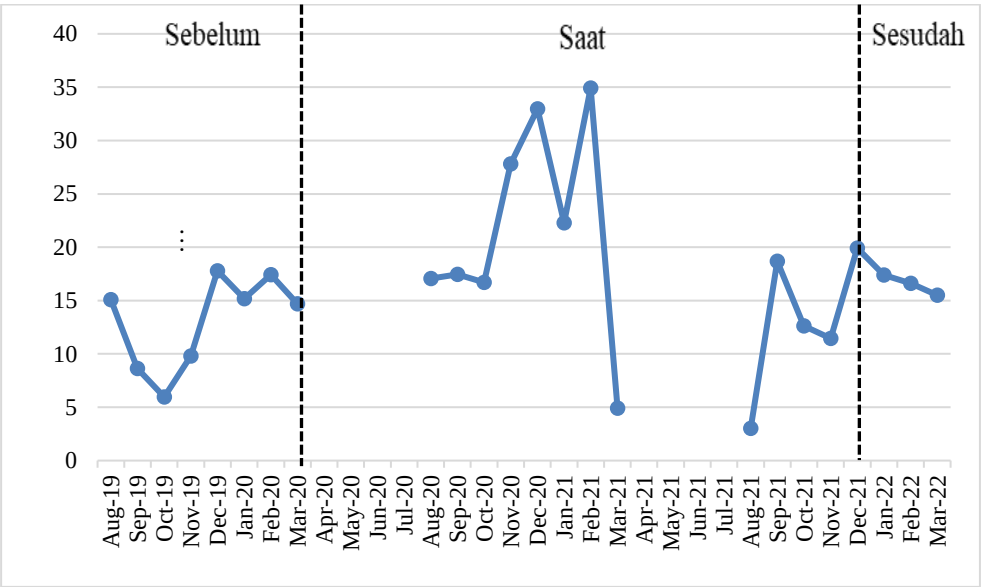
Sementara itu, analisis terhadap parameter CO memperlihatkan perbedaan yang sangat signifikan antara periode sebelum pandemi Covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19. Hal terjadi bisa didasari karena pada saat terjadinya pandemi Covid-19 diberlakukannya pembatasan sosial berskala besar (PSBB). Akibat PSBB memberikan pengaruh terhadap sistem politik dan ekonomi, terutama pada bidang pariwisata, serta penurunan pada emisi yang signifikan (Ahmad *et al.*, 2019). Namun, antara periode saat pandemi Covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19 tidak menunjukkan perbedaan signifikan yang berarti konsentrasi CO cenderung stabil dan tidak mengalami peningkatan drastis setelah PSBB dicabut. Hal ini bisa disebabkan oleh pemulihan mobilitas yang berjalan bertahap serta mulai diterapkannya teknologi kendaraan yang lebih ramah lingkungan.

Sama dengan periode sebelum pandemi Covid-19 dengan saat pandemi Covid-19, pada periode sebelum pandemi Covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan juga. perbedaan yang terjadi pada periode sebelum dan sesudah pandemi Covid-19 dapat disebabkan oleh aktivitas manusia yang mulai kembali normal seperti sebelum Covid-19 tetapi kebiasaan baru seperti *Work From Home* (WFH), penggunaan transportasi publik yang lebih selektif, serta peningkatan kesadaran akan polusi udara (Adawiyah *et al.*, 2023). Hal tersebut membuat tingkat emisi CO tidak kembali ke tingkat sebelum pandemi. Hal ini menyebabkan konsentrasi CO sesudah pandemi tetap lebih rendah dibandingkan sebelum pandemi Covid-19. Grafik rata-rata nilai ISPU parameter CO sebelum hingga sesudah pandemi Covid-19 dapat dilihat pada Gambar 4.6 .



Gambar 4.6 rata-rata nilai ISPU parameter CO sebelum hingga sesudah pandemi Covid-19

Parameter O_3 pada periode sebelum pandemi Covid-19 dengan saat pandemi Covid-19, saat pandemi Covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19, dan sebelum pandemi Covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19 menunjukkan tidak terdapatnya perbedaan yang signifikan. Kondisi ini dapat dipahami karena ozon troposferik terbentuk melalui proses fotokimia antara nitrogen oksida (NOx) dan senyawa organik volatil (VOC) dengan bantuan radiasi matahari, sehingga tidak berasal langsung dari aktivitas manusia. Walaupun selama pandemi terjadi pengurangan emisi NOx akibat pembatasan aktivitas transportasi dan industri, pembentukan O_3 tetap berlangsung karena VOC dari sumber alami tetap tersedia, sementara intensitas sinar matahari juga tidak berkurang (Sulityono *et al.*, 2019). Dengan demikian, pembatasan aktivitas manusia tidak cukup untuk memengaruhi kadar O_3 secara berarti. Grafik rata-rata nilai ISPU parameter O_3 sebelum hingga sesudah pandemi Covid-19 dapat dilihat pada Gambar 4.7 .



Gambar 4.7 Rata-rata nilai ISPU parameter O_3 sebelum dengan sesudah pandemi covid-19

Secara keseluruhan hasil uji-t berpasangan ini memperkuat bahwa pandemi Covid-19 memberikan dampak yang signifikan terhadap perubahan kualitas udara, terutama pada parameter PM_{10} dan CO. Adapun perubahan gaya hidup masyarakat seperti model kerja yang fleksibel, seperti bekerja dari rumah maupun bekerja di kantor, pembatasan interaksi sosial dalam kerumunan skala besar, dan yang terpenting adalah kesadaran mengenai isu lingkungan terus meningkat (Adawiyah *et al.*, 2023). penurunan signifikan selama pandemi dan perubahan nilai setelah menunjukkan bahwa aktivitas manusia memiliki pengaruh terhadap dinamika pencemaran udara di Kota Yogyakarta.

Meskipun secara visual atau rata-rata terdapat fluktuasi terhadap parameter SO_2 dan O_3 selama periode tersebut, perbedaan tersebut tidak terbukti signifikan secara statistik menurut uji Wilcoxon Signed Rank. Hasil ini mendukung H_0 yang menyatakan bahwa tidak terdapat perubahan signifikan dalam parameter SO_2 dan O_3 di antara periode yang dianalisis. Oleh karena itu, meskipun pandemi sempat menurunkan aktivitas emisi di beberapa sektor tetapi dampaknya

terhadap SO_2 dan O_3 dikawasan Kota Yogyakarta belum cukup kuat untuk menciptakan perubahan konsentrasi yang signifikan secara statistik.

4.2 Hasil Analisis Spasial

Lokasi pemantauan kualitas udara ambien berada di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman dari tahun 2019 hingga tahun 2023. Peta persebaran titik pengukuran kualitas udara berjumlah 61 titik. Pembagian titik lokasi pemantauan kualitas udara dan lokasi pemantauan kualitas udara dapat dilihat pada Tabel 4.8 hingga Tabel 4.10.

