



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Analisis Dispersi Sulfur Dioksida (SO₂) Udara Ambien di Kawasan Budaya, Kota Yogyakarta Menggunakan Pemodelan AERMOD

Kendra Isma Lutfia
21513113

Dosen Pembimbing 1:
Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing 2:
Ana Uswatun Hasanah, S.Si.,M.T.

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



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Analysis of Ambient Air Sulfur Dioxide (SO₂) Dispersion in Cultural Area, Yogyakarta City Using AERMOD Modeling

Kendra Isma Lutfia

21513113

Supervisor 1:

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

Supervisor 2:

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

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Analisis Dispersi Sulfur Dioksida (SO_2) Udara Ambien di Kawasan Budaya, Kota Yogyakarta Menggunakan Pemodelan AERMOD

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.

Kendra Isma Lutfia
21513113

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 15 Mei 2025 dan disetujui oleh:



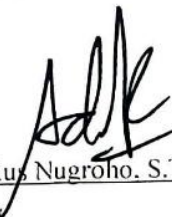
Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

(Pembimbing 1)



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

(Pembimbing 2)

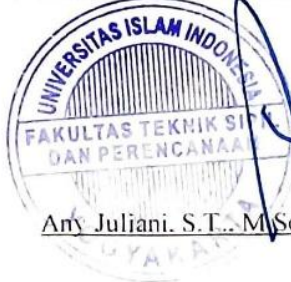


Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

(Penguji 1)

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana



Ary 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, 30 April 2025

Yang membuat pernyataan



Kendra Isma Lutfia

NIM:21513113

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 Dispersi Sulfur Dioksida (SO₂) Udara Ambien di Kawasan Budaya, Kota Yogyakarta Menggunakan Pemodelan AERMOD"**.

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. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, kelancaran, kesehatan, dan ilmu yang bermanfaat sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Yunus dan Ibu Supartini, atas doa, dukungan, kerja keras, dan segala pengorbanan yang tidak dapat diungkapkan dengan kata-kata. Serta kakak dan adik tersayang, Tatang Isma Artha Wiguna dan Adwa Isma Nismara, yang selalu menjadi sumber semangat dan dukungan dalam setiap langkah perjalanan ini.
3. Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T., dan Ibu Ana Uswatun Hasanah, S.Si.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, memberikan arahan, ilmu, serta motivasi yang sangat berarti dalam penyusunan tugas akhir ini.

4. Bapak Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang memberikan masukan guna membangun penulis serta saran-saran yang sangat bermanfaat untuk terselesaikannya tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen dan Laboran Laboratorium Teknik Lingkungan UII Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia telah memberikan ilmu, bimbingan, dan pengalaman berharga selama masa studi.
6. Teman-teman seperjuangan yang selalu mendukung dan memberi semangat Khasna, Yaya, Tarekh, Irham, Hafidz, Jessica, Tiara, Aldi, Biti, Puti, Alsa, Indah, Ica, Karin, Astin dan teman-teman MTs. Terima kasih atas semua kebersamaan, dukungan moral, serta semangat yang telah diberikan selama proses ini.
7. Sepupu tersayang, Nisya Hawariyun Maksura, yang selalu memberikan semangat, doa, dan dukungan dalam suka maupun duka.
8. Kepada diri sendiri, atas perjuangan tanpa henti, kesabaran, dan keteguhan dalam menghadapi setiap tantangan. Teruslah melangkah, tetap semangat, dan jangan pernah menyerah dalam meraih impian di fase kehidupan berikutnya.

Terima kasih kepada semua pihak yang sudah mendukung dalam penulisan 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

Yogyakarta, 30 April 2025

Kendra Isma Lutfia

Analisis Dispersi Sulfur Dioksida (SO₂) Udara Ambien di Kawasan Budaya, Kota Yogyakarta Menggunakan Pemodelan AERMOD

Mahasiswa : Kendra Isma Lutfia
NIM : 21513113
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing 1 : Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.,
Pembimbing 2 : Ana Uswatun Hasanah, S.Si.,M.T.,

ABSTRAK

Kawasan Budaya Kota Yogyakarta, khususnya Njeron Beteng, memiliki aktivitas lalu lintas tinggi yang berpotensi meningkatkan emisi SO₂ dari kendaraan bermotor. Penelitian ini menganalisis konsentrasi dan pola dispersi SO₂ menggunakan AERMOD. Penelitian ini bertujuan menghitung beban emisi kendaraan di ruas jalan Kawasan Budaya Kota Yogyakarta, mengukur konsentrasi SO₂ dengan impinger, menganalisis pola sebaran menggunakan AERMOD, serta memvalidasi hasil model dengan data pengukuran. Metode yang dilakukan meliputi pengukuran SO₂ dengan impinger di sejumlah ruas jalan, inventarisasi emisi kendaraan, serta pemodelan dispersi AERMOD dengan dukungan data meteorologi ERA-5. Hasil perhitungan emisi kendaraan menunjukkan kendaraan yang menggunakan bakar solar sebagai sumber utama emisi. Pengukuran langsung menggunakan impinger menunjukkan hasil konsentrasi SO₂ lebih tinggi pada hari kerja, dengan nilai tertinggi 86,21 µg/Nm³ di Jalan Panjaitan pada hari Kamis siang dan 43,76 µg/Nm³ di Jalan Bantul pada hari Selasa sore. Saat akhir pekan, konsentrasi tertinggi tercatat 32,40 µg/Nm³ di Jalan Panjaitan dan 23,24 µg/Nm³ di Jalan Bantul, dengan nilai terendah 10,81 µg/Nm³ di Jalan Bantul pada hari Sabtu pagi. Hasil pemodelan dispersi menunjukkan akumulasi polutan tertinggi di sekitar Jalan Panembahan Senopati dengan konsentrasi tertinggi yaitu 53 µg/m³, mempengaruhi angin barat ke timur. Validasi model menggunakan RMSPE menghasilkan nilai 17% di Jalan Panjaitan dan 30% di Jalan Bantul, rata-rata 24%, yang menunjukkan AERMOD cukup akurat dan dapat diterima untuk prediksi konsentrasi SO₂ satu jam di kawasan ini.

Kata kunci: Emisi Kendaraan, Kualitas udara, Kawasan Budaya Yogyakarta, Pemodelan AERMOD, Sulfur dioksida (SO₂).

Analysis of Ambient Air Sulfur Dioxide (SO₂) Dispersion in the Cultural Area, Yogyakarta City Using AERMOD Modeling

Student : Kendra Isma Lutfia
Student Number : 21513113
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor 1 : Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.,
Supervisor 2 : Ana Uswatun Hasanah, S.Si.,M.T.,

Abstract

The Cultural Area of Yogyakarta City, especially Njeron Beteng, has high traffic activity that has the potential to increase SO₂ emissions from motor vehicles. This study analyzed SO₂ concentrations and dispersion patterns using AERMOD. This study aims to calculate the vehicle emission load on the Yogyakarta City Cultural Area road, measure SO₂ concentrations with an impinger, analyze dispersion patterns using AERMOD, and validate model results with measurement data. The methods include SO₂ measurements with impingers on a number of roads, inventory of vehicle emissions, and AERMOD dispersion modeling with the support of ERA-5 meteorological data. The results of vehicle emission calculations show vehicles that use diesel fuel as the main source of emissions. Direct measurements using an impinger showed higher SO₂ concentrations on weekdays, with the highest values of 86.21 µg/Nm³ on Jalan Panjaitan on Thursday afternoon and 43.76 µg/Nm³ on Jalan Bantul on Tuesday afternoon. On weekends, the highest concentrations were recorded at 32.40 µg/Nm³ at Jalan Panjaitan and 23.24 µg/Nm³ at Jalan Bantul, with the lowest value of 10.81 µg/Nm³ at Jalan Bantul on Saturday morning. The dispersion modeling results showed the highest accumulation of pollutants around Jalan Panembahan Senopati with the highest concentration of 53 µg/m³, influenced by west to east winds. Model validation using RMSPE resulted in values of 17% at Jalan Panjaitan and 30% at Jalan Bantul, averaging 24%, indicating AERMOD is sufficiently accurate and acceptable for one-hour SO₂ concentration predictions in this area.

Keywords: *Vehicle Emissions, Air quality, Yogyakarta Cultural District, AERMOD Modeling, Sulfur dioxide (SO₂).*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	iv
PRAKATA.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Komposisi Udara Ambien.....	7
2.2 Pencemaran Udara.....	7
2.3 Sumber Pencemaran Udara: Antropogenik dan Alami	8
2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Fenomena Pencemaran Udara.....	10
2.6 Sulfur Dioksida SO ₂	11
2.6.1 Sumber Emisi SO ₂	11
2.6.2 Karakteristik dan Sifat Fisik SO ₂	12

2.6.3 Baku Mutu Parameter Gas SO ₂	13
2.6.4 Dampak Kesehatan dari Paparan SO ₂	14
2.6.5 Dampak SO ₂ Terhadap Lingkungan	15
2.7 Era 5	16
2.8 Metode Gaussian	17
2.9 AERMOD.....	17
2.10 Penelitian Terdahulu.....	19
BAB III	25
METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	26
3.2.1 Lokasi Penelitian	26
3.2.2 Waktu Penelitian	28
3.3 Pengumpulan data	29
3.3.1 Jenis Data	29
3.3.2 Pengambilan Sampel	32
3.3.3 Pengujian Laboratorium	33
3.4 Analisis data	35
BAB IV	46
HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA.....	46
4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian	46
4.2 Hasil Sampling Perhitungan Volume Kendaraan.....	47
4.3 Perhitungan Inventarisasi Emisi.....	53
4.4 Hasil Sampling Meteorologi Gas SO ₂	56
4.5 Hasil Perhitungan Sampling Gas SO ₂	57

4.6 Perbandingan Sampling dengan Pemodelan AERMOD	71
4.7 Hasil Validasi Model	71
KESIMPULAN DAN SARAN	74
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	83
RIWAYAT HIDUP	129

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien Sulfur Dioksida (SO ₂)	14
Tabel 2.2 Kadar SO ₂ dan Dampaknya	15
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3.1 Lokasi Jalan Penelitian.....	28
Tabel 3.2 Titik Pemantauan Kamera CCTV	30
Tabel 3.3 Titik Sampling Konsentrasi SO ₂	31
Tabel 3.4 Pengumpulan Data Primer dan Data Sekunder.....	32
Tabel 3.5 Faktor Emisi Kendaraan Umum	36
Tabel 4.1 Volume Lalu Lintas	49
Tabel 4.2 Jumlah Kendaraan Pada Jalan Primer.....	52
Tabel 4.3 Kondisi Meteorologi Jalan Primer	56
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Langsung Konsentrasi SO ₂	58
Tabel 4.5 Data Line Area Source	63
Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Konsentrasi Gas SO ₂ Model dan Sampling	71
Tabel 4.7 Perhitungan Akurasi Model Dengan Metode RSMPE	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Berfikir Penelitian.....	3
Gambar 2.1 Komposisi Gas Utama Dalam Udara Kering	7
Gambar 2.2 Tampilan Software AERMET dan AERMOD.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian	27
Gambar 3.3 Kurva Kalibrasi	34
Gambar 3.4 Skema Alat Penjerap SO ₂	37
Gambar 3.5 Alur Pengambilan Sampel.....	37
Gambar 3.6 Alur Standarisasi Larutan.....	38
Gambar 3.7 Alur Penentuan Konsentrasi Polutan	39
Gambar 3.8 Alur pembuatan Kurva Kalibrasi	40
Gambar 3.9 Alur Pengujian Sampel.....	41
Gambar 3.10 Tahapan Aliran Data Dalam Pemodelan AERMOD.....	44
Gambar 4.1 Rekapitulasi Rata-Rata Perhitungan Volume Kendaraan	50
Gambar 4.2 Perbandingan Volume Kendaraan Berdasarkan Jenis.....	51
Gambar 4.3 Tingkat Emisi Jenis Kendaraan di Lokasi Pengukuran.....	53
Gambar 4.4 Akumulasi Total Emisi Setiap Jalan	54
Gambar 4.5 Perbandingan Rata-Rata Volume dan Emisi Kendaraan.....	55
Gambar 4.6 Konsentrasi SO ₂ Hari Kamis dan Minggu di Jalan DI Panjaitan.....	59
Gambar 4.7 Konsentrasi SO ₂ Hari Sabtu dan Selasa di Jalan Bantul	59
Gambar 4.8 Tutupan Lahan Daerah Penelitian	63
Gambar 4.9 Mawar Angin Berdasarkan Data Meteorologi	65
Gambar 4.10 Distribusi Frekuensi Kelas Kecepatan Angin Lokasi Pengukuran .	66
Gambar 4.11 Peta Sebaran Konsentrasi SO ₂ Selama 1 jam.....	66
Gambar 4.12 Pola Sebaran Polutan SO ₂ Menuju Panggung Krapyak.....	69
Gambar 4.13 Pola Sebaran Polutan SO ₂ Menuju Malioboro	69
Gambar 4.14 Pola Sebaran Polutan SO ₂ Alun-Alun Selatan	70
Gambar 4.15 Pola Sebaran Polutan SO ₂ Jokokaryan.....	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh Perhitungan Inventarisasi Emisi	83
Lampiran 2 Contoh Perhitungan Sampling Gas SO ₂	84
Lampiran 3 Contoh Perhitungan RMSPE	86
Lampiran 4 Data Inventarisasi Emisi	87
Lampiran 5 Data Meteorologi Sampling Lapangan	89
Lampiran 6 Data Discrete Receptor Output	90
Lampiran 7 Data KepWal Jalan Penelitian	120
Lampiran 8 Dokumentasi Kegiatan Pengambilan Sampel	121
Lampiran 9 Dokumentasi Pengujian Laboratorium Kualitas Lingkungan	126
Lampiran 10 Dokumentasi CCTV Jalan Kota Yogyakarta	127
Lampiran 11 Dokumentasi Perhitungan Jumlah Kendaraan	128

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas udara adalah aspek yang penting dalam mempengaruhi kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan secara global. Menurut data dari *World Health Organization* (WHO), lebih dari 90% populasi dunia menghirup udara yang tercemar, dan sekitar 7 juta kematian setiap tahun dikaitkan dengan paparan polutan udara seperti partikel halus (PM_{2.5}) nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂) (WHO, 2020). Polutan-polutan ini berasal dari berbagai sumber antropogenik, termasuk transportasi, industri, dan pembakaran bahan bakar fosil. Akumulasi emisi dari sumber-sumber tersebut menyebabkan penurunan kualitas udara ambien yang berdampak pada kesehatan masyarakat dan kerusakan lingkungan. Salah satu polutan udara yang memiliki dampak signifikan adalah sulfur dioksida (SO₂). Paparan jangka panjang terhadap SO₂ dapat menyebabkan gangguan pernapasan kronis, penyakit kardiopulmoner, iritasi saluran pernapasan, serta memperparah penyakit seperti asma. Selain itu, SO₂ berkontribusi pada pembentukan hujan asam yang merusak ekosistem perairan, mengganggu pertumbuhan vegetasi, dan mempercepat degradasi infrastruktur (Rejeki Takuloe dkk., 2023).

Di Indonesia, sebagai negara dengan jumlah penduduk yang besar dan tingkat urbanisasi yang tinggi, isu pencemaran udara menjadi salah satu tantangan utama, terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, dan Yogyakarta. Aktivitas ekonomi yang masif dan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor menyebabkan peningkatan emisi udara yang signifikan, khususnya dari sektor transportasi (Santoso dkk., 2020).

Kota Yogyakarta merupakan salah satu kota dengan kepadatan aktivitas masyarakat yang tinggi, tidak hanya sebagai pusat pendidikan dan pemerintahan, tetapi juga sebagai destinasi pariwisata budaya. Kawasan Njeron Beteng, yang merupakan inti kota tua Yogyakarta, mencakup berbagai situs budaya dan sejarah seperti Keraton Yogyakarta, Taman Sari, dan Alun-Alun Utara dan Selatan, serta menjadi tempat utama yang menarik wisatawan lokal maupun mancanegara.

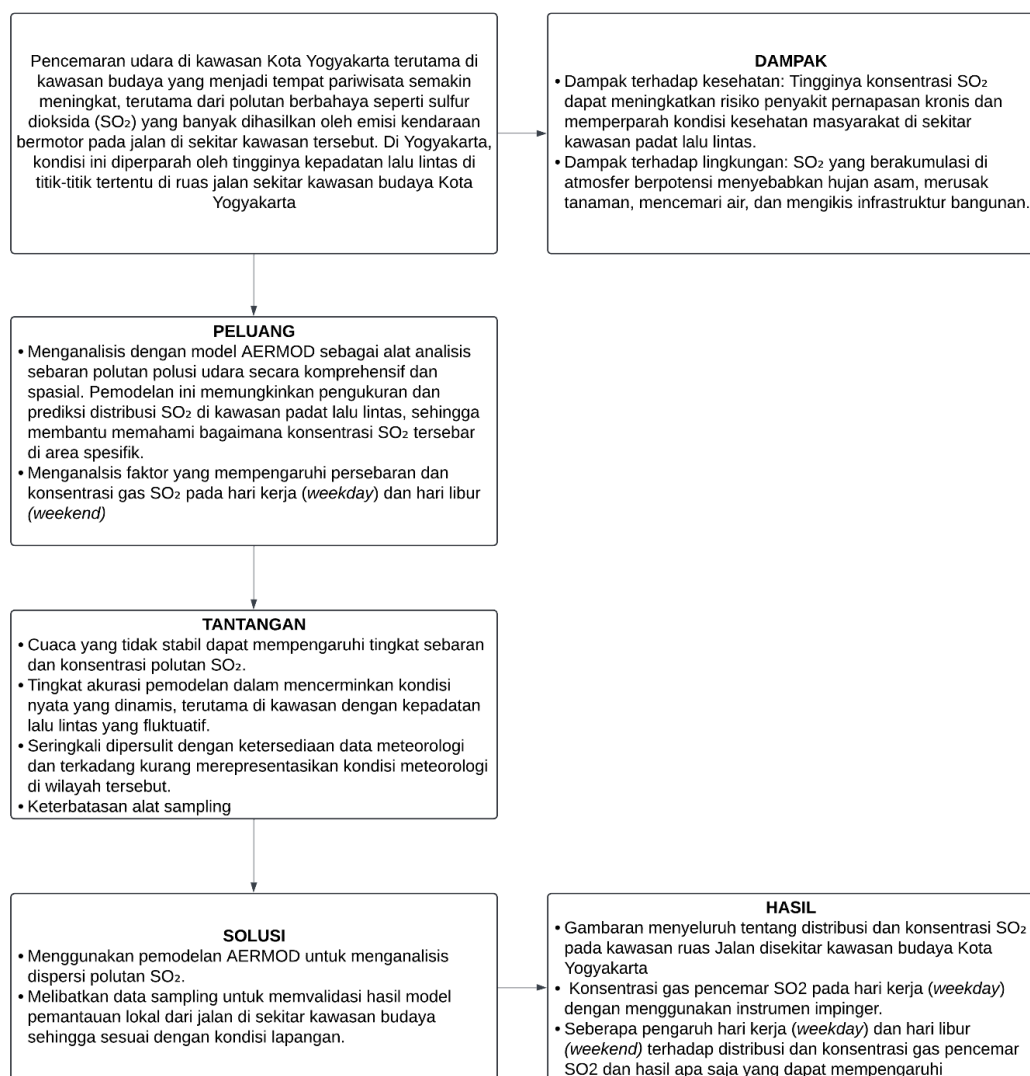
Tingginya mobilitas di kawasan ini menyebabkan volume lalu lintas yang padat sepanjang hari, sehingga meningkatkan emisi dari kendaraan bermotor, termasuk emisi SO_2 . Peningkatan emisi SO_2 di kawasan padat seperti Njeron Beteng menimbulkan risiko kesehatan bagi penduduk dan wisatawan, serta ancaman terhadap kelestarian situs-situs budaya akibat dampak jangka panjang dari hujan asam. Oleh karena itu, analisis terhadap konsentrasi dan sebaran SO_2 di kawasan ini menjadi penting sebagai dasar pengendalian polusi udara.

Pemantauan kualitas udara di Yogyakarta saat ini dilakukan melalui Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU) yang dikelola oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), dengan lokasi di Gedongkuning dan Wedomartani. Namun, cakupan pemantauan ini masih terbatas dan belum mampu merepresentasikan kondisi udara secara menyeluruh di seluruh wilayah kota, termasuk kawasan padat seperti Njeron Beteng. Untuk itu, diperlukan metode tambahan yang dapat memberikan gambaran spasial konsentrasi polutan secara lebih menyeluruh.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah pemodelan dispersi polutan menggunakan *American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model* (AERMOD). AERMOD merupakan model yang mampu memprediksi penyebaran dan konsentrasi polutan berdasarkan data sumber emisi dan data meteorologi, seperti kecepatan dan arah angin, suhu, dan topografi (Katika & Karuchit, 2018). Model ini efektif dalam memvisualisasikan sebaran polutan dari berbagai jenis sumber, termasuk sumber bergerak seperti kendaraan bermotor. Pemodelan dengan AERMOD telah digunakan dalam berbagai studi untuk menganalisis dampak pencemaran udara di kawasan perkotaan. Misalnya, Zaky dkk. berhasil menggunakan pendekatan *line source modeling* untuk mengidentifikasi emisi kendaraan bermotor sebagai penyumbang utama polusi udara, dengan konsentrasi NO_2 tertinggi di sepanjang Jalan Magelang, Yogyakarta. Namun, studi yang secara spesifik memodelkan dispersi SO_2 di kawasan padat lalu lintas seperti Njeron Beteng masih sangat terbatas.

Sebagian besar penelitian terdahulu, seperti Sarwono dkk. (2021), lebih berfokus pada pemodelan dispersi di kawasan industri menggunakan pendekatan

Gaussian, bukan pada jalan perkotaan yang memiliki karakteristik sumber emisi yang berbeda. Dengan demikian, penelitian ini menjadi penting karena belum banyak studi dan literatur yang mengeksplorasi penggunaan AERMOD untuk analisis untuk analisis spesifik distribusi SO_2 di Yogyakarta dengan mengintegrasikan data permukaan yang diperoleh dari data satelit. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dispersi polutan SO_2 di kawasan budaya kota Yogyakarta, menggunakan model AERMOD.



Gambar 1.1 Kerangka Berfikir Penelitian

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

- 1) Bagaimana nilai emisi SO_2 yang dihasilkan dari aktivitas kendaraan di ruas jalan area Kawasan budaya Kota Yogyakarta
- 2) Bagaimana tingkat konsentrasi polutan SO_2 di ruas jalan area Kawasan budaya Kota Yogyakarta berdasarkan hasil pengukuran menggunakan instrumen Impinger?
- 3) Bagaimana pola persebaran polutan SO_2 di area sekitar ruas jalan area Kawasan budaya Kota Yogyakarta berdasarkan model dispersi AERMOD?
- 4) Bagaimana tingkat akurasi hasil model dispersi AERMOD dalam memprediksi konsentrasi SO_2 dibandingkan dengan hasil pengukuran instrument impinger?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah yang di ajukan, tujuan penelitian ini mencakup :

- 1) Menghitung nilai beban emisi kendaraan di ruas jalan area Kawasan budaya Kota Yogyakarta.
- 2) Mengukur konsentrasi polutan SO_2 menggunakan alat Impinger serta membandingkan nilai konsentrasi tersebut antara hari kerja dan hari libur.
- 3) Menganalisis pola sebaran polutan SO_2 menggunakan model dispersi AERMOD.
- 4) Memvalidasi hasil model AERMOD dengan hasil pengukuran instrument impinger.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini sebagai berikut :

- 1) Memberikan data akurat mengenai beban emisi kendaraan di ruas jalan area Kawasan budaya Kota Yogyakarta yang dapat digunakan untuk merumuskan strategi pengendalian polusi udara.

- 2) Memberikan informasi mengenai konsentrasi SO_2 di ruas jalan area Kawasan budaya Kota Yogyakarta, ntuk memahami dampak langsung terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat di area tersebut.
- 3) Memberikan gambaran pola sebaran polutan SO_2 dengan menggunakan model AERMOD, untuk memahami penyebaran polusi di wilayah yang lebih luas dan mengidentifikasi area dengan konsentrasi polutan tinggi.
- 4) Memberikan hasil validasi model AERMOD dengan pengukuran langsung menggunakan instrument impinger, yang dapat meningkatkan keakuratan hasil pemodelan dan memastikan analisis kualitas udara yang lebih tepat.
- 5) Memberikan dasar untuk kebijakan mitigasi polusi, seperti pengaturan lalu lintas atau langkah pengendalian emisi, guna meningkatkan kualitas udara dan kesehatan masyarakat di kawasan tersebut.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini mencakup

- 1) Lokasi Penelitian dilakukan di jalan disekitar Kawasan budaya Kota Yogyakarta yaitu Jl. Bantul, Jl. Suryowijayan, Jl. KH. Wahid Hasyim, Jl. Panembahan Senopati, Jl. Bridgen Katamso, Jl. Parangtiritis, Jl. MT. Haryono, Jl. DI. Panjaitan dan Jl. Mayjend Sutoyo.
- 2) Objek penelitian berfokus pada sumber emsisi dan analisis pola dispersi dan konsentrasi polutan sulfur dioksida (SO_2) dari kendaraan bermotor sebagai sumber utama emisi di sekitar kawasan budaya Kota Yogyakarta.
- 3) Jenis kendaraan yang dianalisis dalam penelitian ini antara lain kendaraan motor, mobil, bus, dan truk yang menggunakan bahan bakar fosil (solat dan bensin).
- 4) Perhitungan jumlah kendaraan akan dilakukan secara langsung melalui observasi lapangan dan pemantauan menggunakan kamera CCTV untuk memperoleh data.
- 5) Pengambilan data dilakukan pada hari kerja (Senin) dan hari libur (Minggu) dengan durasi satu jam pada waktu-waktu tertentu, yaitu pagi (08.00–09.00

WIB), siang (12.00–13.00 WIB), dan sore (16.00–17.00 WIB), untuk merepresentasikan kondisi selama 24 jam.

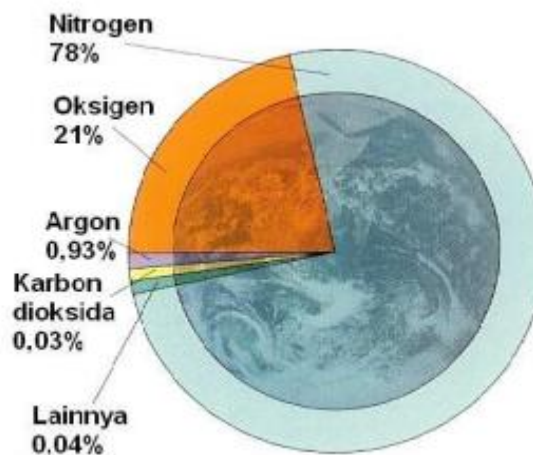
- 6) Penilaian kualitas udara dalam penelitian ini akan dibandingkan dengan baku mutu yang diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 terkait ambang batas konsentrasi sulfur dioksida (SO₂).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposisi Udara Ambien

Udara memiliki peran yang sangat penting bagi kehidupan manusia untuk mendukung proses pernapasan, menjaga keseimbangan suhu bumi, serta udara juga berperan penting dalam mendukung siklus alam seperti siklus karbon dan oksigen. Udara yang merupakan campuran gas yang mengelilingi bumi yang terdiri dari berbagai komponen, komposisi udara kering dan bersih di atmosfer yakni nitrogen (N_2) sebesar 78,09%, oksigen (O_2) 21%, argon (Ar) 0,93%, dan karbon dioksida (CO_2) 0,03% dan lainnya 0,04%. Selain itu udara juga mengandung uap air yang perubahan akumulasinya tergantung dari kondisi suhu dan tekanan lingkungan. (Damayanti Sima Sima Sohilauw dkk., 2023) Meskipun tampak tidak berwarna dan tidak berbau, perubahan komposisi udara dapat terjadi akibat dari polutan yang berasal dari aktivitas manusia dan faktor alami lainnya.



Gambar 2.1 Komposisi Gas Utama Dalam Udara Kering

Sumber : Romano, 2023

2.2 Pencemaran Udara

Setiap sektor yang menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi pasti menghasilkan emisi gas buang sebagai produk sampingan dari proses tersebut. Kendaraan bermotor merupakan salah satu kontributor utama pencemaran udara saat ini. Pencemaran udara dapat diartikan sebagai masuknya substansi berbahaya,

baik dalam bentuk padat, cair, maupun gas, ke atmosfer dalam jumlah yang cukup besar sehingga menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran udara terjadi ketika zat, energi, atau komponen lain masuk ke udara ambien akibat aktivitas manusia dan melebihi baku mutu udara ambien yang ditetapkan, menyebabkan lingkungan menjadi tidak sehat atau tercemar. Gas dari emisi kendaraan bermotor, seperti NO_2 dan SO_2 , dapat berbahaya bagi kesehatan manusia, terutama sistem pernapasan (Decy Arwini, 2020).

Dalam udara, terdapat dua kategori bentuk polutan yang berperan aktif terhadap pencemaran udara, yaitu bentuk aerosol dan bentuk gas. Aerosol biasanya merujuk pada partikulat yang berada di udara ambien dan bisa berbentuk cair maupun padat, yang jelas berbeda dengan bentuk gas atau uap di udara (Vallero & US Environment Protection Agency, 2015). Gas seperti SO_2 , NO_2 , O_3 , dan CO termasuk dalam golongan polutan berbentuk gas, sedangkan PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ termasuk dalam bentuk partikulat. Partikulat halus seperti $\text{PM}_{2,5}$ sangat berbahaya karena dapat masuk ke saluran pernapasan manusia hingga mencapai alveoli paru-paru, yang dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti asma, bronkitis, dan gangguan kardiovaskular. Selain itu, polutan gas seperti NO_2 dan SO_2 juga berperan dalam pembentukan pencemar sekunder, seperti ozon troposferik dan partikel sekunder, yang memperburuk kualitas udara serta memperluas dampaknya pada ekosistem dan kesehatan manusia.