Tabel 4.8 Pembagian titik lokasi pemantauan kualitas udara

No	Tahun	Kabupaten/Kota	Jumlah Titik pengukuran	Total Titik Pengukuran
1	2019	Kabupaten Sleman	4	33
		Kota Yogyakarta	29	
2	2020	Kabupaten Sleman	4	29
		Kota Yogyakarta	25	
3	2021	Kabupaten Sleman	4	31
		Kota Yogyakarta	27	
4	2022	Kabupaten Sleman	4	8
		Kota Yogyakarta	4	
5	2023	Kabupaten Sleman	8	16
		Kota Yogyakarta	8	

Tabel 4.9 Lokasi pemantauan kualitas udara Kota Yogyakarta

Kode Lokasi	Lokasi
L1	Perempatan Gejayan
L2	Perempatan Galeria
L3	Perempatan Tugu
L4	Perempatan Ngabean
L5	UPT Malioboro
L6	Perempatan Titik Nol
L7	Perempatan Plengkung Gading
L8	Perempatan Pojok Beteng Wetan
L9	Perempatan Gedongan
L10	Perempatan BKKBN
L11	Kel. Demangan, Kec. Gondokusuman
L12	SMA Santa Maria, Kec. Gondomanan
L13	Kel. Purwokinanti, Kec. Pakualaman
L14	Kel. Rejowinangun, Kec. Kotagede
L15	Lapangan Karang, Kel. Prenggan, Kec.Kotagede
L16	Kel. Bumijo, Kec. Jetis
L17	Kel. Bener, Kec. Tegalrejo
L18	Kel. Suryodiningratan, Kec. Mantrijeron
L19	Kel. Sorosutan, Kec. Umbulharjo
L20	Taman Yuwono, Kpg. Sosrowijayan, Kel.Sosromenduran, Kec. Gedongtengen
L21	Kel. Ngampilan, Kec. Ngampilan
L22	Kel. Wirobrajan, Kec. Wirobrajan
L23	Kel. Brontokusuman, Kec. Mergangsan
L24	Kel. Kadipaten, Kec. Kraton
L25	Balaikota
L26	Depan kantor KR
L27	Depan kantor Bri katamso
L28	Depan kantor gedung LPP
L29	SMP 15 kel. Bausasran
L30	Perempatan Pojok Beteng kulon
L31	Karang kanti kel. Brontokusuman
L32	Taman sari kel. Kadipaten, kec. Kraton
L33	Depan parkir abu bakar ali
L34	Balai serbaguna rw cokrodiningrat
L35	Kel. giwangan

Kode Lokasi	Lokasi
L36	Kec. Tegalrejo
L37	SMK 4 YK, kel. Sorosutan
L38	SMP Muhammadiyah 1 YK, kel.ngampilan
L39	Pintu selatan XT square
L40	Kel. Baciro
L41	Koramil 07/umbulharjo
L42	Jalan kenari no 71, muja muju
L43	RW 02, kel suryatmaja
L44	kantor komplek kepatihan

Tabel 4.10 Lokasi pemantauan kualitas udara Kabupaten Sleman

Kode Lokasi	Lokasi
L45	Terminal Condong Catur, Jl. Anggajaya 1 Gejayan, Condongcatur, Kec. Depok
L46	PT Weska Pusaka Kusuma, Jl. Magelang KM. 16 Kemloko Catur.
L47	Perumahan Sleman Permai 1, Tridadi , Sleman
L48	Dinas Perhubungan Kab. Sleman, Drono Tridadi
L49	Jalan Tempel Turi Km. 2, Keringan, Wonokerto, Kecamatan Turi,
L50	Lingkungan PT. Sport Glove Indonesia (SGI) Krandon, Pandowoharjo, Kecamatan Sleman
L51	Perumahan Griya Taman Asri II (GTA), Panasan, Donoharjo, Kecamatan Ngaglik,
L52	Halaman Kantor Badan Narkotika Nasional (BNN) Kabupaten Sleman Komplek Perkantoran Pemda Sleman, Beran Kidul, Tridadi, Kecamatan Sleman
L53	Depan Toko Sepeda Sidomulyo, Pangukan, Tridadi, Kapanemon
L54	PT. Kiho Bali Korin, Jalan Cangkringan km. 4, Babadan, Purwomartani
L55	kantor balai besar pengujian standar instrumen kehutanan kementrian lingkungan hidup dan kehutanan
L56	Jalan amalia, bangunkerto, kapanewon turi
L57	PT.Padma citra Amahi
L58	Wringin, purwobinangun, kapanewon pakem
L59	Kantor balai pengembangan teknologi perikanan budidaya
L60	Gang mangga huntap gendong 3
L61	Dengis, Glagaharjo, cangkringan

4.2.1 Pola Sebaran SO_2

Pola persebaran konsentrasi SO_2 pada tahun 2019 sebelum Covid-19, tahun 2020 hingga 2021 saat Covid-19, dan tahun 2022 hingga tahun 2023 sesudah Covid-19 menggunakan interpolasi dengan Metode Inverse Distance Weighting (IDW). Pada tahun 2019 persebaran SO_2 menunjukkan bahwa Sebagian besar wilayah masih memiliki nilai konsentrasi yang relatif rendah. Konsentrasi tertinggi terdapat di area industri (L46) dengan cakupan area yang cukup luas. Selain itu, peningkatan konsentrasi juga teridentifikasi di area pemukiman di Sleman (L47), area transportasi Sleman (L45) dan area perkantoran Yogyakarta (L26, L27, L28) yang memiliki tingkat konsentrasi yang hampir sama. Pola ini mencerminkan bahwa aktivitas utama penyumbang emisi SO_2 pada tahun 2019 berasal dari sektor industri, transportasi, dan perkantoran.

Pada tahun 2020 area dengan konsentrasi SO_2 paling tinggi bergeser ke area perkantoran yang terdapat di pusat kota Yogyakarta (L25). Sementara itu, area industri di Sleman (L50) dan area transportasi (L49) menunjukkan konsentrasi yang tidak terlalu tinggi, tetapi memiliki cakupan yang cukup luas. Sebagian besar area lain di peta menunjukkan warna kuning pucat yang menandakan adanya sedikit peningkatan konsentrasi dibandingkan dengan tahun 2019. Pada tahun 2021, pola persebaran tidak menunjukkan banyak perubahan dari tahun 2020 dengan area konsentrasi tertinggi masih terdapat di area perkantoran di pusat kota Yogyakarta (L25), sementara area transportasi di Sleman (L49) dan area industri (L50) menunjukkan nilai yang stabil. Hal ini sejalan dengan penelitian Sihayuardi (2021) yang menyatakan bahwa nilai SO_2 pada tahun 2020 meningkat dibandingkan tahun 2019, terutama di area industri.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pandemi Covid-19 menurunkan aktivitas sosial masyarakat, hal itu tidak selalu berbanding lurus dengan penurunan emisi udara. Sejalan dengan penelitian

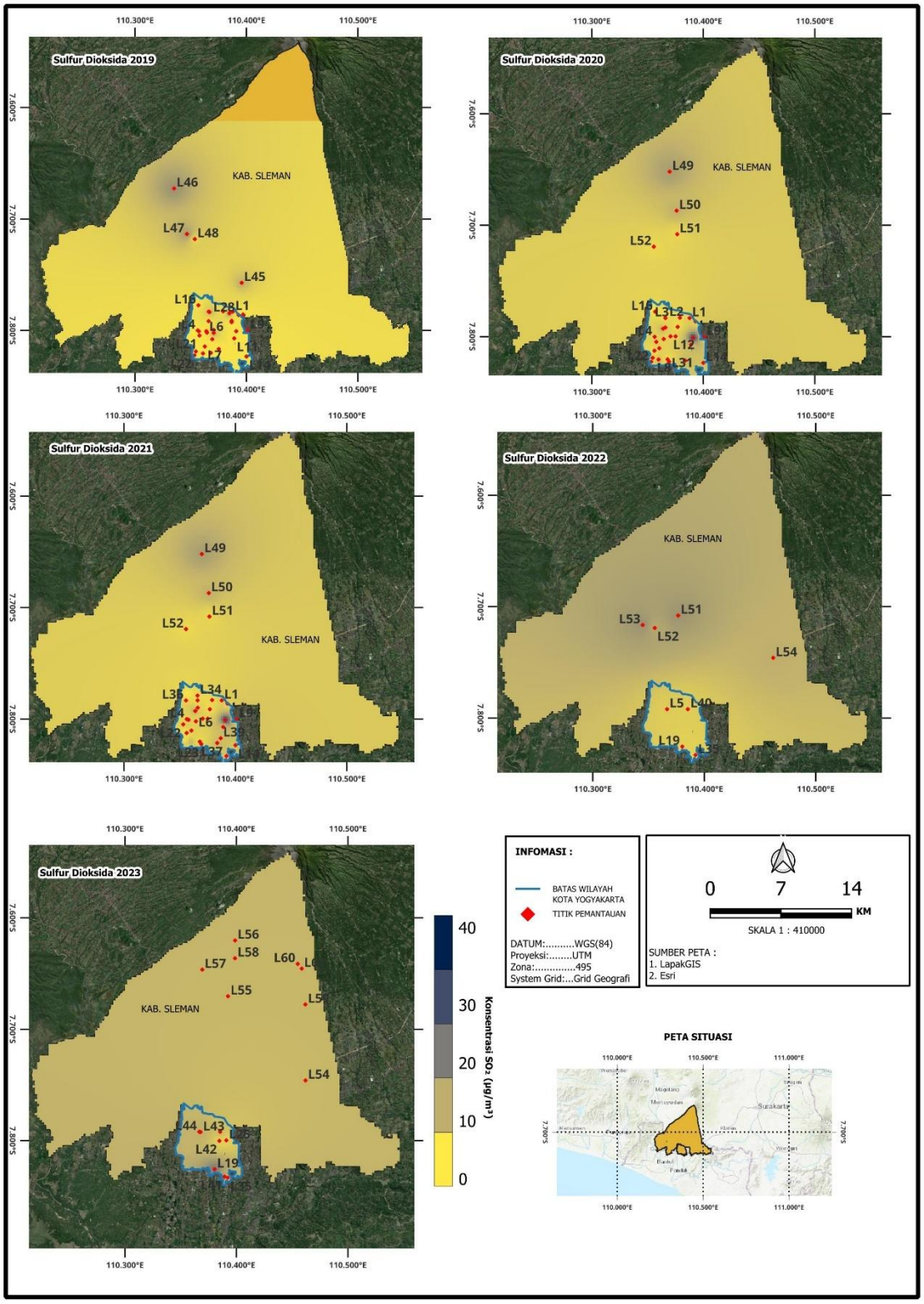
Suhardono dkk. (2022) bahwa pandemi Covid-19 tidak berdampak pada penurunan emisi SO_2, bahkan menimbulkan peningkatan konsentrasi SO_2 tersebut secara signifikan di beberapa area. Namun secara umum laporan Pemerintah Jawa Timur (2022) mencatat bahwa peningkatan kualitas udara ambien perkotaan ditunjukkan oleh penurunan kadar SO_2 dan NO_2 sejak tahun 2019 hingga tahun 2022.

Peningkatan konsentrasi SO_2 di Yogyakarta dan Sleman dapat dijelaskan oleh faktor lokal. Salah satunya adalah penurunan status PPKM level 4 menjadi level 3 pada 7 September 2021 hingga 13 September 2021 yang membuat pemerintah mulai mengizinkan uji coba pembelajaran tatap muka di sekolah dan kegiatan lainnya (Widya, 2021). Kondisi ini meningkatkan mobilitas masyarakat yang berpotensi menambah emisi dari sektor transportasi. Di area perkantoran, penggunaan *generator set (genset)* berbahan bakar solar sebagai sumber listrik cadangan serta aktivitas transportasi di sekitar area perkantoran, baik kendaraan pribadi, mobil dinas, maupun armada logistik operasional, turut berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas buang yang mengandung SO_2. Sedangkan di area industri, pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak berat atau solar dengan kandungan sulfur tinggi tetap berjalan termasuk pada industri esensial yang beroperasi selama pandemi menjadi sumber utama peningkatan emisi SO_2 (Esfahbodi & Shafipoor, 2017).

Pada tahun 2022 terdapat peningkatan konsentrasi di daerah Sleman, terutama di sekitar area pemukiman (L51) dan area transportasi (L53) yang ditandai dengan adanya warna biru muda dengan cakupan cukup luas. Sebaliknya, di Kota Yogyakarta terjadi penurunan konsentrasi dibandingkan tahun 2021 yang ditandai dengan meratanya warna kuning pada peta. Sementara pada tahun 2023, persebaran konsentrasi di Sleman tidak lagi menunjukkan warna kuning cerah yang artinya terjadi peningkatan konsentrasi yang merata di Sleman. Konsentrasi tertinggi terdapat di area perkantoran kota Yogyakarta

(L19) dengan peningkatan konsentrasi di kota Yogyakarta dibandingkan tahun 2022 terutama di sekitar area (L40, L43, L44) yang merupakan area pemukiman dan juga perkantoran. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa sesudah pandemi Covid-19, aktivitas ekonomi dan transportasi telah pulih sepenuhnya, sehingga pola sebaran polutan kembali menyerupai kondisi sebelum pandemi Covid-19 namun dengan intensitas yang lebih tersebar.

Perubahan lokasi titik konsentrasi tertinggi antar tahun disebabkan oleh perbedaan spasial sumber emisi serta pengaruh faktor meteorologi seperti suhu, kelembapan udara, dan kecepatan angin. Ketika suhu udara tinggi maka nilai konsentrasi SO_2 rendah. Kelembapan udara berbanding lurus dengan konsentrasi SO_2 berarti semakin lembap udara, semakin tinggi kadar SO_2 yang terukur. Kecepatan angin berbanding terbalik dengan konsentrasi SO_2, saat kecepatan angin tinggi maka nilai SO_2 akan rendah (Istirokhatun *et al*, 2016). Dengan demikian, tingginya kadar SO_2 pada masa pandemi di area perkantoran dan industri bukanlah anomali, melainkan akibat kombinasi antara sumber emisi tetap, mobilitas kendaraan operasional yang meningkat, dan faktor meteorologi yang memperlambat penyebaran polutan. Pola persebaran konsentrasi SO_2 dari tahun 2019 hingga tahun 2023 dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Pola persebaran konsentrasi SO_2 dari tahun 2019 hingga tahun 2023

4.2.2 Pola Sebaran NO_2

Pola persebaran konsentrasi NO_2 pada tahun 2019 sebelum Covid-19, tahun 2020 hingga 2021 saat Covid-19, dan tahun 2022 hingga tahun 2023 sesudah Covid-19 menggunakan interpolasi dengan Metode Inverse Distance Weighted (IDW). Pada tahun 2019 wilayah dengan konsentrasi tertinggi di daerah Sleman terdapat di area transportasi (L45) dan area industri (L46). Di kota Yogyakarta, konsentrasi tertinggi terdapat di area perkantoran kota Yogyakarta (L28) sedangkan area lainnya menunjukkan nilai konsentrasi rendah hingga sedang. Sebaran ini menggambarkan kondisi normal wilayah perkotaan, dimana emisi NO_2 didominasi oleh aktivitas transportasi jalan raya dan kegiatan perkantoran yang padat.

Memasuki tahun 2020 terjadi peningkatan konsentrasi NO_2 hampir di seluruh area pengamatan. konsentrasi tertinggi terdapat area perkantoran Yogyakarta (L25). Di Sleman konsentrasi tertinggi berada di area transportasi (L49) dan industri (L50). Meskipun aktivitas masyarakat menurun karena pembatasan sosial, sektor transportasi logistik dan industri esensial tetap beroperasi sehingga emisi NO_2 tidak menurun secara signifikan. Pada tahun 2021, konsentrasi meningkat lebih signifikan di berbagai titik wilayah Yogyakarta, ditandai dengan munculnya warna biru pada peta hasil interpolasi. Konsentrasi tertinggi di tahun 2021 terdapat pada area transportasi Yogyakarta (L30) dan area industri Sleman (L50). Secara umum, di berbagai penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi NO_2 cenderung menurun selama masa pandemi Covid-19 akibat pembatasan aktivitas sosial dan berkurangnya mobilitas kendaraan bermotor. Menurut Kumari & Toshniwal (2020), kota-kota dengan tingkat pencemaran tinggi seperti Beiging, Bengaluru, Delhi, Lima, Mumbai, Roma, dan wuhan mengalami penurun kadar NO_2 yang signifikan selama masa *lockdown* tahun 2002 dibandingkan periode yang sama tahun 2019, dengan tingkat penurunan berkisar antara 31,6% hingga 64,5%. Berdasarkan laporan Pemerintah

Jawa Timur (2022), peningkatan kualitas udara ambien perkotaan ditunjukkan oleh penurunan kadar SO_2 dan NO_2 sejak tahun 2019 hingga 2022.