2.3 Sumber Pencemaran Udara: Antropogenik dan Alami

Pada wilayah perkotaan, sebagian besar pencemar udara dikarenakan pembakaran sumber energi yang berkaitan dengan intensitas kegiatan manusia (*anthropogenic source*) di kawasan atau daerah yang bersangkutan dan dapat juga berasal dari sumber alami seperti gunung merapi, rawa-rawa dan kebakaran hutan. Namun perbandingan emisi pencemar dari dua sumber yang berbeda ini menunjukkan bahwa berbagai aktivitas kegiatan manusia menghasilkan pencemar yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan sumber alami yang hanya memberikan kontribusi terhadap konsentrasi latar di suatu kawasan dan tidak

memberikan dampak yang terlalu signifikan (Dewi, 2020). Jika dibedakan terdapat dua jenis sumber-sumber pencemar yang dikategorikan berdasarkan perilakunya di atmosfer yaitu :

1. Pencemar udara primer, komposisi udara primer tidak akan mengalami perubahan di atmosfer secara kimia maupun fisis semenjak diemisikan oleh sumber hingga dalam jangka waktu yang relatif lama (harian sampai tahunan). Contoh dari pencemar primer adalah CO, CO₂, NO₂, N₂O, TSP, SO₂, metana, senyawa halogen, partikel logam, dan lain-lain. Waktu tinggal yang dimiliki oleh senyawa tersebut tergolong lama karena sifatnya yang stabil terhadap reaksi kimia maupun fisika di atmosfer.
2. Pencemar sekunder tercipta di atmosfer sebagai hasil reaksi-reaksi seperti hidrolisis, oksidasi dan fotokimia. Contoh pencemar sekunder yang umum adalah ozon troposferik (O₃), yang terbentuk melalui reaksi fotokimia antara oksida nitrogen (NO₂) dan senyawa organik volatil (VOC) di bawah pengaruh sinar matahari. Selain itu, partikel-partikel kecil seperti PM_{2,5} juga dapat terbentuk dari reaksi gas-gas seperti sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen dioksida (NO₂) yang mengalami oksidasi dan kondensasi di atmosfer.

Selain itu, terdapat sumber pencemar yang dibedakan berdasarkan pola sebarannya yang dibagi menjadi beberapa kelompok yang ditetapkan oleh World Health Organisation (WHO, 2005), yaitu:

1. sumber pencemar udara menetap (*point source*), contoh dari sumber pencemar ini adalah asap pabrik instalasi pembangkit tenaga listrik, asap dapur, pembakaran sampah rumah tangga dan lain sebagainya.
2. sumber pencemar udara yang tidak menetap (*line source*) contoh dari sumber pencemar ini adalah gas buang kendaraan bermotor sepanjang jalan raya, pesawat udara, kereta api, kepulan asap bangunan industri tanpa cerobong asap sehingga emisinya menyebar secara memanjang serta kegiatan-kegiatan lain yang menghasilkan emisi dengan lokasi yang tidak menetap atau berpindah-pindah.

3. Sumber pencemar area (*area source*), contoh dari sumber pencemar ini berasal dari kumpulan pencemaran titik (*point source*) maupun sumber pencemaran tidak menetap (*line source*) yang diukur dengan melihat emisi gas pada batasan luas tertentu. contoh dari emisi yang berasal dari sumber ini yaitu gas dari kebakaran hutan yang luas dan penyebaran emisi yang terjadi di dalam satu area luasan.

2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Fenomena Pencemaran Udara

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya pencemaran udara sangat kompleks dan saling berkaitan. Pada dasarnya, faktor meteorologi memiliki peran penting dalam menentukan sebaran dan konsentrasi polutan di atmosfer dan berdampak pada kualitas udara dan kesehatan manusia. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya pencemaran udara antara lain

1. Kecepatan dan Arah Angin, berperan penting dalam mendistribusikan polutan di atmosfer. Kecepatan angin yang tinggi dapat membantu polutan tersebar lebih luas, sementara angin yang lemah atau stagnan dapat menyebabkan polutan terperangkap di area tertentu, meningkatkan konsentrasi pencemaran udara di lokasi tersebut.
2. Temperatur Udara, mempengaruhi kemampuan udara untuk menahan polutan. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju reaksi kimia di atmosfer, memperburuk pembentukan polutan sekunder seperti ozon troposferik (O_3), yang berbahaya bagi kesehatan manusia.
3. Stabilitas Atmosfer, menentukan sejauh mana polutan dapat tersebar secara vertikal. Pada kondisi atmosfer yang stabil, polutan cenderung terperangkap di lapisan bawah atmosfer, sementara pada kondisi atmosfer yang tidak stabil, polutan dapat tersebar lebih luas ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi.
4. Fenomena Inversi Suhu, terjadi ketika suhu udara di permukaan lebih rendah dibandingkan dengan suhu di lapisan atasnya, yang menyebabkan polutan terperangkap di lapisan bawah atmosfer. Hal ini dapat meningkatkan konsentrasi polutan di area tertentu dan memperburuk kualitas udara.

5. Radiasi Matahari, memengaruhi stabilitas atmosfer dan dapat berkontribusi pada proses fotokimia yang menghasilkan polutan sekunder, seperti ozon dan partikel sekunder, yang lebih berbahaya bagi kesehatan.

Faktor-faktor meteorologi ini berinteraksi dan saling mempengaruhi dalam menentukan sebaran, konsentrasi, dan dampak pencemaran udara di suatu wilayah (Salsabila dkk., 2023).

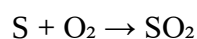
2.6 Sulfur Dioksida SO₂

Sulfur dioksida yang biasa dikenal umum dengan gas SO₂ merupakan senyawa berbentuk gas yang memiliki sifat fisik yang tidak memiliki warna namun aroma dari senyawa ini cukup menyengat. Di alam gas pencemar SO₂ terdispersi ke udara akibat dari erupsi gunung merapi namun faktor lain yang dapat meningkatkan akumulasi gas ini yaitu berasal dari aktivitas manusia (Amalia, 2022). Kondisi ini semakin memburuk seiring waktu karena meningkatnya akumulasi gas pencemar udara SO₂ dikarenakan pertumbuhan penduduk dan padatnya aktivitas manusia. Oleh karena itu, apabila gas SO₂ terus meningkat dan melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan akan menimbulkan beberapa efek pada makhluk hidup dan lingkungan.

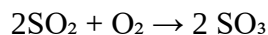
2.6.1 Sumber Emisi SO₂

Menurut Maharini (2017), sulfur oksida merupakan gas pencemar yang terbentuk di atmosfer melalui proses oksidasi senyawa sulfur tereduksi, baik dari sumber alami maupun aktivitas manusia. Dua bentuk utama sulfur oksida yang sering dijumpai adalah sulfur dioksida (SO₂) dan sulfur trioksida (SO₃), yang keduanya umumnya berasal dari proses pembakaran bahan bakar fosil atau biomassa yang mengandung sulfur.

Sulfur dioksida (SO₂) merupakan gas tidak berwarna dan berbau khas belerang. Namun, pada suhu di bawah 21°C, SO₂ dapat tampak berwarna coklat kekuningan dan mengeluarkan bau menyengat. Gas ini terbentuk melalui reaksi antara unsur sulfur (S) dan oksigen (O₂) saat pembakaran:



SO₂ di atmosfer dapat mengalami oksidasi lanjutan dan bereaksi dengan oksigen membentuk sulfur trioksida (SO₃) melalui reaksi:



Reaksi ini dapat berlangsung dengan bantuan katalis alami atau sinar matahari. Secara umum, emisi SO₂ berasal dari dua jenis sumber, yaitu sumber alami dan sumber buatan (antropogenik). Sumber alami mencakup letusan gunung berapi, pembusukan bahan organik oleh mikroba, dan proses reduksi sulfat secara biologis. Sementara itu, sumber buatan meliputi pembakaran bahan bakar fosil pada pembangkit listrik, industri, serta kendaraan bermotor dan alat rumah tangga. Gas SO₂ yang dilepaskan ke atmosfer kemudian mengalami dispersi, yakni penyebaran ke lingkungan sekitar yang dipengaruhi oleh faktor meteorologi seperti kecepatan dan arah angin, suhu udara, kelembapan, serta kondisi topografi. Dispersi ini memungkinkan gas bereaksi dengan oksigen dan membentuk SO₃, yang selanjutnya menyebar lebih luas dan dapat memberikan dampak negatif bagi kesehatan manusia dan kualitas lingkungan (Wibawa, 2019).

2.6.2 Karakteristik dan Sifat Fisik SO₂

Sulfur dioksida (SO₂) merupakan gas yang tidak berwarna, gas yang tidak dapat terbakar, dan memiliki bau tajam yang khas. Gas ini dapat dideteksi melalui indera perasa manusia pada konsentrasi sangat rendah, yaitu pada 0,3–1 ppm di udara, dengan ambang bau sekitar 0,5 ppm. Gas ini mempunyai sifat iritan, merangsang rasa pedas (pungent), dan dapat menimbulkan ketidaknyamanan pada saluran pernapasan.

Secara fisik, sulfur dioksida memiliki tingkat kelarutan yang rendah dalam air, tetapi kelarutannya meningkat ketika bertemu dengan larutan alkali. Reaksi kimia yang terjadi dengan air atau kelembapan udara dapat menghasilkan asam sulfit, yang kemudian dapat teroksidasi lebih lanjut menjadi asam sulfat, berkontribusi pada fenomena hujan asam. Hujan asam dapat memberikan

dampak buruk yang merusak lingkungan, seperti kerusakan vegetasi, perairan, dan bangunan.

Sebagai gas pencemar, sulfur dioksida memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia, terutama pada sistem pernapasan. Paparan jangka panjang terhadap gas ini meskipun dalam konsentrasi rendah, dapat memicu iritasi pada saluran pernapasan, memperburuk kondisi seperti terutama pada pengidap asma, bronkitis, dan penyakit paru obstruktif kronis (PPOK). Paparan pada konsentrasi tinggi dapat menimbulkan dampak yang lebih berbahaya, menyebabkan edema paru-paru dan efek toksik lainnya.

Sulfur dioksida merupakan salah satu gas pencemar udara pertama yang diakui sebagai pencemar fitotoksik, yaitu zat yang berkontribusi dalam merusak tumbuhan. Gas ini dapat menyebabkan efek penguningan daun, penurunan produktivitas tanaman, hingga kematian pada vegetasi tertentu bila konsentrasinya tinggi di udara. Penelitian oleh Singh dkk., (2012) menegaskan peran signifikan sulfur dioksida sebagai salah satu sumber pencemaran udara yang memerlukan perhatian besar dalam pengendaliannya, terutama di kawasan industri dan perkotaan dengan aktivitas emisi tinggi.

2.6.3 Baku Mutu Parameter Gas SO₂

Menurut Kurniawan (2019), Kualitas udara umumnya dapat dinilai dari konsentrasi pada parameter pencemaran udara menunjukkan nilai yang lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai Baku Mutu Udara Ambien Nasional. Batas kadar dari unsur pencemaran di udara yang dapat ditenggang keberadaannya dalam udara ambien biasa dikenal sebagai Baku Mutu Udara Ambien (BMUA). Udara ambien merupakan udara bebas pada atmosfer bumi yakni di lapisan troposfer. Untuk baku mutu udara ambien nasional terlampir pada Lampiran VII PP Nomor 22 Tahun 2021. Pemerintah Republik Indonesia telah menetapkan Baku Mutu Udara Ambien Nasional untuk menjaga kesehatan serta kenyamanan masyarakat. Baku Mutu Udara Ambien Nasional dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien Sulfur Dioksida (SO₂)

Parameter	Waktu	Baku Mutu	Sistem Pengukuran
Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 Jam	150 µg/m ³	Aktif Kontinu
	24 Jam	75 µg/m ³	Aktif Manual
	1 Tahun	45 µg/m ³	Aktif Kontinu

Sumber : PP Nomor 22 Tahun 2021

2.6.4 Dampak Kesehatan dari Paparan SO₂

Peningkatan konsentrasi tertentu gas pencemar Sulfur Dioksida yang disebabkan oleh proses pembakaran bahan bakar dapat meningkatkan potensi risiko penyebab kematian pada makhluk hidup terutama pada manusia yang setiap saat membutuhkan udara bebas. Menurut Muziansyah dkk (2015), gas pencemar berjenis Sulfur Dioksida dapat mengakibatkan dampak negatif untuk kesehatan manusia dapat bermula dari munculnya iritasi pada saluran pernafasan dan mengganggu fungsi dari paru-paru. Selain itu efek pajanan oleh Sulfur Dioksida pada kadar konsentrasi tertentu dapat mengakibatkan iritasi dan berujung pada kematian. Untuk efek berkepanjangan dari paparan Sulfur Dioksida ini secara signifikan akan meningkatkan potensi terkena penyakit berjenis diabetes tipe 2 bagi penduduk yang berusia 30 sampai 50 tahun. Beberapa kelompok rentan, termasuk perempuan, remaja, dan pekerja di lingkungan dengan polusi tinggi, mengalami dampak kesehatan yang lebih signifikan.

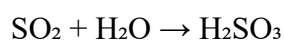
Menurut Survey yang dilakukan *World Health Organization* (WHO) pada tahun 2012, terdapat kisaran 7 juta orang meninggal setiap tahunnya yang diakibatkan oleh polusi udara. Pencemaran udara sudah menjadi faktor risiko terbesar dalam kesehatan dan setara dengan risiko kesehatan seperti merokok (WHO, 2018).

Tabel 2.2 Kadar SO₂ dan Dampaknya

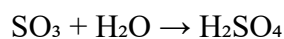
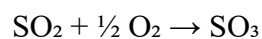
Kadar SO ₂	Satuan	Dampak Terhadap Manusia
3-5	Ppm	Kadar minimum yang dapat dideteksi baunya
8-12	Ppm	Kadar minimum yang segera memberikan efek iritasi pada tenggorokan
20	Ppm	Kadar minimum yang dapat mengiritasi mata
50-100	Ppm	Kadar maksimum yang diperbolehkan pada paparan singkat (+- 30 Menit)
400-500	Ppm	Sudah berbahaya meskipun dalam paparan waktu yang singkat

2.6.5 Dampak SO₂ Terhadap Lingkungan

Peningkatan konsentrasi Sulfur Dioksida (SO₂) tidak hanya berpengaruh terhadap kesehatan manusia, tetapi juga memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan, khususnya pada tumbuhan. Paparan gas SO₂ dapat mempengaruhi karakteristik morfologi, fisiologis, dan kadar biokimia tanaman. Dampak yang umum terjadi adalah terhambatnya laju pertumbuhan, penurunan aktivitas fotosintesis, berkurangnya kandungan klorofil, serta menurunnya kadar karotenoid pada jaringan tanaman (Cahyono, 2011). Secara kimiawi, gas SO₂ dapat bereaksi dengan uap air di atmosfer membentuk asam sulfit (H₂SO₃) melalui reaksi:

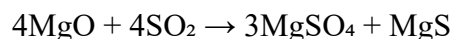


Selanjutnya, asam sulfit dapat teroksidasi di atmosfer membentuk asam sulfat (H₂SO₄), yang merupakan komponen utama dalam hujan asam. Proses ini terjadi dalam dua tahap, yakni:



Asam sulfat yang terbentuk ini dapat turun ke permukaan bumi sebagai hujan asam, yang dapat merusak infrastruktur bangunan, mencemari air tanah dan air permukaan, serta menurunkan produktivitas sektor pertanian (Wibawa,

2019). Selain itu, SO₂ juga dapat bereaksi dengan oksida logam yang terdapat di lingkungan membentuk garam sulfat. Contohnya adalah reaksi antara SO₂ dan magnesium oksida (MgO), yang menghasilkan magnesium sulfat (MgSO₄) dan magnesium sulfida (MgS), seperti pada reaksi berikut:



Reaksi-reaksi ini menunjukkan betapa reaktifnya gas SO₂ di atmosfer, serta bagaimana senyawa ini dapat memicu perubahan kimia yang berkontribusi besar terhadap pencemaran lingkungan secara menyeluruh.

2.7 Era 5

ECMWF Reanalysis 5th Generation (ERA5) merupakan sekumpulan data reanalisis cuaca global yang dikembangkan oleh *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Data ini memberikan informasi historis mengenai berbagai parameter atmosfer seperti suhu, angin, kelembapan, dan tekanan udara, dengan resolusi temporal yang tinggi. ERA5 tersedia dari tahun 1950 hingga saat ini, mencakup berbagai lokasi di seluruh dunia, dengan resolusi spasial sebesar 31 km. Data ERA5 dihasilkan melalui kombinasi model numerik atmosfer dan berbagai pengamatan yang terintegrasi, sehingga menyediakan informasi yang akurat dan konsisten tentang kondisi cuaca pada periode tertentu. Keunggulan ERA5 dengan kemampuannya dalam menyediakan data yang dapat digunakan untuk studi dispersi polutan dan pemodelan. Data ini membantu pemodelan dispersi polutan untuk memperkirakan konsentrasi polutan pada berbagai kondisi cuaca, termasuk pada jam-jam tertentu, hari, atau musim, sehingga memungkinkan prediksi yang lebih akurat dan representatif. Dengan menggunakan data meteorologi dari ERA5, juga dapat digunakan untuk menjalankan simulasi pemodelan dispersi yang lebih mendekati kondisi aktual di lapangan, terutama dalam analisis polusi udara yang bersifat jangka panjang atau multi-temporal.

2.8 Metode Gaussian

Metode Gaussian merupakan pendekatan matematis yang banyak digunakan dalam pemodelan dispersi polutan udara. Pendekatan ini mengasumsikan bahwa penyebaran polutan dari sumber emisi ke atmosfer mengikuti distribusi Gaussian (normal), yang berbentuk lonceng simetris, baik dalam arah horizontal maupun vertikal. Hal ini memungkinkan pemodelan konsentrasi polutan berdasarkan jarak dari sumber dan arah angin dominan. Dalam melakukan pemodelan menggunakan AERMOD, metode Gaussian diaplikasikan secara lebih kompleks dengan mempertimbangkan karakteristik atmosfer dan medan lokal. AERMOD mengintegrasikan data meteorologi permukaan dan ketinggian (upper air), seperti kecepatan dan arah angin, stabilitas atmosfer, suhu, serta fluks panas permukaan, untuk menghasilkan distribusi konsentrasi polutan yang lebih realistis.

Untuk emisi yang berasal dari lalu lintas kendaraan di jalan raya, AERMOD memungkinkan representasi sumber emisi sebagai line source atau area source dengan bentuk memanjang layaknya ruas jalan, bukan hanya point source seperti cerobong industri. Dalam pendekatan ini, AERMOD membagi jalur emisi menjadi beberapa segmen kecil yang masing-masing diperlakukan sebagai sumber emisi permukaan (Rouhi dkk., 2013).

2.9 AERMOD

American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD) merupakan sistem dari Pemodelan kualitas udara yang digunakan untuk memproyeksikan penyebaran emisi dari sumber polusi. Pemodelan ini menggunakan pendekatan Gaussian untuk memprediksi sebaran polutan udara di atmosfer, dengan mempertimbangkan fitur *Planetary Boundary Layer* (PBL) dan topografi area model (EPA, 2019). Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling mendukung untuk menghasilkan prediksi yang akurat mengenai konsentrasi polutan. Berikut adalah penjelasan mengenai komponen utama dalam sistem pemodelan AERMOD:

1. *Pre Processor* (AERMET), AERMET adalah komponen yang mempersiapkan data meteorologi yang dibutuhkan oleh AERMOD. Data

yang diproses oleh AERMET terdiri dari profil permukaan dan data atmosfer atas (*upper air*) yang akan digunakan untuk merepresentasikan kondisi atmosfer setempat. Data meteorologi ini dapat diperoleh dari model meteorologi seperti WRF (*Weather Research and Forecasting*), terutama untuk wilayah yang minim data meteorologi langsung. AERMET juga menghitung parameter lapisan batas, seperti tinggi pencampuran dan kecepatan gesekan, yang sangat penting untuk mengestimasi pola penyebaran polutan di atmosfer.

2. *Pre Processor* (AERMAP), AERMAP bertanggung jawab untuk memproses data elevasi atau kontur permukaan tanah. Biasanya, data ini diperoleh dari *Digital Elevation Model* (DEM) atau data dari NASA *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), yang menggambarkan topografi wilayah yang akan dimodelkan. Topografi yang tepat sangat mempengaruhi pola pergerakan dan penyebaran polutan yang diprediksi oleh AERMOD, karena medan yang kompleks dapat mempengaruhi arah dan jarak penyebaran polutan.
3. *Main Processor* (AERMOD), AERMOD adalah inti dari sistem pemodelan yang menggunakan pendekatan Gaussian untuk memprediksi sebaran polutan di atmosfer. Model ini memperhitungkan kondisi atmosfer seperti suhu, kelembaban, dan arah angin, serta faktor *Planetary Boundary Layer* (PBL) yang berperan dalam distribusi polutan. AERMOD dapat mensimulasikan penyebaran emisi dari sumber titik, area, atau volume di wilayah datar maupun kompleks, dengan mempertimbangkan dampak meteorologi pada penyebaran polutan. Sejak 2005, AERMOD menggantikan model ISC3 (*Industrial Source Complex*) yang sebelumnya digunakan oleh US.EPA.



Gambar 2.2 Tampilan Software AERMET dan AERMOD

Sumber : (Nirtha dkk., 2022)

Secara keseluruhan, AERMOD adalah sistem pemodelan yang sangat efektif untuk memproyeksikan penyebaran polutan, mengingat pentingnya komponen meteorologi dan topografi dalam analisis kualitas udara. Integrasi yang tepat antara AERMET, AERMAP, dan AERMOD akan menghasilkan prediksi yang lebih akurat mengenai dampak pencemaran udara terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan manusia (Nugroho & Sofyan, 2010).

2.10 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian telah menerapkan AERMOD dalam studi pencemaran udara untuk memodelkan distribusi dan konsentrasi polutan udara untuk menganalisis distribusi spasial dan temporal gas pencemar akibat lalu lintas atau aktivitas industri di wilayah tertentu. Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu terkait analisis dispersi gas pencemar udara yang mendukung penelitian ini, yang akan ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

NO.	PENELITI	JUDUL	HASIL
1.	(Amouzouvi dkk., 2020)	Evaluation of Pollutants Along the National Road N2 in Togo using the AERMOD Dispersion Model	Studi menggunakan model AERMOD di sepanjang Jalan Nasional N2 Togo menunjukkan bahwa polusi udara, terutama dari kendaraan bermotor, bervariasi dalam konsentrasinya. Konsentrasi sulfur dioksida (SO ₂) tercatat melebihi dua kali lipat ambang batas WHO, dengan rata-rata harian mencapai 42,41 µg/m ³ , yang mengindikasikan tingginya kandungan sulfur dalam bahan bakar yang digunakan. Sementara itu, konsentrasi nitrogen oksida (NO _x) dan partikel (PM) berada di bawah standar WHO, dengan nilai harian masing-masing sebesar 9,89 µg/m ³ dan 0,62 µg/m ³ . Temuan ini menekankan pentingnya pemantauan kualitas bahan bakar untuk menurunkan kandungan sulfur guna melindungi kesehatan dan lingkungan.

NO.	PENELITI	JUDUL	HASIL
2.	(Zaky dkk., n.d.)	Analisis Beban Pencemar Udara SO ₂ , NO ₂ Dan Hc Dengan Pendekatan Line Source Modeling (Studi Kasus Di Jalan Magelang Yogyakarta)	Pada penelitian ini mendapatkan hasil bahwa konsentrasi polutan tertinggi dari polutan SO ₂ , NO ₂ , dan HC yang tercatat yaitu NO ₂ pada pukul 12.00 WIB dengan konsentrasi sebesar 211,34 µg/m ³ an terdispersi di sepanjang jalan, meskipun tetap di bawah ambang batas udara ambien. Emisi terbesar berasal dari kendaraan truk/pikap, dengan estimasi beban mencapai 294 ton/tahun pada pagi hari, 299 ton/tahun pada siang hari, dan 142 ton/tahun pada sore hari, menunjukkan bahwa aktivitas kendaraan mempengaruhi konsentrasi NO ₂ sepanjang hari
3.	(Sarwono dkk., 2021)	Pemodelan Dispersi Emisi Udara SO ₂ Dan NO ₂ Dengan Menggunakan Persamaan Gaussian Pada Cerobong PLTU Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai konsentrasi SO ₂ tertinggi berdasarkan perhitungan dengan persamaan Briggs tercatat pada bulan Agustus, yaitu sebesar 7,782 µg/m ³ pada jarak 1000 meter. Sementara itu, perhitungan menggunakan persamaan Holland mengungkapkan konsentrasi SO ₂ tertinggi di bulan Desember, dengan nilai mencapai 33,195 µg/m ³ pada jarak yang sama. Untuk NO ₂ , konsentrasi tertinggi berdasarkan persamaan Briggs adalah 70,537 µg/m ³ yang terjadi di bulan Agustus, sedangkan dengan persamaan Holland, konsentrasi tertinggi tercatat di bulan Juli sebesar 184,92 µg/m ³ .

NO.	PENELITI	JUDUL	HASIL
4.	(Ramli dkk., 2023)	Air Quality Analysis and Dispersion Modelling by Using AERMOD for Ammonia (NH ₃) Parameters on Toll Roads in Makassar City	Dalam penelitian ini, pemodelan AERMOD digunakan untuk memprediksi dispersi amonia (NH ₃) di sekitar Jalan Tol Makassar, menunjukkan bahwa konsentrasi maksimum terjadi di T7 Tol Ir. Sutami (km 6-400) dengan nilai 13,3 g/Nm ³ untuk dispersi 24 jam, sementara minimum konsentrasi terdeteksi di T3 Tol Reformasi (km 4-600) dengan nilai 1,55 g/Nm ³ . Hasil ini menggambarkan pola penyebaran polutan yang dipengaruhi oleh kecepatan dan arah angin, dengan angin dominan yang bertiup ke arah timur dan tenggara pada kecepatan 1,94 hingga 3,89 m/s.
5.	(Irankunda dkk., 2022)	The Comparison Between In-Situ Monitored Data And Modelled Results Of Nitrogen Dioxide (NO ₂): Case-Study, Road Networks Of Kigali City, Rwanda	Penelitian ini menganalisis konsentrasi nitrogen dioksida (NO ₂) di jaringan jalan Kota Kigali, Rwanda, serta membandingkan data pemantauan langsung dengan hasil pemodelan AERMOD dan ISCST3. AERMOD memprediksi konsentrasi harian rata-rata 111,77 µg/m ³ dan tahunan 50,42 µg/m ³ , sementara ISCST3 menghasilkan nilai lebih tinggi, yakni harian 200,26 µg/m ³ dan tahunan 72,26 µg/m ³ . Data pemantauan menunjukkan konsentrasi tahunan NO ₂ antara 15,46–20,35 µg/m ³ , melebihi ambang batas WHO. Pemodelan menunjukkan konsentrasi tertinggi di tenggara Kigali, dekat jalan dengan lalu lintas padat. Hasil ini menegaskan bahwa penyebaran NO ₂ dipengaruhi angin dan topografi, serta lalu lintas sebagai sumber utama polusi.

NO.	PENELITI	JUDUL	HASIL
6.	(Ariati dkk., 2024)	Identifying The Influence Of Traffic Management On Vehicle Emissions And The Distribution Of Air Dispersion In The Makassar Port Area	Penelitian ini menunjukkan bahwa volume lalu lintas berpengaruh langsung terhadap emisi CO dan NOx. Sebelum manajemen lalu lintas diterapkan, konsentrasi CO mencapai 10.637 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan NOx 1.551 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Setelah pembatasan kendaraan berat diberlakukan, emisi CO turun menjadi 7.659 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan NOx menjadi 1.223 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Polutan juga dipengaruhi oleh arah angin Tenggara-Selatan yang meningkatkan konsentrasi di area tertentu. Pemodelan AERMOD terbukti efektif dalam memprediksi penyebaran polutan berdasarkan data meteorologi dan spasial.
7.	(Gibson dkk., 2013)	Dispersion Model Evaluation Of PM _{2.5} , NOx And SO ₂ From Point And Major Line Sources In Nova Scotia, Canada Using Aermod Gaussian Plume Air Dispersion Model	Penelitian ini mengevaluasi kinerja model dispersi AERMOD dalam memprediksi konsentrasi PM _{2.5} , NOx, dan SO ₂ dari sumber titik dan garis di Nova Scotia, Kanada, menggunakan data emisi 2004 pada empat wilayah: Halifax, Sydney, Pictou, dan Port Hawkesbury. Hasil menunjukkan AERMOD cukup akurat memprediksi konsentrasi SO ₂ tahunan dan bulanan di Halifax ($R^2 = 0,77$) dan Sydney ($R^2 = 0,68$), namun kurang akurat untuk prediksi per jam. Untuk PM _{2.5} dan NOx, prediksi kurang memadai, terutama di Halifax dan Pictou, karena emisi lokal seperti kendaraan dan debu jalan tidak diperhitungkan. Secara umum, konsentrasi polutan yang diprediksi berada di bawah standar kualitas udara meski sumber utama polusi telah dimasukkan dalam model.