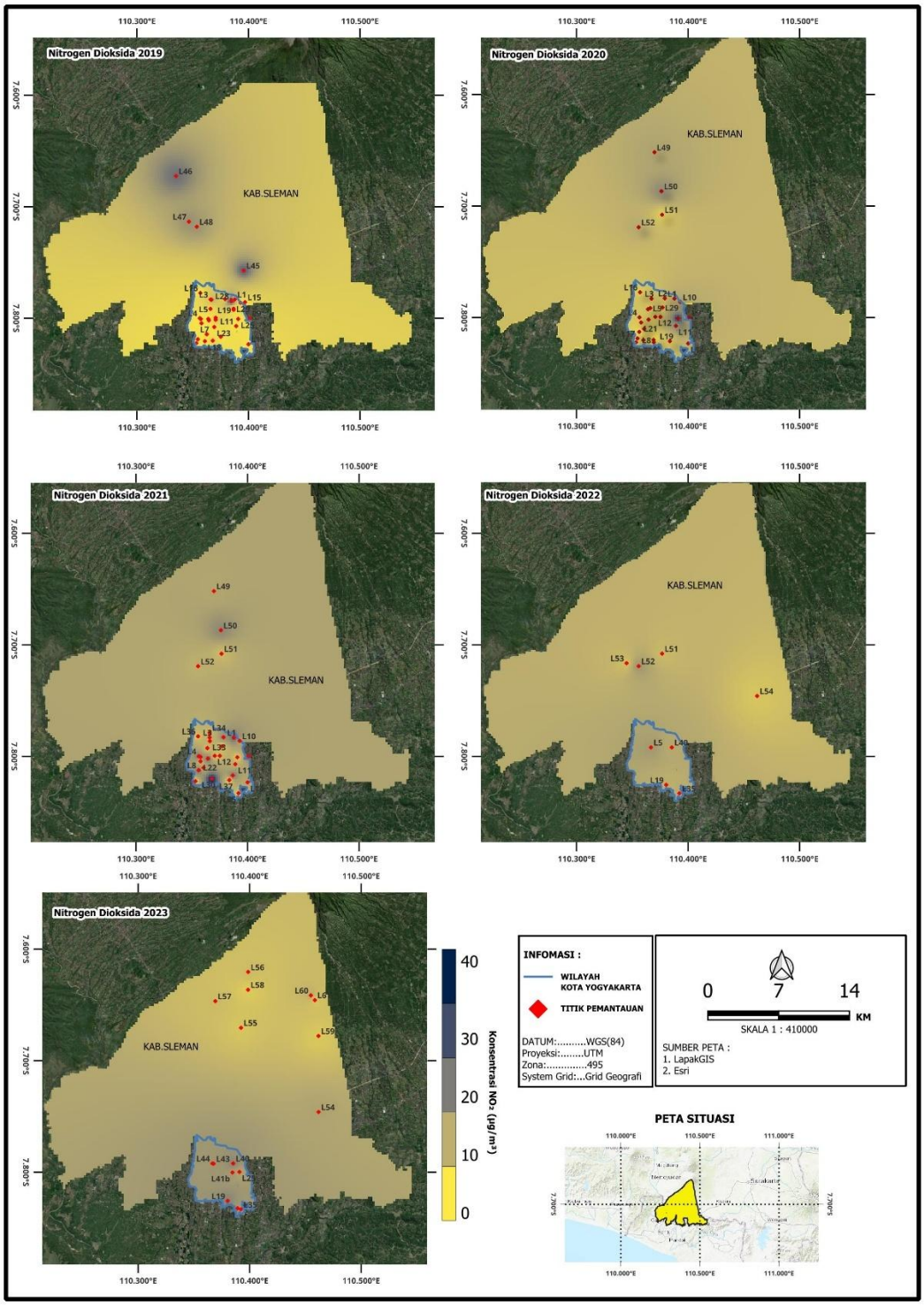
Akan tetapi, di wilayah Yogyakarta dan Sleman, pada saat pandemi Covid-19 justru terjadi kenaikan konsentrasi NO_2 di beberapa area, terutama di Kawasan dengan aktivitas tinggi seperti area transportasi dan perkantoran. Temuan ini sejalan dengan penelitian Suhardono dkk. (2022) bahwa pandemi Covid-19 tidak berdampak pada penurunan emisi NO_2, melainkan menimbulkan peningkatan konsentrasi NO_2 tersebut secara signifikan. Kondisi tersebut dapat dijelaskan oleh karakteristik lokal wilayah penelitian, dimana Sebagian aktivitas transportasi dan industri esensial tetap berjalan selama masa PPKM. Selain itu, penurunan status PPKM level 4 menjadi level 3 pada September 2021 membuat pemerintah mulai mengizinkan uji coba pembelajaran tatap muka di sekolah dan kegiatan lainnya (Widya, 2021). Kondisi ini meningkatkan mobilitas masyarakat yang berpotensi menambah emisi dari sektor transportasi.

Selain faktor aktivitas manusia, parameter meteorologi juga berpengaruh terhadap konsentrasi NO_2. Menurut istirokhatun *et al.* (2016), Konsentrasi NO_2 menurun terjadi Ketika suhu meningkat. Konsentrasi NO_2 terendah terjadi Ketika kelembapan udara berada pada level rendah, sedangkan konsentrasi maksimun muncul Ketika kelembapan udara tinggi. Kelembapan udara yang rendah menunjukan bahwa kandungan uap air dalam udara sangat sedikit. Dalam kondisi ini pergerakan udara akan berlangsung lebih cepat karena tidak terhalang oleh uap air, sehingga konsentrasi NO_2 di sekitar titik pengambilan sampel menjadi lebih rendah, begitupun sebaliknya. Semakin tinggi kecepatan angin, konsentrasi NO_2 akan semakin menurun karena polutan akan terbawa oleh angin menjauhi dari area pengukuran. Ketika kecepatan angin meningkat, maka pencemar akan terdilusi melalui proses dispersi. Ini berarti, peningkatan kecepatan angin akan

mempercepat proses disperse dan dilusi pencemar di udara, sehingga tidak akan terakumulasi di satu tempat tertentu

Memasuki tahun 2022 untuk sebagian besar area mengalami penurunan konsentrasi dibandingkan tahun 2021 ditandai dengan penurunan warna dari biru pekat menuju kuning pada peta dengan area konsentrasi tertinggi terdapat di area perkantoran Sleman (L52) dan transportasi Yogyakarta (L5). Sedangkan pada tahun 2023, tidak terdapat perbedaan antar area, namun banyak wilayah menunjukkan warna kuning cerah yang menandakan konsentrasi NO_2 stabil pada tingkat sedang, khususnya di wilayah Sleman. Konsentrasi tertinggi di tahun 2023 berada terdapat di area perkantoran Yogyakarta (L19, L40), sejalan dengan meningkatnya aktivitas ekonomi dan transportasi di pusat Kota.