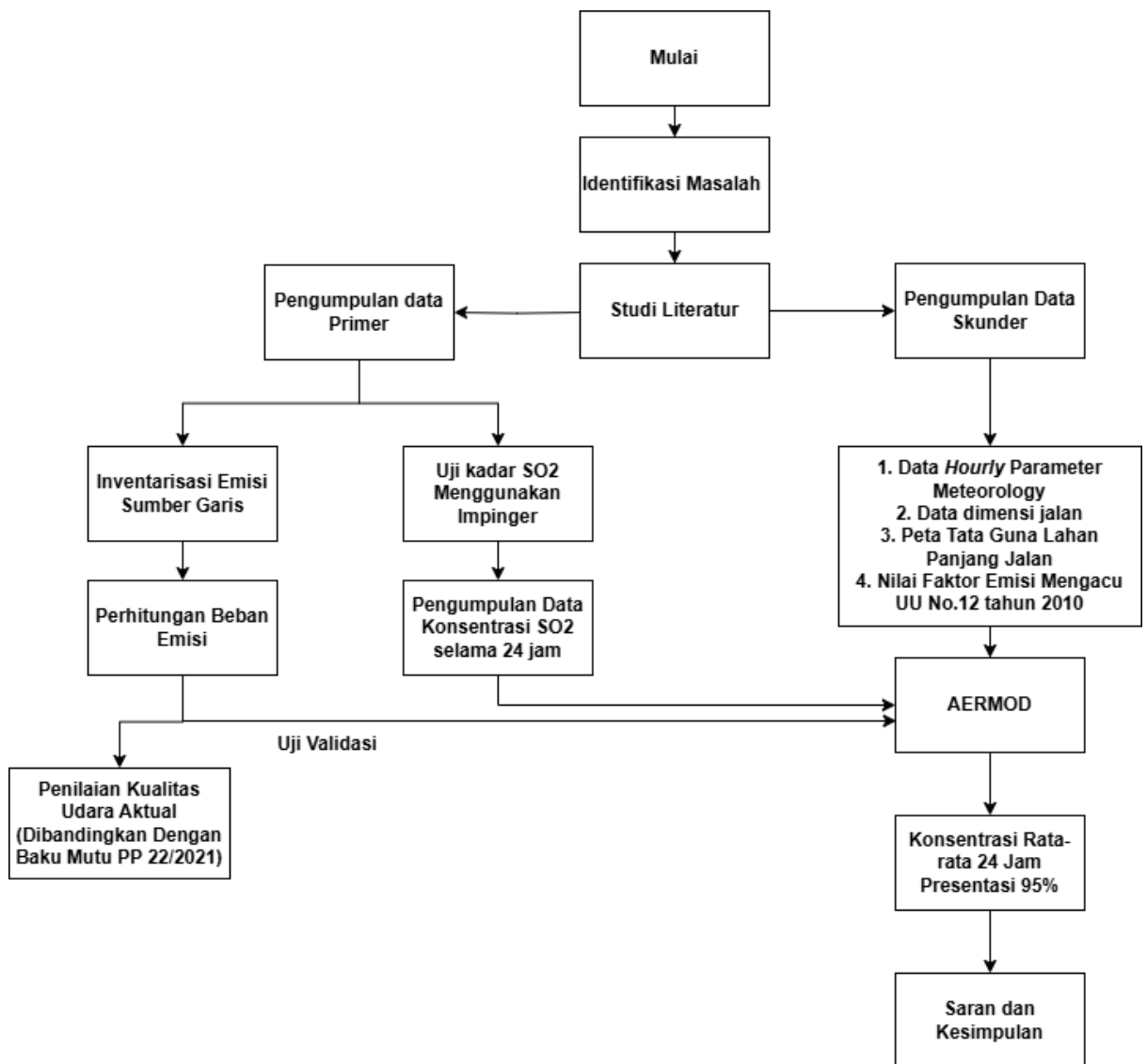
NO.	PENELITI	JUDUL	HASIL
8.	(Natsir dkk., 2018)	Penggunaan Aermod Untuk Kajian Simulasi Dampak Pencemaran Karbon Monoksida Di Kota Yogyakarta Akibat Emisi Kendaraan Bermotor	Penelitian ini menggunakan perangkat lunak AERMOD untuk mensimulasikan penyebaran karbon monoksida (CO) akibat emisi kendaraan bermotor di empat ruas jalan utama di Kota Yogyakarta pada Januari 2015, dengan memanfaatkan data meteorologi dari BMKG dan data lalu lintas lokal; hasilnya menunjukkan konsentrasi CO tertinggi pada Jalan Cik Di Tiro dengan kisaran 5.500–8.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan simulasi memprediksi kenaikan konsentrasi hingga $\pm 16.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada tahun 2025, yang mencerminkan dampak langsung peningkatan jumlah kendaraan terhadap kualitas udara

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir penelitian yang menunjukkan tahapan dalam proses analisis kualitas udara terkait konsentrasi SO₂, yang dilakukan melalui pengumpulan data primer dan sekunder, serta penggunaan model AERMOD untuk memprediksi sebaran polutan. Proses analisis dapat dilihat pada gambar 3.1.

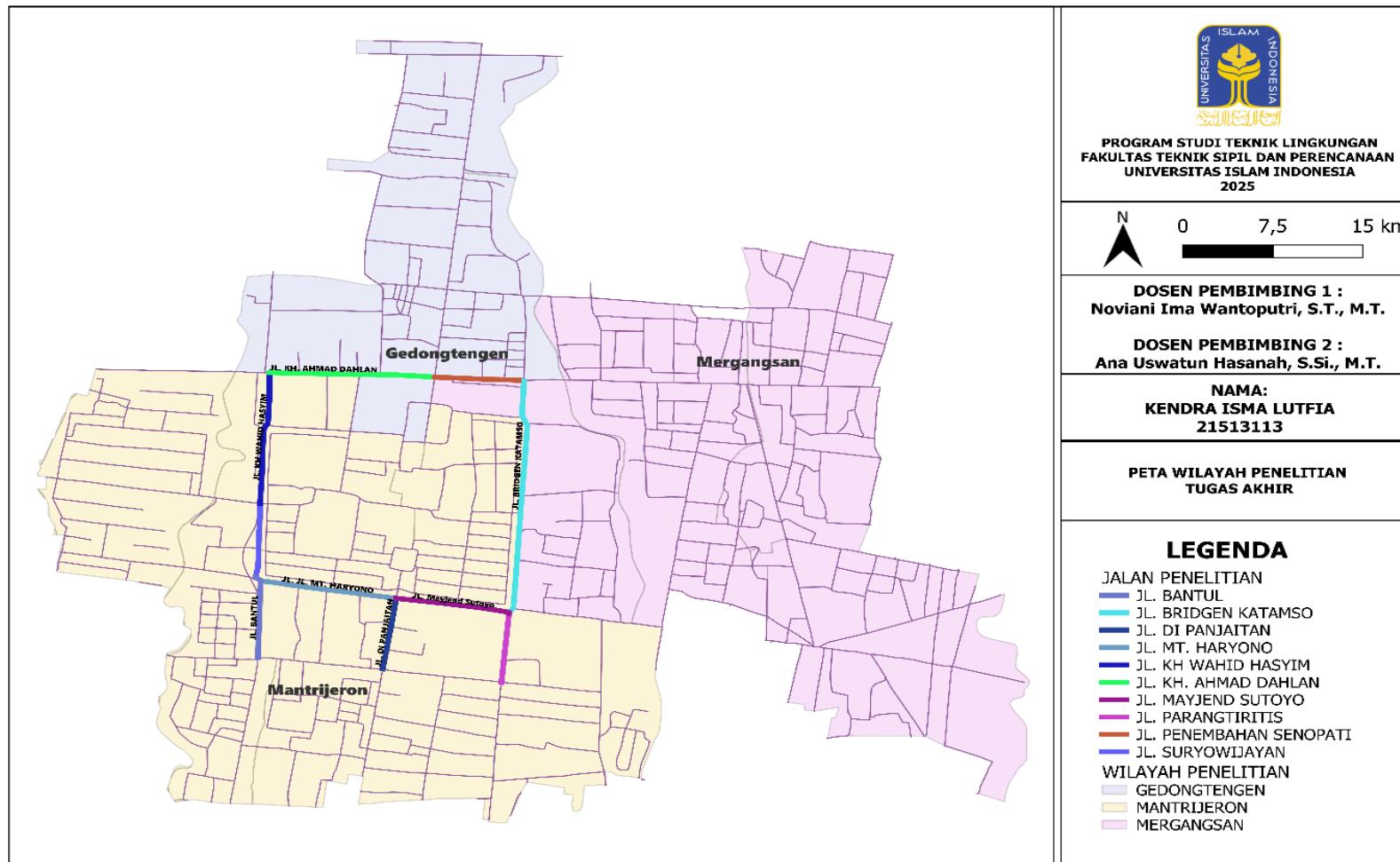


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Kawasan Wisata Budaya Yogyakarta, yang merupakan bagian dari Njeron Beteng, yaitu area di dalam benteng Keraton Yogyakarta. Kawasan ini mencakup beberapa situs budaya dan sejarah penting. Secara geografis, kawasan ini terletak di pusat Kota Yogyakarta dan menjadi tempat berlangsungnya berbagai kegiatan budaya, ekonomi, serta pariwisata. Aktivitas wisata di kawasan ini sangat tinggi sepanjang tahun, dengan ribuan wisatawan yang berkunjung. Hal ini menjadikan kawasan tersebut salah satu titik vital lalu lintas, terutama untuk kendaraan bermotor yang mendukung mobilitas pengunjung dan penduduk setempat di sekitar kawasan tersebut. Padatnya aktivitas transportasi membuat jalan raya di sekitar kawasan budaya ini relevan untuk dianalisis terkait dampak emisi kendaraan terhadap konsentrasi dan sebaran gas pencemar, seperti Sulfur Dioksida (SO₂), serta pengaruhnya terhadap kesehatan masyarakat.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian

Lokasi jalan penelitian untuk melakukan pengumpulan data primer dan sekunder yang akan digunakan dalam penelitian ini secara lengkap akan ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Lokasi Jalan Penelitian

No.	Lokasi Jalan	Koordinat	Panjang Jalan (M)	Lebar (M)	Jenis Data
1.	Jl. Bantul	7°50'53"S 110°20'56"E	1449,3	10,0	Primer
2.	Jl. Suryowijayan	7°48'42"S 110°21'21"E	484,6	9,0	Sekunder
3.	Jl. KH Wahid Hasyim	7°48'17"S 110°21'22"E	1315,8	9,0	Sekunder
4.	Jl. KH Ahmad Dahlan	7°48'04"S 110°21'27"E	1102,4	16,0	Sekunder
5.	Jl. Panembahan Senopati	7°48'05"S 110°22'07"E	700,9	15,0	Sekunder
6.	Jl. Bridgen Katamso	7°48'32"S 110°22'08"E	1485,4	12,0	Sekunder
7.	Jl. Parangtiritis	7°49'03"S 110°22'05"E	1374,0	11,0	Sekunder
8.	Jl. MT Haryono	7°48'48"S 110°21'33"E	759,5	10,0	Sekunder
9.	Jl. DI Panjaitan	7°49'16"S 110°21'41"E	1341,3	7,0	Primer
10.	Jl. Mayjend Sutoyo	7°48'47"S 110°21'55"E	630,6	13,0	Sekunder

Sumber : KepWal Yogyakarta NOMOR 71 TAHUN 2018

Penentuan lokasi tersebut mempertimbangkan kepadatan lalu lintas yang mengindikasikan kesibukan kendaraan diwilayah tersebut Dan mempertimbangkan posisi jalan yang berada di sekitar kawasan budaya Kota Yogyakarta, khususnya di dekat area Njeron Benteng. Dengan demikian, hasil pengukuran kualitas udara, khususnya konsentrasi gas SO₂, dapat mencerminkan kondisi emisi dari kendaraan bermotor yang beroperasi di daerah dengan aktivitas budaya dan pariwisata yang tinggi. Hal ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih representatif mengenai penyebaran gas SO₂ di area tersebut.

3.2.2 Waktu Penelitian

Secara keseluruhan, penelitian ini dimulai pada November 2024, dengan pengambilan sampel dijadwalkan berlangsung dari Desember 2024 hingga Januari 2025. Proses pengolahan dan analisis data hasil sampel akan dilakukan pada Februari hingga Maret 2025. Pengukuran udara ambien akan dilakukan

pada hari kerja dan hari libur, tepatnya hari Senin untuk *weekday* dan hari minggu untuk *weekend*, pada pukul 08.00 pagi, 13.00 siang, dan 16.00 sore, masing-masing selama 1 jam. Pemilihan waktu tersebut didasarkan pada jam-jam kepadatan lalu lintas, karena aktivitas masyarakat seperti perkantoran, kegiatan ekonomi, sekolah, dan lainnya biasanya mencapai puncaknya pada waktu-waktu tertentu. Kepadatan lalu lintas (*rush hour*) biasanya terjadi pada jam berangkat kerja, yakni pukul 08.00-09.00, waktu istirahat sekitar pukul 12.00-13.00, dan saat jam pulang pada pukul 16.00-17.00. Pengukuran volume lalu lintas akan dilakukan di jam yang sama dengan pengukuran konsentrasi udara ambien, untuk dapat merepresentasikan kondisi lalu lintas selama waktu pengukuran dan untuk merepresentasikan kondisi lalu lintas selama 24 jam.

3.3 Pengumpulan data

3.3.1 Jenis Data

Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis data yang digunakan, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer mencakup dua aspek utama, yakni pengukuran lalu lintas yang dilakukan dengan menghitung volume kendaraan, serta pengukuran konsentrasi gas pencemar sulfur dioksida (SO_2) di udara ambien. Pengumpulan data primer dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Inventarisasi Emisi

Inventarisasi emisi dilakukan dengan menghitung jumlah kendaraan berdasarkan kategorinya, seperti sepeda motor, mobil penumpang, truk, dan bus, untuk menentukan beban emisi yang dihasilkan oleh masing-masing jenis kendaraan. Penghitungan jumlah kendaraan akan dilakukan selama 3 jam, dengan interval pengamatan setiap 1 jam pengamatan pada jam-jam sibuk di pagi, siang dan sore. Kegiatan penghitungan dilakukan secara manual dengan observasi langsung di lapangan, serta dilengkapi dengan pemantauan jumlah kendaraan melalui CCTV di lokasi yang telah ditentukan. Setelah data jumlah kendaraan terkumpul, perhitungan inventarisasi emisi dilakukan dengan menggunakan beban emisi yang telah ditetapkan untuk setiap kategori kendaraan. Kegiatan perhitungan

melalui CCTV pada masing-masing jalan secara lengkap akan ditunjukkan pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Titik Pemnatauan Kamera CCTV

No.	Nama Jalan	Titik Kamera CCTV (ATCS)
1.	Jl. Bantul	Simpang Jukteng Kulon (Ptz)
2.	Jl. Suryowijayan	Simpang Taman Sari (Ptz)
3.	Jl. KH Wahid Hasyim	Simpang Taman Sari (Ptz)
4.	Jl. KH Ahmad Dahlan	Simpang Pku Muh. (Ptz) Dan S3 Nyai Ahmad Dahlan
5.	Jl. Panembahan Senopati	Nol KM Timur Dan Simpang Gondomanan
6.	Jl. Bridgen Katamso	Simpang Gondomanan View Selatan
7.	Jl. Parangtiritis	Simpang Jukteng Wetan
8.	Jl. MT Haryono	Simpang Pasar Gading - Jln Mt. Haryono
9.	Jl. DI Panjaitan	Simpang Pasar Gading - Jln Mt. Haryono
10.	Jl. Mayjend Sutoyo	Simpang Pasar Gading - Jln Mt. Haryono

2. Pengukuran SO₂ Menggunakan Impinger

Pengukuran konsentrasi SO₂ menggunakan instrumen impinger dilakukan di lokasi yang sama dengan lokasi observasi langsung untuk penghitungan volume lalu lintas, yaitu di Jalan KH. Wahid Hasyim, Jalan Bantul dan Jalan Mayjend Sutoyo. Metode pengukuran ini mengikuti standar SNI 19-7119.7-2017, yang mengatur prosedur pengukuran gas di udara ambien kemudian akan di analisis menggunakan metode *pararosanilin*. Setiap pengukuran berlangsung selama satu jam di titik-titik yang telah ditentukan untuk mendapatkan data konsentrasi SO₂ yang akurat. Rincian lokasi titik pengambilan data sampling Konsentrasi SO₂ dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Titik Sampling Konsentrasi SO₂

No.	Nama Jalan	Titik Koordinat	Jarak
1.	Jl. Bantul	7°48'47"S, 110°21'21"E	0,7 km menuju Jalan Mayjend Sutoyo
2.	Jl. Mayjend Sutoyo	7°45'27"S, 110°23'42"E	Titik akhir

Sedangkan data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini menggunakan beberapa data yang digunakan yaitu:

1. Data meteorologi per jam yang di peroleh dari *website Copernicus* berupa data reanalysis dan data satelit. Data yang dihasilkan berupa data temporal atau spasial. Data yang akan di dapatkan yaitu seperti suhu, tekanan, kecepatan angin, dan kelembapan.
2. Peta tata guna lahan akan diperoleh dari *website BAPPEDA Kota Yogyakarta*, yang berfungsi sebagai acuan dalam analisis penggunaan lahan di lokasi penelitian.
3. Data dimensi jalan seperti data panjang dan lebar jalan yang diperoleh dari Kepwal Yogyakarta Nomor 71 tahun 2018 tentang Penetapan Ruas-Ruas Jalan Kota Yogyakarta, yang digunakan sebagai acuan dalam pemetaan lokasi penelitian.
4. Nilai faktor emisi kendaraan yang digunakan dalam perhitungan inventarisasi emisi akan mengacu pada UU No.12 tahun 2010, yang mengatur tentang standar emisi kendaraan bermotor untuk mendukung pengelolaan kualitas udara.

Selanjutnya data primer berupa perhitungan jumlah kendaraan dan data sekunder akan dianalisis menggunakan perangkat lunak yang akan di bahas pada tabel 3.4

Tabel 3.4 Pengumpulan Data Primer dan Data Sekunder

No.	Proses	Kebutuhan Data	Jenis Perangkat
1	Inventarisasi emisi	Volume kendaraan lalu lintas sesuai dengan jenis kendaraan	Microsoft exel, Qgis
		Faktor emisi kendaraan kategori bahan bakar	Microsoft exel
		Koordinat jalan, lebar jalan, dan Panjang jalan	Microsoft exel, Qgis, AERMOD
2	Pemodelan dispersi pencemar udara	Data meteorologi; elevasi; anemometer height; arah dan kecepatan angin; suhu; kelembapan, tekanan, presipitasi, radiasi dan <i>cloud cover</i>	Microsoft exel, WRPLOT, AERMET, ODV
		Peta tata guna lahan	AERMAP
		Peta Kontur	AERMAP
3	Uji Validasi Model	Uji korelasi	Microsoft exel

3.3.2 Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini akan dilakukan pengambilan sampel akan dilakukan saat pengukuran konsentrasi SO_2 menggunakan impinger di jalan Jalan KH. Wahid Hasyim, Jalan Bantul dan Jalan Mayjend Sutoyo. Dengan alat dan bahan yang digunakan saat pengambilan sampel sebagai berikut :

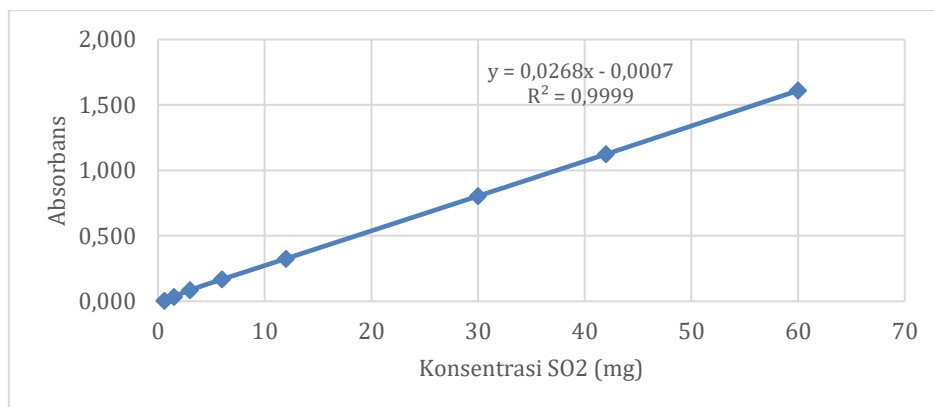
1. Alat
 - a. Labu ukur 25 mL; 50mL; 100mL; 250mL; 500mL; dan 1.000mL
 - b. Pipet volumetric
 - c. Gelas ukur 100 mL
 - d. Gelas piala 100 mL; 250mL; 500mL; dan 1.000mL
 - e. Spektrofotometer sinar tampak dilengkapi kuvet
 - f. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,1mg;
 - g. Buret 50 mL;
 - h. Labu erlenmeyer asah bertutup 250 mL;

- i. Oven
 - j. Kaca arloji
 - k. Termometer
 - l. Barometer
 - m. Pengaduk dan
 - n. Botol reagen
2. Bahan
- a. Larutan penjerap tetrakloromercurat (TCM) 0,04 M
 - b. Larutan induk metabisulfite (NaS_2O_5)
 - c. Larutan standar natrium bisulfit (NaS_2O_5)
 - d. Larutan induk iod (I_2) 0,1 N
 - e. Larutan Iod 0,01 N
 - f. Larutan indicator kanji
 - g. Larutan asam klorida (HCl) (1+10)
 - h. Larutan induk natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N
 - i. Larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,01 N
 - j. Larutan induk natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N
 - k. Larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,01 N
 - l. Larutan asam klorida (HCl) 1 M
 - m. Larutan asam sulfamat ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$) 0,6 %b/v
 - n. Larutan asam fosfat (H_3PO_4) 3 M
 - o. Larutan induk pararosanilin hidroklorida ($\text{C}_{19}\text{H}_{17}\text{N}_3\cdot\text{HCl}$) 0,2 %
 - p. Larutan formaldehida (HCHO) 0,2%v/v
 - q. Larutan penyangga asetat 1 M (pH = 4,74)

3.3.3 Pengujian Laboratorium

Pada penelitian ini, sampel konsentrasi SO_2 yang telah diukur di Jalan Bantul, dan Jalan Mayjend Sutoyo akan diuji lebih lanjut di laboratorium dengan mengacu pada SNI 7119-7:2017. Secara umum, tahapan pengujian sampel di laboratorium dilakukan sebagai berikut:

1. Kurva kalibrasi yang dibuat oleh laboran di Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia digunakan untuk mengukur absorbansi serangkaian larutan standar SO_2 menggunakan spektrofotometer, di mana hasil pengukuran absorbansi tersebut kemudian diplot untuk memperoleh hubungan antara absorbansi dan konsentrasi SO_2 , yang selanjutnya digunakan dalam analisis sampel, dengan kurva kalibrasi yang diperoleh menunjukkan persamaan garis regresi linier $y = 0,0268x - 0,0007$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9999$, yang mengindikasikan hubungan linier yang sangat kuat antara konsentrasi SO_2 (mg) dan nilai absorbansi serta dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi SO_2 dalam sampel berdasarkan nilai absorbansi yang terbaca dari spektrofotometer. Kurva yang di gunakan sebagai berikut :



Gambar 3.3 Kurva Kalibrasi

2. Larutan penjerap, seperti tetrakloromercurat (TCM), disiapkan untuk menangkap gas SO_2 dari udara ambien, yang akan dianalisis di laboratorium.
3. Sampel udara diambil selama 1 jam di lokasi yang telah ditentukan dengan alat yang menghisap udara melalui larutan penjerap, sesuai prosedur standar.
4. Proses pengukuran konsentrasi SO_2 dimulai dengan menghisap udara melalui larutan penjerap yang mengikat SO_2 , kemudian larutan tersebut diuji di laboratorium menggunakan spektrofotometer untuk mengukur

serapannya, dan hasilnya dibandingkan dengan kurva kalibrasi guna menghitung konsentrasi SO₂ dalam udara yang kemudian dinyatakan dalam satuan mikrogram per meter kubik (µg/m³).

3.4 Analisis data

Teknik analisis dilakukan secara kuantitatif untuk menghitung konsentrasi polutan dan emisi kendaraan bermotor di udara ambien. Tahapan dalam analisis data meliputi beberapa langkah berikut:

1. Inventarisasi Emisi Sektor Transportasi (sumber garis)

Inventarisasi emisi kendaraan pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode perhitungan beban emisi dengan menggunakan persamaan yang mengacu pada Pedoman Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara Di Perkotaan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung beban emisi kendaraan bermotor dinyatakan sebagai berikut:

$$VKT_{j,line} = \sum_{i=1}^n Q_{ji} \times l_i \dots\dots\dots(3.1)$$

$$E_{cji} = \frac{VKT_{ji} \times EFC_j \times (100 \times C)}{100} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

$VKT_{j,line}$ = VKT kategori kendaraan j pada ruas jalan i yang dihitung sebagai sumber garis (km/waktu)

Q_{ji} = volume kendaraan dalam kategori j pada ruas jalan i (kendaraan/waktu)

l_i = panjang ruas jalan i (km)

E_{cji} = emisi pencemar c untuk kendaraan kategori j pada ruas jalan i

C = efisiensi peralatan pengendali emisi (%)

C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Perhitungan dimulai dengan mengidentifikasi jumlah kendaraan yang beroperasi dalam kawasan perkotaan, kemudian mengelompokkan kendaraan berdasarkan jenisnya, seperti kendaraan pribadi, angkutan umum, truk, dan sebagainya. Selanjutnya, data lalu lintas, seperti volume

kendaraan dan jarak tempuh rata-rata, dikumpulkan untuk setiap kategori kendaraan dalam periode tertentu, misalnya per tahun. Faktor emisi yang menggambarkan jumlah polutan yang dihasilkan per satuan jarak tempuh kendaraan untuk masing-masing jenis kendaraan diperoleh dari standar emisi atau data yang relevan. Faktor emisi merujuk pada nilai faktor emisi yang ditetapkan dalam peraturan nasional, yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah dapat dilihat pada tabel 3.5 berikut :

Tabel 3.5 Faktor Emisi Kendaraan Umum

Kategori	CO	HC	NO _x	PM ₁₀	CO ₂	SO ₂
	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km BBM)	(g/km)
Sepeda motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
Mobil penumpang (bensin)	40	4	2	0,01	3180	0,026
Mobil penumpang (solar)	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44
Bis	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
Truk	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

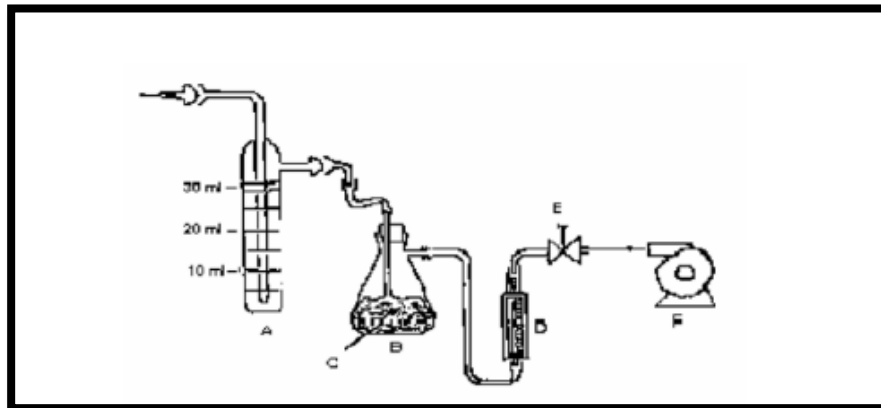
Sumber : Pedoman Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara Di Perkotaan

2. Analisis Konsentrasi SO₂

Konsentrasi SO₂ di udara ambien akan dianalisis menggunakan prosedur pengujian di SNI 19-7119.7-2017 dengan metode *pararosaniline* menggunakan spektrofotometer pada 2 titik lokasi yang telah di tentukan.

a. Prinsip Kerja

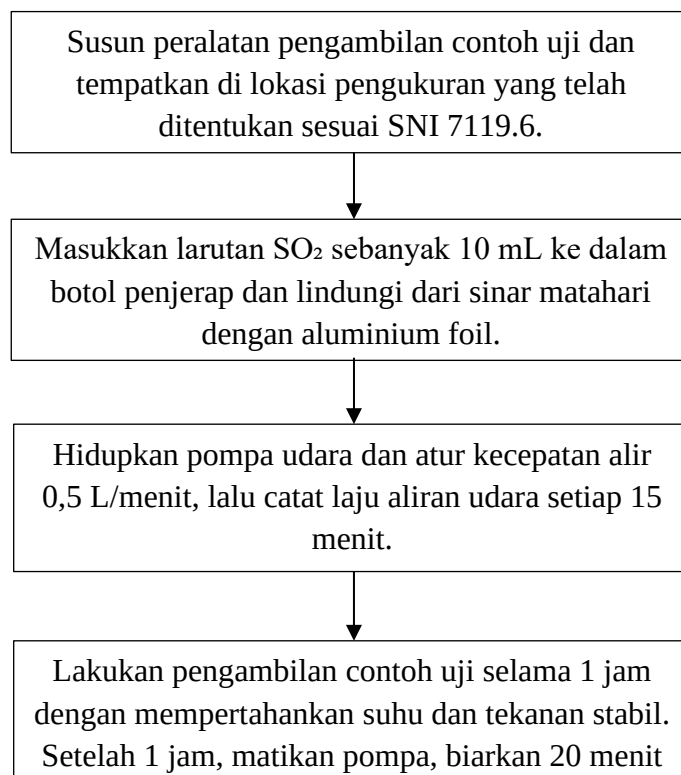
Gas sulfur dioksida (SO₂) diserap dalam larutan penjerap tetrakloromerkurat membentuk senyawa kompleks diklorosulfonatomerkurat. Dengan menambahkan larutan pararosanilin dan formaldehida ke dalam senyawa diklorosulfonatomerkurat maka terbentuk senyawa pararosanilin metil sulfonat yang berwarna ungu. Konsentrasi larutan di ukur pada panjang gelombang 550 nm.