NO_2 bersama nitrogen oksida lainnya berperan sebagai prekursor bagi berbagai polutan udara sekunder berbahaya, seperti ozon (O_3) dan partikel (PM), serta turut berkontribusi dalam terjadinya hujan asam (Green Facts, 2005). Sumber utama emisi NO_2 berasal dari transportasi jalan raya, diikuti oleh pembangkit listrik, alat berat konstruksi berbahan bakar diesel, mesin bergerak lain, serta boiler pada sektor industri (Safira *et al.*, 2022). Dengan demikian, meskipun secara global Covid-19 berkontribusi terhadap penurunan kadar NO_2, kondisi di wilayah Yogyakarta dan Sleman menunjukkan pengecualian akibat kombinasi faktor aktivitas lokal, keberlangsungan sektor esensial, serta kondisi atmosfer yang mendukung akumulasi polutan di udara ambien. Pola persebaran konsentrasi NO_2 dari tahun 2019 hingga tahun 2023 dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Pola persebaran konsentrasi NO_2 dari tahun 2019 hingga tahun 2025

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pembahasan pada penelitian yang telah dilakukan berikut merupakan kesimpulan yang ditarik :

1. Analisis tren temporal menunjukkan bahwa:
   - Parameter PM_{10} pada periode saat hingga sesudah pandemi Covid-19 terjadi peningkatan tren yang signifikan karena adanya perubahan aktivitas manusia yang melonjak saat masa peralihan sesudah pandemi Covid-19.
   - Parameter CO pada periode sebelum hingga saat pandemi Covid-19 menunjukkan penurunan tren yang signifikan karena pembatasan kegiatan selama Covid-19.
2. Terdapat perbedaan yang signifikan pada beberapa parameter kualitas udara antara periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19 yaitu:
   a. Pada perbandingan antara periode sebelum pandemi Covid-19 dengan saat pandemi Covid-19, terdapat perbedaan yang signifikan pada parameter PM_{10} dan CO.
   b. Pada perbandingan antara periode saat pandemi Covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19, tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada seluruh parameter yang dianalisis.
   c. Pada perbandingan antara periode sebelum pandemi Covid-19 dengan sesudah pandemi Covid-19, terdapat perbedaan yang signifikan pada parameter SO_2, PM_{10}, dan CO.
3. Telah didapatkan peta sebaran konsentrasi SO_2 dan NO_2 yang menunjukan perbedaan antara periode sebelum, saat, dan sesudah pandemi Covid-19 di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman
   a. Sebaran Konsentrasi SO_2

Sebelum pandemi (tahun 2019) konsentrasi SO_2 relatif rendah di sebagian besar wilayah, dengan puncak konsentrasi berada di area industri (L46), transportasi (L45) dan perkantoran (L26, L27, dan L28). Saat pandemi (tahun 2020 hingga tahun 2021), konsentrasi SO^2 mengalami sedikit peningkatan di area perkantoran (L25), transportasi (L49), dan industri (L50). Hal ini sejalan dengan temuan Sihayuardi (2021) yang mencatat peningkatan nilai SO^2 pada tahun 2020 dibandingkan tahun 2019, terutama di area industri, serta Suhardono *et al*. (2022) yang menyatakan bahwa pandemi tidak menurunkan, bahkan meningkatkan konsentrasi SO_2 di beberapa wilayah perkotaan. Namun demikian, Laporan Pemerintah Jawa Timur (2022) mencatat bahwa terjadinya penurunan kadar SO_2 dan NO_2 pada tahun 2019 hingga tahun 2022. Peningkatan konsentrasi SO^2 di Yogyakarta dan Sleman saat pandemi Covid-19 dapat disebabkan oleh aktivitas transportasi kantor dan logistik yang tetap berjalan, pembakaran bahan bakar fosil di industri yang tetap beroperasi, pelonggaran PPKM tahun 2021 yang meningkatkan mobilitas. Faktor meteorologi seperti suhu, kelembapan, dan kecepatan angin juga turut memengaruhi penyebaran polutan di udara ambien. Sesudah pandemi (tahun 2022 hingga tahun 2023), konsentrasi SO_2 meningkat merata di Kabupaten Sleman karena pulihnya aktivitas ekonomi dan transportasi. Dengan demikian, tingginya kadar SO_2 pada masa pandemi di area industri dan transportasi bukanlah anomali, melainkan akibat kombinasi antara sumber emisi tetap, mobilitas kendaraan, serta pengaruh kondisi meteorologi.

b. Sebaran konsentrasi NO_2

Sebelum pandemi (tahun 2019), konsentrasi NO_2 tertinggi terdapat pada area transportasi (L45), industri (L46), dan perkantoran (L48) sebaran ini menggambarkan emisi NO_2

didominasi oleh aktivitas transportasi jalan raya dan kegiatan perkantoran yang padat. Saat pandemi (tahun 2020 hingga tahun 2021), konsentrasi NO_2 meningkat terutama pada area perkantoran (L25), transportasi (L30 dan L49), dan industri (L50) karena masih beroperasinya sektor logistik dan kendaraan dinas, serta pelonggaran PPKM pada tahun 2021 yang memicu mobilitas. Faktor meteorologi turut memperkuat kondisi tersebut. Temuan ini sejalan dengan Suhardnono *et al.* (2022) yang menyebutkan pandemi tidak menurunkan, bahkan meningkatkan emisi NO_2 di beberapa area. Kondisi tersebut berbeda dengan hasil penelitian Kumari & Toshniwa (2020) yang melaporkan penurunan kadar NO_2 di berbagai kota besar di dunia selama masa *lockdown.* Sesudah pandemi (tahun 2022 hingga tahun 2023) konsentrasi NO_2 tetap tinggi tetap di area perkantoran (L19, L40, dan L52) dan transportasi (L5) seiring dengan meningkatnya aktivitas ekonomi dan transportasi. Dengan demikian, meskipun secara global pandemi Covid-19 berkontribusi terhadap penurunan kadar NO_2, kondisi di wilayah Yogyakarta dan Sleman menunjukkan pengecualian akibata kombinasi faktor aktivitas lokal, keberlangsungan sektor esensial, serta faktor meteorologi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut merupakan beberapa saran yang dapat diberikan peneliti :

1. Menambah parameter NO_2 dan $PM_{2,5}$ pada data temporal agar cakupan parameter polutan menjadi lebih lengkap, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai kualitas udara dan dampak pandemi Covid-19 terhadap polusi udara.
2. Melakukan penelitian analisis temporal dan spasial di lokasi yang menggunakan data dari titik sampling yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

Adawiyah, R., Luayyin, R. H., & Pertiwi, F. A. (2023). Pasca New Normal: Perubahan sosial-ekonomi pada gaya hidup masyarakat (perspektif sosiologi). *JSE: Jurnal Sharia Economica*, *2*(2), 69–80.

Adil, A., & Kom, S. (2017*). Sistem informasi geografis.* Penerbit Andi.

Adli. M. T. D & Febrita. J. (2024). Analisisis sebarana PM10 menggunakan AERMOD view pada jalan Raya Gunung Putri, Kabupaten Bogor. Institud Pertanian : Bogor.

Ahmad, M., Kusumaningtyas, S. D. A., Nurhayati, H., & Khoir, A. N. U. (2019). Analisis dampak diterapkannya kebijakan working from home saat pandemi COVID-19 terhadap kondisi kualitas udara di Jakarta. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Vol*, *6*(3).

Arifin, F. R., & Rahman, N. A. (2024). Analisis pengaruh emisi zat karbon terhadap kerusakan kualitas udara dan pencemaran lingkungan. *Journal Innovation in Education (INOVED)*, 2(1), 278–287. https://doi.org/10.59841/inoved.v2i1.1043

Ashari, I. A., Purwono, P., & Arfianto, I. (2023). Penerapan internet of things (IoT) dengan pendekatan metode inverse distance weight (IDW). *UHB Press, 2(1), 1-83.*

Azanella, L. A., & Wedhaswary, I. D. (2021, 11 Januari). Aturan lengkap pembatasan kegiatan di DI Yogyakarta berlaku 11–25 Januari. *Kompas*. https://www.kompas.com/tren/read/2021/01/11/075600365/aturan-lengkap-pembatasan-kegiatan-di-di-yogyakarta-berlaku-11-25-januari

Barua, S., & Nath, S. D. (2021). The impact of COVID-19 on air pollution: Evidence from global data. *Journal of Cleaner Production, 298*, 126755. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126755

Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. *Basis data lingkungan hidup*. Diakses 27 Juli 2025, dari https://lingkunganhidup.jogjakota.go.id/page/index/basis-data-lingkungan-hidup

Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. (2021). *Laporan Analisis Kualitas Udara Kota Yogyakarta Tahun 2021*. Yogyakarta: Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta.

Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman. (2019). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2019*. Yogyakarta: Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman.

Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman. (2020). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2020*. Yogyakarta: Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman.

Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman. (2021). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2021*. Yogyakarta: Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman.

Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman. (2022). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2022*. Yogyakarta: Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman.

Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman. (2023). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2023*. Yogyakarta: Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman.

Dinas Kesehatan Daerah Istimewa Yogyakarta. (2020). *Pelaksanaan status tanggap darurat bencana COVID-19*. Dinas Kesehatan DIY.

Esfahbodi, A., & Shafipoor, M. (2017). Evaluation and measurement of CO, SO_2, NO_2 and particles in parking area of Imam Reze Shrine. Journal of Environmental Science Studies, 1(3), 19-24.

Faidah, D. Y. (2016, October). Penerapan geofraphically weighted regression pada lapisan ozon sebagai early warning bencana di Indonesia. In Prosiding Seminar Nasional *(E-JOURNAL)* (Vol. 5, pp. SNF2016-EPA).

Faudzan, A., Suryani, S., & Budiawati, T. (2015). Perbandingan metode inverse distance weighted (idw) dengan metode ordinary kriging untuk estimasi sebaran polusi udara di bandung. eProceedings of Engineering, 2(2).

Faza, A., Ratna, S., & Adi, W. (2019). Pemodelan spasial distribusi karbon monoksida di Kota Bandung. Jurnal Geografi Lingkungan Tropik (Journal of Geography of Tropical Environments),

Green Facts. 2005. Air pollution Nitrogen Dioxide. https://www.greenfacts.org/en/nitrogen-dioxide-no2/index.htm#1.

Indrawati, A., Tanti, D. A., Cholianawati, N., Sofyan, A., & Cahyono, W. E. (2021). *Perbandingan tingkat kadar gas SO_2 dan NO_2 di udara ambien antara metode pasif dan metode aktif (Studi kasus: Kota Jakarta)*. Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN).

Irawan, A., Riyandini, V. L., & Widyastuti, N. (2021). Analisis kualitas udara karbonmonoksida (CO) di Kota Padang akibat kebijakan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) dengan metode AQMS. *CIVED (Journal of Civil Engineering and Vocational Education)*, 8(3), 141–148.http://ejournal.unp.ac.id/index.php/cived/article/view/110679

Istirokhatun, T., Ratnasari, E. N., & Utomo, S. (2016). Kontribusi Parameter Meteorologi dan Kondisi Lalu Lintas Terhadap Konsentrasi Pencemar NO_2 di Kota Semarang. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, *13*(2), 48-56.

Istirokhatun, T., Agustini, I. T., & Sudarno, S. (2016). Investigasi pengaruh kondisi lalu lintas dan aspek meteorologi terhadap konsentrasi pencemar SO_2 di Kota Semarang. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, *13*(1), 21-27.

Janna, N. M., & Herianto, H. (2021). Konsep uji validitas dan reliabilitas dengan menggunakan SPSS. Makasar: Universitas Negeri Makassar.

Jannah, M, S, N. (2024). *Studi Relasi Antara Parameter Meteorologi Dengan Tingkat Pencemaran Udara Secara Spasial di Kota Yogyakarta*. Yogyakarta:Universitas Islam Indonesia.

Jodi, A. S. (2020). *Perbandingan metode sampling aktif dan pasif dalam penentuan kadar nitrogen dioksida (NO_2) dan sulfur dioksida (SO_2) di sekitar kawasan industri*. Fakultas Teknik, Universitas Satya Negara

Jakarta.

Kamal, M. R. S., Satria, R. A., Pasha, F. G., & Way, B. (2025). Pola dan pemodelan prediksi perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Sleman sebagai wilayah peri-urban [Patterns and prediction modeling of land use change in Sleman Regency as a peri-urban area]. *Jurnal Desa dan Kota*, *7*(1), 44–58. https://doi.org/10.20961/desa-kota.v7i1.86128

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara*. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.

Khasanah, E. N., Pramudya, Y., & Okimustava, M.(2021) Quantum GIS. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Kumari, P., & Toshniwal, D. (2020). Impact of lockdown on air quality over major cities across the globe during COVID-19 pandemic. *Urban Climate*, *34*, 100719. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100719

Kusumawati, R. D. (2025). *Analisis Dispersi Nitrogen Dioksida (SO2) Udara Ambien di Kawasan Budaya, Kota Yogyakarta Menggunakan Pemodelan AERMOD* . Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Laimeheriwa, B. M. (2017). Mekanisme Fiksasi Karbon, Fiksasi Nitrogen dan Metabolisme Fosfat di Laut. *Academia Edu*, *1*(1), 1-24.

Lutfia, K. I. (2025). *Analisis Dispersi Sulfur Dioksida (SO2) Udara Ambien di Kawasan Budaya, Kota Yogyakarta Menggunakan Pemodelan AERMOD*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Melya, W. (2025). *Analisis Hubungan Antara Parameter Meteorologi dengan Indeks Kualitas Udara dan Indeks Standar Pencemar Udara di Yogyakarta*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Mukhtar, R., Aprishanty, R., & Fauzy, R. (2018). Perhitungan Indeks Kualitas Udara DKI Jakarta Menggunakan Berbagai Baku Mutu. *Ecolab*, *12*(1), 32-41.

Novianto, H., Azis, M. M., & Arini, H. M. (2022). Analisis perubahan sistem kualitas udara Kota Yogyakarta pada masa pandemi COVID-19. *Jurnal Rekayasa Proses, 16(2), 76-89.*

Nurlaili, D, K & Hendrasarie, N. (2025). Analsisi Perbandingan Kualitas Udara Ambien (SO_2 dan NO_2) Pada Musim Kemarau dan Musim Hujan. *Jurnal Enviscience (Environment Science), 9(1), 17-28.*

Nurhidayat. S. A. (2020). Analisis Dampak Paparan Particulate Matter (PM10) di Kota Yogyakarta. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Oktaviani, M. A., & Notobroto, H. B. (2014). Perbandingan tingkat konsistensi normalitas distribusi metode kolmogorov-smirnov, lilliefors, shapiro-wilk, dan skewness-kurtosis. *Jurnal Biometrika dan kependudukan*, *3*(2), 127-135.

Pangaribowo, W. S., & Widyanti, N. N. W. (2021, 8 Desember). *PPKM Level 3 Nataru batal, Pemerintah Yogyakarta tetap terapkan sanksi untuk*. *Kompas*. https://travel.kompas.com/read/2021/12/08/091300627/ppkm-level-3-nataru-batal-pemerintah-yogyakarta-tetap-terapkan-sanksi-untuk

Pemerintah Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta, Dinas Kesehatan DIY. (2020, 20 Maret). Pelaksanaan status tanggap darurat bencana COVID-19. *Humas Pemda DIY*. Diakses pada 19 September 2025, dari https://dinkes.jogjaprov.go.id/berita/detail/pelaksanaan-status-tanggap-darurat-bencana-covid-19?utm_source=chatgpt.com

Pemerintah Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara* [Permen LHK No. P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020]. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.

Pemerintah Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Kementerian Sekretariat Negara.

Prasetya, A. P., & Hanum, K. Z. (2024). Transitioning Job Redesign: Dampak Perubahan Sistem Kerja pada Saat dan Sesudah Pandemi COVID-19. *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, *5*(3), 1711-1721.

Purnomo, H. (2018). Aplikasi metode interpolasi inverse distance weighting dalam penaksiran sumberdaya laterit nikel. *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi, Angkasa*

Rahmawati, V., Hayat, A. L., & Salam, A. (2024). Analisis dampak pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat di perkotaan. *SEMAR: Jurnal Sosial dan Pengabdian Masyarakat, 2(3), 17-24.*

Ramadhan, M. L. (2024). *Pola Distribusi Kualitas Udara Ambien Sebelum, Saat, dan Setelah Pandemi di Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Rizaldi, M. A., Azizah, R., Latif, M. T., Sulistyorini, L., & Salindra, B. P. (2022). Literature review: Dampak paparan gas karbon monoksida terhadap kesehatan masyarakat yang rentan dan berisiko tinggi. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, *21*(3), 253–265. https://doi.org/10.14710/jkli.21.3.253-265

Rumselly, K. U., Peluw, Z., & Jusuf, A. (2024). Tinjauan parameter temperatur, kecepatanangin dan nitrogen dioksida (NO_2) di Terminal Mardika Kota Ambon. Ventilator: *Jurnal Riset Ilmu Kesehatan dan Keperawatan, 2(4), 246–264.* https://doi.org/10.59680/ventilator.v2i4.1625

Safira, M. C., Fauzan, A., & Adhiwibawa, M. A. S. (2022). Interpolasi polutan nitrogen dioksida (NO_2) di Kota Yogyakarta dengan pendekatan Ordinary Kriging dan Inverse Distance Weighted. *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik, 14(2), 55–66*

Setyowati, R. D. N., Susilowati, F., Agung, T. S., & Sartika, E. R. D. (2021). Analisis dampak pandemi Covid-19 terhadap kualitas udara Kota Surabaya. *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial, 17(2), 165-171*

Sheilliarika, W. A., Maryani, S., & Efendi, H. (2021). Pengaruh membatasi mobilitas kereta api guna mencegah COVID-19 dengan uji-t berpasangan (Paired Sample T-Test). *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Pendidikan Matematika*, *12*(2), 43-48.

Shiddiq, R, R. (2025). *Studi Analisis Korelasi Antara Faktor Meteorologi Dengan Parameter $PM_{2,5}$, PM_{10} di Udara Ambien D.I.Y.* Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Sianipar, A. B., & Yuliani, F. (2017). *Optimalisasi Fungsi Papan Indeks Standar Pencemar Udara (Ispu) Oleh Dinas Lingkungan Hidup Dan Kebersihan Kota Pekanbaru* (Doctoral dissertation, Riau University).

Sihayuardhi, E. R., Brontowiyono, W., Maziya, F. B., & Hakim, L. (2021). The effect of the COVID-19 pandemic on ambient air quality in Yogyakarta urban area parameters SO_2, CO, and NO_2 with Inverse Distance Weighting (IDW). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 933*(1), 012013. *IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/933/1/012013*

Sianturi, R. (2025). Uji normalitas sebagai syarat pengujian hipotesis. *Jurnal Pembelajaran dan Matematika Sigma (JPMS)*, *11*(1), 1-14.

Sucitra, A. W. (2024). *Implementasi Mann Kendall Trend Test dalam Analisis Dampak Fenomena ENSO terhadap Curah Hujan di Provinsi Sulawesi Selatan* (Skripsi, Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa)

Sofian, S. R. A., Sudarti, & Handayani, R. D. (2022). Analisis korelasi curah hujan dan produktivitas tanaman hasil pertanian Kabupaten Jember. *Jurnal Pendidikan MIPA*, *12*(2), 287–296. https://doi.org/10.37630/jpm.v12i2.612

Subagiyo, H., Tri Wahyuni, R., Akbar, M., & Ulfa, F. (2020). Rancang Bangun Sensor Node Untuk Pemantauan Parameter Kualitas Udara. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri, 18(1), 72-79.*

Suhardono, S., Sari, M. M., & Septiariva, I. Y. (2022). *Analisa perbedaan kualitas udara berdasarkan parameter nitrogen dioksida dan sulfur*

dioksida sebelum dan saat pandemi COVID-19 di Kota Surakarta, Indonesia. *Jurnal Sains dan Inovasi (JSI), 1*(2), 49–57. Universitas Pertamina.

Sulistiyono, A., Hartanto, H., Fathuroyan, F., Saputra, D., & Arifin, I. B. (2019). *Studi profil ozon permukaan (O3) dan gas karbon monoksida (CO) antara Kota Bandung dan Bukit Kototabang tahun 2008*. *Jurnal Ilmu Lingkungan, 17*(2), 239–244. ISSN 1829-8907.

Tamara, W. (2020). Menguji perbandingan rata-rata produksi tanaman padi di sawah menurut kecamatan pada tahun 2017-2018 di Kabupaten Langkat. *Jurnal Gamma-Pi*, *2*(1), 7-11.

Takuloe, S. R. R., Jusuf, H., Nakoe, M. R., & Arsad, N. (2023). Risiko paparan sulfur dioksida (SO_2) pada petugas Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU). *Jambura Journal of Epidemiology*, *2*(2), 50–58. https://doi.org/10.56796/jje.v2i2.20345

Turyanti, A. (2011). Analisis Pengaruh Meteorologi Terhadap Konsentrasi PM_{10} menggunakan Regresi Lineaar Berganda. (Studi kasus: Daerah Dago Pakar dan Cisaranten, Bandung) [Analysis of the influence of meteorological factors to PM_{10} concentration using]. *Agromet, 25*(1), 29–36.

Tribun Jogja. (2021, 6 September). *Breaking News: PPKM diperpanjang 7-13 September 2021, Di Yogyakarta Turun ke Level 3.* Tribun Jogja. https://jogja.tribunnews.com/2021/09/06/breaking-news-ppkm-diperpanjang-7-13-september-2021-bagaimana-di-yogyakarta

Warta Jogja Kota. (2021, 25 Februari). *Instruksi Walikota perpanjangan PPKM Mikro, Gerakan harus serentak.* Warta Jogja Kota.. https://warta.jogjakota.go.id/detail/index/13674

Warta Jogja Kota. (2021, 3 Juli). *Pemberlakukam pembatasan kegiatan masyaraakat darurat Covid-19 di Kota Yogyakarta.* Warta Jogja Kota.. https://warta.jogjakota.go.id/detail/index/15740

Warta Jogja Kota. (2021, 28 Juli). Pemberlakuan pembatasan kegiatan masyarakat level 4 periode 26 Juli–2 Agustus 2021. *Warta Jogja Kota*.

https://warta.jogjakota.go.id/detail/index/16302/pemberlakuan-pembatasan-kegiatan-masyarakat-level-4-periode-26-juli---2-agustus-2021-2021-07-28

Wandayantolis, W., Maslakah, F, A., & Nugroho, S. (2023). Diurnal Variations of Meteorological element To Fluctuation Of Air Quality Parameter. Journal of Environmental Science and Sustainable Development, 6(1), 34-49.

Widowati, & Sutoyo. (2009). Upaya mengurangi penipisan ozon. *Buana Sains*, *9*(2), 141–146. PS. Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Tribhuwana Tunggadewi.

Windi, W. A., Taufiq, M., & Muhammad, T. (2021). Implementasi wilcoxon signed rank test untuk mengukur efektifitas pemberian video tutorial dan ppt untuk mengukur nilai teori. *Produktif: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknologi Informasi*, *5*(1), 405-410.