Gambar 3.4 Skema Alat Penjerap SO₂

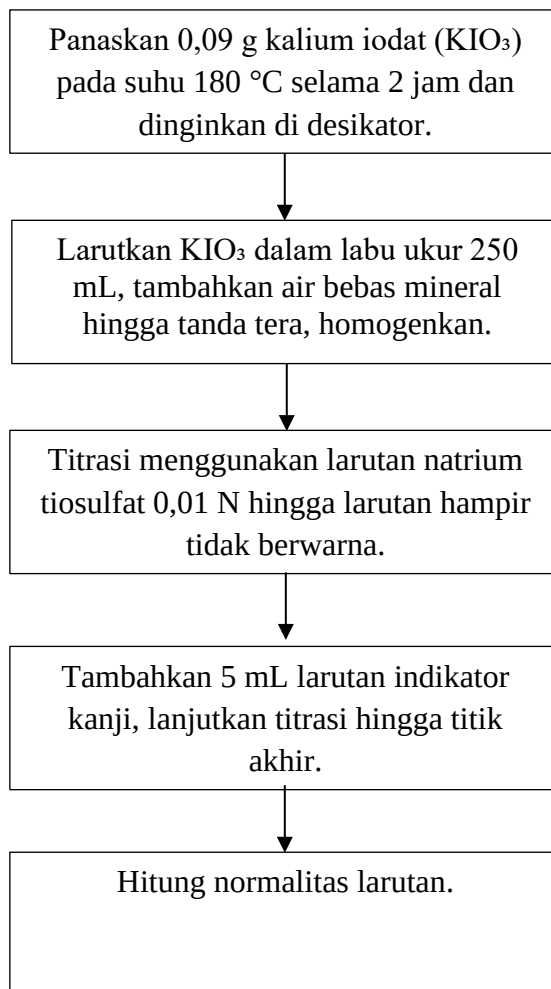
Sumber : SNI 19-7119.7-2017.

b. Pengambilan Contoh Uji



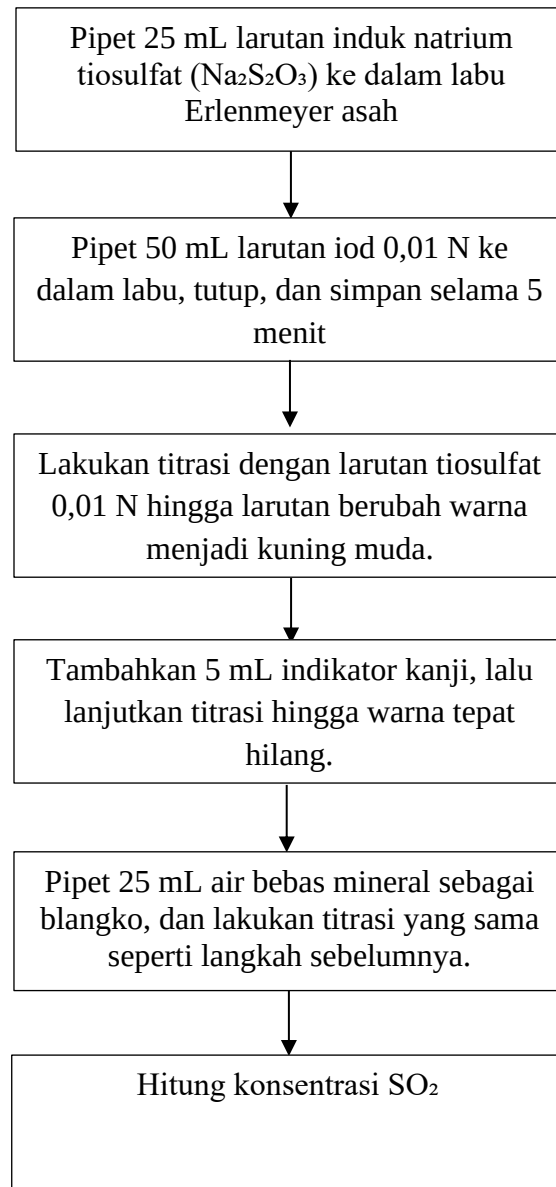
Gambar 3.5 Alur Pengambilan Sampel

c. Standarisasi Larutan Natrium Tiosulfat 0,01N



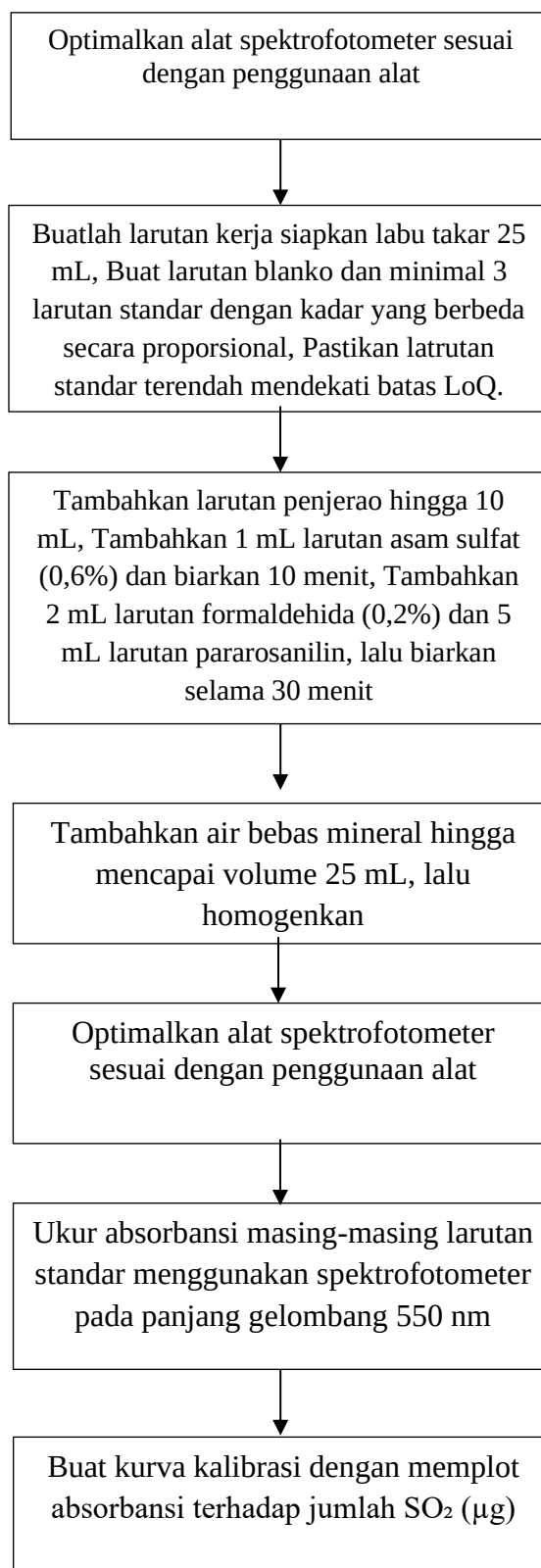
Gambar 3.6 Alur Standarisasi Larutan

d. Penentuan Konsentrasi SO_2 Dalam Larutan Induk $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$



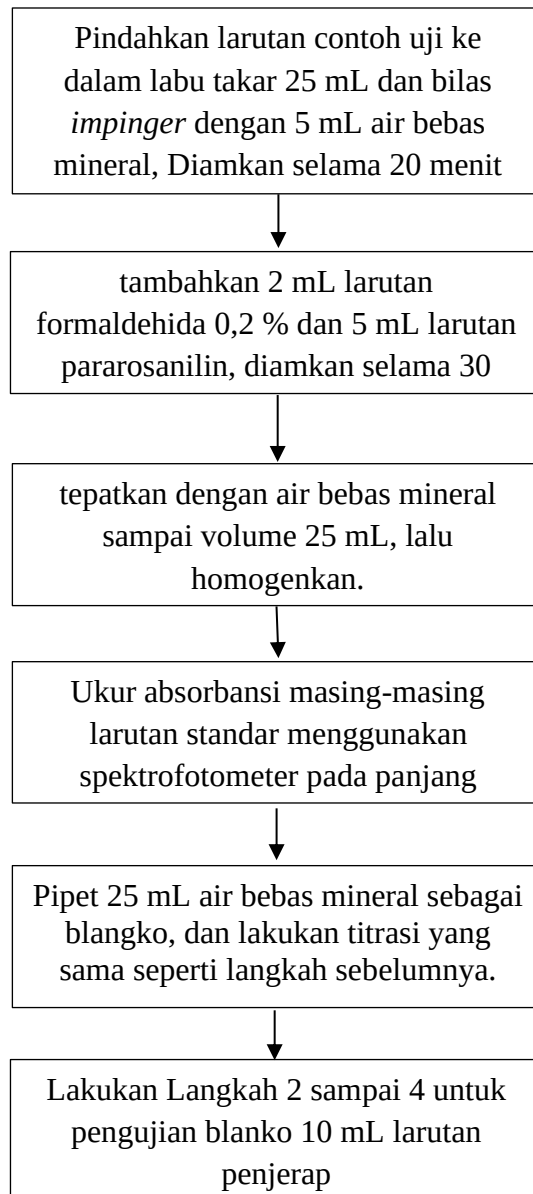
Gambar 3.7 Alur Penentuan Konsentrasi Polutan

e. Pembuatan Kurva Kalibrasi



Gambar 3.8 Alur pembuatan Kurva Kalibrasi

f. Pengujian Contoh Uji



Gambar 3.9 Alur Pengujian Sampel

d. Perhitungan Volume Contoh Uji Udara

Dalam analisis data primer ini, pendekatan kuantitatif diterapkan dengan menggunakan model statistik. Parameter SO₂ dianalisis berdasarkan setiap lokasi sampling, sehingga hasil analisis dapat dibandingkan (Filho dkk., 2019). Selama proses pengambilan sampel konsentrasi SO₂, akan dilakukan pembacaan data konsentrasi dilakukan secara manual. Data yang diperoleh saat sampling kemudian dianalisis untuk menghitung konsentrasi total gas, dengan menggunakan persamaan berikut :

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \times t \times \frac{P_a}{T_a} \times \frac{298}{760} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

- V = Volume udara yang dihisap pada kondisi normal (L)
- Q₁ = Pencatatan laju alir ke -1 (Nm³/menit)
- n = Jumlah pencatatan laju alir
- t = Durasi pengambilan contoh uji (menit)
- P_a = Tekanan barometer rata-rata selama pengambilan contoh (mmHg)
- T_a = Temperature rata-rata selama pengambilan contoh uji dalam Kelvin (K)
- 298 = temperatur kondisi normal 25°C (K)
- 760 = Tekanan udara standar (mmHg)

e. Perhitungan Konsentrasi Sulfur Dioksida (SO₂)

$$C = \frac{a}{v} \times 1000 \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana :

- C = Konsentrasi Konsentrasi SO₂ di udara (µg/Nm³)
- A = Jumlah SO₂ dari contoh uji hasil perhitungan kurva kalibrasi (µg)

V = Volume udara yang dihisap dihisap dikoreksi
dikoreksi pada kondisi kondisi normal

1000 = Konversi Konversi liter ke m³

Setelah melakukan perhitungan data dengan persamaan di atas akan di peroleh hasil perhitungan yang akan ditujukan untuk pembuatan grafik statistik berupa kurva kalibrasi agar data mudah di pahami.

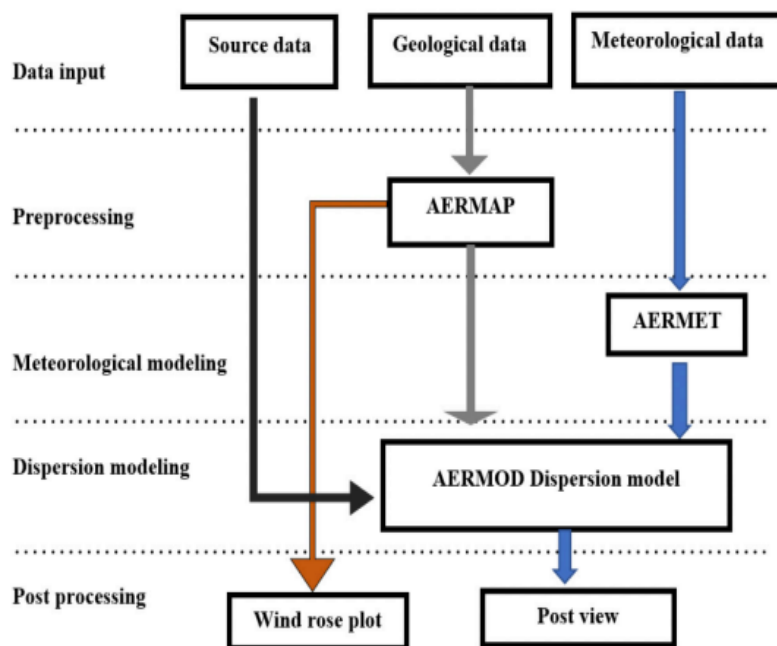
3. Tahapan Pengolahan Model AERMOD

Pemodelan AERMOD dalam penelitian ini dilakukan menggunakan aplikasi AERMOD yang berlisensi resmi milik Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Penggunaan aplikasi berlisensi ini memastikan bahwa seluruh proses pemodelan berjalan sesuai standar dan akurat, sehingga hasil yang diperoleh dapat diandalkan dan dapat dipertanggungjawabkan dalam analisis kualitas udara. Perlu diketahui bahwa model ini juga memiliki tiga bagian komponen utama, sebagaimana oleh Amouzouvi dkk., (2020) yaitu :

- a. AERMET adalah pre-processor yang berfungsi untuk mengekstrak dan mengevaluasi data meteorologi, seperti kecepatan angin, arah angin, suhu udara, kelembaban, dan tutupan awan, dengan tujuan menghitung parameter lapisan batas atmosfer, seperti tinggi pencampuran dan kecepatan gesekan, yang diperlukan untuk memodelkan dispersi polutan di atmosfer, sehingga memberikan gambaran kondisi atmosfer yang mempengaruhi penyebaran polutan.
- b. Pre-processor AERMAP berfungsi untuk memproses data geologi atau topografi, seperti data ketinggian medan yang diperoleh dari model elevasi digital (DEM), serta data sumber emisi dan beban emisi, guna membangun grid reseptor untuk model AERMOD, di mana AERMAP menggunakan data topografi untuk menghitung ketinggian medan yang relevan bagi lokasi reseptor dan menentukan distribusi medan serta

sumber polusi, yang kemudian hasilnya digunakan untuk menentukan pola penyebaran polutan dan diproses lebih lanjut oleh AERMOD. Data yang Diinput berupa data geologi atau topografi seperti data ketinggian medan yang diperoleh dari model elevasi digital (DEM), serta data sumber emisi dan beban emisi.

- c. AERMOD, sebagai main processor, menerima data meteorologi yang telah diproses oleh AERMET, data topografi yang telah diproses oleh AERMAP, serta data sumber polusi yang berupa informasi tentang lokasi dan beban emisi, dan menggunakan data tersebut untuk menghitung penyebaran polutan di atmosfer dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti ketinggian medan, stabilitas atmosfer, dan arah angin, menghasilkan prediksi konsentrasi polutan yang dapat digunakan untuk menganalisis dampak polusi udara.



Gambar 3.10 Tahapan Aliran Data Dalam Pemodelan AERMOD

Sumber : Amouzouvi dkk., 2020

Setelah pemrosesan data melalui AERMET, AERMAP, dan AERMOD, hasil dari model ini digunakan untuk membuat plot seperti wind rose, yang menggambarkan arah angin dominan dan distribusi polutan di area yang dimodelkan.

4. Uji Validasi Model

Persamaan *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE) digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian antara model dan data pengamatan. Dalam konteks pengukuran impinger, RMSPE mengukur seberapa jauh prediksi model dari nilai yang diamati secara langsung, dengan memberikan bobot lebih besar pada perbedaan yang lebih besar melalui operasi kuadrat. Persamaan ini dirumuskan sebagai akar dari rata-rata jumlah kuadrat selisih antara nilai pengamatan y dan prediksi model $\hat{y}$ yaitu

$$RSMPE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \left(\frac{St - At}{At} \right)^2} \times 100\% \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana :

- St = Nilai konsentrasi simulasi pada waktu t
- At = Nilai konsentrasi aktual pada waktu t
- n = Jumlah titik pengukuran

Nilai RMSPE menunjukkan seberapa besar rata-rata kesalahan prediksi model dibandingkan dengan data aktual. Tingkat akurasi model dapat dikatakan terpenuhi jika nilai RMSPE (*Root Mean Square Percent Error*) <25% dimana nilai ini akan di artikan dapat di terima (*acceptable*) dan <10% memiliki arti bahwa model masuk kedalam kategori baik (*good*) (Reed dkk.,2015).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan strategis Njeron Benteng, yang merupakan area penting di Kota Yogyakarta karena memiliki banyak situs budaya dan sejarah. Kawasan ini juga menjadi pusat berbagai aktivitas masyarakat seperti kegiatan ekonomi, pendidikan, dan pariwisata. Aktivitas-aktivitas tersebut berpengaruh terhadap pola lalu lintas serta jumlah kendaraan yang melintas, sehingga berdampak pada tingkat emisi polutan. Lokasi penelitian mencakup beberapa ruas jalan utama dengan lalu lintas yang cukup padat, antara lain Jalan Bantul, Jalan Suryowijayan, Jalan KH Wahid Hasyim, Jalan KH Ahmad Dahlan, Jalan Panembahan Senopati, Jalan Brigjen Katamso, Jalan Parangtritis, Jalan MT Haryono, Jalan DI Panjaitan, dan Jalan Mayjend Sutoyo. Jalan-jalan ini memiliki karakteristik tertentu yang penting untuk dianalisis karena berkaitan dengan proses penyebaran polutan dan kualitas udara di sekitarnya seperti :

1. Kepadatan lalu lintas, pada jalan di sekitar kawasan budaya ini memiliki lalu lintas yang padat, terutama pada jam-jam sibuk yaitu pagi, siang dan sore hari. Volume kendaraan yang tinggi, terutama kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil seperti sepeda motor, mobil pribadi, dan bus, berkontribusi besar terhadap akumulasi emisi polutan, termasuk polutan gas SO₂ di atmosfer.
2. Topografi, di wilayah ini relatif datar dengan sedikit variasi ketinggian, yang menunjukkan bahwa tidak ada hambatan topografis signifikan yang dapat mempengaruhi pola penyebaran polutan baik secara vertikal atau horizontal. Angin berhembus menyebarkan polutan dari kendaraan menyebabkan area konsentrasi polutan yang tinggi di beberapa titik (Arvisista & Dwisusanto, 2020).
3. Kawasan wisata, Sebagai pusat pariwisata Njeron Beteng juga menerima banyak pengunjung sepanjang tahun. Hal ini meningkatkan lalu lintas

wisatawan dan kendaraan umum di akhir pekan, yang berkontribusi pada peningkatan konsentrasi SO₂ di area tersebut.

4. Reseptor sensitif, kawasan ini berada di pusat Kota Yogyakarta sehingga mencakup beberapa reseptor sensitif, yaitu sekolah-sekolah dan institusi pendidikan, Perkantoran, fasilitas kesehatan, area pemukiman padat penduduk, tempat ibadah, serta taman dan ruang terbuka publik, di mana populasi rentan seperti anak-anak, pasien dengan masalah pernapasan, penduduk dengan akses kesehatan terbatas, jamaah, dan pengguna ruang publik lebih berisiko terkena dampak kesehatan dari paparan polutan udara seperti sulfur dioksida (SO₂).

Jalan Bantul dan Jalan DI Panjaitan dipilih sebagai jalan primer untuk pengambilan sampel udara secara langsung menggunakan instrumen *impinger*. Pengukuran langsung di jalan primer ini bertujuan untuk memperoleh data konsentrasi sulfur dioksida (SO₂) yang digunakan sebagai dasar perbandingan dan validasi terhadap hasil pemodelan. Pemilihan kedua lokasi ini didasarkan pada hasil survei awal yang mempertimbangkan keterwakilan karakteristik kawasan, biaya, ketersediaan tempat untuk pengambilan sampel, serta keterbatasan alat dan jumlah personel lapangan. Keterbatasan tersebut menjadi alasan utama mengapa pengambilan sampel secara langsung tidak dilakukan di seluruh ruas jalan, sehingga ruas jalan lainnya ditetapkan sebagai jalan sekunder tanpa pengukuran langsung.

4.2 Hasil Sampling Perhitungan Volume Kendaraan

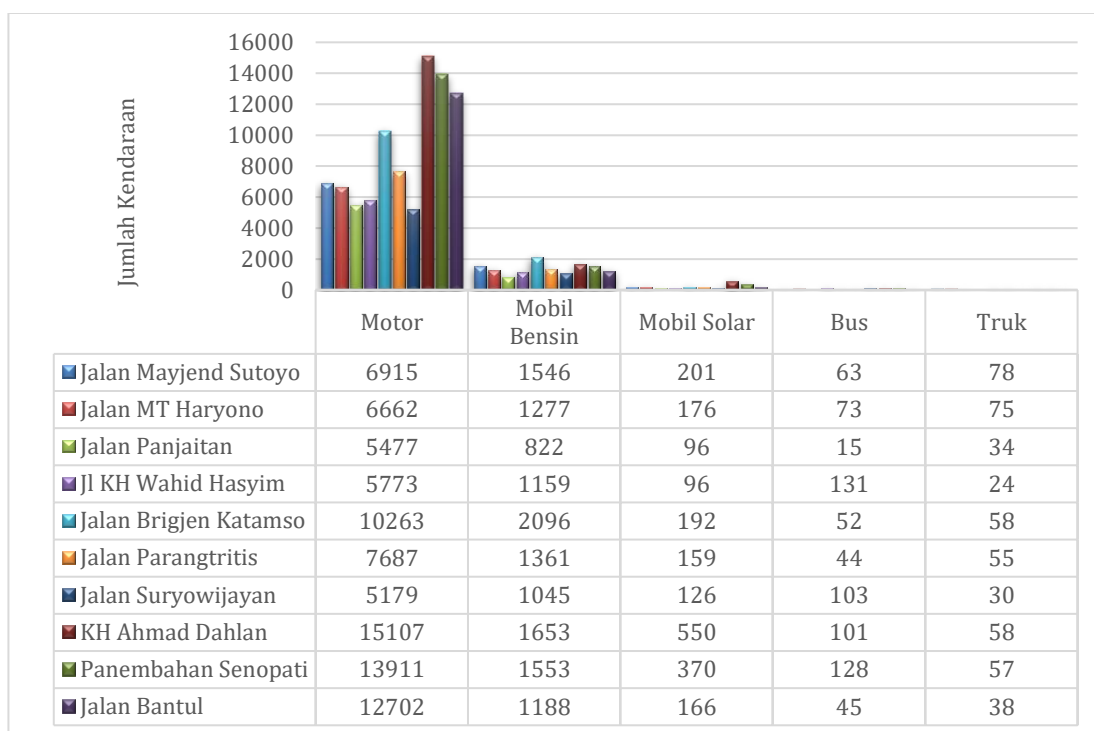
Pengamatan volume kendaraan dilakukan pada hari Kamis, 30 Januari 2025, Sabtu, 1 Februari 2025, Minggu, 2 Februari 2025, dan Selasa, 4 Februari 2025. Pengukuran ini dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel gas SO₂ pada jam puncak lalu lintas (*rush hour*), yaitu pukul 08.00-09.00, 12.00-13.00, dan 16.00-17.00. Perhitungan volume kendaraan dilakukan secara manual menggunakan rekaman CCTV di Kota Yogyakarta, yang tersebar di 10 titik jalan, dengan pembagian 2 titik jalan primer dan 8 titik jalan sekunder, pembagian kendaraan di klasifikasikan menjadi lima jenis berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12/2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, yaitu

sepeda motor, mobil berbahan bakar bensin, mobil berbahan bakar solar, truk, dan bus. Hasil rata-rata volume kendaraan selama 4 hari di 10 titik dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Volume Lalu Lintas

Nama Titik	Waktu (Menit)	Tipe Kendaraan					Jumlah	Nama Titik	Waktu (Menit)	Tipe Kendaraan					Jumlah
		1	2	3	4	5				1	2	3	4	5	
		Motor	Mobil Bensin	Mobil Solar	Bus	Truk				Motor	Mobil Bensin	Mobil Solar	Bus	Truk	
Jalan Mayjend Sutoyo	Pagi	2333	522	83	27	24	2989	Jalan Parangtritis	Pagi	2628	367	51	13	16	3075
	Siang	2260	510	60	19	37	2886		Siang	2196	506	57	14	25	2798
	Sore	2323	515	58	17	17	2929		Sore	2863	488	50	17	14	3432
	Total	6915	1546	201	63	78	8803		Total	7687	1361	159	44	55	9305
Jalan Mt Haryono	Pagi	2108	428	72	29	25	2661	Jalan Suryowijayan	Pagi	1560	280	39	37	13	1929
	Siang	2273	403	55	23	33	2787		Siang	1579	380	43	36	9	2047
	Sore	2281	446	50	22	18	2816		Sore	2039	386	44	30	8	2507
	Total	6662	1277	176	73	75	8263		Total	5179	1045	126	103	30	6482
Jalan Panjaitan	Pagi	1817	278	38	6	10	2148	KH Ahmad Dahlan	Pagi	4794	513	247	29	21	5604
	Siang	1799	268	27	4	15	2113		Siang	4263	554	187	31	25	5059
	Sore	1861	276	31	5	9	2183		Sore	6049	586	116	41	13	6806
	Total	5477	822	96	15	34	6443		Total	15107	1653	550	101	58	17469
Jl KH Wahid Hasyim	Pagi	1974	374	36	48	9	2441	Panembahan Senopati	Pagi	4578	378	123	14	11	5104
	Siang	1779	383	31	46	8	2246		Siang	3857	631	132	31	25	4676
	Sore	2021	402	30	37	6	2495		Sore	5476	544	115	82	20	6238
	Total	5773	1159	96	131	24	7182		Total	13911	1553	370	128	57	16018
Jalan Brigjen Katamso	Pagi	3020	644	65	13	22	3764	Jalan Bantul	Pagi	4289	425	46	17	17	4792
	Siang	3275	744	67	14	24	4124		Siang	2927	384	58	17	12	3398
	Sore	3968	709	60	24	12	4773		Sore	5487	379	62	12	9	5948
	Total	10263	2096	192	52	58	12660		Total	12702	1188	166	45	38	14138

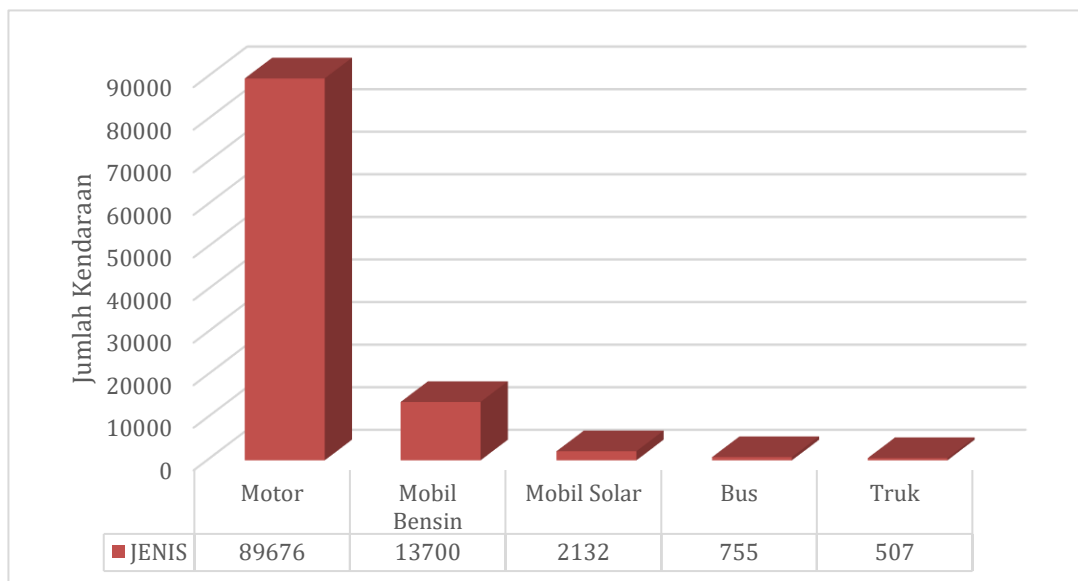
Setelah melakukan perhitungan, perbandingan volume kendaraan di masing-masing titik pengukuran pun dilakukan. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4, volume kendaraan tertinggi tercatat di Jalan KH Ahmad Dahlan dengan rata-rata kendaraan yang melintas sebanyak 17469 unit, sedangkan volume kendaraan terendah terlihat di Jalan DI Panjaitan dengan rata-rata jumlah kendaraan sebanyak 6443 unit. Dibandingkan dengan jalan-jalan penelitian lainnya seperti Jalan Bantul, Jalan Suryowijayan, dan Jalan KH Wahid Hasyim, volume kendaraan di Jalan KH Ahmad Dahlan lebih tinggi karena lokasinya yang strategis di pusat kota, berdekatan dengan kawasan perdagangan dan objek wisata seperti Malioboro. Selain itu, jalan ini merupakan penghubung utama ke berbagai perkantoran, dan lembaga publik, serta didominasi oleh arus lalu lintas padat dari kendaraan pribadi maupun transportasi umum. Terbatasnya jalur alternatif yang mampu menampung volume kendaraan serupa juga turut menjadi faktor. Rekapitulasi rata-rata volume kendaraan selama 4 hari ditampilkan pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Rekapitulasi Rata-Rata Perhitungan Volume Kendaraan

Berdasarkan data dari Jogja dalam Angka 2024, jumlah kendaraan bermotor di Yogyakarta pada tahun 2023 tercatat sebanyak 298.139 unit, dengan sepeda motor mendominasi sebesar 79,66%, diikuti oleh mobil penumpang sebesar 17,64%, dan mobil beban sebanyak 2,43%. Jika dibandingkan dengan data terbaru dari Electronic Registration and Identification (ERI) Korlantas Polri pada 8 Januari 2025, terlihat adanya peningkatan signifikan dalam jumlah total kendaraan bermotor di Yogyakarta yang mencapai 710,28 ribu unit. Dari jumlah tersebut, sepeda motor tetap mendominasi dengan 590,34 ribu unit. Jumlah mobil penumpang juga mengalami peningkatan menjadi 103,84 ribu unit, diikuti oleh mobil beban sebanyak 14,65 ribu unit, bus sebanyak 1.115 unit, dan kendaraan khusus (ransus) sebanyak 317 unit.

Hal ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam jumlah sepeda motor, yang masih menjadi jenis kendaraan paling dominan di jalan-jalan Yogyakarta, mencerminkan ketergantungan masyarakat terhadap kendaraan roda dua untuk aktivitas sehari-hari seperti berangkat kerja, sekolah, dan kegiatan rutin lainnya. Sementara itu, jumlah truk, bus, dan kendaraan khusus yang lebih sedikit menjelaskan mengapa kendaraan besar ini kurang terlihat mendominasi jalan raya, terutama saat jam-jam sibuk. Perbandingan masing-masing jumlah kendaraan berdasarkan jenis dapat dilihat pada gambar diagram 4.2



Gambar 4.2 Perbandingan Volume Kendaraan Berdasarkan Jenis

Data volume kendaraan ini memberikan gambaran yang jelas tentang dominasi sepeda motor di jalan raya, khususnya selama jam-jam sibuk. Hal ini penting diketahui untuk mengidentifikasi potensi emisi polutan dari sektor transportasi yang kemudian akan digunakan sebagai dasar untuk penghitungan konsentrasi SO₂ dan dampaknya terhadap kualitas udara di wilayah penelitian. Untuk melakukan analisis untuk konsentrasi gas SO₂ Pada jalan primer jumlah kendaraan yang di hitung khusus bersamaan dengan waktu sampling langsung di lapangan di dua titik jalan primer yaitu Jalan Bantul dan Jalan DI Panjaitan dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini

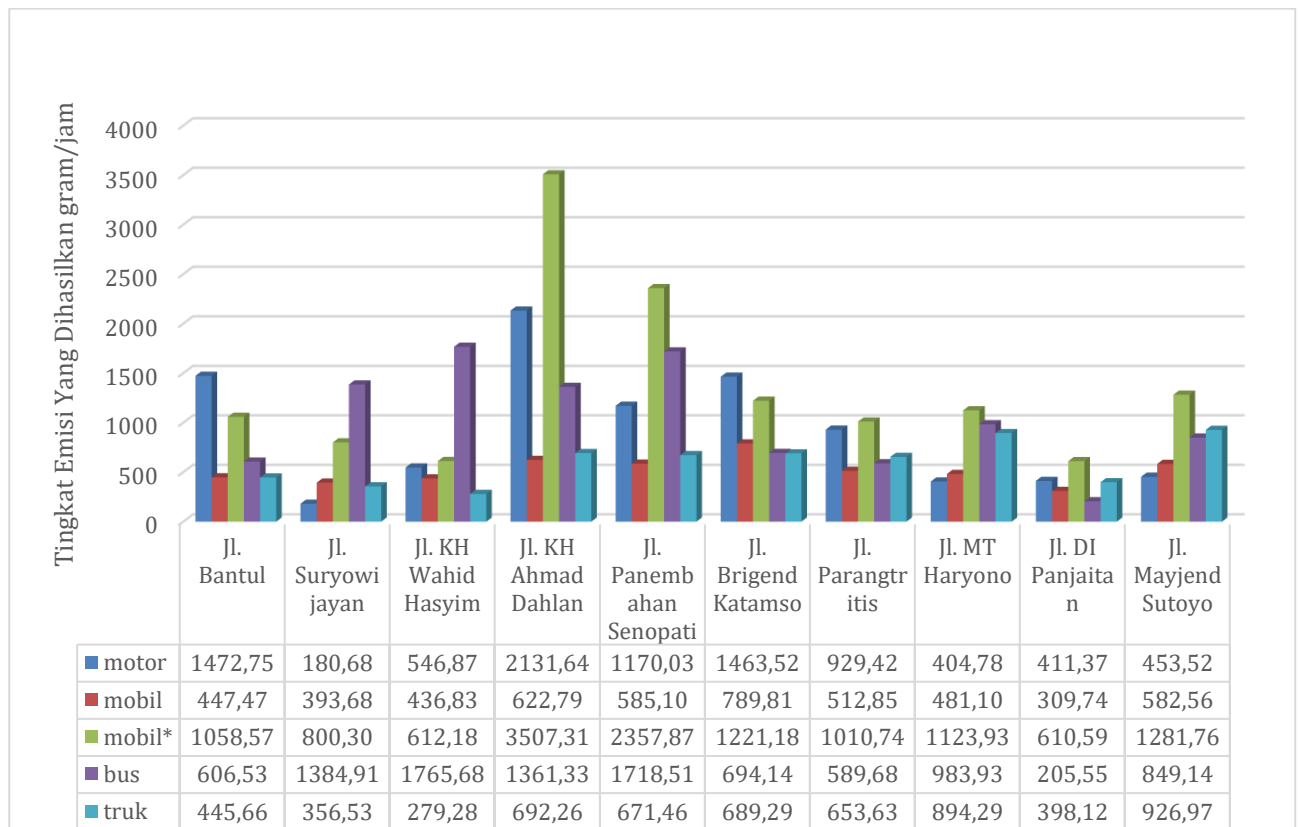
Tabel 4.2 Jumlah Kendaraan Pada Jalan Primer

Nama Titik	Waktu (menit)	TIPE KENDARAAN					Jumlah
		1	2	3	4	5	
		Motor	Mobil Bensin	Mobil solar	Bus	Truk	
30/01/2025							
DI Panjaitan	Pagi	1371	291	37	3	4	1706
	Siang	2244	267	26	5	21	2563
	Sore	1164	288	38	4	14	1508
	Total	4779	846	101	12	39	5777
01/02/2025							
Bantul	Pagi	4802	547	45	17	19	5430
	Siang	3094	359	86	15	8	3562
	Sore	6093	249	56	10	7	6415
	Total	13989	1155	187	42	34	15407
02/02/2025							
DI Panjaitan	Pagi	1778	278	31	6	6	2099
	Siang	1329	303	20	4	7	1663
	Sore	1761	291	20	5	2	2079
	Total	4868	872	71	15	15	5841
04/02/2025							
Bantul	Pagi	3515	440	46	18	31	4050
	Siang	2551	406	52	18	27	3054
	Sore	4843	517	120	11	17	5508
	Total	10909	1363	218	47	75	12612

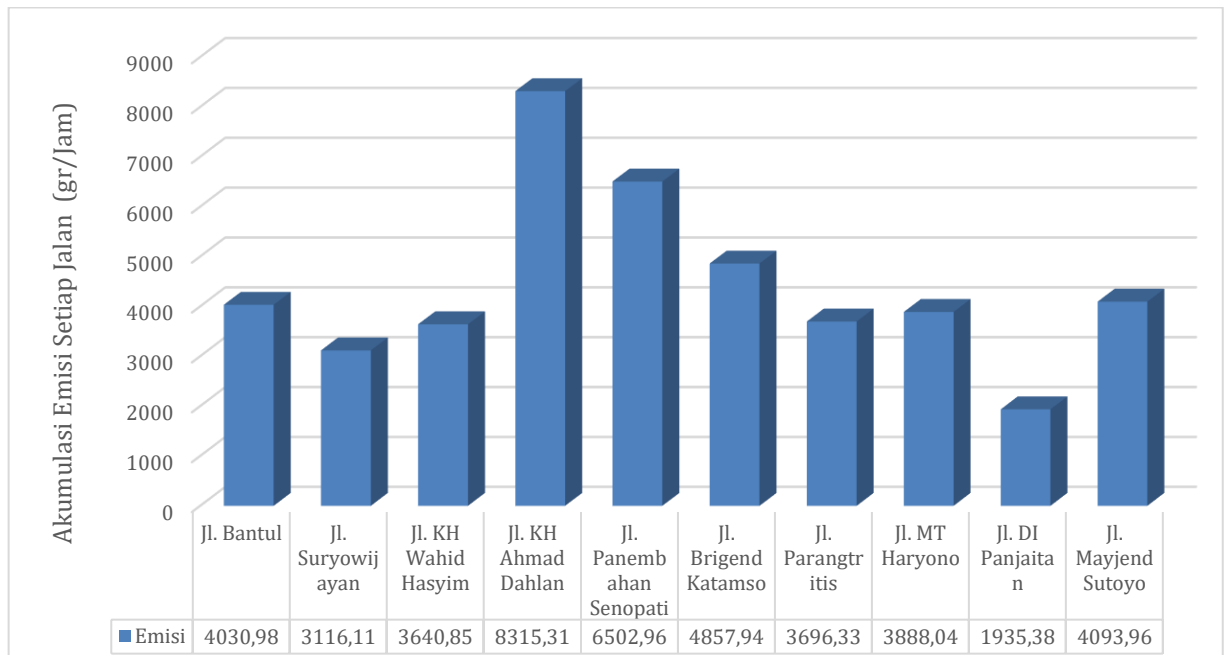
4.3 Perhitungan Inventarisasi Emisi

Metode yang dapat digunakan untuk mendapat konsentrasi gas pencemar SO₂ untuk sektor transportasi yaitu dengan menggunakan beban emisi yang dihitung menggunakan data lalu lintas di lapangan dan faktor emisi yang di peroleh dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Faktor emisi merupakan nilai yang menggambarkan jumlah polutan yang dilepaskan ke atmosfer dari suatu aktivitas yang berkaitan dengan sumber polutan. Faktor emisi yang di gunakan untuk mendapatkan beban emisi kendaraan pada penelitian ini sesuai dengan jenis kendaraan seperti yang tercantum pada tabel 3.5. Contoh perhitungan inventarisasi emisi untuk kendaraan sepeda motor di Jalan Bantul berdasarkan tipe sumber garis (*Line Source*) dengan persamaan 3.1 dan 3.2 dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

Berikut merupakan hasil dari perhitungan inventarisasi emisi di setiap jalan penelitian dengan faktor emisi masing-masing jenis kendaraan yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini.



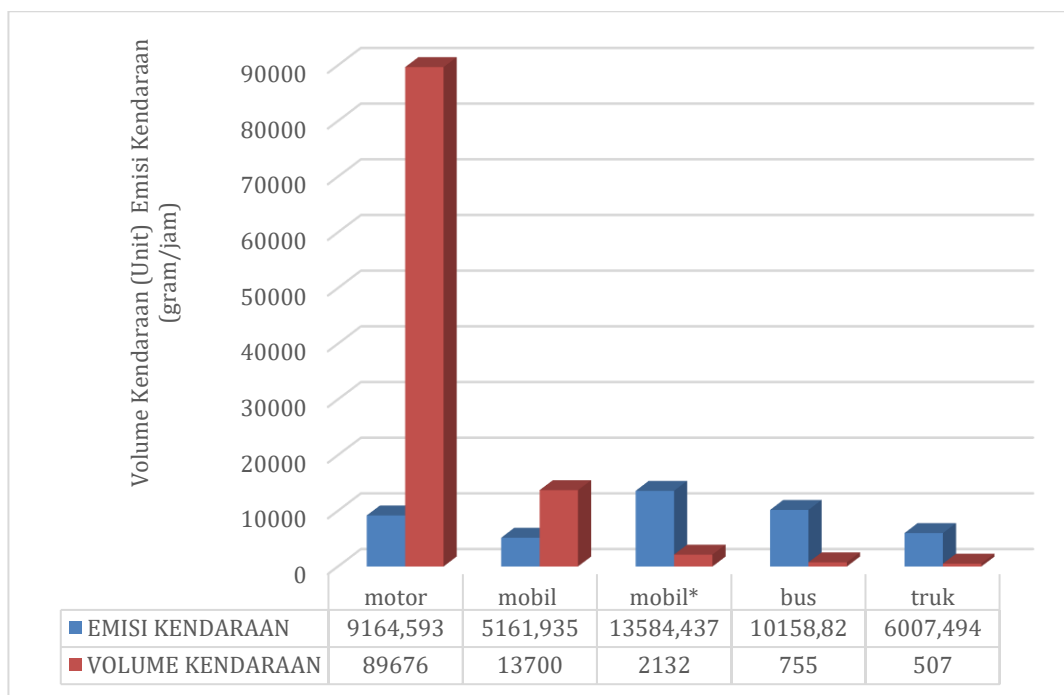
Gambar 4.3 Tingkat Emisi Jenis Kendaraan di Lokasi Pengukuran



Gambar 4.4 Akumulasi Total Emisi Setiap Jalan

Berdasarkan Gambar 4.3, seluruh jenis kendaraan (motor, mobil bensin, mobil solar, bus, dan truk) dihitung menggunakan metode yang sama, yaitu mengalikan *Vehicle Kilometers Traveled* (VKT) dengan Faktor Emisi (FE) masing-masing kendaraan. Selanjutnya, total emisi SO_2 dihitung dengan menjumlahkan kontribusi dari semua jenis kendaraan pada setiap ruas jalan, sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 4.4. Hasil analisis menunjukkan bahwa Jalan KH Ahmad Dahlan memiliki akumulasi emisi tertinggi sebesar 8.315,31 gram/jam, sedangkan emisi terendah ditemukan di Jalan DI Panjaitan sebesar 1.935,38 gram/jam. Emisi tinggi di Jalan KH Ahmad Dahlan didominasi oleh kendaraan berbahan bakar solar, khususnya mobil solar 3.507,31 gr/jam dan bus 2.357,87 gr/jam. Hal ini menunjukkan bahwa jenis kendaraan berbahan bakar solar berperan besar dalam menyumbang emisi SO_2 , terutama di jalan dengan lalu lintas kendaraan berat yang padat. Sebaliknya, emisi rendah di Jalan DI Panjaitan didominasi oleh sepeda motor 1.003,79 gr/jam dan relatif sedikit kontribusi dari kendaraan berat. Jumlah kendaraan diikuti dengan faktor emisi yang lebih kecil menyebabkan akumulasi emisi di ruas jalan ini menjadi lebih rendah dibandingkan lokasi lain.

Selain itu, Jalan Panembahan Senopati dan Jalan Brigjen Katamso juga mencatat emisi yang cukup tinggi masing-masing sebesar 6.502,96 gram/jam dan 4.857,94 gram/jam, dengan kontribusi terbesar berasal dari mobil solar dan bus. Secara keseluruhan, jenis kendaraan yang paling besar menyumbang emisi SO_2 adalah mobil solar dan bus, terutama di ruas jalan dengan aktivitas kendaraan besar dan padat. Meskipun sepeda motor mendominasi jumlah kendaraan, kontribusinya terhadap emisi SO_2 jauh lebih kecil. Pola ini terlihat konsisten pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Perbandingan Rata-Rata Volume dan Emisi Kendaraan

Dari perbandingan pada hasil diagram antara volume kendaraan dengan beban emisi yang dihasilkan menunjukkan bahwa volume kendaraan tertinggi berasal dari motor, tetapi kontribusi emisinya tidak sebesar kendaraan berbahan bakar solar. Sebaliknya, mobil berbahan bakar solar memiliki emisi yang jauh lebih besar meskipun jumlahnya lebih sedikit dibandingkan motor dan mobil pribadi. Perbandingan ini mengindikasikan bahwa emisi yang dihasilkan tidak hanya bergantung pada jumlah kendaraan yang melintas, tetapi juga pada jenis bahan bakar dan efisiensi pembakaran kendaraan tersebut. Mobil berbahan bakar solar dan bus memiliki konsumsi bahan bakar yang lebih besar serta tingkat emisi yang lebih

tinggi dibandingkan motor dan mobil berbahan bakar bensin (Istantinova dkk., 2013).

4.4 Hasil Sampling Meteorologi Gas SO₂

Data meteorologi digunakan untuk memahami kondisi atmosfer di kawasan jalan primer tempat pengambilan sampel dilakukan secara manual menggunakan instrumen impinger. Parameter yang diukur meliputi kecepatan angin, kelembapan udara, suhu udara, dan tekanan udara, yang diukur menggunakan peralatan khusus. Pengukuran dilakukan dengan thermo-hygro-barometer untuk mencatat suhu udara, kelembapan udara, dan tekanan udara, serta anemometer untuk mengukur kecepatan angin.

Pengambilan data meteorologi dilakukan di dua lokasi, yaitu Jalan DI Panjaitan dan Jalan Bantul, bersamaan dengan pengambilan sampel gas SO₂. Data meteorologi dilakukan setiap 15 menit selama satu jam, kemudian hasilnya dirata-rata untuk analisis lebih lanjut. Proses ini dilakukan bersamaan dengan sampling gas SO₂ menggunakan instrumen impinger, guna memastikan keterkaitan antara kondisi atmosfer dan kadar gas pencemar yang terdeteksi. Kondisi atmosfer selama proses pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Kondisi Meteorologi Jalan Primer

30/01/2025					
Lokasi	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Tekanan (Mbar)
Di Panjaitan	Pagi	1,0	30,1	72,4	746,8
	Siang	1,4	33,5	63,0	745,7
	Sore	3,1	30,7	63,6	744,6
01/02/2025					
Lokasi	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Tekanan (Mbar)
Bantul	Pagi	1,5	28,8	77,3	746,1
	Siang	0,9	34,2	59,7	743,3
	Sore	0,9	33,6	61,0	742,8

02/02/2025					
Lokasi	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Tekanan (Mbar)
Di Panjaitan	Pagi	1,3	30,0	74,1	745,7
	Siang	0,4	33,8	74,1	744,3
	Sore	0,1	33,3	63,7	743,5
04/02/2025					
Lokasi	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Tekanan (Mbar)
Bantul	Pagi	1,6	30,6	67,4	745,7
	Siang	0,8	35,3	52,2	744,2
	Sore	0,9	34,3	61,9	742,9

Berdasarkan data meteorologi yang dilakukan di Jalan Panjaitan dan Jalan Bantul, kondisi atmosfer menunjukkan variasi dengan kecepatan angin berkisar antara 0,8 m/s hingga 3,1 m/s, temperatur udara antara 28,8°C hingga 34,5°C, kelembapan antara 52,2% hingga 77,3%, dan tekanan udara antara 742,8 mmHg hingga 746,8 mmHg. Secara umum, kondisi atmosfer lebih stabil pada pagi hari dengan kecepatan angin rendah dan kelembapan yang relatif lebih tinggi, sementara pada siang hari, suhu udara lebih tinggi dan kelembapan cenderung menurun, menciptakan kondisi atmosfer yang lebih tidak stabil. Perbedaan ini dapat memengaruhi penyebaran polutan SO₂, di mana kondisi stabil pada pagi dan sore hari dapat menyebabkan penumpukan polutan di dekat permukaan tanah, sedangkan pada siang hari dengan atmosfer yang lebih tidak stabil, polutan dapat tersebar lebih cepat ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan adanya korelasi antara faktor meteorologi dengan distribusi dan konsentrasi SO₂ di kedua lokasi pengukuran (Daffa Shidqi & Ratni Juliardi R, 2024).

4.5 Hasil Perhitungan Sampling Gas SO₂

Pengukuran konsentrasi SO₂ di lapangan dilakukan dengan menggunakan instrumen impinger, hasil konsentrasi SO₂ diperoleh melalui uji laboratorium menggunakan metode spektrofotometri dengan hasil akhir nilai absorbansi. Nilai absorbansi kemudian digunakan untuk menghitung volume contoh uji udara yang telah di dapatkan dan konsentrasi SO₂ di udara ambien. Contoh perhitungan

konsentrasi gas SO₂ di Jalan DI Panjaitan dapat menggunakan persamaan 3.3 dan 3.4 yang terdapat pada **Lampiran 2**.

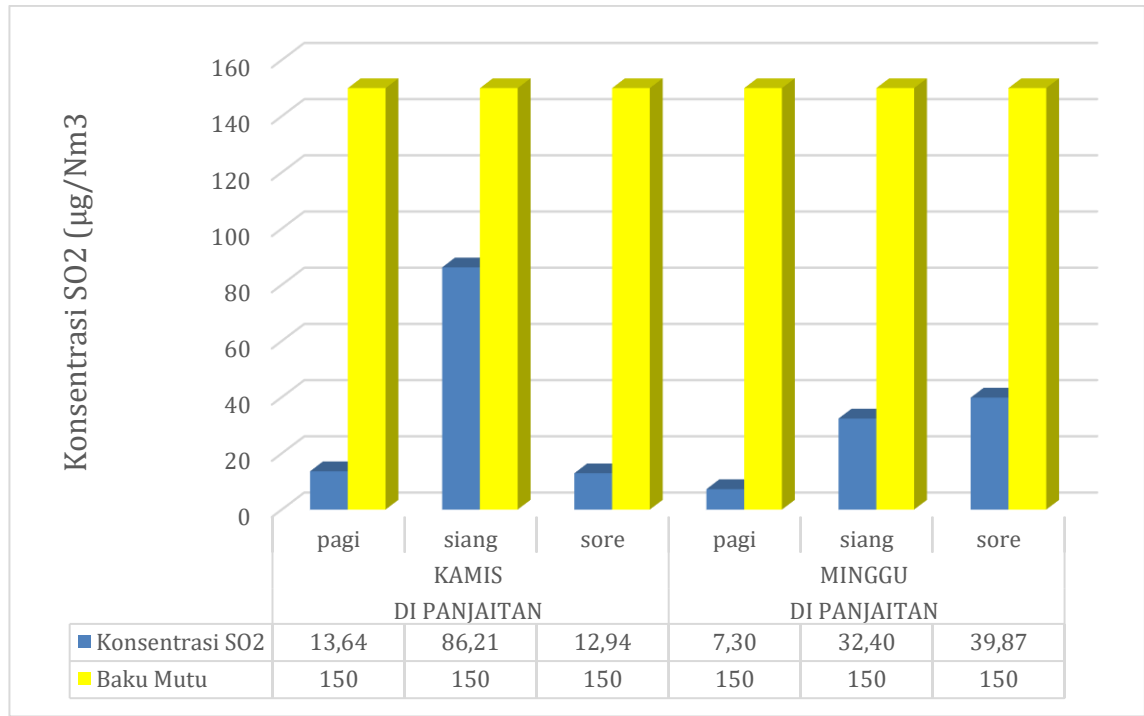
Berikut hasil konsentrasi gas SO₂ di waktu lainnya juga di hitung dengan persamaan yang sama. dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dibawah ini.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Langsung Konsentrasi SO₂

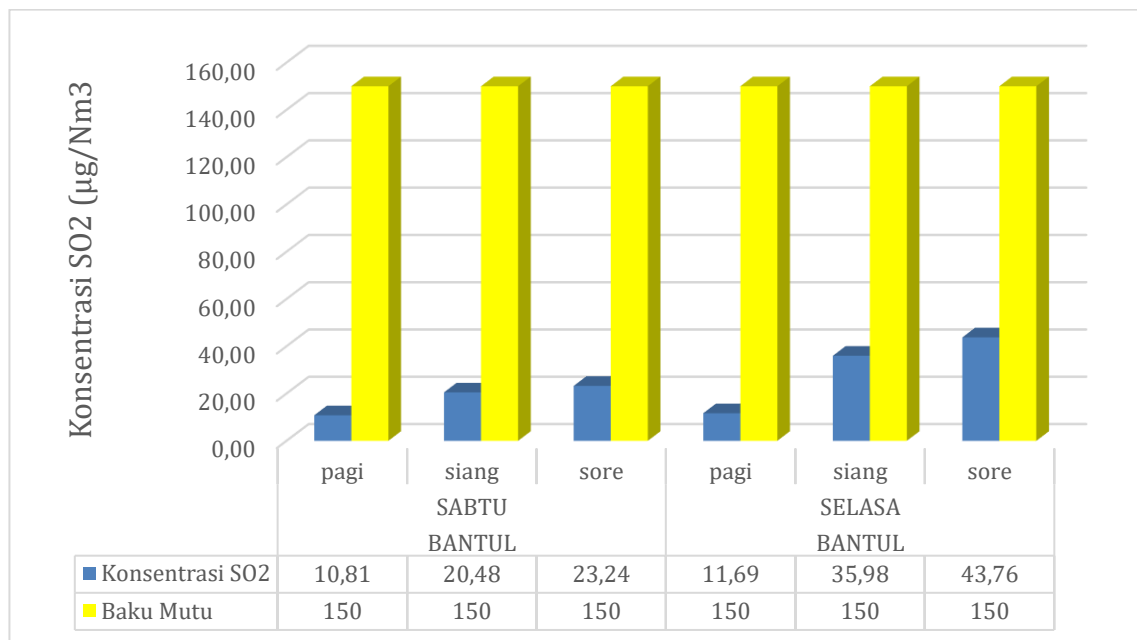
Lokasi	Hari	Waktu	Konsentrasi SO ₂ (Mg/Nm ³)	Baku Mutu
Di Panjaitan	Kamis	Pagi	13,64	150
		Siang	86,21	150
		Sore	12,94	150
Bantul	Sabtu	Pagi	10,81	150
		Siang	20,48	150
		Sore	23,24	150
Di Panjaitan	Minggu	Pagi	7,30	150
		Siang	32,40	150
		Sore	39,87	150
Bantul	Selasa	Pagi	11,69	150
		Siang	35,98	150
		Sore	43,76	150

Pengukuran konsentrasi SO₂ di lapangan dilakukan pada dua lokasi yang berbeda, yaitu Jalan DI Panjaitan dan Jalan Bantul. Untuk mendapatkan gambaran yang lebih rinci, pengukuran dibagi berdasarkan hari kerja (*weekday*) dan hari libur (*weekend*). Pada Kamis, 30 Januari 2025, pengukuran dilakukan di Jalan DI Panjaitan untuk mewakili *weekday*, sementara pada Minggu, 2 Februari 2025, pengukuran di lokasi yang sama dilakukan untuk mewakili *weekend*. Selanjutnya, pengukuran pada Selasa, 4 Februari 2025, dilakukan di Jalan Bantul untuk merepresentasikan konsentrasi SO₂ pada *weekday*, sedangkan pada Sabtu, 1 Februari 2025, pengukuran di lokasi ini mewakili *weekend*. Pengambilan sampel untuk pengukuran realtime di sesuaikan dengan waktu perhitungan kendaraan yaitu dilakukan pada tiga periode waktu, yaitu pukul 08.00-09.00 pagi, 12.00-13.00 siang, dan 16.00-17.00 sore. Pengukuran selama empat hari tersebut bertujuan untuk mengetahui fluktuasi konsentrasi gas pencemar SO₂ akibat perbedaan waktu pengukuran pada hari kerja dan hari libur, serta pengaruh lalu lintas terhadap

konsentrasi SO₂ di masing-masing jalan. Hasil visualisasi lebih rinci untuk pengukuran konsentrasi ini ditampilkan pada gambar berikut ini :



Gambar 4.6 Konsentrasi SO₂ Hari Kamis dan Minggu di Jalan DI Panjaitan



Gambar 4.7 Konsentrasi SO₂ Hari Sabtu dan Selasa di Jalan Bantul

Berdasarkan data jumlah kendaraan, kondisi meteorologi, dan konsentrasi SO₂ yang telah di dapatkan menunjukkan bahwa adanya hubungan antara jumlah kendaraan, faktor meteorologi dengan konsentrasi gas SO₂ pada lokasi penelitian. Pada tanggal 30 Januari 2025 di Jalan Panjaitan, konsentrasi SO₂ pada pagi hari tercatat sebesar 13,64 µg/Nm³, kemudian meningkat drastis pada siang hari menjadi 86,21 µg/Nm³, dan menurun kembali pada sore hari menjadi 12,94 µg/Nm³. Pola ini berkaitan erat dengan faktor meteorologi dan jumlah kendaraan yang melintas. Pada pagi hari, walaupun suhu cukup rendah yaitu 30,1°C dan kecepatan angin sedang sebesar 1,0 m/s, jumlah kendaraan hanya sekitar 1.706 kendaraan sehingga konsentrasi polutan masih rendah. Saat siang hari, jumlah kendaraan meningkat tajam menjadi 2.563 kendaraan disertai suhu lebih tinggi seitar 33,5°C dan kecepatan angin lebih cepat 1,4 m/s, tetapi peningkatan suhu cenderung menyebabkan penguapan emisi, ditambah kelembapan yang menurun 63%, menyebabkan polutan lebih terakumulasi di atmosfer bawah. Inilah sebabnya konsentrasi SO₂ melonjak siang hari. Pada sore hari, meski suhu tetap tinggi yaitu 30,7°C dan kendaraan berkurang menjadi 1.508 kendaraan, kecepatan angin naik menjadi 3,1 m/s, membantu penyebaran polutan sehingga konsentrasi SO₂ menurun kembali. Faktor lain yang berpengaruh adalah tekanan udara yang relatif stabil, mendukung pola penyebaran tersebut.

Pada 1 Februari 2025 di Bantul, konsentrasi SO₂ pagi hari tercatat 10,81 µg/Nm³, naik pada siang hari menjadi 20,48 µg/Nm³, dan makin tinggi pada sore hari mencapai 23,24 µg/Nm³. Di pagi hari, meskipun jumlah kendaraan cukup banyak yaitu 5.430 unit kendaraan, suhu rendah berkisar 28,8°C dan kecepatan angin masih kecil 1,5 m/s, sehingga konsentrasi polutan masih terkendali. Siang hari, kendaraan bertambah menjadi 5.982 unit kendaraan, suhu naik 34,2°C, kecepatan angin juga bertambah 0,9 m/s, tetapi kelembapan turun 59,7%, yang menyebabkan emisi lebih terjebak di udara, meningkatkan konsentrasi SO₂. Pada sore hari, meskipun kendaraan makin banyak 6.415 unit kendaraan, kecepatan angin rendah 0,9 m/s dan kelembapan lebih rendah lagi 61,0%, menyebabkan akumulasi polutan meningkat, sehingga konsentrasi SO₂ sore hari menjadi yang

tertinggi. Pola ini memperlihatkan bahwa tingginya jumlah kendaraan dan kurangnya ventilasi angin memperburuk akumulasi polutan di udara.

Pada tanggal 2 Februari 2025 di Panjaitan, konsentrasi SO_2 pagi hari mencapai $32,40 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, meningkat saat siang hari menjadi $39,87 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, lalu sedikit turun pada sore hari menjadi $31,87 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Pada pagi hari, jumlah kendaraan relatif tinggi 2.099 unit kendaraan dengan suhu $30,0^\circ\text{C}$ dan kecepatan angin $1,3 \text{ m/s}$, yang membuat akumulasi polutan mulai terbentuk. Saat siang hari, jumlah kendaraan naik menjadi 2.079 unit kendaraan, suhu makin tinggi $33,8^\circ\text{C}$, dan kecepatan angin tetap rendah $1,1 \text{ m/s}$, menyebabkan konsentrasi polutan bertambah. Namun, perbedaan pagi-siang tidak terlalu besar karena kendaraan bertambah sedikit saja. Pada sore hari, meskipun kendaraan sedikit berkurang menjadi 1.851 unit kendaraan dan suhu tetap tinggi $33,3^\circ\text{C}$, kecepatan angin naik sedikit $2,1 \text{ m/s}$, menyebabkan polutan sedikit tersebar, sehingga konsentrasi SO_2 sore hari mengalami sedikit penurunan dibandingkan siang. Kondisi cuaca relatif stabil hari itu dengan tekanan udara sedikit turun.

Pada tanggal 4 Februari 2025 di Bantul, konsentrasi SO_2 pada pagi hari tercatat $11,69 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, naik siang hari menjadi $35,96 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, lalu sore hari melonjak signifikan menjadi $43,76 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Pada pagi hari, kendaraan cukup banyak 4.050 unit kendaraan, namun suhu relatif rendah yaitu $30,5^\circ\text{C}$ dan kecepatan angin lumayan tinggi $1,6 \text{ m/s}$, menyebabkan polutan tidak terlalu terakumulasi. Saat siang, kendaraan bertambah menjadi 4.758 unit kendaraan, suhu naik drastis $35,3^\circ\text{C}$, dan kecepatan angin melemah $0,8 \text{ m/s}$, menyebabkan emisi lebih banyak mengendap di atmosfer bawah. Pada sore hari, kendaraan makin banyak 5.508 kendaraan, suhu tetap tinggi $34,3^\circ\text{C}$, dan angin masih lemah $0,9 \text{ m/s}$, menyebabkan konsentrasi SO_2 melonjak menjadi yang tertinggi pada hari itu. Pola ini sangat dipengaruhi kombinasi jumlah kendaraan yang besar dan ventilasi atmosfer yang buruk akibat kecepatan angin rendah.

Perbedaan rata-rata konsentrasi SO_2 di hari kerja (*weekday*) cenderung lebih tinggi dibandingkan akhir pekan (*weekend*). Misalnya, Kamis di DI Panjaitan *weekday* memiliki rata-rata $37,60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, jauh lebih tinggi dibandingkan Sabtu di Bantul *weekend* dengan rata-rata hanya $18,18 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Demikian pula, Selasa di

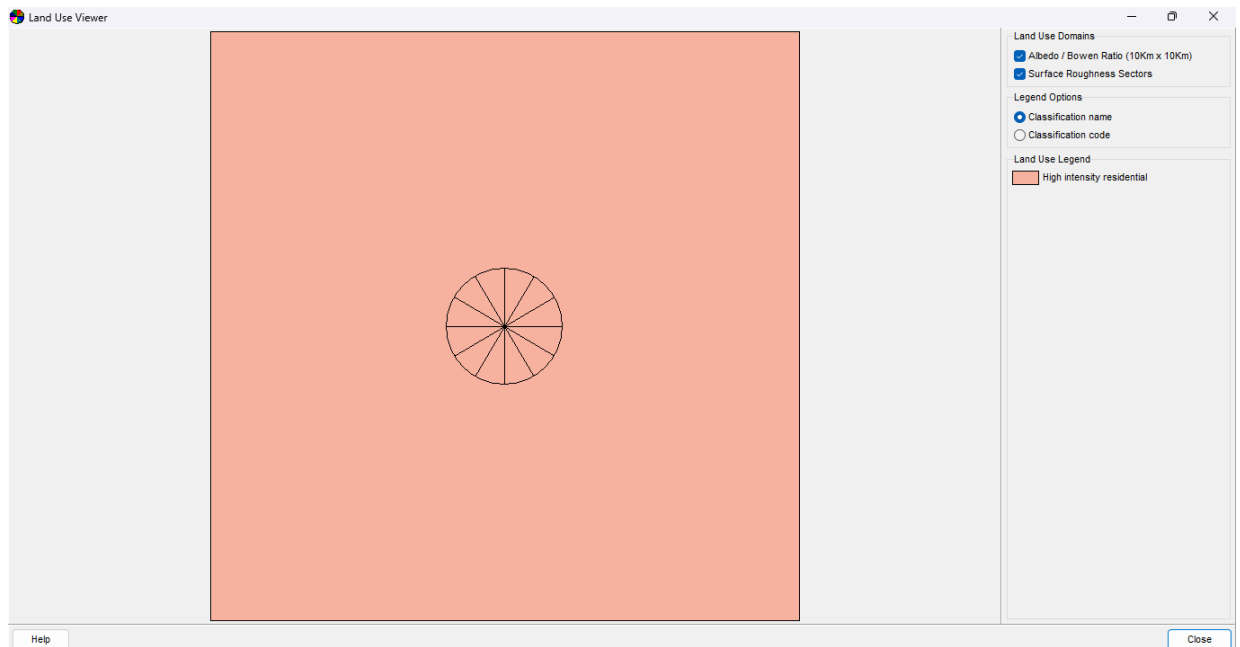
Bantul *weekday* rata-ratanya 30,47 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, lebih tinggi dibandingkan Minggu di Panjaitan *weekend* dengan 34,71 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Ini menunjukkan bahwa pada *weekday*, polusi cenderung lebih tinggi akibat aktivitas kendaraan yang lebih padat dan faktor meteorologi seperti suhu tinggi serta kecepatan angin rendah, yang memperparah akumulasi polutan. Sedangkan pada *weekend*, meskipun masih ada lonjakan, intensitasnya cenderung lebih rendah karena aktivitas kendaraan lebih sedikit dan kondisi cuaca seperti angin dan suhu memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap konsentrasi SO_2 (Santoso dkk., 2020).

4.6 Visualisasi Penyebaran Konsentrasi Gas SO_2

Visualisasi penyebaran Konsentrasi gas SO_2 di lokasi *line area* yang bersumber dari kendaraan bergerak di beberapa titik jalan yang telah ditentukan dilakukan dengan perangkat AERMOD. Alur pengerjaan mengumpulkan data meteorologi yang berasal dari website Era 5 yang menyediakan data reanalisis atmosfer dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) kemudian diolah dengan aplikasi *Ocean Data View* (ODV) data ini kemudian di export menjadi file Excel.sam yang terdiri dari data *cloud cover*, *temperature*, *humidity*, *pressure*, *wind direction*, *wind speed*, *precipitation*, dan *radiation*, selanjutnya data ini akan di input untuk di olah dalam aplikasi AERMET menjadi *Surface Data File* (.sfc). File .sfc yang dihasilkan mencakup parameter-parameter penting yang digunakan dalam model dispersi AERMOD yaitu seperti *surface temperature*, *air pressure*, *wind speed* dan *wind direction* pada ketinggian 10 meter, *cloud cover*, *solar radiation*, *precipitation*, *relative humidity*, Monin-Obukhov length, *friction velocity*, *convective velocity scale*, *mixing height*, *surface albedo*, *Bowen ratio*, dan *surface roughness length*. Namun tidak semua data untuk .sfc tersedia dari dataset Era 5 sehingga data yang tidak tersedia di isi oleh data *default value*.

Pada model AERMOD, terdapat tiga parameter penting dari *land use creator* AERMET, yaitu albedo, Bowen ratio, dan *surface roughness*. Albedo menunjukkan seberapa banyak sinar matahari yang dipantulkan oleh permukaan; semakin rendah nilainya, semakin banyak panas yang diserap. Bowen ratio menggambarkan perbandingan antara panas laten (penguapan air) dan panas sensibel (pemanasan

udara); nilai tinggi menunjukkan permukaan yang lebih kering. Sedangkan *surface roughness* menggambarkan tingkat kekasaran permukaan tanah yang memengaruhi pola turbulensi udara. Ketiga parameter ini diperlukan agar pemodelan sebaran polutan bisa lebih akurat dan sesuai kondisi nyata di lapangan (Wangsa dkk., 2022).



Gambar 4.8 Tutupan Lahan Daerah Penelitian

Pada lokasi penelitian ini dengan tutupan lahan jenis *high intensity residential* (permukiman padat) seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4.9 dengan nilai parameter yang digunakan adalah albedo sebesar 0,18 berarti permukaan banyak menyerap panas bowen ratio 0,62 yang cukup tinggi menunjukkan lingkungan yang relatif kering dan *surface roughness* 0,087 meter yang kecil menandakan permukaan cukup rata sehingga turbulensi udara tidak terlalu kuat.

Tabel 4.5 Data Line Area Source

Source ID	X Coord. [m]	Y Coord. [m]	Base Elevation [m]	Release Height [m]	Emission Rate [g/s-m2]	Side Length [m]	Description
JLN1	428986	9136322	68	1,3	0,000008	10	Bantul
JLN2	428996	9136803	93	1,3	0,00002	9	Suryo_Wijayan
JLN3	429015	9137632	99	1,3	0,000009	9	Wahid_Hasyim
JLN4	429060	9137605	101	1,3	0,000012	16	Kh_Ahmad_Dahlan
JLN5	429060	9137605	105	1,3	0,000016	15	Panembahan_Senopati

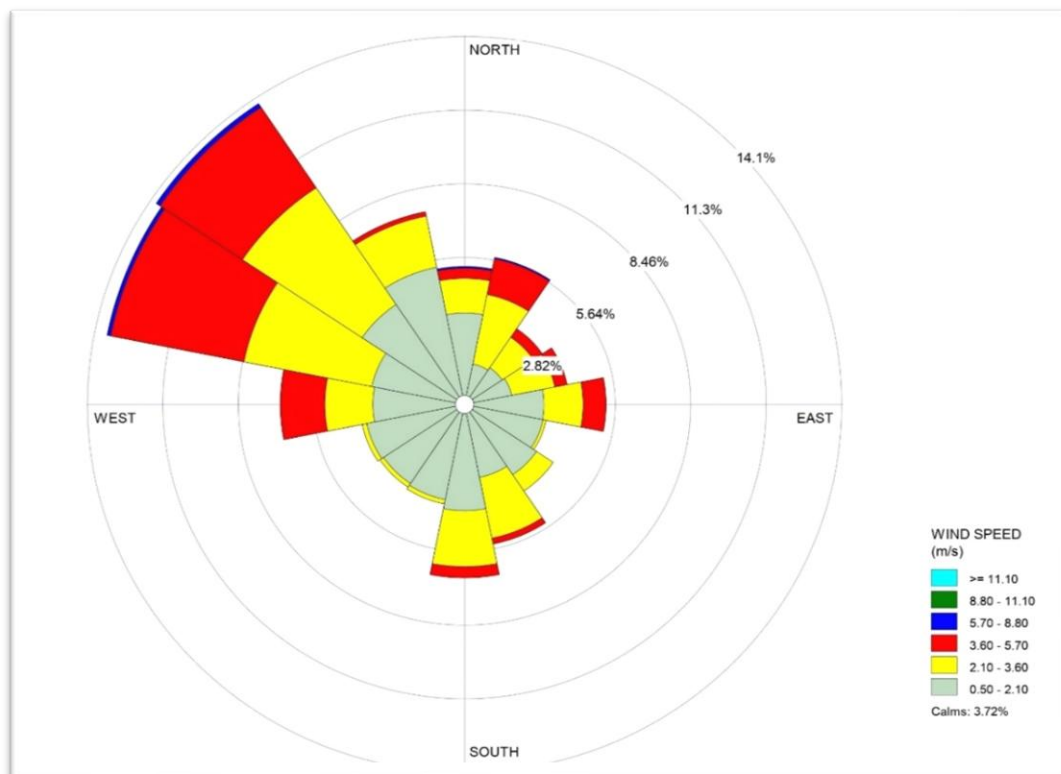
Source ID	X Coord. [m]	Y Coord. [m]	Base Elevation [m]	Release Height [m]	Emission Rate [g/s-m2]	Side Length [m]	Description
JLN6	430461	9137589	99	1,3	0,000007	12	Brigden_Katamso
JLN7	437041	9136114	90	1,3	0,000007	11	Parangtritis
JLN8	428999	9136036	90	1,3	0,000014	13	Mtharyono
JLN9	429752	9136208	90	1,3	0,000006	7	Di Panjaitan
JLN10	429752	9136208	94	1,3	0,000014	13	Mayjendsutoyo

Data terrain di peroleh dari SRTM1/SRTM3 yang di olah menggunakan AERMAP yang telah tersedia di dalam AERMOD. Mawar angin (*wind rose*) dibuat dengan mengggguankan data *Profile Data File* (.scf) yang di olah dengan perangkat lunak WRPLOT View yang telah tersedia. Data faktor emisi yang telah di hitung dengan persamaan inventarisasi emisi dengan sumber garis kemudian di input ke dalam AERMOD dengan tipe *line area*. Adapun data yang dimasukan dalam tipe sumber line area meliputi *length of side*, *initial vertical dimention*, *emission rate*, *ratio 1*, *total length base elevation*, *relese height* seperti pada tabel 4.5. Berikut merupakan hasil input data untuk memvisualisasikan arah dan frekuensi angin di lokasi penelitian serta penyebaran konsentrasi gas SO₂ pada 10 titik jalan di sekitar kawasan wisata budaya Yogyakarta yang terdapat pada gambar 4.9 dan 4.10

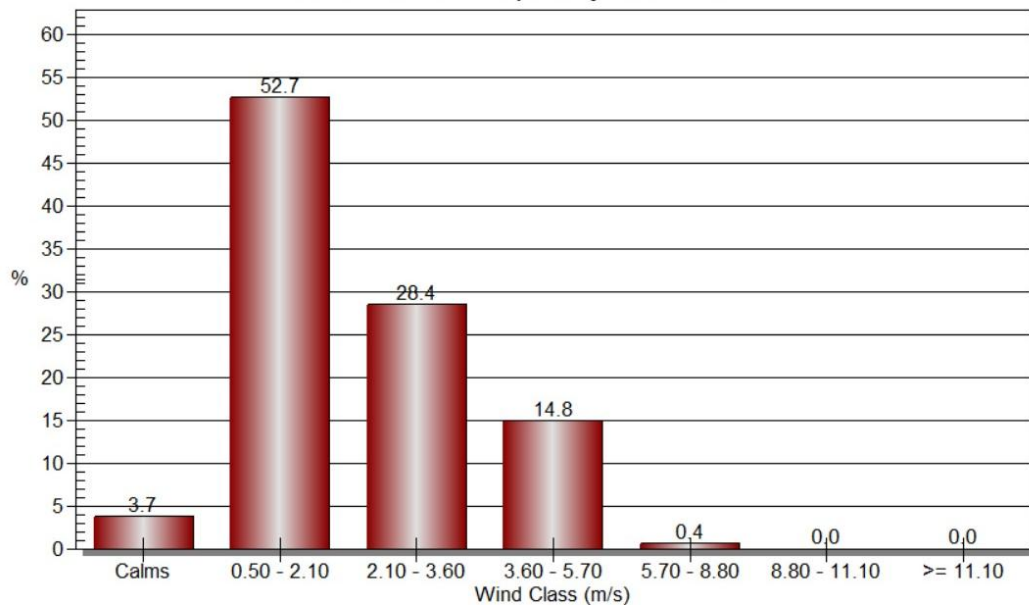
Plot mawar angin menunjukkan arah angin dan kecepatan angin yang dominan selama periode pengukuran. Arah angin dominan berasal dari barat laut menuju tenggara, yang terlihat dari batang terpanjang pada grafik tersebut. Warna pada batang mewakili kecepatan angin, abu-abu untuk kecepatan 0,50–2,10 m/s, kuning untuk 2,10–3,60 m/s, merah untuk 3,60–5,70 m/s, dan merah tua untuk kecepatan di atas 5,70 m/s. Data menunjukkan bahwa mayoritas kecepatan angin berada dalam kategori rendah, dengan 52,7% angin berada pada kecepatan 0,50–2,10 m/s, dan 28,4% pada rentang 2,10–3,60 m/s. Angin dengan kecepatan lebih tinggi sangat jarang, dan angin diam tercatat sebesar 3,7% dari total waktu pengamatan.

Dari grafik distribusi frekuensi kecepatan angin (*Wind Class Frequency Distribution*) pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa kecepatan angin sebagian besar

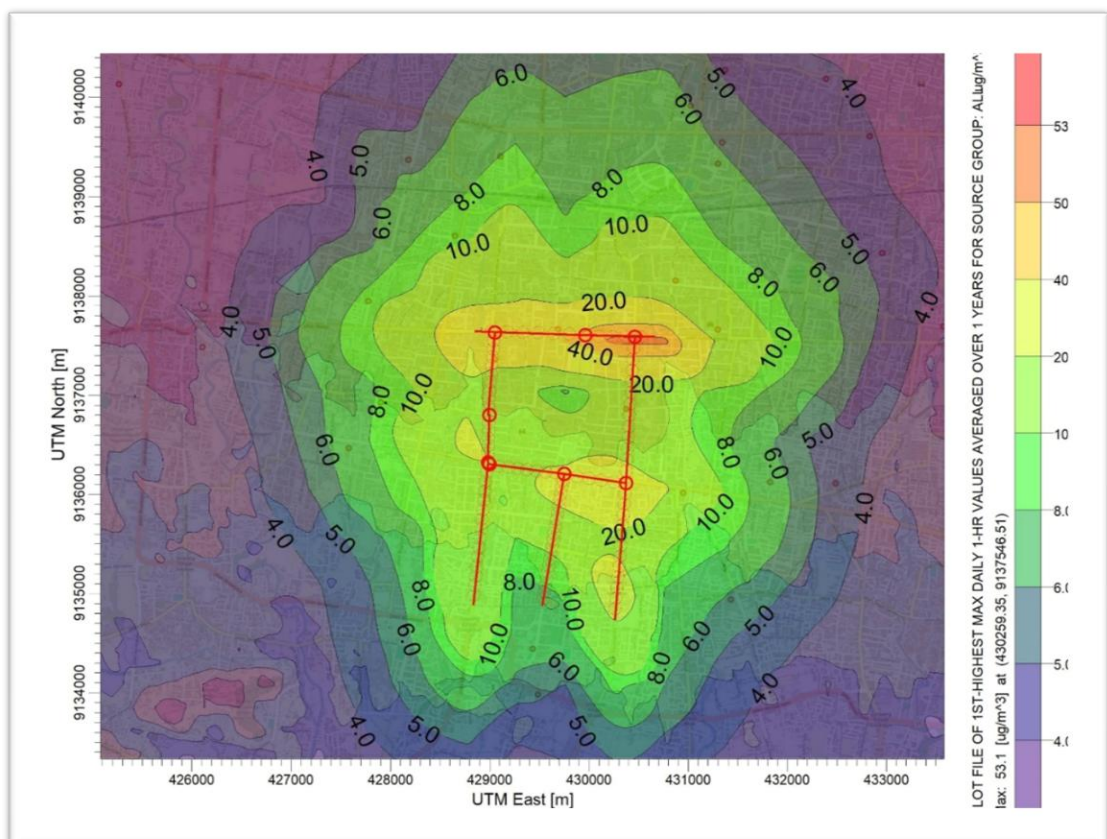
berada dalam rentang 0,50–2,10 m/s (52,7%), diikuti oleh 28,4% pada rentang 2,10–3,60 m/s, dan 14,8% pada 3,60–5,70 m/s. Hanya 0,4% angin yang tercatat dalam rentang kecepatan 5,70–8,80 m/s, dan tidak ada angin yang melebihi 8,80 m/s. Angin diam tercatat sebesar 3,7%, yang konsisten dengan pola pada plot mawar angin. Pola ini menunjukkan bahwa penyebaran polutan, seperti SO₂, di wilayah ini cenderung terbatas karena dominasi angin yang lebih lemah dan arah angin yang konsisten dari barat laut menuju tenggara. Kecepatan angin yang rendah berpotensi memperlambat penyebaran polutan dan menyebabkan konsentrasi polutan yang lebih tinggi di sekitar sumbernya.



Gambar 4.9 Mawar Angin Berdasarkan Data Meteorologi



Gambar 4.10 Distribusi Frekuensi Kelas Kecepatan Angin Lokasi Pengukuran



Gambar 4.11 Peta Sebaran Konsentrasi SO₂ Selama 1 jam

Berdasarkan peta sebaran emisi SO_2 di kawasan budaya Kota Yogyakarta yaitu di sekitar Kawasan Njeron Benteng, menampilkan pemodelan pada area dengan luas 5x5 km yang terkena dampak dari emisi gas SO_2 dengan berbagai tingkat konsentrasi, dimana warna merah menunjukkan konsentrasi tertinggi dan hijau menunjukkan konsentrasi yang lebih rendah. Konsentrasi tertinggi mencapai 53 g/m³ di sekitar Jalan Panembahan Senopati. Diagram 4.14 menunjukkan bahwa tingginya emisi berasal dari volume kendaraan yang padat, di mana kendaraan bermotor menyumbang emisi yang konsisten sepanjang hari. Jalan utama seperti Jalan Parangtiritis dan KH Ahmad Dahlan juga memperlihatkan peningkatan konsentrasi, meski tidak setinggi di Jalan Panembahan Senopati. Tingginya konsentrasi SO_2 di daerah ini terutama disebabkan oleh kepadatan lalu lintas yang tinggi, terutama kendaraan roda dua (sepeda motor) dan mobil yang melintasi jalan ini. Meskipun emisi SO_2 dari sepeda motor relatif lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar solar atau bermesin diesel, volume kendaraan yang sangat besar menyebabkan terjadinya akumulasi emisi yang signifikan. Selain itu, ada konsentrasi yang cukup tinggi terjadi di beberapa jalan utama lainnya, seperti Jalan KH Ahmad Dahlan dan Parangtiritis, meskipun tidak sebanyak di Panembahan Senopati. Konsentrasi SO_2 ini menunjukkan bahwa aktivitas transportasi adalah penyebab utama polusi udara di wilayah tersebut.

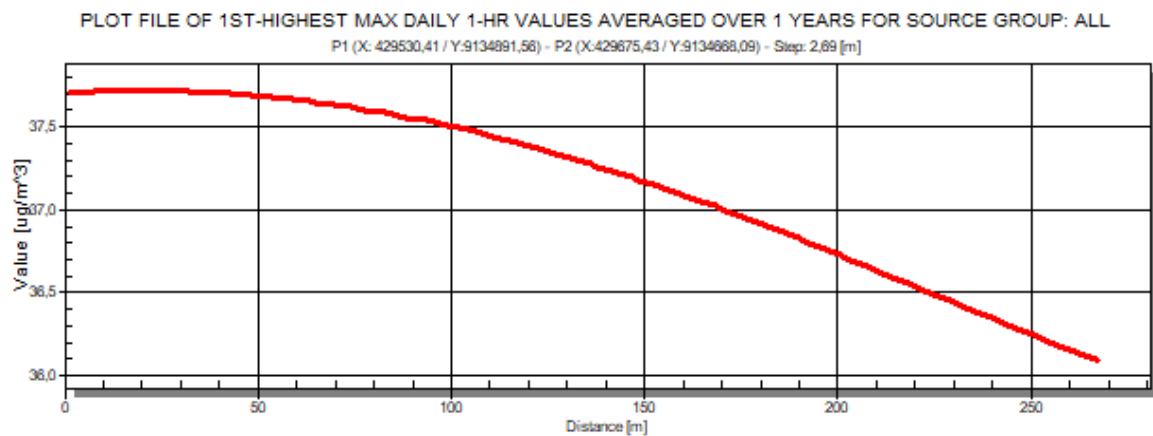
Pengaruh arah dan kecepatan angin terhadap pola penyebaran gas SO_2 dari hasil pemodelan pada gambar 4.14 dapat dilihat bahwa sebaran gas cenderung meluas ke arah timur, sesuai dengan arah tiupan angin yang ditunjukkan oleh mawar angin pada gambar 4.12, hal ini berarti gas SO_2 mengikuti aliran angin dari barat menuju timur. Dengan demikian, gas SO_2 mengikuti pola pergerakan angin dari barat, membawa polutan ke kawasan di sebelah timur sumber emisi. Selain arah angin, kecepatan angin juga berpengaruh terhadap pola penyebaran polutan. Berdasarkan wind class frequency distribution pada Gambar 4.13, kecepatan angin di kawasan penelitian didominasi oleh kisaran 0,5–2,1 m/s (52,7%) dan 2,1–3,6 m/s (28,4%). Kecepatan angin yang relatif rendah ini menyebabkan proses dispersi gas SO_2 berlangsung lebih lambat, sehingga meningkatkan potensi akumulasi polutan di area sekitar sumber emisi dan kawasan yang dilalui pergerakan angin.

Selain faktor meteorologi, kondisi kontur atau elevasi wilayah juga berperan dalam penyebaran polutan. Berdasarkan elevasi maksimum di wilayah studi yang mencapai sekitar 150 meter di atas permukaan laut. Secara umum, topografi di area yang termasuk perkotaan ini relatif datar hingga bergelombang ringan, tanpa perbedaan ketinggian yang ekstrem. Kondisi topografi seperti ini memungkinkan penyebaran polutan berlangsung lebih luas secara horizontal, tanpa hambatan fisik besar seperti bukit atau lembah yang dapat memblokir atau memfokuskan aliran polutan. Dengan demikian, pergerakan polutan SO_2 tetap sejalan dengan arah dominasi angin, yaitu dari barat ke timur.

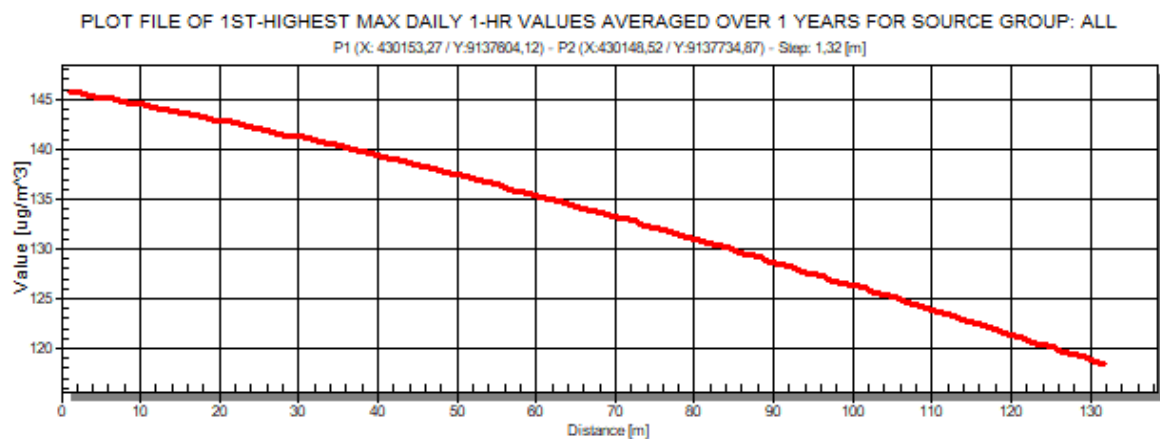
. Angin yang membawa polutan dari arah barat dan topografi yang relative datar menyebabkan akumulasi polutan di kawasan yang lebih padat, termasuk di sekitar Jalan Panembahan Senopati. Hal ini memperkuat bahwa selain volume kendaraan, arah angin dan bentuk topografi wilayah juga berperan penting dalam memengaruhi pola penyebaran polutan di suatu wilayah. Dengan demikian, wilayah yang terletak di arah timur dan sekitarnya dari sumber emisi cenderung terkena dampak lebih besar karena aliran angin membawa polutan ke arah tersebut. Secara keseluruhan, Jalan Panembahan Senopati menjadi lokasi dengan konsentrasi SO_2 tertinggi karena kombinasi antara volume lalu lintas yang tinggi, khususnya sepeda motor, emisi yang dihasilkan oleh kendaraan tersebut, serta kondisi angin yang membawa dan memusatkan polutan di kawasan ini. Kondisi ini menunjukkan bahwa aktivitas transportasi, terutama di jalan-jalan utama dengan lalu lintas padat, merupakan faktor utama dalam pencemaran udara di wilayah tersebut. Upaya untuk mengurangi polusi udara harus mencakup pengendalian emisi kendaraan dan manajemen lalu lintas yang lebih baik, serta memperhatikan kondisi angin yang dapat memengaruhi penyebaran polutan.

Dampak dari persebaran konsentrasi SO_2 yang tinggi dapat memberikan efek negatif terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat, terutama bagi mereka yang terpapar secara terus-menerus di daerah seperti Jalan DI Panjaitan, yang lebih rawan risiko paparan polutan. SO_2 yang terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan berbagai masalah pernapasan, seperti iritasi, penurunan fungsi paru, dan memperburuk asma. Lebih dari 50% masyarakat di daerah dengan lalu lintas

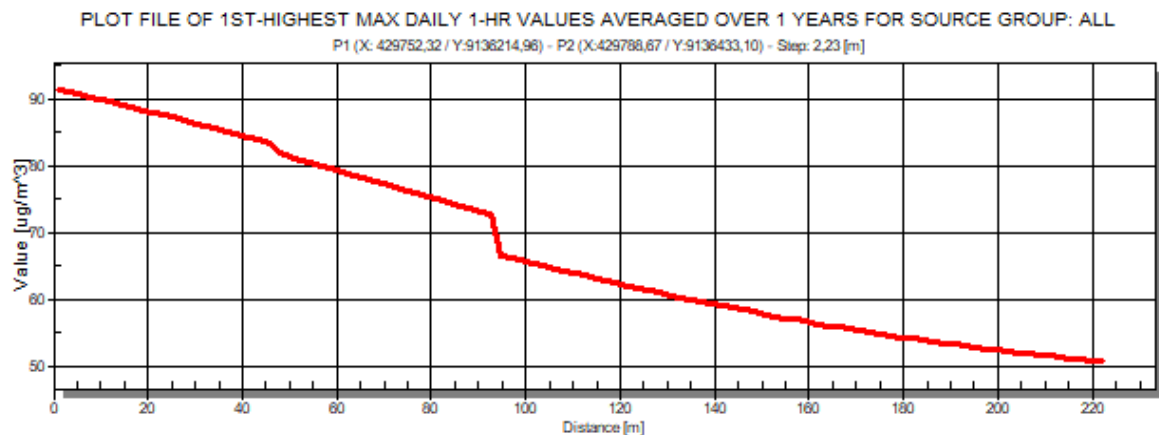
padat, mengalami gangguan fungsi paru akibat paparan SO_2 . Paparan berkepanjangan juga berpotensi meningkatkan risiko penyakit kronis, serta mendorong terbentuknya hujan asam yang dapat merusak lingkungan dan infrastruktur. Oleh karena itu, upaya pengendalian polusi sangat penting, termasuk penanaman pohon untuk mereduksi polutan dan kebijakan pengurangan emisi kendaraan bermotor (Masito, 2018).



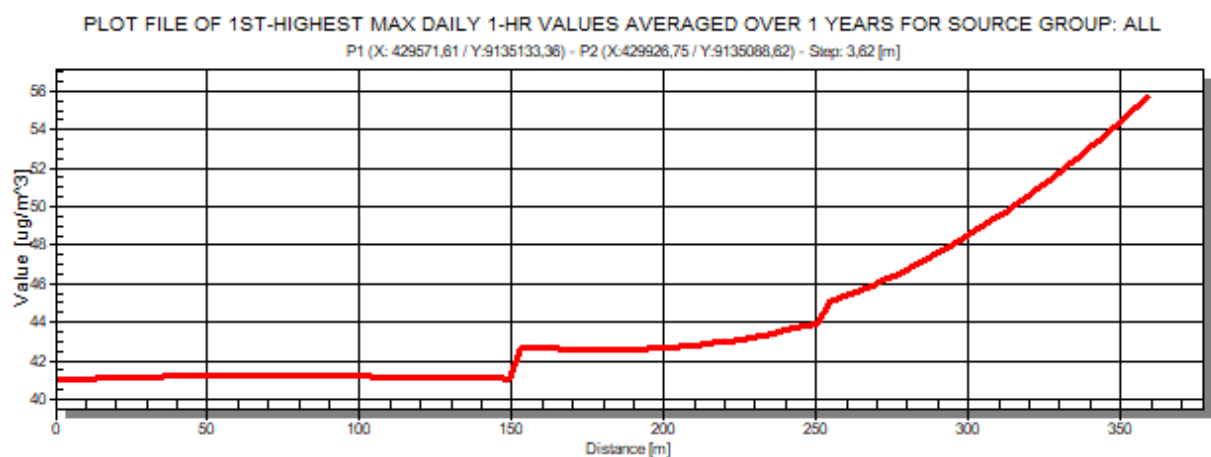
Gambar 4.12 Pola Sebaran Polutan SO_2 Menuju Pangung Krapyak



Gambar 4.13 Pola Sebaran Polutan SO_2 Menuju Malioboro



Gambar 4.14 Pola Sebaran Polutan SO₂ Alun-Alun Selatan



Gambar 4.15 Pola Sebaran Polutan SO₂ Jokokaryan

Berdasarkan grafik 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 menunjukkan pola sebaran polutan SO₂ dengan hasil pemodelan 1 jam dengan sebaran dari sumber menuju reseptor sensitive di sekitar wilayah penelitian yang sering dikunjungi, pada grafik 4.15 pola sebaran polutan SO₂ ke arah Panggung Kerapyak menunjukkan bahwa konsentrasi polutan mulai berkurang perlahan sejak jarak 0 meter. Penurunan terjadi setelah melewati jarak 100 meter, dan pada jarak sekitar 250 meter, konsentrasi SO₂ turun dari sekitar 37,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi mendekati 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ini menunjukkan bahwa semakin jauh dari sumber polusi, udara menjadi lebih bersih karena polutan tersebar oleh angin maupun tereduksi oleh vegetasi yang ada di sekitar wilayah tersebut. Grafik 4.16, arah menuju Malioboro, konsentrasi SO₂ turun lebih cepat. Dalam jarak 50 meter saja, polutan sudah berkurang sekitar 2–3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan terus menurun hingga tinggal sekitar 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di jarak 130 meter. Ini bisa terjadi karena daerah

Malioboro yang padat bangunan menyebabkan udara lebih cepat bercampur, sehingga polutan lebih cepat hilang. Sedangkan pada grafik 4.17, pola di Alun-Alun Selatan memperlihatkan penurunan polutan di jarak sekitar 60 meter hingga 100 meter dan terus berkurang hingga jarak 220 m. Setelah itu, penurunan polutan berjalan lebih lambat. Ini mungkin disebabkan oleh keberadaan pepohonan atau bangunan yang membantu mempercepat pembersihan udara dalam jarak dekat. Berbeda dengan yang lain. Grafik 4.18 pola sebaran polutan SO₂ di Jokokaryan menunjukkan bahwa konsentrasi polutan awalnya hampir tidak berubah hingga jarak 150 meter. Namun setelah melewati jarak tersebut, konsentrasi justru mengalami kenaikan, dan pada jarak 350 meter, konsentrasinya menjadi lebih tinggi dibandingkan di dekat sumber. Kondisi ini kemungkinan terjadi karena udara di daerah tersebut cenderung diam atau terjebak oleh bangunan, sehingga polutan sulit tersebar dan akhirnya menumpuk di jarak yang lebih jauh. Selain itu, lokasi reseptor ini berada di antara dua jalan utama, yaitu Jalan DI Panjaitan dan Jalan Parangtritis, sehingga polutan dari kedua jalan tersebut terkonsentrasi di titik ini.

4.6 Perbandingan Sampling dengan Pemodelan AERMOD

Perbandingan konsentrasi gas SO₂ model AERMOD dengan rata-rata konsentrasi gas SO₂ hasil sampling di jalan primer bertujuan untuk melihat seberapa akurat prediksi AERMOD dalam memodelkan penyebaran SO₂ di atmosfer. Konsentrasi gas SO₂ pada model AERMOD di dapatkan dari hasil menjalankan running Model AERMOD dengan tipe sumber line area. Adapun hasil perbandingan konsentrasi antara model AERMOD dengan rata-rata hasil sampling pada jalan primer dapat di lihat pada tabel berikut

Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Konsentrasi Gas SO₂ Model dan Sampling

Nama Jalan	Satuan	Konsentrasi SO ₂	
		Model	Sampling
Bantul	(µg/Nm ³)	27	32
Di Panjaitan	(µg/Nm ³)	17	24

4.7 Hasil Validasi Model

Validasi model berfungsi untuk mengukur tingkat kesalahan dari model yang digunakan dalam suatu penelitian. Ketidakakuratan hasil prediksi pemodelan dapat

lebih rendah (*underprediction*) atau lebih tinggi (*overprediction*) dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung di lapangan. Hal ini bisa terjadi karena model hanya mampu memberikan prediksi pada tingkat tertentu yang dipengaruhi oleh input parameter seperti data emisi dan faktor meteorologi. Model dianggap akurat (*acceptable*) jika nilai kesalahannya <25%, dan masuk kategori baik (*good*) jika nilainya <10% (Reed dkk.,2015). Hasil prediksi ini digunakan untuk membandingkan model AERMOD dengan pengukuran aktual kualitas udara ambien yang dilakukan selama 1 jam menggunakan persamaan 3.5. Tingkat akurasi model AERMOD dan pengukuran langsung (*sampling*) ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan contoh perhitungan dapat dilihat pada **Lampiran 3**.

Tabel 4.7 Perhitungan Akurasi Model Dengan Metode RMSPE

Nama Jalan	Satuan	Konsentrasi SO ₂		RMSPE	RMSPE
		Model	Sampling	Tiap Jalan	
DI Panjaitan	(µg/Nm ³)	27	32	17%	24%
Bantul	(µg/Nm ³)	17	24	30%	

Dapat dilihat berdasarkan hasil validasi RMSPE untuk gas SO₂ selama 1 jam antara hasil pengukuran langsung dan prediksi model AERMOD menunjukkan nilai RMSPE sebesar 24%. Nilai ini berada di bawah batas 25%, sehingga model dapat dikategorikan valid dengan tingkat kesalahan yang masih dapat diterima. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan antara hasil model dan pengukuran nyata tidak terlalu besar. Namun demikian, masih terdapat beberapa perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran lapangan. Hasil model yang lebih rendah atau *underprediction* namun perbedaannya masih dapat diterima. Pada validasi ini, hasil model AERMOD menunjukkan konsentrasi SO₂ yang lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan metode impinger, baik di Jalan DI Panjaitan maupun Jalan Bantul. Secara lebih rinci, pada Jalan DI Panjaitan, model menghasilkan konsentrasi SO₂ sebesar 27 µg/Nm³, sementara hasil pengukuran menunjukkan nilai 32 µg/Nm³, dengan nilai RMSPE sebesar 17%. Sementara itu, pada Jalan Bantul, model memprediksi konsentrasi sebesar 17 µg/Nm³, sedangkan

hasil sampling menunjukkan $24 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, dengan nilai RMSPE sebesar 30%. Nilai kesalahan yang lebih tinggi pada Jalan Bantul dapat disebabkan oleh variasi aktivitas kendaraan yang lebih dinamis atau adanya sumber emisi tambahan saat dilakukan pengukuran langsung di lapangan sehingga tidak terakomodasi dalam pemodelan.

Kondisi ini juga dapat dijelaskan oleh karakteristik kedua lokasi tersebut. Jalan DI Panjaitan dan Jalan Bantul merupakan jalur lalu lintas padat dengan aktivitas kendaraan yang tinggi, terutama kendaraan bermotor diesel yang menghasilkan emisi SO_2 cukup besar. Selain itu, kedua jalan ini juga dikelilingi oleh deretan bangunan dan ruko yang rapat, yang menyebabkan terbentuknya efek lorong (*street canyon effect*). Efek ini membuat polutan terjebak di antara bangunan, sehingga konsentrasi polutan di lapangan menjadi lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi (Sanitha, 2014). Faktor meteorologi seperti kecepatan angin yang lebih tinggi dalam model dibanding kenyataan juga bisa menyebabkan konsentrasi hasil model lebih rendah, karena polutan lebih cepat terbawa angin. Selain itu, adanya sumber emisi tambahan yang tidak dimasukkan dalam perhitungan model (misalnya dari aktivitas manusia atau kendaraan di luar perhitungan) juga menyebabkan hasil pengukuran di lapangan lebih tinggi daripada prediksi model (Irsan & Istiqomah, 2023).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai dispersi sulfur dioksida (SO_2) di Kawasan Budaya Kota Yogyakarta menggunakan pemodelan AERMOD dan pengukuran langsung dengan impinger, dapat disimpulkan bahwa:

1. Emisi SO_2 dari Kendaraan di area penelitian, menunjukan pada Jalan KH Ahmad Dahlan memiliki akumulasi emisi tertinggi sebesar 8.315,31 gram/jam, sedangkan emisi terendah ditemukan di Jalan DI Panjaitan sebesar 1.935,38 gram/jam. Hasil perhitungan beban emisi mengindikasikan bahwa selain dipengaruhi oleh jumlah kendaraan, penggunaan kendaraan bermesin diesel dengan bahan bakar solar merupakan kontributor utama dalam peningkatan konsentrasi SO_2 di udara.
2. Perbandingan antara hari kerja (*weekday*) dan hari libur (*weekend*) menunjukkan bahwa konsentrasi SO_2 pada hari kerja (Kamis dan Selasa) cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan akhir pekan (Sabtu dan Minggu). Pada hari kerja, konsentrasi tertinggi tercatat di Jalan Bantul pada Selasa sore, yaitu sebesar 43,76 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sedangkan di Jalan Panjaitan konsentrasi tertinggi terjadi pada Kamis siang dengan nilai 86,21 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sebaliknya, pada akhir pekan, konsentrasi tertinggi di Jalan Panjaitan tercatat pada Minggu siang sebesar 32,40 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sedangkan di Jalan Bantul pada Sabtu sore dengan nilai 23,24 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Konsentrasi terendah ditemukan di Jalan Bantul pada Sabtu pagi sebesar 10,81 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Hasil ini mengindikasikan bahwa padatnya aktivitas kendaraan bermotor pada hari kerja berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi SO_2 dibandingkan saat akhir pekan, ketika aktivitas lalu lintas cenderung lebih sedikit.
3. Pola Sebaran SO_2 dari Pemodelan AERMOD memberikan gambaran yang jelas mengenai sebaran polutan SO_2 di area penelitian. Konsentrasi tertinggi terjadi di sepanjang jalan dengan lalu lintas padat dan area yang

lebih tertutup, di mana dispersi polutan melambat. Konsentrasi SO_2 tertinggi tercatat di sekitar Jalan Panembahan Senopati, dengan nilai mencapai $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dipengaruhi oleh tiupan angin dominan dari arah barat menuju timur yang menyebabkan akumulasi polutan di area tersebut.

4. Berdasarkan hasil validasi menggunakan metode RMSPE sebesar 24%, model AERMOD dinyatakan valid dan cukup akurat untuk memprediksi konsentrasi SO_2 selama 1 jam. Pada Jalan DI Panjaitan, model memprediksi $27 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sedangkan hasil pengukuran menunjukkan $32 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan RMSPE 17%. Sementara di Jalan Bantul, hasil model adalah $17 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan pengukuran $24 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan RMSPE 30%. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh aktivitas kendaraan yang bervariasi, sumber emisi tambahan, efek lorong jalan, serta bangunan rapat yang tidak sepenuhnya terakomodasi dalam model.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat di usulkan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Melakukan pemodelan dispersi polutan di area yang berdekatan dengan stasiun pemantauan untuk memudahkan perbandingan antara hasil pemodelan dan data pengamatan langsung.
2. Menambah jumlah titik pengambilan sampel langsung di lapangan pada setiap ruas jalan, serta melakukan pengambilan secara duplo (pengulangan dua kali) untuk meningkatkan akurasi dan representasi hasil pengukuran.
3. Menggunakan aplikasi untuk menghitung jumlah kendaraan agar mempermudah klasifikasi jenis kendaraan berdasarkan kategori, sehingga perhitungan beban emisi dapat dilakukan dengan lebih tepat dan akurat.
4. Mempertimbangkan pengaruh bangunan, topografi, dan vegetasi dalam pemodelan dispersi polutan, karena faktor-faktor ini dapat mempengaruhi pola sebaran polutan di permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, N. (2017). Analisa Dispersi Sulfur Dioksida (So₂) Dari Sumber Point Source Insinerator Rumah Sakit St. Antonius Menggunakan Model Meti-Lis. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1), 1–11. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v5i1.18401>
- Amalia, S. (2022). Analisis Sulfur Dioksida (SO₂) Udara Ambient Menggunakan Metode Pararosanilin dengan Spektrofotometer UV-Visible Kabupaten Bandung , Jawa Barat. *Gunung Djati Conference Series*, 15(2774–6585), 11–15.
- Amouzouvi, Y. M., Dzagli, M. M., Sagna, K., Török, Z., Roba, C. A., Mereuță, A., Ozunu, A., & Edjame, K. S. (2020). Evaluation of pollutants along the national road N2 in Togo using the AERMOD dispersion model. *Journal of Health and Pollution*, 10(27). <https://doi.org/10.5696/2156-9614-10.27.200908>
- Arvisista, & Dwisusanto, Y. B. (2020). Transformation of Dalem Spatial Structure Around Jeron Benteng Area, Yogyakarta. *Jurnal RISA (Riset Arsitektur)*, 4(2), 138–154. www.journal.unpar.ac.id
- Ariati, Arifin, M. Z., Sutikno, F. R., Bowoputro, H., & Miftahulkhair, M. (2024). Identifying the Influence of Traffic Management on Vehicle Emissions and the Distribution of Air Dispersion in the Makassar Port Area. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10(129)), 84–91. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.307037>
- Assegaf, A.H dan Jayadipraja, E.A. (2015). Pemodelan Dispersi CO dari Cerobong Pabrik Semen Tonasa dengan Menggunakan Model AERMOD. Universitas Hasanuddin: Center for Environmental Studies (CES).
- Cahyono, W. E. (2011). Kajian Tingkat Pencemaran Sulfur Dioksida Dari Industri Di Beberapa Daerah Di Indonesia. *Berita Dirgantara*, 12(4), 132–137. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/berita_dirgantara/article/view/1661
- Cimorelli.A.J et al, (2004). Aermოდ: Description of model formulation. Environmental Protection Agency: United State.Clarson dalam Arrohmah, 2007.
- Damayanti Sima Sima Sohilauw, M Fadly Kaliky, & Fitria Tuharea. (2023).

- Kualitas Fisik Dan Bakteriologi Udara Dalam Ruang Terhadap Gangguan Kesehatan Di Dinas Perpustakaan Dan Kearsipan Provinsi Maluku. *The Journal General Health and Pharmaceutical Sciences Research*, 1(4), 84–94. <https://doi.org/10.57213/tjghpsr.v1i4.146>
- Daffa Shidqi, M., & Ratni Juliardi R, N. A. (2024). Analisis Persebaran Emisi Gas Sulfur Dioksida dari Unit 2 Pabrik Sulphuric Acid PT Petrokimia Gresik Menggunakan Model AERMOD. *Serambi Engineering*, IX(2), 8916–8926.
- Decy Arwini, N. P. (2020). Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kualitas Udara Di Provinsi Bali. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 2(2), 20–30. <https://doi.org/10.47532/jiv.v2i2.86>
- Dewi, W. C. (2020). Analisis Keluhan Infeksi Saluran Pernapasan Bagian Atas Pada Pedagang Unggas Di Pasar Burung 16 Kota Palembang. *Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sriwijaya*, 14–19.
- EPA, U. S. (2019). AERMOD Implementation Guide. EPA-454/B-19-035. *AERMOD Implementation Workgroup. Office of Air*.
- Fatimah, S., Syakdiah, S., & Kusumawiranti, R. (2022). Kebijakan Pemerintah dalam Mengatasi Kemacetan di Kota Yogyakarta (Studi Penelitian di Jalan Malioboro di Jalan Tentara Pelajar). *Populika*, 10(1), 24–41. <https://doi.org/10.37631/populika.v10i1.473>
- Fifianah, M., & Amalia, A. (2024). *Analysis of the Influence of Meteorological Factors on SO₂ and NO₂ Gas Concentrations from the Boiler Chimney of Sugar Factory Analisis Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi Gas SO₂ dan NO₂ dari Cerobong Ketel Pabrik Gula X*. 9, 70–76.
- Filho, J. P., Costa, M. A. M., & Cardoso, A. A. (2019). A micro-impinger sampling device for determination of atmospheric nitrogen dioxide. *Aerosol and Air Quality Research*, 19(11), 2597–2603. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.06.0318>
- Gibson, M. D., Kundu, S., & Satish, M. (2013). Dispersion model evaluation of PM_{2.5}, NO_X and SO₂ from point and major line sources in Nova Scotia, Canada using AERMOD Gaussian plume air dispersion model. *Atmospheric*

- Pollution Research*, 4(2), 157–167. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.016>
- Gunawan, H., & Ruslinda, Y. (2016). *Pemodelan hubungan jumlah kendaraan berbahan bakar solar dengan konsentrasi gas sulfur dioksida (SO₂) di udara ambien jalan raya kota Padang*. Presented at the 19th International Symposium of Indonesian Inter-University Transportation Studies Forum, Yogyakarta: Islamic University of Indonesia, October 11-13.
- Hadiyati, M., & Rima Setyawati, T. (2013). Kandungan sulfur dan klorofil thallus lichen *Parmelia* sp. dan *Graphis* sp. pada pohon peneduh jalan di Kecamatan Pontianak Utara. *Protobiont*, 2(1), 12–17.
- Haryanto, A., & Triyono, S. (2012). Studi Emisi Tungku Masak Rumah Tangga. *Agritech*, 32(4), 619–624.
- Istantinova, D. B., Hadiwidodo, M., & Handayani, D. S. (2013). Terhadap Konsentrasi Gas Pencemar Sulfur Dioksida (SO₂) Dalam Udara Aambien di sekitar PT . INTI GENERAL YAJA STEEL Semarang. *Tentang Konsentrasi Gas Sulfur*, 10(Gas Sulfur), 1–10.
- Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15(14), 5481–5487. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022>
- Irakunda, E., Török, Z., Mereuță, A., Gasore, J., Kalisa, E., Akimpaye, B., Habineza, T., Shyaka, O., Munyampundu, G., & Ozunu, A. (2022). The comparison between in-situ monitored data and modelled results of nitrogen dioxide (NO₂): case-study, road networks of Kigali city, Rwanda. *Heliyon*, 8(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12390>
- Isakov, V., Arunachalam, S., Batterman, S., Bereznicki, S., Burke, J., Dionisio, K., Garcia, V., Heist, D., Perry, S., Snyder, M., & Vette, A. (2014). Air quality modeling in support of the near-road exposures and effects of urban air pollutants study (NEXUS). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(9), 8777–8793. <https://doi.org/10.3390/ijerph110908777>
- Ita Tetriana Agustini; Sudarno; Titik Istirokhatun. (2019). Analisa Hubungan Jumlah Kendaraan Dan Faktor Meteorologi (Suhu, Kelembaban Udara Dan

- Kecepatan Angin) Terhadap Peningkatan Konsentrasi SO_2 Pada Persimpangan Jalan Kota Semarang. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Joviana. (2019). Hubungan konsentrasi aktivitas radon dengan kanker paru. *Skripsi. Universitas Indonesia. Fakultas Kesehatan Masyarakat, BabII*(Konsentrasi radon), 9–49.
- Katika, K., & Karuchit, S. (2018). Estimation of Urban Air Pollutant Levels using AERMOD: A Case Study in Nakhon Ratchasima, Thailand. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 164(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/164/1/012024>
- Maharini, G. A. K. S. (2017). Studi Reduksi Sulfur Dioksida (SO_2) Udara Ambien oleh Ruang Terbuka (RTH) untuk Wilayah Permukiman dan Transportasi di Kota Surabaya. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 135. <https://repository.its.ac.id/43243/1/3313100016-Undergraduate-Theses>
- Masito, A. (2018). Risk Assessment Ambient Air Quality (NO_2 And SO_2) and The Respiratory Disorders to Communities in the Kalianak Area of Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(4), 394. <https://doi.org/10.20473/jkl.v10i4.2018.394-401>
- Mohammadi-zadeh, M. J., Karbassi, A., Bidhendi, N., Abbaspour, M., & Padash, A. (2017). *Retraction Notice*.
- Natsir, T. A., Windrianto P, Y., Susetyaningsih, R., Setyanto, K., & Dewi, R. (2018). SIMULASI DAMPAK PENCEMARAN UDARA KARBON MONOKSIDA DI KOTA YOGYAKARTA AKIBAT EMISIS KENDARAAN BERMOTOR (Simulation of Carbon Monoxide Pollution Effect in Yogyakarta City Caused by The Emission of Motor Vehicles). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 24(1), 11. <https://doi.org/10.22146/jml.23631>
- Nirtha, I., Riduan, R., Khair, R. M., & Mazaya, G. I. (2022). Pelatihan Dasar-Dasar Permodelan Kualitas Udara Menggunakan Software Aermოდ (Untuk Praktisi Lingkungan). *Jurnal Pengabdian ILUNG (Inovasi Lahan Basah Unggul)*, 1(3), 107. <https://doi.org/10.20527/ilung.v1i3.4284>

- Nugroho, A. W., & Sofyan, A. (n.d.). (2010) Sistem pemodelan kualitas udara terintegrasi dengan menggunakan aermod, wrf-chem dan python. *Itb*, 2–4.
- Ramli, M. I., Rani, N. M., & Zafany, A. A. (2023). Air Quality Analysis and Dispersion Modelling by Using AERMOD for Amonia (NH₃) Parameters on Toll Roads in Makassar City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1134(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1134/1/012011>
- Reed, K. F., Casper, D. P., France, J., & Kebreab, E. (2015). Prediction of Nitrogen Efficiency in Dairy Cattle: A review. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 10(001). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201510001>
- Rosatul Umah, & Eva Gusmira. (2024). Dampak Pencemaran Udara terhadap Kesehatan Masyarakat di Perkotaan. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 3(3), 103–112. <https://doi.org/10.58192/profit.v3i3.2246>
- Rouhi, M., Moradi, H., & Ghorban, M. (2013). *Application of the AERMOD modeling system for air pollution dispersion in the South Pars oilfield*. 339–346. <https://doi.org/10.2495/isud130441>
- Rumus, V. I., & Perhitungan, D. A. N. (n.d.). $V = C1 \text{ Jam} =$.
- Salsabila, W. N., . Y., & . S. (2023). Analisis Perkembangan Penanggulangan Pencemaran Udara Yang Disebabkan Oleh Bahan Bakar Fosil. *Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 2(4), 1010–1014. <https://doi.org/10.47233/jpst.v2i4.1331>
- Santoso, M., Lestiani, D. D., Kurniawati, S., Damastuti, E., Prakoso, D., Atmodjo, D., Sari, D. K., Hopke, P. K., Muhtarom, T., Tjahyadi, A., Parian, S., Kholik, N., Ageng, D., Wahyudi, D., Sitorus, T. D., Djamilus, J., Riadi, A., Rochester, M. U., & Ave, E. (2020). *Penilaian Kualitas Udara Perkotaan di Indonesia*. 2142–2158.
- Sanitha, O. D. (2014). *Studi Tata Bangunan Pada Jalan D.I. Panjaitan dan Ali Maksum Yogyakarta*. 287–300.
- Sarwono, E., Adnan, F., & Rafi, M. M. (2021). Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 5(2), 17–34.

- Suhadi, D. R., & Febrina, A. S. (2013). Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan. *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara Di Perkotaan*, 1–153. [https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/609/190710181542PEDOMAN TEKNIS PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI.pdf](https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/609/190710181542PEDOMAN%20TEKNIS%20PENYUSUNAN%20INVENTARISASI%20EMISI.pdf)
- Sumaryati. (2011). Polusi udara di kawasan cekungan Bandung. *Berita Dirgantara*, 12(3), 83–89. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/berita_dirgantara/article/view/1654/1492
- Utami, A. R., & Mahmuda, L. (2019). Verifikasi metode Pengujian NO₂ dan SO₂ Dalam Udara Ambient. *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.36048/jtpii.v4i1.5245>
- Wangsa, D., Bachtiar, V. S., & Raharjo, S. (2022). Uji Model Aeromod Terhadap Sebaran Particulate Matter 10 µm (PM₁₀) di Sekitar Kawasan PT Semen Padang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 291–301. <https://doi.org/10.14710/jil.20.2.291-301>
- Wibawa, W. A. A. S. (2019). Laporan Toksikologi Lingkungan Paparan Gas Sulfur Dioksida (SO₂) Pada Pekerja di PT. XXX Gresik. *Perpustakaan Universitas Airlangga*, 1–8.
- Zaky, A., Peneliti, M., Provinsi, B., Selatan, K., & Panjaitan, J. D. I. (n.d.). Analisis Beban Pencemar Udara SO₂, NO₂ Dan HC Dengan Pendekatan Line Source Modeling (Studi Kasus Di Jalan Magelang Yogyakarta) *Analisis of Air Polluter SO₂, NO₂, and HC By Using Line Source Modeling Approach (Case Study At Jalan Magelang Yogyakarta)*. 2, 499–508.
- Arvisista, & Dwisusanto, Y. B. (2020). Transformation of Dalem Spatial Structure Around Jeron Benteng Area, Yogyakarta. *Jurnal RISA (Riset Arsitektur)*, 4(2), 138–154. www.journal.unpar.ac.id
- Daffa Shidqi, M., & Ratni Juliardi R, N. A. (2024). Analisis Persebaran Emisi Gas Sulfur Dioksida dari Unit 2 Pabrik Sulphuric Acid PT Petrokimia Gresik Menggunakan Model AERMOD. *Serambi Engineering*, IX(2), 8916–8926.
- Filho, J. P., Costa, M. A. M., & Cardoso, A. A. (2019). A micro-impinger sampling device for determination of atmospheric nitrogen dioxide. *Aerosol*

- and Air Quality Research*, 19(11), 2597–2603.
<https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.06.0318>
- Irsan, R., & Istiqomah, Q. (2023). Analisis Data Meteorologi Untuk Input Data Software AERMOD VIEW. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), 579. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v11i2.67238>
- Istantinova, D. B., Hadiwidodo, M., & Handayani, D. S. (2013). Terhadap Konsentrasi Gas Pencemar Sulfur Dioksida (SO₂) Dalam Udara Aambien di sekitar PT . INTI GENERAL YAJA STEEL Semarang. *Tentang Konsentrasi Gas Sulfur*, 10(Gas Sulfur), 1–10.
- Masito, A. (2018). Risk Assessment Ambient Air Quality (NO₂ And SO₂) and The Respiratory Disorders to Communities in the Kalianak Area of Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(4), 394.
<https://doi.org/10.20473/jkl.v10i4.2018.394-401>
- Nirtha, I., Riduan, R., Khair, R. M., & Mazaya, G. I. (2022). Pelatihan Dasar-Dasar Permodelan Kualitas Udara Menggunakan Software Aermod (Untuk Praktisi Lingkungan). *Jurnal Pengabdian ILUNG (Inovasi Lahan Basah Unggul)*, 1(3), 107. <https://doi.org/10.20527/ilung.v1i3.4284>
- Rouhi, M., Moradi, H., & Ghorban, M. (2013). *Application of the AERMOD modeling system for air pollution dispersion in the South Pars oilfield*. 339–346. <https://doi.org/10.2495/isud130441>
- Sanitha, O. D. (2014). *Studi Tata Bangunan Pada Jalan D.I. Panjaitan dan Ali Maksum Yogyakarta*. 287–300.
- Santoso, M., Lestiani, D. D., Kurniawati, S., Damastuti, E., Prakoso, D., Atmodjo, D., Sari, D. K., Hopke, P. K., Muhtarom, T., Tjahyadi, A., Parian, S., Kholik, N., Ageng, D., Wahyudi, D., Sitorus, T. D., Djamilus, J., Riadi, A., Rochester, M. U., & Ave, E. (2020). *Penilaian Kualitas Udara Perkotaan di Indonesia*. 2142–2158.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh Perhitungan Inventarisasi Emisi

Diketahui :

- Panjang jalan (I) = 14,5 km
- Volume kendaraan per jam (Q) = 12702 kendaraan/jam
- Faktor emisi sepeda motor = 0,008 g/km
- Efisiensi peralatan pengendali (C) = 0 (karena tidak ada alat pengendali)

Maka,

2. VKT untuk kendaraan sepeda motor

$$VKT_{j,line} = 12702 \text{ kendaraan/jam} \times 1,4 \text{ km}$$

$$VKT_{j,line} = 18409,4 \text{ km/jam}$$

3. Perhitungan emisi (sepeda motor dengan asumsi C = 0)

$$E_{cji} = 18409,4 \text{ km/jam} \times 0,008 \text{ g/km}$$

$$E_{cji} = 147,27 \text{ g/jam}$$

Lampiran 2 Contoh Perhitungan Sampling Gas SO₂

Larutan Standar	Konsentrasi SO ₂		Absorbans
	µg/Nm ³	µg SO ₂	
Std-1	10	0,6	0,004
Std-2	25	1,5	0,035
Std-3	50	3	0,086
Std-4	100	6	0,168
Std-5	200	12	0,326
Std-6	500	30	0,804
Std-7	700	42	1,124
Std-8	1000	60	1,61

Diketahui :

- Nilai absorbansi dari pengukuran pagi = 0,013
- Laju alir $\sum Q$ (L/menit) = 0,4 L/menit
- Durasi pengambilan contoh uji (t) = 60 menit
- Tekanan udara rata-rata (Pa) = 746,8 mmHg
- Temperatur udara rata-rata (Ta) = 30,1°C
= 303,25K
- Volume labu ukur = 25 mL
- Tekanan standar = 760 mmHg
- Suhu standar = 298K
- Konstanta konversi untuk kalibrasi kurva = 1000
- Method slope = 0,0268
- Intercept = 0,0026

Maka,

1. Volume udara yang diserap pada kondisi normal (V)

$$V = 0,4 \text{ L/menit} \times 60 \text{ menit} \times \frac{746,8 \text{ mmHg}}{303,25 \text{ K}} \times \frac{298}{760}$$

$$V = 24,62413 \text{ Nm}^3$$

2. Mengitung Konsentrasi (jumlah SO₂)

$$X = \frac{(\text{Absorbansi} - \text{Intercept})}{\text{Slope}}$$

$$X = \frac{(0,013 - 0,0026)}{0,0268}$$

$$X = 0,38806 \mu\text{g}$$

$$X = 0,38806 \mu\text{g} - 0,05224 \mu\text{g} \text{ (jumlah konsentrasi SO}_2 \text{ blanko)}$$

$$X = 0,33582$$

3. Menghitung konsentrasi SO₂ (C)

$$C = \frac{0,33582}{24,62413} \times 1000$$

$$C = 13,6379 (\mu\text{g}/\text{Nm}^3)$$

Lampiran 3 Contoh Perhitungan RMSPE

Diketahui :

- Data Konsentrasi SO₂ Model AERMOD
 - Lokasi 1 Jalan Bantul = 17 µg/Nm³
 - Lokasi 2 Jalan DI Panjaitan = 27 µg/Nm³
- Data Konsentrasi SO₂ Pengukuran Sampling
 - Lokasi 1 Jalan Bantul = 24 µg/Nm³
 - Lokasi 2 Jalan DI Panjaitan = 32 µg/Nm³

Maka,

1. Hitung $(St-At/At)^2$

$$\text{Jalan Bantul} = \left(\frac{17-24}{24}\right)^2 = 0,03$$

$$\text{Jalan DI Panjaitan} = \left(\frac{17-24}{24}\right)^2 = 0,09$$

2. Rata-rata kedua nilai

$$\text{Rata-rata} = \frac{0,03 + 0,09}{2} = 0,06$$

3. RMSPE (%)

$$\text{RMSPE} = \sqrt{0,06} \times 100\%$$

$$\text{RMSPE} = 24,04 \%$$

Lampiran 4 Data Inventarisasi Emisi

NO	NAMA JALAN	L	P	A	P	Q					VKT garis				
		(m)	(m)	(m ²)	(km)	motor	mobil	mobil*	bus	truk	motor	mobil	mobil*	bus	truk
						(kendaraan/jam)					(km/jam)				
1	Jl. Bantul	10	1449,3	14493	14,5	12702	1188	166	45	38	184093,7	17210,4	2405,8	652,2	543,5
2	Jl. Suryowijayan	9	484,6	4361,4	4,4	5179	1045	126	103	30	22585,5	15141,6	1818,9	1489,2	434,8
3	Jl. KH Wahid Hasyim	9	1315,8	11842,2	11,8	5773	1159	96	131	24	68359,1	16801,0	1391,3	1898,6	340,6
4	Jl. KH Ahmad Dahlan	16	1102,4	17638,4	17,6	15107	1653	550	101	58	266454,5	23953,3	7971,2	1463,8	844,2
5	Jl. Panembahan Senopati	15	700,9	10513,5	10,5	13911	1553	370	128	57	146253,3	22504,0	5358,8	1847,9	818,9
6	Jl. Brigend Katamso	12	1485,4	17824,8	17,8	10263	2096	192	52	58	182940,4	30377,3	2775,4	746,4	840,6
7	Jl. Parangtritis	11	1374	15114	15,1	7687	1361	159	44	55	116177,5	19725,0	2297,1	634,1	797,1
8	Jl. MT Haryono	10	759,5	7595	7,6	6662	1277	176	73	75	50597,9	18503,9	2554,4	1058,0	1090,6
9	Jl. DI Panjaitan	7	1341,3	9389,1	9,4	5477	822	96	15	34	51421,8	11913,2	1387,7	221,0	485,5
10	Jl. Mayjend Sutoyo	13	630,6	8197,8	8,2	6915	1546	201	63	78	56689,8	22406,2	2913,1	913,1	1130,5

NO	NAMA JALAN	Faktor Emisi SO2					Emisi Garis SO2					Emisi garis So2 total	Emisi garis So2 total	Egaris Total / Luas Jalan
		motor	mobil	mobil*	bus	truk	motor	mobil	mobil*	bus	truk	(gr/jam)	(gr/s)	g/sec/m2
		(gr/km)					(gr/jam)							
1	Jl. Bantul	0,008	0,026	0,44	0,93	0,82	1472,75	447,47	1058,57	606,53	445,66	4030,98	1,12	0,000077
2	Jl. Suryowijayan	0,008	0,026	0,44	0,93	0,82	180,68	393,68	800,30	1384,91	356,53	3116,11	0,87	0,000198
3	Jl. KH Wahid Hasyim	0,008	0,026	0,44	0,93	0,82	546,87	436,83	612,18	1765,68	279,28	3640,85	1,01	0,000085
4	Jl. KH Ahmad Dahlan	0,008	0,026	0,44	0,93	0,82	2131,64	622,79	3507,31	1361,33	692,26	8315,31	2,31	0,000131
5	Jl. Panembahan Senopati	0,008	0,026	0,44	0,93	0,82	1170,03	585,10	2357,87	1718,51	671,46	6502,96	1,81	0,000172
6	Jl. Brigend Katamso	0,008	0,026	0,44	0,93	0,82	1463,52	789,81	1221,18	694,14	689,29	4857,94	1,35	0,000076
7	Jl. Parangtritis	0,008	0,026	0,44	0,93	0,82	929,42	512,85	1010,74	589,68	653,63	3696,33	1,03	0,000068
8	Jl. MT Haryono	0,008	0,026	0,44	0,93	0,82	404,78	481,10	1123,93	983,93	894,29	3888,04	1,08	0,000142
9	Jl. DI Panjaitan	0,008	0,026	0,44	0,93	0,82	411,37	309,74	610,59	205,55	398,12	1935,38	0,54	0,000057
10	Jl. Mayjend Sutoyo	0,008	0,026	0,44	0,93	0,82	453,52	582,56	1281,76	849,14	926,97	4093,96	1,14	0,000139

Lampiran 5 Data Meteorologi Sampling Lapangan

No	Lokasi	Waktu	Menit ke	Laju Alir Nm3/min		Kec.Angin (m/s)		Suhu(°C)		Kelembapan(%)		Tekanan(mmHg)	
				rata2		rata2		rata2		rata2		rata2	
1	30/01/2025 Titik 2 (Jl DI Panjaitan)	Pagi (08.00 - 09.00)	15'	0,5	0,4	2,2	1	28,7	30,1	76,5	72,35	746,9	746,825
			30'	0,4		1,2		29,8		73,9		746,8	
			45'	0,4		0,4		30,8		69,3		746,8	
			60'	0,4		0,2		31,1		69,7		746,8	
2		Siang (12.00 - 13.00)	15'	0,5	0,6	1,1	1,425	31,7	33,5	68,1	63,025	746	745,65
			30'	0,6		1,9		33,6		63,1		745,7	
			45'	0,6		1,7		33,8		62,6		745,6	
			60'	0,5		1		34,9		58,3		745,3	
3		Sore/Petang (16.00 - 17.00)	15'	0,5	0,4	4,3	3,1	31,1	30,65	62,3	63,575	744,5	744,575
			30'	0,4		3,4		30,6		64,6		744,6	
			45'	0,4		2,1		30,6		63,9		744,6	
			60'	0,4		2,6		30,3		63,5		744,6	
1	01/02/2025 Titik 2 (Bantul)	Pagi (08.00 - 09.00)	15'	0,5	0,5	1,3	1,45	28,3	28,825	78,8	77,25	746	746,05
			30'	0,4		0,7		28,8		77,7		746	
			45'	0,5		1,3		29,3		76,1		746,1	
			60'	0,5		2,5		28,9		76,4		746,1	
2		Siang (12.00 - 13.00)	15'	0,5	0,5	0,3	0,925	34,9	34,15	59,1	59,65	743,7	743,275
			30'	0,5		0,7		33,8		61,6		743,4	
			45'	0,5		1,3		34		59,7		743,3	
			60'	0,6		1,4		33,9		58,2		742,7	
3		Sore/Petang (16.00 - 17.00)	15'	0,5	0,6	1,4	0,85	33,9	33,625	58,2	60,95	742,7	742,775
			30'	0,6		1,8		34,1		60,3		742,7	
			45'	0,6		0		33,4		62,8		742,7	
			60'	0,6		0,2		33,1		62,5		743	
1	02/02/2025 Titik 1 (Di Panjaitan)	Pagi (08.00 - 09.00)	15'	0,5	0,4	1,1	1,25	29,1	29,975	78,5	74,075	745,6	745,675
			30'	0,4		1,1		30,4		72,1		745,6	
			45'	0,4		1,7		30		73,5		745,7	
			60'	0,4		1,1		30,4		72,2		745,8	
2		Siang (12.00 - 13.00)	15'	0,5	0,5	0	0,4	33,4	33,825	65,5	63,725	744,5	744,275
			30'	0,5		0		33,3		63,1		744,3	
			45'	0,5		1,2		34,1		62,6		744,2	
			60'	0,4		0,4		34,5		63,7		744,1	
3		Sore/Petang (16.00 - 17.00)	15'	0,5	0,5	0,3	0,125	34,4	33,275	61	63,85	743,3	743,45
			30'	0,5		0,2		34		61,4		743,3	
			45'	0,5		0		32,6		65,9		743,6	
			60'	0,6		0		32,1		67,1		743,6	
1	04/02/1025 Titik 1 (Jl Bantul)	Pagi (08.00 - 09.00)	15'	0,5	0,6	1,5	1,55	29,5	30,6	75,6	67,35	745,6	745,7
			30'	0,7		2,3		30,4		68,6		745,7	
			45'	0,7		1,8		30,8		65,7		745,7	
			60'	0,6		0,6		31,7		59,5		745,8	
2		Siang (12.00 - 13.00)	15'	0,5	0,6	0,1	0,75	34	35,25	56	52,225	744,5	744,15
			30'	0,6		2		35,4		50,8		744,3	
			45'	0,6		0,6		35,9		52,8		744	
			60'	0,5		0,3		35,7		49,3		743,8	
3		Sore/Petang (16.00 - 17.00)	15'	0,5	0,5	0,9	0,9	33,8	34,275	61,9	61,925	742,9	742,925
			30'	0,5		0		34,8		59		742,8	
			45'	0,5		1		34,4		62,1		743	
			60'	0,5		1,7		34,1		64,7		743	

Lampiran 6 Data Discrete Receptor Output

Discrete Receptor ID (Group Name),"X", "Y", "Concentration (AVERAGE CONC) [ug/m^3]", "Elevation (ZELEV)", "Hill Heights (ZHILL)", "Flagpole (ZFLAG)", "Averagin Period (AVE)", "Source Group (GRP)", "Rank", "Net ID", "AVER CONC YR1 [ug/m^3]", "DATE YR1 "									
, "424785.86", "9131575.43", "2.04668", "115.90", "121.00", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "2.04668", "2/9/2024 22 hr "									
, "425283.45", "9131575.43", "1.71051", "71.70", "71.70", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "1.71051", "2/17/2024 03 hr "									
, "425781.04", "9131575.43", "1.84877", "66.70", "66.70", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "1.84877", "1/31/2025 06 hr "									
, "426278.63", "9131575.43", "1.98818", "64.70", "64.70", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "1.98818", "1/25/2025 03 hr "									
, "426776.22", "9131575.43", "2.11528", "65.90", "65.90", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "2.11528", "3/15/2024 05 hr "									
, "427273.81", "9131575.43", "2.22108", "66.90", "72.00", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "2.22108", "1/31/2025 05 hr "									
, "427771.40", "9131575.43", "2.26017", "61.00", "61.00", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "2.26017", "1/3/2025 02 hr "									
, "428268.99", "9131575.43", "2.33404", "63.90", "63.90", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "2.33404", "1/31/2025 04 hr "									
, "428766.58", "9131575.43", "2.29632", "67.20", "67.20", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "2.29632", "3/29/2024 18 hr "									
, "429264.17", "9131575.43", "2.25408", "65.00", "65.00", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "2.25408", "1/31/2025 04 hr "									
, "429761.76", "9131575.43", "2.39727", "65.50", "65.50", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "2.39727", "3/29/2024 18 hr "									
, "430259.35", "9131575.43", "2.4959", "64.00", "64.00", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "2.4959", "6/6/2024 01 hr "									
, "430756.94", "9131575.43", "2.4862", "66.30", "66.30", "1.60", "1-HR", "ALL", "1ST", "UCART1", "2.4862", "5/24/2024 03 hr "									

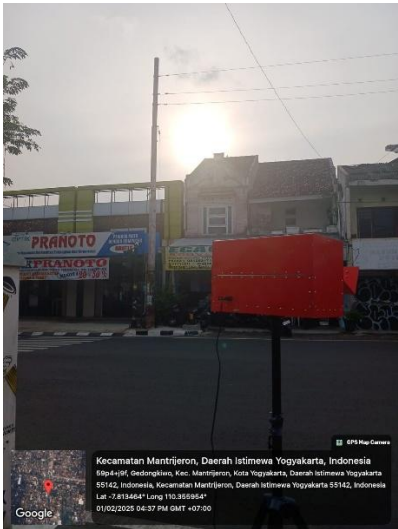
,"431254.53","9141527.23","3.93781					,"146.40
,"154.00	,"1.60	,"1-HR	,"ALL	,"1ST	
,"UCART1","3.93781",,"6/13/2024 04 hr "					
,"431752.12","9141527.23","3.5472					,"147.00
,"147.00	,"1.60	,"1-HR	,"ALL	,"1ST	
,"UCART1","3.5472",,"9/22/2024 24 hr "					
,"432249.71","9141527.23","3.31361					,"145.70
,"145.70	,"1.60	,"1-HR	,"ALL	,"1ST	
,"UCART1","3.31361",,"4/13/2024 23 hr "					
,"432747.30","9141527.23","3.07598					,"150.00
,"150.00	,"1.60	,"1-HR	,"ALL	,"1ST	
,"UCART1","3.07598",,"1/10/2025 03 hr "					
,"433244.89","9141527.23","3.0612					,"145.20
,"145.20	,"1.60	,"1-HR	,"ALL	,"1ST	
,"UCART1","3.0612",,"11/18/2024 03 hr "					
,"433742.48","9141527.23","2.89668					,"146.00
,"146.00	,"1.60	,"1-HR	,"ALL	,"1ST	
,"UCART1","2.89668",,"6/14/2024 03 hr "					
,"434240.07","9141527.23","2.68468					,"148.60
,"148.60	,"1.60	,"1-HR	,"ALL	,"1ST	
,"UCART1","2.68468",,"6/30/2024 24 hr "					
,"434737.66","9141527.23","2.50537					,"149.70
,"149.70	,"1.60	,"1-HR	,"ALL	,"1ST	
,"UCART1","2.50537",,"12/21/2024 24 hr "					

Lampiran 7 Data KepWal Jalan Penelitian

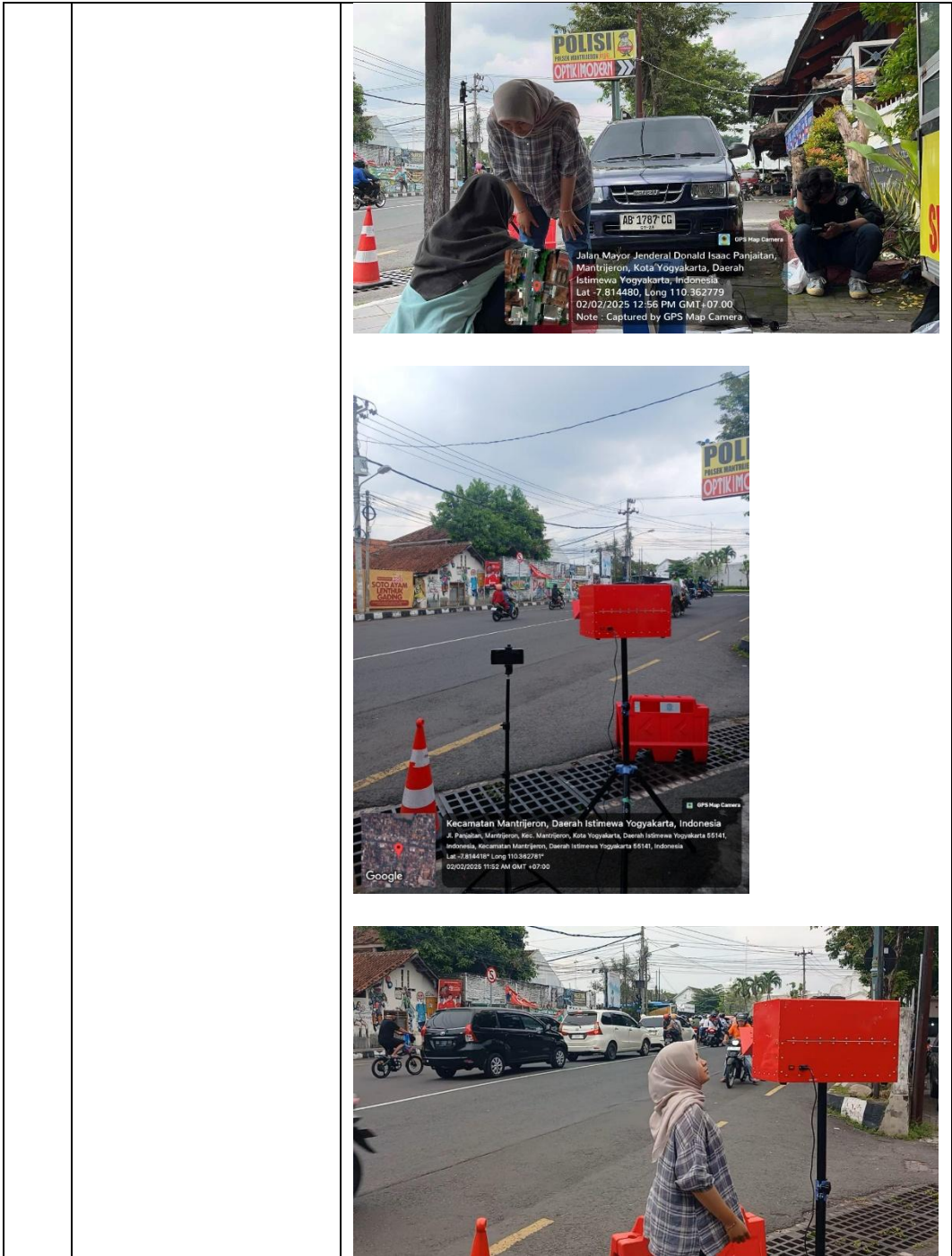
No	Lokasi Jalan	Koordinat	Panjang Jalan (M)	Lebar (M)	Base Elevation (M)	Koordinat Pangkal X	Koordinat Pangkal Y	Koordinat Ujung X	Koordinat Ujung Y	Jenis Data
1	Jl. Bantul	7°50'53"S 110°20'56"E	1449,3	10	68	428986	9136322	428835	9134891,483	Primer
2	Jl. Suryowijayan	7°48'42"S 110°21'21"E	484,6	9	93	428996	9136803	428982	9136336	Sekunder
3	Jl. KH Wahid Hasyim	7°48'17"S 110°21'22"E	1315,8	9	99	429051	9137632	428985	9136803	Sekunder
4	Jl. KH Ahmad Dahlan	7°48'04"S 110°21'27"E	1102,4	16	101	429960	9137605	428859	9137642,63	Sekunder
5	Jl. Panembahan Senopati	7°48'05"S 110°22'07"E	700,9	15	105	429960	9137605	430657	9137591,66	Sekunder
6	Jl. Brigend Katamso	7°48'32"S 110°22'08"E	1485,4	12	99	430461	9137589	430374	9136125,239	Sekunder
7	Jl. Parangtritis	7°49'03"S 110°22'05"E	1374	11	92	430374	9136114	430261	9134745,69	Sekunder
8	Jl. MT Haryono	7°48'48"S 110°21'33"E	759,5	10	92	428999	9136306	429752	9136207,502	Sekunder
9	Jl. DI Panjaitan	7°49'16"S 110°21'41"E	1341,3	7	90	429752	9136208	429532	9134884,642	Primer
10	Jl. Mayjend Sutoyo	7°48'47"S 110°21'55"E	630,6	13	94	429752	9136208	430374	9136113,872	Sekunder

Lampiran 8 Dokumentasi Kegiatan Pengambilan Sampel

No.	Tanggal	Gambar
1.	30 Januari 2025	

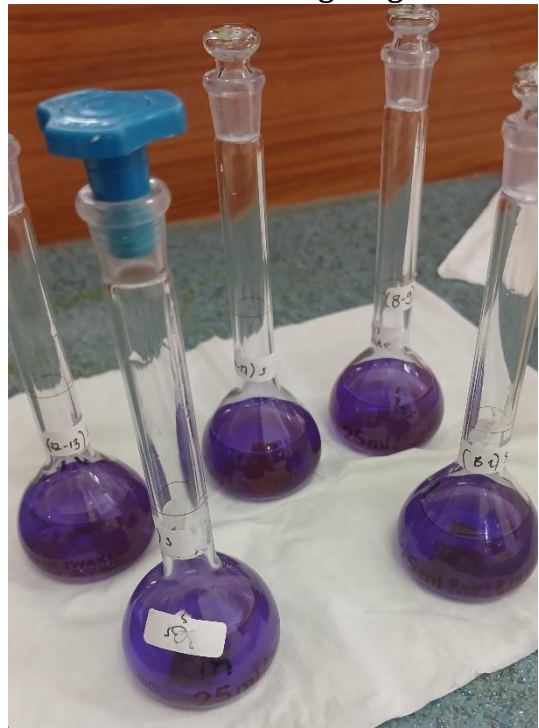
		 Kecamatan Mantriheron, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia A 33 Perumahan No. 8, Mantriheron, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55141, Indonesia, Kecamatan Mantriheron, Daerah Istimewa Yogyakarta 55141, Indonesia Lat: -7.81463° Long: 110.362807° 30/01/2023 09:23 AM GMT +07:00
2.	1 Februari 2025	 Kecamatan Mantriheron, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia 66p419f, Gedungklat, Kec. Mantriheron, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55142, Indonesia, Kecamatan Mantriheron, Daerah Istimewa Yogyakarta 55142, Indonesia Lat: -7.813464° Long: 110.369954° 01/02/2025 04:37 PM GMT +07:00

3.	2 Februari 2025	

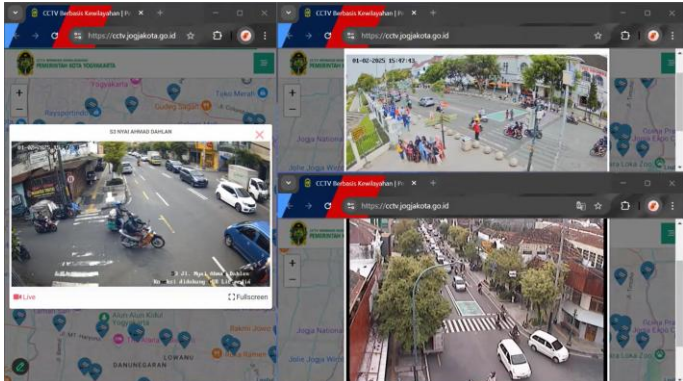
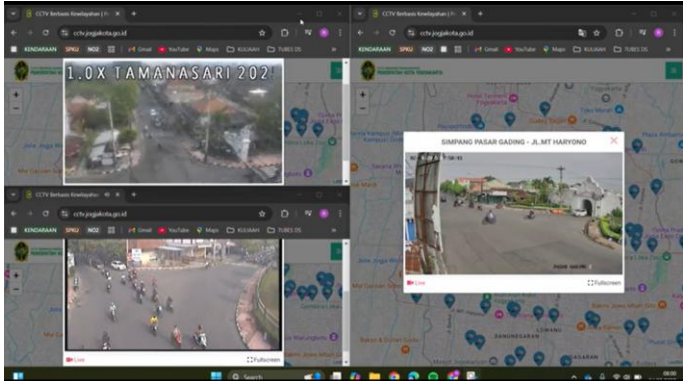
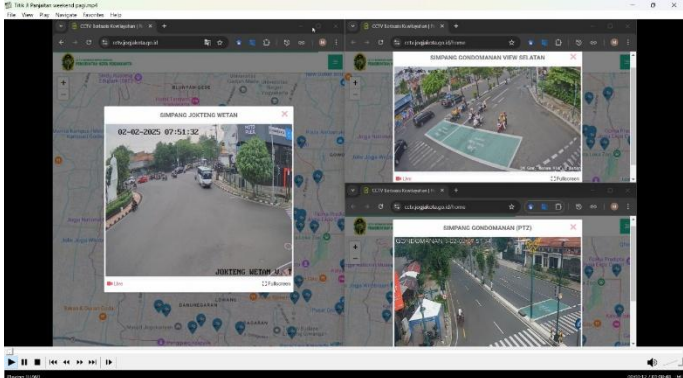


4.	4 Februari 2025	  
----	-----------------	---

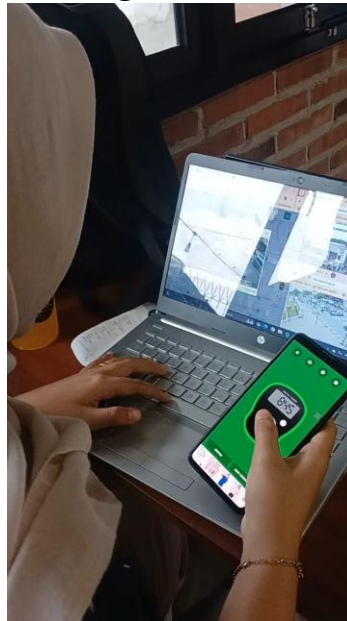
Lampiran 9 Dokumentasi Pengujian Laboratorium Kualitas Lingkungan



Lampiran 10 Dokumentasi CCTV Jalan Kota Yogyakarta

No.	Bagian CCTV	Gambar
1.	S3 Nyai Ahmad Dahlan, Nol Km Timur, Simpang Gondomanan View Selatan	
2.	Simpang Taman Sari (Ptz), Simpang Pasar Gading, Simpang Jokteng Kulon	
3.	Simpang Gondomanan View Selatan, Simpang Jokteng Wetan, Simpang Gondomanan	

Lampiran 11 Dokumentasi Perhitungan Jumlah Kendaraan



Group2		
−	BENSIN	+
	204	
−	SOLAR	+
	56	
−	BUS	+
	9	
−	TRUCK	+
	14	
+	ADD COUNTER	
	SELECT GROUP	
		MENU

Group2		
−	BENSIN	+
	453	
−	SOLAR	+
	83	
−	BUS	+
	24	
−	TRUCK	+
	19	
+	ADD COUNTER	
	SELECT GROUP	
		MENU

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Lombok Timur pada tanggal 27 Agustus 2002. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Yunus dan Supartini. Pendidikan formal dimulai di TK Dharmawanita, Lendang Nangka. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan dasar di SD Negeri 4 Lendang Nangka dari tahun 2009 hingga 2015. Setelah lulus SD, penulis melanjutkan ke MTsN 1 Lombok Timur dari tahun 2015 hingga 2018, kemudian menempuh pendidikan menengah atas di MAN 1 Lombok Timur dari tahun 2018 hingga lulus pada tahun 2021. Saat ini, penulis sedang menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan kampus seperti acara jurusan, organisasi kemahasiswaan, serta bergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa Riset dan Teknologi (UKM Ristek), di mana penulis mengembangkan minat dalam penelitian dan inovasi ilmiah. Penulis aktif dalam himpunan mahasiswa program studi sejak semester 4 hingga semester 6, dan pernah menjabat sebagai Kepala Departemen Keilmuan pada periode tahun 2023. Penulis juga beberapa kali mengikuti lomba poster ilmiah, baik di tingkat internal kampus maupun eksternal, sebagai bentuk kontribusi dalam pengembangan ilmu dan komunikasi ilmiah. Pada bulan Februari 2024, penulis melaksanakan Kerja Praktik di RSUD Provinsi Nusa Tenggara Barat sebagai bagian dari syarat akademik. Topik kerja praktik yang diangkat adalah *Analisis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di Rumah Sakit Umum Daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat*. Penulis juga telah melaksanakan penelitian Tugas Akhir dari bulan Desember 2024 hingga Februari 2025, dan menyelesaikan penulisan penelitian tersebut pada bulan Mei 2025 sebagai bagian dari syarat kelulusan di Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.