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228

LAMPIRAN

Tabel 11 Rata-rata Nilai ISPU Parameter PM_{10}, SO_2, CO, dan O_3

	WAKTU	PM_{10}	SO_2	CO	O_3
sebelum pandemi covid-19	Agustus	22,9	4,3	72,7	15,1
	september	23,0	4,1	72,4	8,6
	oktober	18,2	6,0	55,3	6,0
	November	15,5	2,8	47,6	9,8
	desember	20,6	2,6	88,4	17,8
	januari	17,52	2,23	62,81	15,16
	Februari	21,72	2,21	56,28	17,41
	Maret	23,13	1,90	43,03	14,70
Saat pandemi covid-19	WAKTU	PM_{10}	SO_2	CO	O_3
	April	29,87	1,27	41,67	10,07
	Mei	20,06	1,13	27,45	5,68
	Juni	20,37	1,07	28,57	6,47
	Juli	20,87	0,87	25,74	11,06
	Agustus	22,5	0,5	16,5	17,1
	September	16,4	0,0	13,5	17,5
	Oktober	15,8	0,2	18,4	16,7
	November	14,0	0,4	20,6	27,8
	Desember	14,4	0,5	20,6	33,0
	januari	16	14	25	22
	Februari	19	21	23	35
	Maret	18	20	12	5
	April	19	17	12	24
	Mei	24	17	8	36
	Juni	24	33	11	27
	Juli	21		6	
	Agustus	16		4	
	September	15	10	8	13
	Oktober	13	6	8	18
	November	13	13	18	25
	Desember	18	12	19	9
Saat pandemi covid-19	WAKTU	PM_{10}	SO_2	CO	O_3
	januari	13,57	10,33	18,11	2,26
	Februari	9,56	14,29	22,74	19,56
	Maret	7,48	19,31	21,22	12,23

	April	13,23	22,68	23,62	4,93
	Mei	23,12	12,78	22,35	2,16
	Juni	22,95	2,59	23	1,87
	Juli	26,69	1,63	20,67	0
	Agustus	21,62	2,6	18,41	3,03
	September	17,05	13,13	9,52	18,7
	Oktober	8,44	11,98	9,95	12,63
	November	12,5	18,05	13,81	11,45
	Desember	15,62	23,23	21,21	19,92
	januari	13,3	12,6	14,6	17,4
	Februari	15,6	11,8	17,6	16,6
	Maret	20	13,9	19,3	15,5
	April	16,4	12,9	18,5	15
	Mei	19,2	14,1	19,6	12,5
	Juni	21,8	10,7	16,9	11
	Juli	19,2	6,3	15,7	6,9
	Agustus	30,7	15,9	16,4	17,6
	September	24,4	8,4	10,6	12,1
	Oktober	26,9	12,4	11,7	17,7
	November	14,7	14,2	10,7	12,3
	Desember	19,4	32,5	19,4	34,8

Tabel 12 Hasil Uji Mann-Kendall

Data set	tau-kendall		P-value	Signifikan
SO_2 (µg/m3) periode sebelum-saat pandemi covid-19	-0,002463054	tren turun	0,909903265	tidak signifikan
SO_2 (µg/m3) periode saat-sesudah pandemi covid-19	0,216748768	tren naik	0,100994679	tidak signifikan
PM_{10} (µg/m3) periode sebelum-saat pandemi covid-19	-0,256157635	tren turun	0,052177194	tidak signifikan
PM_{10} (µg/m3) periode saat-sesudah pandemi covid-19	0,307881773	tren naik	0,019353476	signifikan
CO (µg/m3) periode sebelum-saat pandemi covid-19	-0,733990148	tren turun	0,000000022	signifikan
CO (µg/m3) periode saat-sesudah pandemi covid-19	-0,064039409	tanpa tren	0,637441608	tidak signifikan
O_3 (µg/m3) periode sebelum-saat pandemi covid-19	-0,064039409	tanpa tren	0,203592148	tidak signifikan

Data set	tau-kendall		P-value	Signifikan
O_3 (µg/m3) periode saat-sesudah pandemi covid-19	-0,202279202	tren turun	0,203592148	tidak signifikan

Tabel 13 Hasil Uji Shapiro Wilk

Shapiro-Wilk				Hipotesis
Data	Periode	W hitung	W Tabel	
SO_2	sebelum pandemi covid-19 (Agustus 2019- Maret 2020)	0,863	0,818	Berdistribusi normal
	Saat pandemi covid-19 (April 2020 - Desember 2021)	0,824	0,908	tidak berdistribusi normal
	Sesudah pandemi covid-19 (januari 2022- Desember 2023)	0,929	0,916	Berdistribusi normal
PM_{10}	sebelum pandemi covid-19 (Agustus 2019- Maret 2020)	0,881	0,818	Berdistribusi normal
	Saat pandemi covid-19 (April 2020 - Desember 2021)	0,946	0,908	Berdistribusi normal
	Sesudah pandemi covid-19 (januari 2022- Desember 2023)	0,983	0,916	Berdistribusi normal
CO	sebelum pandemi covid-19 (Agustus 2019- Maret 2020)	0,960	0,818	Berdistribusi normal
	Saat pandemi covid-19 (April 2020 - Desember 2021)	0,955	0,908	Berdistribusi normal
	Sesudah pandemi covid-19 (januari 2022- Desember 2023)	0,933	0,916	Berdistribusi normal
O_3	sebelum pandemi covid-19 (Agustus 2019- Maret 2020)	0,891	0,818	Berdistribusi normal
	Saat pandemi covid-19 (April 2020 - Desember 2021)	0,135	0,908	tidak berdistribusi normal
	Sesudah pandemi covid-19 (januari 2022- Desember 2023)	0,923	0,916	Berdistribusi normal

Tabel 14 Hasil Uji-t Berpasangan

Periode	T hitung	T tabel	perbedaan	Hipotesis
sebelum vs sesudah pandemi covid-19 (SO2)	-4,3789	2,3646	Ada Perbedaan Signifikan	H0 Ditolak
sebelum vs saat pandemi covid-19 (PM10)	4,0346	2,3646	Ada Perbedaan Signifikan	H0 Ditolak
saat vs sesudah pandemi covid-19 (PM10)	1,3644	2,3646	Tidak Ada Perbedaan Signifikan	H0 Diterima
sebelum vs sesudah pandemi covid-19 (PM10)	5,2910	2,3646	Ada Perbedaan Signifikan	H0 Ditolak
sebelum vs saat pandemi covid-19 (CO)	8,1552	2,3646	Ada Perbedaan Signifikan	H0 Ditolak
saat vs sesudah pandemi covid-19 (CO)	1,5171	2,3646	Tidak Ada Perbedaan Signifikan	H0 Diterima
sebelum vs sesudah pandemi covid-19 (CO)	9,0325	2,3646	Ada Perbedaan Signifikan	H0 Ditolak
sebelum vs sesudah pandemi covid-19 (O3)	-0,5883	2,3646	Tidak Ada Perbedaan Signifikan	H0 Diterima

Tabel 15 Hasil Uji Wilcoxon Signed Rank

Periode	W hitung	W tabel	perbedaan	Hipotesis
sebelum vs saat pandemi covid-19 (SO2)	15	3	Tidak Terdapat Perbedaan Signifikan	H0 Diterima
saat vs sesudah pandemi covid-19 (SO2)	8	3	Tidak Terdapat Perbedaan Signifikan	H0 Diterima
sebelum vs saat pandemi covid-19 (O3)	4	3	Tidak Terdapat Perbedaan Signifikan	H0 Diterima
saat vs sesudah pandemi covid-19 (O3)	8	3	Tidak Terdapat Perbedaan Signifikan	H0 Diterima

RIWAYAT HIDUP



Nama penulis adalah Reza Mella Sari, lahir dan besar di kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan pada 6 Januari 2003. Penulis merupakan putri ketiga dari bapak Asmiadi dan Ibu Martini. Pendidikan Menengah Pertama di tempuh di SMPN 1 Muara Enim kemudian penulis menyambung pendidikan menengah atas di SMAN 1 Unggulan Muara enim. Saat ini penulis sedang menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) dengan program studi Teknik lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan di Universitas Islam Indonesia.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan kampus seperti organisasi dan kepanitian. Pada tahun tahun 2022, penulis aktif sebagai anggota kepanitian Lintas Lingkungan (LILIN), lalu pada tahun yang sama penulis juga perpartisipasi sebagai anggota kepanitian Gelorasema. Pada tahun 2023 penulis dipercaya menjadi ketua Divisi Komsumsi dalam kepanitian Pekan Ta'aruf (PEKTA) yaitu kegiatan orientasi mahasiswa baru di tingkat fakultas. Selain aktif dalam kepanitian, penulis juga menjadi bagian dari Lembaga Eksekutif Mahasiswa (LEM) tingkat fakultas pada periode 2023. Pada tahun yang sama penulis juga terlibat dalam Tim Kerja Pengabdian Masyaarakat yaitu Zero Waste. Sebagai bagian dari proses akademik, pada tahun 2024 penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Bangka Asindo Agri yang berlokasi di Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung.