



JURUSAN  
TEKNIK LINGKUNGAN

## **TUGAS AKHIR**

### **Analisis Dispersi Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) Udara Ambien di Kawasan Budaya, Kota Yogyakarta Menggunakan Pemodelan AERMOD**

**Regina Dewi Kusumawati**

**21513157**

**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 Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) Dispersion in Cultural Areas, Yogyakarta City Using AERMOD Modeling**

**Regina Dewi Kusumawati**

**21513157**

**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**

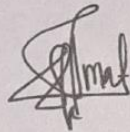
**LEMBAR PENGESAHAN**  
**TUGAS AKHIR**

**Analisis Dispersi Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) 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.

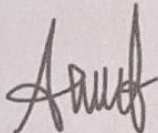
**Regina Dewi Kusumawati**  
**21513157**

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



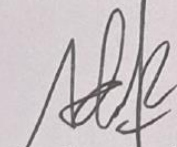
Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.

(Pembimbing 1)



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

(Pembimbing 2)



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

(Penguji 1)

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana



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

## PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 29 April 2025

Yang membuat pernyataan,



Regina Dewi Kusumawati  
21513157

## PRAKATA

*Alhamdulillahirobbil'alamin* puji syukur kehadiran Allah subhanahu wa ta'ala atas rahmat, karunia, dan kemurahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Analisis Dispersi Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) Udara Ambien Di Kawasan Budaya, Kota Yogyakarta Menggunakan Pemodelan Aermod.**

Tugas akhir ini disusun dengan syarat dalam memperoleh derajat sarjana strata satu (S1) di Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Dengan Laporan ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pembaca.

Selanjutnya penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak yang telah membantu kelancaran dalam penyusunan laporan ini baik berupa dorongan moril maupun materiil. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat-Nya serta kemudahan bagi penulis, semua ini terjadi berkat rahmat-Nya.
2. Kedua orang tua, kedua adik tersayang, dan keluarga yang selalu memberikan semangat dan do'a kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
3. Ibu Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T dan Ibu Ana Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing 1 dan 2 yang turut memberikan bantuan berupa tenaga, dukungan, doa, dan kepercayaan serta bimbingan yang bermanfaat sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen, staff, dan keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa kuliah.
5. Seluruh staff Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah

membantu dan memberikan arahan selama melakukan pengujian di laboratorium

6. Teman seperjuangan selama kuliah serta rekan Tugas Akhir, atas bantuan, dukungan, kesiapan mendengarkan keluh kesah penulis.
7. Kakak tingkat yang telah membantu dalam memberikan motivasi, pengetahuan, dan pengalamannya juga selama menjalani kehidupan perkuliahan serta Tugas Akhir.
8. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan berkontribusi dalam penelitian ini.

Akhir kata penulis berharap semoga amal baik dari semua pihak yang telah membantu dalam Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat pada Tugas Akhir ini, penulis tidak luput dari kesalahan. Oleh karena itu penulis menerima adanya kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kemajuan penelitian selanjutnya. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. *Aamiin ya Rabbal a'lam.*

*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Sleman, 29 April 2025  
Regina Dewi Kusumawati

# **Analisis Dispersi Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) Udara Ambien di Kawasan Budaya, Kota Yogyakarta Menggunakan Pemodelan AERMOD**

Mahasiswa : Regina Dewi Kusumawati  
NIM : 21513157  
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**

Peningkatan jumlah penduduk di Yogyakarta kian meningkat tiap tahunnya, terlebih pada Kota Yogyakarta. Dengan luas wilayah yang tidak begitu luas, meningkatkan pula kemacetan di Kota Yogyakarta. Kemacetan yang terjadi di Kota Yogyakarta sering kali terjadi di hari libur (*weekend*) ataupun hari kerja (*weekday*). Kemacetan ini dapat menyebabkan penurunan kualitas udara di Kota Yogyakarta, salah satunya Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) yang dihasilkan dari kendaraan. Pemantauan kualitas udara perlu dilakukan sebagai tindakan preventif terhadap dampak dari penurunan kualitas udara. Pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan beban emisi dari kendaraan, menghitung konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) secara aktual, melakukan pemodelan dengan software AERMOD untuk melihat persebaran Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>), dan membandingkan hasil pengukuran aktual dengan hasil model. Dengan Metode Griess-Saltzman menggunakan spektrofotometer mengacu pada SNI 7119.2-2017 cara uji kadar Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) serta Metode *Tier 2 vehicle kilometer traveled* untuk perhitungan kendaraan. Pengukuran lapangan dilakukan selama 4 hari, saat hari kerja dan hari libur di jam puncak pada 2 lokasi. Hasil pemantauan langsung di lapangan pada Titik 1 (Jl. Bantul) terbesar 18,06 µg/Nm<sup>3</sup> pada hari kerja dan pada Titik 2 (Jl. Panjaitan) terbesar 12,12 µg/Nm<sup>3</sup> pada hari kerja. Hasil pemodelan AERMOD selama satu jam untuk Titik 1 sebesar sebesar 18,97 µg/Nm<sup>3</sup> dan Titik 2 sebesar 13,84 µg/Nm<sup>3</sup>. Dengan hasil RMSPE 59,81%.

Kata Kunci: Beban emisi, Kota Yogyakarta, Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>), Pemodelan AERMOD

## **Analysis of Ambient Air Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) Dispersion in Cultural Areas, Yogyakarta City Using AERMOD Modeling**

Mahasiswa : Regina Dewi Kusumawati  
NIM : 21513157  
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana  
Pembimbing 1 : Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.  
Pembimbing 2 : Ana Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.

### **Abstract**

*The population growth in Yogyakarta is increasing yearly, especially in the City of Yogyakarta. With a relatively small area, it also increases congestion in Yogyakarta City. Congestion in Yogyakarta City often occurs on holidays or weekdays. This congestion can cause a decrease in air quality in the city of Yogyakarta, one of which is Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) produced by vehicles. Air quality monitoring is required to be carried out as a preventive measure against the impact of decreased air quality. This study aims to determine the emission load from vehicles, calculate the actual concentration of Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), perform modeling with AERMOD software to see the distribution of Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), and compare the actual measurement results with the model results. With the Griess-Saltzman Method using a spectrophotometer, referring to SNI 7119.2-2017 Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) level test method, and the Tier 2 vehicle kilometer traveled method for vehicle calculations. Actual measurements were carried out on 4 days during weekdays and holidays at peak hours at 2 locations. The results of actual measurements at Point 1 (Jl. Bantul) were the largest 18.06 µg/Nm<sup>3</sup> on weekdays, and at Point 2 (Jl. Panjaitan), the largest 12,12 µg/Nm<sup>3</sup> on weekdays. The results of AERMOD modeling for one hour for Point 1 were 18,97 µg/Nm<sup>3</sup>, and for Point 2 were 13,84 µg/Nm<sup>3</sup>. With RMSPE results of 59,81%.*

*Key words: Emission load, Yogyakarta City, Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), AERMOD modelling*

## DAFTAR ISI

|                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                                 | iii  |
| PERNYATAAN .....                                                        | iv   |
| PRAKATA .....                                                           | v    |
| ABSTRAK.....                                                            | vii  |
| DAFTAR ISI .....                                                        | ix   |
| DAFTAR TABEL .....                                                      | xi   |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                      | xii  |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                                   | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN.....                                                  | 14   |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                | 14   |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                               | 17   |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                             | 17   |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                                            | 17   |
| 1.5 Ruang Lingkup.....                                                  | 18   |
| 1.6 Kerangka Berpikir.....                                              | 19   |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                           | 20   |
| 2.1 Pencemaran Udara .....                                              | 20   |
| 2.2 Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> ) .....                          | 21   |
| 2.2.1 Karakteristik Gas Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> ).....       | 21   |
| 2.2.2 Sumber Pencemar Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> ).....         | 22   |
| 2.2.3 Dampak Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> ) .....                 | 22   |
| 2.2.4 Baku Mutu Udara Ambien Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> ) ..... | 23   |
| 2.3 Faktor Yang Memengaruhi Pencemaran Udara.....                       | 23   |
| 2.4 Pemodelan.....                                                      | 25   |
| 2.4.1 Model <i>Gauss Dispersion</i> .....                               | 26   |
| 2.4.2 Pemodelan AERMOD Versi 12.0.0.....                                | 27   |
| 2.5 Penelitian Terdahulu .....                                          | 28   |
| BAB III METODE PENELITIAN .....                                         | 31   |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian .....                                       | 31   |

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2 Lokasi dan Waktu .....                                   | 31  |
| 3.2.1 Lokasi Penelitian .....                                | 31  |
| 3.2.2 Waktu Penelitian.....                                  | 33  |
| 3.3 Pengumpulan Data .....                                   | 34  |
| 3.3.1 Jenis Data.....                                        | 34  |
| 3.3.2 Pengambilan Sampel .....                               | 36  |
| 3.3.3 Pengujian Laboratorium .....                           | 36  |
| 3.4 Analisis.....                                            | 38  |
| BAB IV HASIL DAN ANALISIS DATA .....                         | 47  |
| 4.1 Kondisi Lingkungan Lokasi Penelitian.....                | 47  |
| 4.2 Inventarisasi Emisi Kendaraan.....                       | 48  |
| 4.3 Pengukuran Konsentrasi NO <sub>2</sub> di Lapangan.....  | 53  |
| 4.3.1 Konsentrasi NO <sub>2</sub> di Jalan Bantul .....      | 53  |
| 4.3.2 Konsentrasi NO <sub>2</sub> di Jalan DI Panjaitan..... | 55  |
| 4.4 Karakteristik Pola Arah dan Kecepatan Angin .....        | 58  |
| 4.5 Dispersi NO <sub>2</sub> Model AERMOD .....              | 60  |
| 4.6 Uji Validitas Model Dengan Hasil Pengukuran.....         | 67  |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....                             | 70  |
| 5.1 Kesimpulan .....                                         | 70  |
| 5.2 Saran.....                                               | 71  |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                         | 72  |
| LAMPIRAN .....                                               | 76  |
| RIWAYAT HIDUP .....                                          | 113 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Baku Mutu Udara Ambien NO <sub>2</sub>                | 23 |
| <b>Tabel 2.2</b> Penelitian Terdahulu                                  | 28 |
| <b>Tabel 3.1</b> Titik Koordinat Lokasi Pemantauan Konsentrasi Polutan | 32 |
| <b>Tabel 3.2</b> CCTV Pemantauan Jumlah Kendaraan                      | 32 |
| <b>Tabel 3.3</b> Pengumpulan Data Primer dan Sekunder                  | 35 |
| <b>Tabel 3.4</b> Faktor Emisi Kendaraan Umum                           | 39 |
| <b>Tabel 4.1</b> Jumlah Total Kendaraan.....                           | 49 |
| <b>Tabel 4.2</b> Beban Emisi Jenis Kendaraan Setiap Jalan .....        | 51 |
| <b>Tabel 4.3</b> Estimasi Tingkat Emisi Total Kendaraan.....           | 52 |
| <b>Tabel 4.4</b> Parameter Meteorologi.....                            | 61 |
| <b>Tabel 4.5</b> Uji Validitas Model.....                              | 67 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 1.1</b> Kerangka berpikir penelitian .....                                                                     | 19 |
| <b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....                                                                           | 31 |
| <b>Gambar 3.2</b> Lokasi Penelitian .....                                                                                | 33 |
| <b>Gambar 3.3</b> Kurva Kalibrasi.....                                                                                   | 37 |
| <b>Gambar 3.4</b> Rangkaian peralatan pengambilan contoh uji NO <sub>2</sub> .....                                       | 39 |
| <b>Gambar 3.5</b> Alur pembuatan larutan penjerap.....                                                                   | 40 |
| <b>Gambar 3.6</b> Alur pengambilan contoh uji .....                                                                      | 41 |
| <b>Gambar 3.7</b> Alur pembuatan kurva kalibrasi .....                                                                   | 41 |
| <b>Gambar 3.8</b> Alur pengujian contoh uji .....                                                                        | 42 |
| <b>Gambar 3.9</b> Diagram proses AERMOD.....                                                                             | 44 |
| <b>Gambar 4.1</b> Kondisi Lingkungan .....                                                                               | 48 |
| <b>Gambar 4.2</b> Jumlah Kendaraan Total .....                                                                           | 50 |
| <b>Gambar 4.3</b> Jumlah Kendaraan Untuk Setiap Jalan .....                                                              | 50 |
| <b>Gambar 4.4</b> Beban Emisi Total Setiap Jalan .....                                                                   | 52 |
| <b>Gambar 4.5</b> Konsentrasi NO <sub>2</sub> Jalan Bantul .....                                                         | 53 |
| <b>Gambar 4.6</b> Konsentrasi NO <sub>2</sub> Jalan DI Panjaitan.....                                                    | 56 |
| <b>Gambar 4.7</b> Windrose Periode 2024-2025 di Area Kota Yogyakarta.....                                                | 59 |
| <b>Gambar 4.8</b> Distribusi Frekuensi Kecepatan Angin Periode 2024-2025 di Kota Yogyakarta .....                        | 59 |
| <b>Gambar 4.9</b> Dispersi NO <sub>2</sub> Selama 1 Jam.....                                                             | 62 |
| <b>Gambar 4.10</b> (a) Reseptor Alun-Alun Kidul (b) Reseptor Masjid Jogokariyan (c) Reseptor SDN Suryodiningratan 2..... | 64 |
| <b>Gambar 4.11</b> Perbandingan Hasil Konsentrasi Model dan Aktual.....                                                  | 68 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Lampiran 1</b> Perhitungan Inventarisasi Emisi .....                     | 76  |
| <b>Lampiran 2</b> Perhitungan Konsentrasi NO <sub>2</sub> Udara Ambien..... | 92  |
| <b>Lampiran 3</b> Data Meteorologi Lapangan .....                           | 95  |
| <b>Lampiran 4</b> Hasil Konsentrasi Model AERMOD Versi 12.0.0 .....         | 98  |
| <b>Lampiran 5</b> Hasil Dispersi Model AERMOD Versi 12.0.0 .....            | 109 |
| <b>Lampiran 6</b> Windrose Kota Yogyakarta .....                            | 110 |
| <b>Lampiran 7</b> CCTV Kota Yogyakarta .....                                | 110 |
| <b>Lampiran 8</b> Dokumentasi .....                                         | 112 |

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang terletak di Pulau Jawa. D.I Yogyakarta memiliki luas wilayah sebesar 3.133,15 km<sup>2</sup> (Bappeda D.I Yogyakarta, 2021). Meskipun wilayahnya tidak begitu luas, jumlah penduduk D.I Yogyakarta mengalami peningkatan setiap tahunnya. Berdasarkan hasil sensus penduduk oleh BPS Yogyakarta (2023), jumlah penduduk mencapai sekitar 3.761.870 jiwa dengan laju pertumbuhan sebesar 1,44% per tahun. Peningkatan jumlah penduduk ini terutama disebabkan oleh status D.I Yogyakarta sebagai kota pelajar, yang menarik banyak pendatang untuk menempuh pendidikan. Selain itu, D.I Yogyakarta juga menjadi pusat hiburan dan kebudayaan, sehingga banyak orang berkunjung untuk berlibur atau memilih menetap, terutama pada masa tua.

Peningkatan jumlah penduduk pada wilayah dengan luas yang terbatas dapat berdampak pada lingkungan maupun kualitas hidup masyarakat. Salah satu sektor yang terdampak secara signifikan adalah sektor transportasi. Bertambahnya jumlah penduduk secara langsung meningkatkan penggunaan transportasi. Ketidakseimbangan antara volume kendaraan dan kapasitas jalan mengakibatkan kemacetan, yang pada akhirnya dapat menurunkan kualitas udara dan meningkatkan polusi.

Kota Yogyakarta merupakan pusat hiburan dan kebudayaan di D.I Yogyakarta. Daerah ini memiliki tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi, terutama disebabkan oleh banyaknya pendatang maupun masyarakat yang beraktivitas di wilayah tersebut. Beberapa jalan utama yang termasuk dalam Kawasan ini meliputi Jalan Bantul, Jalan Suryowijayan Jalan KH Wahid Hasyim, Jalan NH Ahmad Dahlan, Jalan Brigjen Katamso, Jalan MT Haryono, Jalan Panembahan Senopati, Jalan Mayjend Sutoyo, Jalan Prangtritis, dan Jalan Panjaitan. Di kawasan tersebut terdapat berbagai pusat kebudayaan seperti keraton, alun-alun, museum, dan tempat

kebudayaan lainnya, yang menjadi daya tarik bagi pengunjung. Tingginya aktivitas menyebabkan kemacetan, terutama pada saat hari libur maupun hari kerja. Penggunaan kendaraan bermotor pada saat kemacetan, khususnya di persimpangan yang dilengkapi lampu lalu lintas, meningkatkan paparan polusi udara. Hal ini dapat berdampak pada kesehatan masyarakat, terutama pada titik-titik pemberhentian kendaraan.

Secara global beberapa polutan pada sektor transportasi mempunyai berkontribusi cukup tinggi dalam pencemaran udara, sebesar 44% untuk TSP (total suspended particulate), 89% untuk hidrokarbon, 100% untuk PB, dan sebesar 73%  $\text{NO}_x$  (Budiyono, 2010). Salah satu polutan berbahaya yang dihasilkan dari sektor transportasi atau kendaraan misalnya  $\text{NO}_x$  yang dapat bereaksi dengan ozon ( $\text{O}_3$ ). Diantara gas  $\text{NO}_x$  adalah  $\text{NO}_2$  (nitrogen dioksida), proses pembakaran bahan bakar minyak pada kendaraan bermotor menghasilkan nitrogen dioksida. Proses pembakaran ini terjadi ketika adanya perubahan tekanan tinggi dan menghasilkan suhu tinggi (Rosyid dkk., 2021).  $\text{NO}_2$  yang meningkat karena aktivitas lalu lintas, juga dipengaruhi oleh sinar matahari (Constantya, 2017; Rosyid dkk., 2021).

Gas nitrogen dioksida akan berdampak buruk pada lingkungan yang mana dapat mengakibatkan hujan asam. Hujan asam ini dapat mengakibatkan turunnya kesuburan tanah dan berdampak pada aliran sungai akhirnya akan merusak biota air. Selain itu gas nitrogen dioksida ini juga berakibat buruk pada kesehatan manusia. Pada Manusia, kesulitan bernafas dan infeksi saluran pernafasan dapat terjadi akibat paparan 5 ppm  $\text{NO}_2$  selama 10 menit (Rofienda, 2009).

Salah satu upaya pemantauan kualitas udara dilakukan melalui keberadaan Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU). SPKU berfungsi untuk memantau dan mengukur kualitas udara pada lokasi tertentu. Namun, keterbatasan jumlah SPKU di D.I Yogyakarta menjadi kendala dalam melakukan tindakan preventif terhadap penurunan kualitas udara. Selain itu, SPKU hanya memberikan informasi kualitas udara pada titik tertentu, sehingga tidak dapat merepresentasikan kondisi udara secara keseluruhan atau spasial. Oleh karena itu, diperlukan pemodelan kualitas udara sebagai alternatif pemantauan. Pemodelan ini memungkinkan visualisasi sebaran polutan secara spasial di wilayah yang lebih luas.

Salah satu teknologi pemodelan kualitas udara yang dapat digunakan adalah *software* seperti AERMOD Versi 12.0.0. AERMOD Versi 12.0.0 memanfaatkan data meteorologi dan data sumber emisi untuk memprediksi sebaran polutan di wilayah tertentu. Untuk memastikan keakuratan hasil pemodelan dispersi AERMOD, dilakukan validasi dengan membandingkan hasil pemodelan dengan data pengukuran menggunakan alat ukur langsung. Dengan demikian, melalui pemodelan persebaran polutan, dapat diidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kualitas udara serta langkah pencegahan yang dapat diambil guna mengurangi tingkat polusi dan meningkatkan kualitas udara.

Penelitian yang dilakukan di Brasil pada tahun 2019 mengenai evaluasi polusi udara kendaraan dengan pemodelan AERMOD di ibu kota Brasil. Pada penelitian ini dilakukan pada dua jalur jalan raya yang dianggap sumber garis di perkotaan. Distribusi polusi TSP, CO, dan NO<sub>x</sub>, ditentukan dari cuaca, topografi, dan sumber emisi. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi polutan untuk TSP dibawah baku mutu, CO melebihi baku mutu, dan NO<sub>2</sub> juga melebihi baku mutu. Hal ini disebabkan oleh tingkat emisi dari banyaknya kendaraan yang ada disekitar jalan. Persebaran ini dipengaruhi oleh kondisi meteorologi dan juga topografi. Berdasarkan hasil simulasi AERMOD untuk polusi TSP di daerah reseptor konsentrasinya masih aman (ditunjukkan dengan warna ungu dan biru gelap) karena jaraknya yang jauh dari sumber. Untuk polusi CO 8 jam melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Hal ini dipengaruhi karena plume menyebar ke arah barat laut kearah angin bertiup dan konsentrasi maksimum berada di sekitar sumbernya. Untuk polusi NO<sub>2</sub> konsentrasi per jam melebihi baku mutu yang ditetapkan. Persebaran tahunan pada NO<sub>x</sub> lebih rendah dibandingkan dengan NO<sub>2</sub>, dengan konsentrasi maksimum di pusat sumber garis. Dilihat dari peta sebarannya konsentrasi NO<sub>x</sub> dipengaruhi oleh variasi lalu lintas dan faktor meteorologi (Macedo & Ramos, 2020).

Pengukuran dan pemantauan kualitas udara akibat emisi dari sektor transportasi merupakan hal yang penting, terutama mengingat keterbatasan ketidaktersediaan sarana SPKU. Dalam menghadapi kondisi tersebut, pemanfaatan teknologi menjadi solusi yang efektif untuk melakukan tindakan preventif terhadap dampak

pencemaran udara. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pemodelan dispersi melalui *software* AERMOD Versi 12.0.0. Pemodelan ini bertujuan untuk memberikan gambaran sebaran polutan serta menawarkan solusi dan Tindakan preventif guna mengatasi permasalahan lingkungan yang ditimbulkan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang disusun, maka dirumuskanlah masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai beban emisi total yang dihasilkan dari aktivitas sektor transportasi di Kawasan Kota Yogyakarta?
2. Bagaimana tingkat konsentrasi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) di Kawasan Kota Yogyakarta berdasarkan hasil pengukuran menggunakan impinger?
3. Bagaimana pola persebaran dispersi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) di Kawasan Kota Yogyakarta berdasarkan pemodelan AERMOD?
4. Bagaimana hasil uji validasi berdasarkan hasil pemodelan AERMOD?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Selain itu adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung nilai beban emisi total yang dihasilkan dari aktivitas sector transportasi di Kawasan Kota Yogyakarta
2. Menghitung konsentrasi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) di Kawasan Kota Yogyakarta berdasarkan hasil pengukuran menggunakan impinger
3. Menganalisis persebaran distribusi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) berdasarkan pemodelan AERMOD Versi 12.0.0
4. Menganalisis tingkat akurasi model AERMOD dengan pengukuran menggunakan impinger

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi terkait konsentrasi kualitas udara ambien parameter nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dari polusi kendaraan di Kawasan budaya Kota Yogyakarta
2. Memberikan informasi terkait persebaran parameter nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dari *software* AERMOD
3. Memberikan kontribusi untuk melakukan penelitian lebih lanjut dalam mengetahui kualitas udara dan pola persebarannya melalui *software* AERMOD
4. Bagi pemerintah dapat digunakan untuk mengambil kebijakan, seperti penambahan titik stasiun pemantauan kualitas udara (SPKU)

### 1.5 Ruang Lingkup

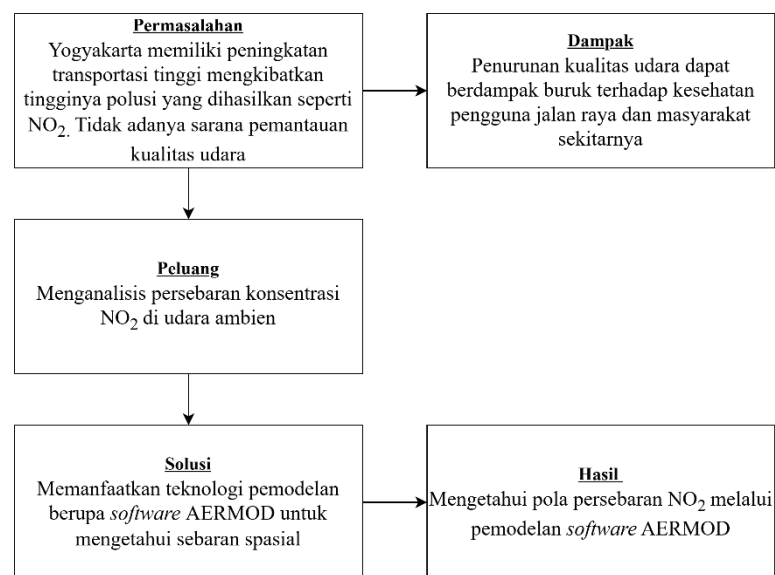
Adapun batasan-batasan yang ada dalam penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian berada di Kawasan Kota Yogyakarta, yang meliputi Jalan Bantul, Jalan Suryowijayan Jalan KH Wahid Hasyim, Jalan NH Ahmad Dahlan, Jalan Brigjen Katamso, Jalan MT Haryono, Jalan Panembahan Senopati, Jalan Mayjend Sutoyo, Jalan Prangtritis, dan Jalan Panjaitan
2. Pengukuran  $\text{NO}_2$  dilakukan di 2 titik lokasi, pada Jalan Bantul dan Jalan DI Panjaitan. Kedua jalan ini merupakan jalan primer karena pengambilan data primer di kedua jalan ini.
3. Waktu sampling dalam penelitian ini dilakukan pada hari kerja (Senin) dan hari libur (Minggu) pukul 08.00, 13.00, dan 17.00. Durasi pengukuran dilakukan selama 1 jam
4. Perhitungan kendaraan dilakukan dengan perhitungan manual pada Jalan Bantul dan Jalan Mayjend Sutoyo. Dan pada Jalan KH Wahid Hasyim, Jalan Suryowijayan, Jalan NH Ahmad Dahlan, Jalan Brigjen Katamso, Jalan MT Haryono, Jalan Panembahan Senopati, Jalan Prangtritis, dan Jalan Panjaitan dihitung melalui CCTV.
5. Durasi perhitungan kendaraan dilakukan bersamaan dengan perhitungan konsentrasi  $\text{NO}_2$

6. Jenis kendaraan yang dihitung ialah sepeda motor, mobil penumpang, mobil berbahan bakar solar, truk, dan bis
7. Dilakukan pemodelan dispersi dari hasil konsentrasi  $\text{NO}_2$  dengan *software* AERMOD

### 1.6 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1** Kerangka berpikir penelitian

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pencemaran Udara**

Peraturan Pemerintah RI nomor 22 Tahun 2021 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, menyebutkan bahwa pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dari komponen lain ke udara ambien akibat dari kegiatan manusia, sehingga mengakibatkan penurunan kualitas udara sampai tingkat tertentu. Sumber Pencemaran udara umumnya bersumber dari industri, kendaraan bermotor, atau aktivitas manusia lainnya.

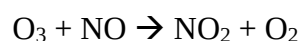
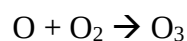
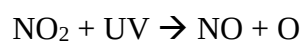
Pencemaran udara dapat diklasifikasikan berdasarkan sumbernya. Dapat bersumber dari kegiatan manusia atau aktivitas alami. Pencemaran yang dihasilkan dari kegiatan manusia, misalnya dari kegiatan rumah tangga, transportasi, hingga buangan pabrik. Selain dari sumber alami dan kegiatan manusia, sumber pencemar juga diklasifikasikan menjadi sumber bergerak dan sumber tidak bergerak. Sumber bergerak merupakan sumber yang berasal dari pencemar udara bergerak, seperti kendaraan bermotor, pesawat terbang, dan kendaraan bergerak lainnya. Sedangkan sumber tidak bergerak ialah sumber yang berasal dari sumber titik dan sumber area. Terdapat berbagai macam polutan pencemar di udara seperti karbon monoksida, nitrogen oksida, sulfur dioksida, ozon, hidrokarbon, dan lainnya. Polutan-polutan ini banyak bersasl dari aktivitas manusia, salah satunya di sektor transportasi. Banyaknya penggunaan transportasi menjadi kan tingginya pencemaran udara yang disebabkan oleh transportasi. Transportasi menghasilkan emisi ketika proses pembakaran yang terjadi pada bahan bakar minyak, menghasilkan gas pencemar seperti sulfur dioksida, nitrogen oksida, hidrokarbon, dan lainnya.

## 2.2 Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>)

### 2.2.1 Karakteristik Gas Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>)

NO<sub>2</sub> adalah salah satu dari gas NO<sub>x</sub>. Gas NO<sub>x</sub> ini ada di atmosfer dapat dalam bentuk NO (nitrit oksida), NO<sub>2</sub> (nitrogen dioksida), dan lainnya. NO<sub>2</sub> memiliki karakteristik bau yang tajam dan berwarna cokelat kemerahan. Gas ini lebih berbahaya daripada NO, sifat racunnya empat kali lebih berbahaya jika dibanding NO. Tingkat toksisitas dari NO<sub>2</sub> ini dapat berakibat pada kesehatan manusia dan juga hewan maupun tumbuhan (Prasetya dkk., 2022). Tingkat racun NO<sub>2</sub> dapat 4 kali lebih kuat dibanding NO.

Pada suhu ruang, NO yang dihasilkan dari rekasi antara gas oksigen dengan gas nitrogen berlangsung sangat lambat. Jika temperatur diatas 1200°C, kedua gas ini akan bereaksi cepat untuk menghasilkan nitrit oksida. Dalam pembentukan gas NO<sub>x</sub> di atmosfer, terdapat siklus fotokimia NO-O<sub>2</sub>-O<sub>3</sub>-NO<sub>2</sub> yang terjadi reaksi fotolisis NO<sub>2</sub> oleh sinar UV. NO<sub>2</sub> akan memecah menjadi atom O dan NO, atom O akan mengikat O<sub>2</sub> di atmosfer membentuk O<sub>3</sub>, kemudian berikatan dengan NO menghasilkan NO<sub>2</sub>, selanjutnya siklus akan berulang (Michalski dkk.,2013). Pembentukan reaksi ini seperti pada persamaan berikut:



Selain siklus tersebut, terdapat siklus nitrogen yang kompleks, nitrogen fiksasi-nitrifikasi-denitrifikasi-amonifikasi. Nitrogen fiksasi merupakan proses perubahan N<sub>2</sub> menjadi nitrogen yang tersedia secara biologis. Sebagian besar proses ini dilakukan oleh prokariotik, namu dapat juga dilakukan secara abiotik, seperti pada proses pembakaran bahan bakar fosil. Nitrifikasi merupakan proses oksidasi ammonia menjadi nitrit kemudian menjadi nitrat. Sebagian besar terjadi secara aerobik oleh prokariotik. Denitrifikasi merupakan proses anaerobik yang merubah nitrit menjadi gas nitrogen. Amonifikasi terjadi oleh dekomposisi organisme yang telah mati, dari nitrogen organik pada organisme tersebut lalu melepaskan nitrogen

anorganik ke ekosistem sebagai ammonia. Selanjutnya, ammonia diserap oleh tanaman dan mikroorganisme lain untuk pertumbuhan (Bernhard, 2010).

### 2.2.2 Sumber Pencemar Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>)

NO<sub>2</sub> merupakan emisi yang banyak di atmosfer. NO<sub>2</sub> dapat dihasilkan dari industri, rumah tangga, proses pembakaran, kendaraan, dan lainnya. NO<sub>2</sub> juga dihasilkan dari dekomposisi nitrat (Anwar dkk., 2023). Pada daerah perkotaan, aktivitas kendaraan dari lalu lintas akan menghasilkan konsentrasi NO yang tinggi, aktivitas NO ini akan mempengaruhi pembentukan dari NO<sub>2</sub>. Pada siang hari, saat konsentrasi NO tinggi dihasilkan dari kendaraan, akan meningkatkan konsentrasi NO<sub>2</sub>. Pembentukan NO<sub>2</sub> ini juga berkaitan dengan reaksi antara NO dengan O<sub>3</sub>. NO akan bereaksi dengan O<sub>3</sub> menghasilkan NO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> (Baidrulhisham dkk., 2022).

NO<sub>2</sub> yang meningkat karena aktivitas lalu lintas, juga dipengaruhi oleh sinar matahari. Pada saat panas atau di pagi hari nilai NO<sub>2</sub> akan tinggi dan pada saat sore hari nilainya akan berkurang. Hal ini terjadi karena ada hubungannya dengan ozon yang bereaksi dengan NO<sub>x</sub>. Ozon akan mengoksidasi NO<sub>x</sub> dan menghasilkan NO<sub>2</sub> (Constantya, 2017; Rosyid dkk., 2021). Konsentrasi NO<sub>2</sub> biasanya berbanding terbalik dengan suhu atau temperatur udara di sekitar wilayah. Jika suatu wilayah temperatur udaranya meningkat, maka konsentrasi NO<sub>2</sub> akan menurun, begitu pula sebaliknya (Wardoyo, 2016).

### 2.2.3 Dampak Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>)

NO<sub>2</sub> akan menimbulkan dampak buruk bagi manusia maupun lingkungan. Dampak yang terjadi kepada manusia akan menyerang kesehatan manusia. Paparan NO<sub>2</sub> akan mengakibatkan sesak nafas, turunnya fungsi paru-paru, hingga dapat menyebabkan kematian (Setyawan, 2024). Dampak yang dihasilkan dari NO<sub>2</sub> menurut data dari *Material Safety Data Sheet* yaitu pajanan gas NO<sub>2</sub> menyebabkan iritasi lendir, sinus, faring, respirasi tidak teratur, sampai edema paru (MSDS, 2016; Masito, 2018).

Selain itu, dampak yang ditimbulkan ke lingkungan misalnya hujan asam. Hujan asam ini nantinya akan merusak kehidupan hewan dan tumbuhan. Selain hujan asam, NO<sub>2</sub> juga menyebabkan asap kabut fotokimia dan aerosol (Angelia

dkk., 2019). Hujan asam ini dapat mengakibatkan turunnya kesuburan tanah dan berdampak pada aliran sungai akhirnya akan merusak biota air. Selain itu gas nitrogen dioksida ini juga berakibat buruk pada kesehatan manusia. Paparan 5 ppm NO<sub>2</sub> selama 10 menit pada manusia dapat menyebabkan kesulitan bernafas, dan NO<sub>2</sub> dapat menyebabkan iritasi paru-paru serta infeksi saluran pernafasan (Rofienda, 2009).

#### 2.2.4 Baku Mutu Udara Ambien Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>)

Dalam pengukuran kualitas udara, mengacu pada peraturan terkait yang berlaku. Peraturan ini memiliki baku mutu tertentu yang diberikan sebagai acuan untuk mengukur seberapa banyak senyawa yang diperbolehkan dilepas ke udara. Berdasarkan peraturan yang berlaku yaitu PP no. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Baku Mutu.

**Tabel 2.1** Baku Mutu Udara Ambien NO<sub>2</sub>

| Parameter                           | Waktu Pengukuran | Baku Mutu (µg/m <sup>3</sup> ) | Sistem Pengukuran |
|-------------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------|
| NO <sub>2</sub> (Nitrogen dioksida) | 1 jam            | 200                            | Aktif kontinu     |
|                                     |                  |                                | Aktif manual      |
|                                     | 24 jam           | 65                             | Aktif kontinu     |
|                                     | 1 tahun          | 50                             | Aktif kontinu     |

Sumber: Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021

### 2.3 Faktor Yang Memengaruhi Pencemaran Udara

Dalam pencemaran udara yang terjadi di bumi, banyak faktor yang menyebabkan pencemaran udara. Faktor yang mempengaruhi pencemaran di udara ini seperti, faktor meteorologi, faktor topografi, dan faktor sumber emisi:

#### 1. Faktor meteorologi

Dalam dispersi polutan, karakteristik meteorologi dapat mempengaruhinya. Stabilitas atmosfer menjadi faktor meteorologi yang

berpengaruh langsung pada penyebaran polutan. Terdapat beberapa faktor meteorologi yang berpengaruh dalam pencemaran udara ini seperti berikut.

a. Temperatur

Temperatur menjadi salah satu variabel yang terdapat dalam faktor meteorologi. Temperatur udara yang tinggi akan menyebabkan udara semakin renggang dan mengakibatkan konsentrasi pencemar semakin rendah (Millah dkk., 2022). Jika temperatur udara berada pada kondisi yang rendah, akan menyebabkan pencemar tidak dapat menyebar, sehingga pencemar akan terakumulasi dan konsentrasi pencemar akan meningkat (Kurniawati dkk., 2017).

b. Kelembapan

Semakin tinggi kelembapan udara akan semakin tinggi konsentrasi pencemar. Udara yang lembap akan bereaksi dengan pencemar dan membentuk zat baru atau pencemar sekunder (Sukmawati & Warisaura, 2023).

c. Kecepatan Angin

Kecepatan angin akan mempengaruhi persebaran konsentrasi pencemar di suatu tempat. Angin akan membawa bahan pencemar ke tempat yang akan dilalui oleh angin. Banyaknya bahan pencemar di suatu wilayah tergantung dari arah anginnya.

d. *Mixing Layer*

Mixing layer atau lapisan pencampuran ketinggiannya dipengaruhi oleh perbedaan stabilitas atmosfer. *Mixing layer* akan mempengaruhi distribusi vertikal dari polutan. Ketebalan *mixing layer* memengaruhi konsentrasi polutan di wilayah tersebut.

e. Stabilitas Atmosfer

Stabilitas atmosfer menunjukkan tingkat turbulensi udara di arah vertikal. Pada malam hari biasanya stabilitas atmosfer lebih stabil dibandingkan siang hari. Pada stabilitas atmosfer ini akan mempengaruhi kemampuan atmosfer dalam terjadinya vertikal *mixing* (Sasmita dkk., 2021).

## 2. Faktor Topografi

Faktor meteorologi juga dipengaruhi oleh kondisi permukaan. Bentuk topografi memengaruhi karakteristik meteorologi setempat. Variabel yang terdapat dalam faktor topografi sebagai pengaruh pencemaran udara sebagai berikut:

### a. Dataran rendah

Pada daerah dataran rendah, angin memiliki kemampuan untuk membawa polutan yang tersebar melintas jauh, dari satu tempat ke tempat lain. Sehingga polutan akan terdispersi di banyak tempat.

### b. Pegunungan

Pada pegunungan atau dataran tinggi biasanya terjadi temperatur inversi sehingga udara dingin yang ada akan menahan polutan untuk tetap berada di daerah tersebut. Akibatnya mencegah terjadinya dispersi polutan.

### c. Lembah

Pada daerah ini angin sedikit dan tidak bertiup ke banyak arah. Sehingga keadaan ini juga akan menahan polutan untuk berada di daerah tersebut.

## 3. Faktor Sumber Emisi

Faktor sumber emisi biasanya disebabkan oleh adanya aktivitas manusia. Pencemar yang ada di udara bergantung dari kegiatan atau sumber yang dihasilkan. Sumber emisi ini dibagi lagi berdasarkan polutannya, polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer merupakan polutan yang diemisikan langsung dari sumbernya ke atmosfer. Sedangkan polutan sekunder ialah polutan yang dihasilkan dari reaksi kimia dengan polutan lainnya (Wardoyo, 2016).

## 2.4 Pemodelan

Untuk melakukan pemantauan kualitas udara atau mengendalikan tingkat emisi polusi udara, dapat diketahui pergerakan polutannya dengan pemodelan. Pemodelan ini berguna untuk dilakukan pengkajian terhadap dampak lingkungan

yang akan ditimbulkan. Pemodelan udara dilakukan dengan melihat hubungan antara sumber emisi yang dihasilkan dengan konsentrasi polutan yang ada di udara. Pemodelan berguna untuk melihat sebaran polusi secara spasial.

#### 2.4.1 Model Gauss Dispersion

Model *gauss dispersion* merupakan suatu pendekatan untuk mempelajari polutan di udara. Model ini dapat memprediksi sebaran atau dispersi emisi dari berbagai sumber (Stockie, 2011; Arif dkk., 2020). Model dispersi *gauss* merupakan bentuk persamaan matematika yang dimasukkan ke perhitungan variabel yang sifatnya fisis dan diberikan informasi detail mengenai sumber polutan (Puspitasari, 2011; Bakar, 2006; Hasibuan dkk., 2015).

Dalam memperkirakan penyebaran udara, dapat dilakukan pemodelan penyebaran pencemaran udara. Pemodelan yang paling umum digunakan adalah Model Dispersi Gauss. Pemodelan ini dapat memprediksi dispersi suatu pencemar yang berasal dari emisi suatu industri atau dapat berasal dari sumber lain dengan mempertimbangkan faktor internal, seperti cuaca, topografi, dan struktur bangunan. AERMOD merupakan suatu perangkat yang dapat digunakan untuk melakukan pemodelan dengan pendekatan model Dispersi Gauss (Rahmawati, 2003; Rosyid & Rosariawari, 2023).

Persamaan *gauss* menggunakan dua parameter dispersi berupa  $\sigma_y$  dan  $\sigma_z$  dalam perhitungannya untuk mengidentifikasi perubahan konsentrasi pencemar. Pada persamaan ini juga diperlukan stabilitas atmosfer untuk dapat memperkirakan jarak arah angin. Dalam model ini memiliki beberapa asumsi seperti, plume disebar mengikuti sebaran *gauss* normal (vertikal dan horizontal), laju emisi polutan seragam, plume bergerak *downstream* dengan rata-rata kecepatan angin  $U$ . Persamaan yang digunakan sebagai berikut (Assomadi, 2016).

$$C(x, y) = \frac{Q}{2 \pi x U \sigma_y \sigma_z} \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right) \left\{ \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right) + \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right) \right\} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$C$  = Konsentrasi pencemar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$Q$  = laju emisi pencemar ( $\mu\text{g}/\text{s}$ )

- $v$  = kecepatan rata-rata angin pada ketinggian efektif cerobong (m/s)
- $\sigma_y$  = standar deviasi konsentrasi pencemar dalam arah y (m)
- $\sigma_z$  = standar deviasi konsentrasi pencemar dalam arah z (m)
- $y$  = jarak horizontal reseptor dari sumber dalam arah y (m)
- $z$  = jarak horizontal reseptor dari sumber dalam arah z (m)
- $H$  = jarak downwind sepanjang centerline flume dari titik sumber (m)

#### 2.4.2 Pemodelan AERMOD

AERMOD dikembangkan oleh U.S. EPA. Selain itu AERMOD dapat melakukan pemodelan kualitas udara dari beberapa sumber dari titik yang berbeda, garis, permukaan, dan sumber volume. AERMOD merupakan sistem yang dapat digunakan untuk pemodelan dispersi yang memiliki 3 pemodelan, yaitu pemodelan arah dan kecepatan angin (WRPLOT View), pemodelan meteorologi (AERMET View) dan pengolahan data permukaan (AERMAP). Pada sistem pengolahan AERMOD ini menggunakan pendekatan *Gaussian bi-Gaussian* (Ismahani & Anurogo, 2023). AERMOD dapat digunakan untuk melihat persebaran atau dispersi dari suatu polutan yang dihasilkan dari emisi. AERMOD merupakan model dispersi tunak Gaussian plume. Pada pemodelan ini diasumsikan distribusi konsentrasi menjadi Gaussian secara vertikal atau horizontal. Pemodelan AERMOD menggabungkan konsep aliran dan dispersi di medan yang kompleks (Rafiuddin & Said, 2023). Pada *software* AERMOD, memiliki dua pre-prosesor yang membantu dalam proses pemodelannya. Yang pertama pre-prosesor AERMET, pre-prosesor AERMAP, dan main prosesor AERMOD.

- a. AERMET merupakan pre-prosesor yang berfungsi untuk mengolah data meteorologi dan mengatur batasan *layer* parameter yang diperlukan untuk pemodelan dispersi (Ghaziani dkk., 2021).
- b. AERMAP merupakan pre-prosesor yang berfungsi untuk menganalisis data topografi untuk menghitung elevasi sebenarnya dari reseptor dan sumber polutan (Ghaziani dkk., 2021). Pada *pre prosesor* ini menggunakan data medan grid untuk area pemodelan guna menghitung pengaruh ketinggian medan yang terkait dengan lokasi reseptor (Cimorelli, 2004 dalam Rafiuddin & Said, 2023).

- c. AERMOD merupakan *main processor*, hasil dari pemodelan AERMOD ini berupa peta kontur konsentrasi pencemar dari polutan yang teliti. Dengan *input* data dari AERMET dan AERMAP yang sudah diolah.

## 2.5 Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian mengacu pada penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan yang terlampir pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Penelitian Terdahulu

| No | Judul dan Penulis                                                                                                                                                                                  | Tujuan                                                                                                                                   | Metode                                                                                                                                                                                                                                    | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Analysis of NO <sub>2</sub> pollutant gas emissions distributions in Bandung City<br><br>Prasetya, A A;<br>Nasrullah, N;<br>Sulistyantara, B, (2022)                                               | Menghitung emisi polusi NO <sub>2</sub> di Bandung dengan formula zongan.                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perhitungan sumber emisi dari transportasi, rumah tangga, dan industri</li> <li>- Perhitungan sumber emisi dengan rumus zongan</li> </ul>                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisi paling banyak dihasilkan dari rumah tangga yang menggunakan LPG</li> <li>- Perangkat elektrik menghasilkan emisi yang paling sedikit. Sehingga tidak memiliki dampak pada peningkatan konsentrasi NO<sub>2</sub>.</li> </ul> |
| 2  | Analisis Kualitas Udara Ambien Karbon Monoksida (CO) Dan Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> ) Di Beberapa Titik Kemacetandi Kota Manado<br><br>Angelia, G. C., Akili, R. H., Maddusa, S. S. (2019) | Mengetahui tingkat konsentrasi karbon monoksida (CO) dan nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> ) di beberapa titik kemacetan di Kota Manado | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Metode yang digunakan deskriptif berbasis laboratorium</li> <li>- Pengukuran CO dengan CO meter dan NO<sub>2</sub> dengan metode <i>Griess Saltzman</i> sesuai dengan SNI 7119.2.2017</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- konsentrasi CO dan NO<sub>2</sub> di beberapa titik masih memenuhi syarat (aman)</li> </ul>                                                                                                                                        |
| 3  | Vehicle atmospheric pollution evaluation using AERMOD model at avenue in a Brazilian capital city<br><br>Menezes, M. F. M. & Ramos A. L. D. ( 2020)                                                | Penerapan pemodelan AERMOD untuk mengevaluasi polusi kendaraan di Tancredo Neves Avenue di Kota Araju                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemodelan dengan 2 jalur sebagai sumber emisi garis</li> <li>- Perhitungan emisi sumber berasal dari faktor emisi, kecepatan rata-</li> </ul>                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemodelan menunjukkan terdapat konsentrasi polutan disekitar sumber</li> <li>- TSP masih berada dibawah standar yang diperbolehkan, CO melebihi baku</li> </ul>                                                                    |

| No | Judul dan Penulis                                                                                                                                                                                                        | Tujuan                                                                                                                                                                                                            | Metode                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                   | <p>rata. Jumlah kendaraan saat waktu puncak</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribusi konsentrasi dari TSP, karbon monoksida, dan nitrogen dioksida pada mesh reseptor ditentukan dari cuaca, topografi, dan sumber emisi</li> </ul>                                                                                                        | <p>mutu karena tingginya laju emisi, dan NO<sub>2</sub> juga melebihi standar yang diperbolehkan</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemodelan menunjukkan bahwa faktor meteorologi dan topografi mempengaruhi penyebaran polutan</li> <li>- Kendaraan juga signifikan berpengaruh atas kualitas udara di wilayah tersebut</li> </ul>                                                         |
| 4  | <p>Gaseous air pollutants dispersion emitted from point and line sources by coupling WRF-AERMOD models (Case study: Lowshan, Guilan Province, Iran</p> <p>Ghaziani, S. F., Orkomi, A. A., &amp; Rajabi, M. A. (2021)</p> | <p>Mengukur kualitas udara dan persebarannya pada industri semen dan transportasi di Provinsi Guilan dan Qazvin, menggunakan <i>software</i> AERMOD dan membandingkannya dengan standar kualitas udara ambien</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengukuran langsung dengan pasif sampler polutan NO<sub>2</sub> dan CO</li> <li>- Penggunaan WRF untuk memprediksi parameter meteorologi</li> <li>- Analisis dispersi model dengan AERMOD</li> </ul>                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Konsentrasi NO<sub>2</sub> &amp; CO selama 1 jam atau tahunan masih dibawah standar kualitas udara ambien pada sumber <i>line source</i></li> <li>- Pada musim dingin konsentrasi polutan di lingkungan perkotaan lebih tinggi daripada musim panas.</li> </ul>                                                                                               |
| 5  | <p>An Assessment Of The Contribution Of Vehicular Traffic To Ambient Air Quality – A Case Study Of Nairobi Expressway Corridor</p> <p>Matara, C., Osano, S., Yusuf, A., &amp; Akech, E. (2024)</p>                       | <p>Memperkirakan polusi udara kendaraan dari koridor Jalan Tol Nairobi dengan simulasi model dispersi AERMOD.</p>                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengumpulan data lalu lintas dan kualitas udara ambien</li> <li>- Polutannya berupa particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), Total Volatile Organic Compounds (TVOC), Carbon Monoxide (eCO), dan Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>).</li> <li>- Pemodelan dan <i>set up</i>. Berupa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemodelan AERMOD ditunjukkan pada beberapa waktu, 24 jam, 8 jam, dan tahunan.</li> <li>- Hasil pengukuran konsentrasi dalam model untuk masing-masing polutan adalah 0.03 sampai 0.274 µg/m<sup>3</sup> untuk PM<sub>2.5</sub>, 0.04 sampai 0.405 µg/m<sup>3</sup> untuk PM<sub>10</sub>, 0.20 sampai 20.8 µg/m<sup>3</sup> untuk TVOC, 0.2 sampai</li> </ul> |

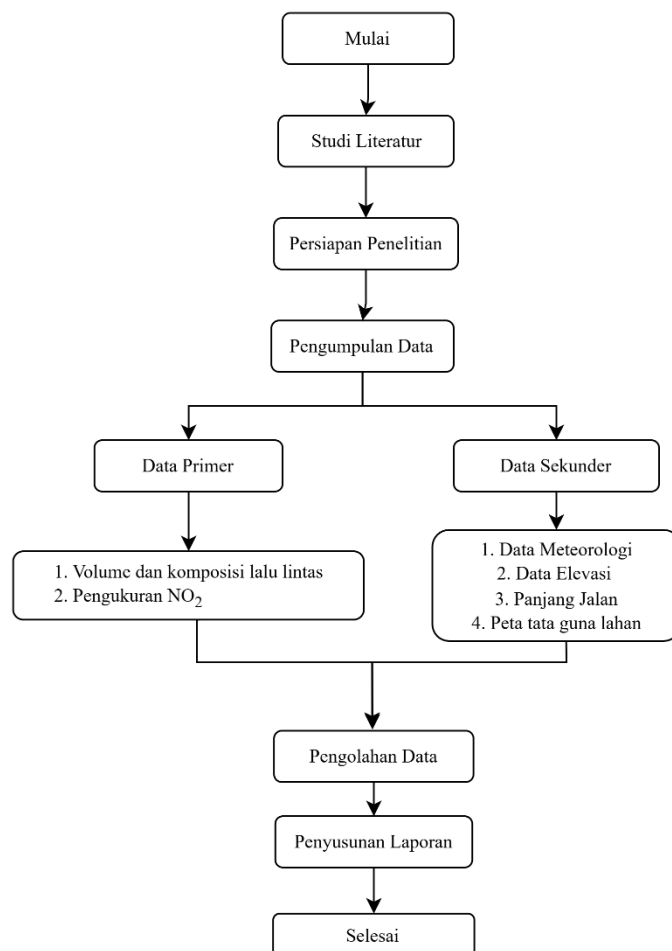
| No | Judul dan Penulis | Tujuan | Metode                                                        | Hasil                                                                                                                                                                        |
|----|-------------------|--------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                   |        | data meteorologi, data topografi, dan sumber emisi kendaraan. | 28.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk $\text{NO}_2$ , dan 3 sampai 319 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk CO.<br>- Hasil pemodelan berada di bawah baku mutu yang telah ditetapkan |

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Rangkaian penelitian yang akan dilaksanakan ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

#### 3.2 Lokasi dan Waktu

##### 3.2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di kawasan kebudayaan di Kota Yogyakarta. Lokasi ini dipilih karena memiliki tingkat kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi.

Dikarenakan daerah merupakan daerah wisata dan banyak tempat kebuadayaan sehingga banyak orang mengunjungi daerah tersebut. Selain itu juga terdapat beberapa sarana pendidikan berupa kampus dan sekolah. Banyaknya reseptor sensitif yang menjadi tempat banyak orang berkumpul, membuat jalan ini menjadi salah satu jalan yang memiliki variasi kendaraan yang dilalui. Kawasan ini sering dilalui banyak orang dan memiliki tingkat kepadatan yang cukup tinggi.

Lokasi penelitian berada di ruas Jalan Bantul, yang merupakan jalan primer. Dan Jalan Suryowijayan, Jalan KH Wahid Hasyim, Jalan KH Ahmad Dahlan, Jalan Brigjen Katamso, Jalan MT Haryono, Jalan Prangtritis, Jalan Mayjend Sutoyo, Jalan Panembahan Senopati dan Jalan Panjaitan yang menjadi jalan sekunder. Pengukuran konsentrasi polutan NO<sub>2</sub> dilakukan di 2 titik, pada Jalan Bantul dan Jalan DI Panjaitan. Perhitungan jumlah kendaraan dilakukan di Jalan Bantul dan Jalan DI Panjaitan secara langsung dan Jalan lainnya melalui CCTV. Lokasi sampling dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Tabel 3.1 dan lokasi CCTV dapat dilihat pada Tabel 3.2.

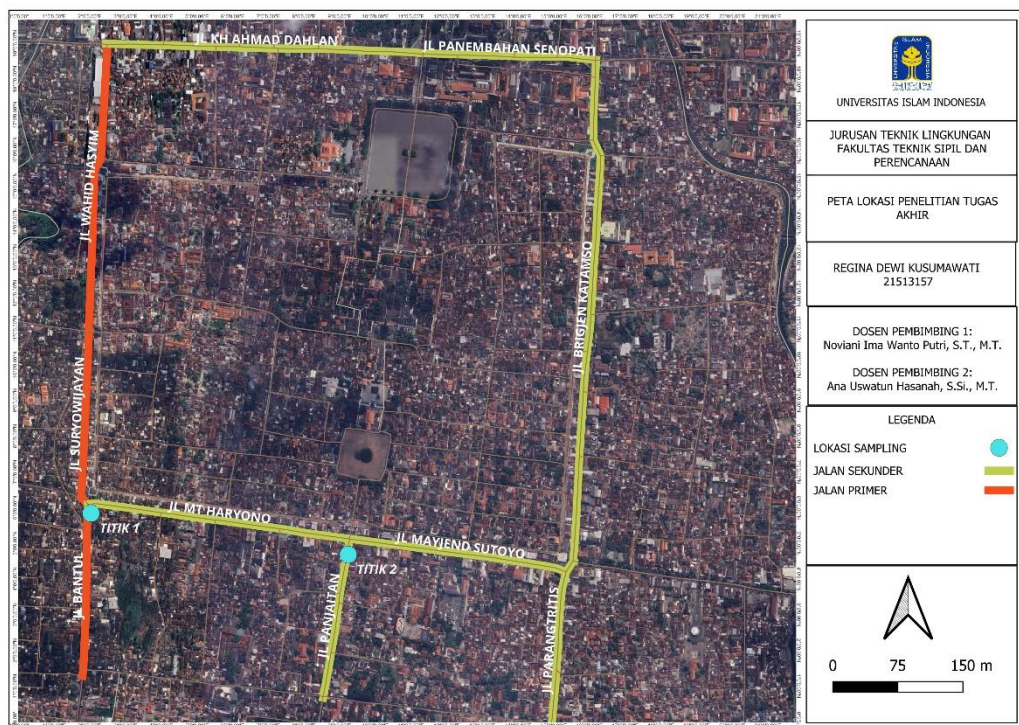
**Tabel 3.1** Titik Koordinat Lokasi Pemantauan Konsentrasi Polutan

| Jalan           | Titik Koordinat          | Lokasi                |
|-----------------|--------------------------|-----------------------|
| Jl. Bantul      | 7°48'48"S<br>110°21'22"E | Toko Gadai            |
| Jl DI Panjaitan | 7°48'52"S<br>110°21'46"E | Polsek<br>Mantrijeron |

**Tabel 3.2** CCTV Pemantauan Jumlah Kendaraan

| No | Jalan             | CCTV                                   |
|----|-------------------|----------------------------------------|
| 1  | Jl Bantul         | Simpang Jukteng Kulon                  |
| 2  | Jl MT. Haryono    | Simpang Pasar Gading - JLN MT. Haryono |
| 3  | Jl Mayjend Sutoyo | Simpang Pasar Gading - JLN MT. Haryono |

| No | Jalan                  | CCTV                                                                              |
|----|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 4  | Jl Panjaitan           | Simpang Pasar Gading - JLN MT. Haryono                                            |
| 5  | Jl Parangtritis        | Simpang Jukteng Wetan - JL. Parangtritis (PTZ) dan Simpang Jogokariyan View Utara |
| 6  | Jl Brigjen Katamso     | Simpang Gondomanan View Selatan                                                   |
| 7  | Jl Panembahan Senopati | Simpang Gondomanan & Nol KM Timur                                                 |
| 8  | Jl Ahmad Dahlan        | Simpang PKU MUH (PTZ) & S3 Nyai Ahmad Dahlan                                      |
| 9  | Jl Wahid Hasyim        | Tamansari                                                                         |



**Gambar 3.2** Lokasi Penelitian

### 3.2.2 Waktu Penelitian

Waktu pengukuran udara ambien dan perhitungan kendaraan dilakukan bersamaan, dilakukan selama 4 kali dalam seminggu yaitu pada hari kerja (Kamis dan Selasa) dan hari libur (Sabtu dan Minggu). Dan pengukuran dilakukan pada pukul 08.00 – 09.00 pagi, 12.00 – 13.00 siang, dan 16.00 – 17.00 sore selama 1 jam. Dipilihnya waktu-waktu tersebut karena melihat tingginya kepadatan kendaraan pada hari kerja, banyak orang melakukan aktivitas perkantoran, atau sekolah pada

hari kerja. Dan hari libur banyaknya tingkat aktivitas pada hari libur saat wisatawan berdatangan di daerah tersebut. Yang mana biasanya pada hari kerja maupun hari libur tingkat kepadatan lalu lintas tinggi saat jam berangkat, sekitar pukul 08.00 – 09.00, waktu siang 12.00 – 13.00 saat istirahat dan sore 16.00 – 17.00 saat pulang.

### **3.3 Pengumpulan Data**

#### **3.3.1 Jenis Data**

Kebutuhan data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Pengambilan data primer dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengukuran arus lalu lintas dan pengukuran konsentrasi  $\text{NO}_2$  di udara ambien. Tahapan yang dilakukan dalam pengambilan data primer di lapangan sebagai berikut:

##### **a. Inventarisasi Emisi**

Menghitung volume lalu lintas dengan cara menghitung jumlah kendaraan tiap jenisnya yaitu, sepeda motor, mobil penumpang, mobil berbahan bakar solar, truck, dan bus. Lalu menghitung beban emisi yang dihasilkan. Banyaknya kendaraan dihitung setiap 1 jam pada pukul 08.00, 12.00, dan 17.00 pada hari kerja dan hari libur. Kendaraan dihitung secara manual dengan melihat kondisi di lapangan. Selain itu juga dilakukan pemantauan jumlah kendaraan dari CCTV daerah tersebut. Setelah jumlah kendaraan didapatkan, dilakukan perhitungan inventarisasi emisi dengan mengetahui beban emisi yang sudah ditentukan.

##### **b. Pengukuran $\text{NO}_2$ menggunakan Impinger**

Pengukuran konsentrasi  $\text{NO}_2$  di udara ambien menggunakan alat *impinger*. Pengukuran konsentrasi  $\text{NO}_2$  dilakukan di lokasi yang sama dengan pengukuran arus lalu lintas, yaitu di Jalan Bantul dan Jalan Panjaitan. Pengukuran konsentrasi  $\text{NO}_2$  dilakukan dengan mengacu pada SNI 7119.2-2017 dengan metode *Griess Saltzman*. Pengukuran  $\text{NO}_2$  dilakukan 3 kali sehari pada waktu yang berbeda yaitu, pagi, siang, dan sore. Pengukuran dilakukan selama satu jam, di satu titik.

Sedangkan data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Data meteorologi per jam yang diperoleh dari *website copernicus*. Data yang diperoleh berupa data reanalisis atau data satelit. Data yang dihasilkan berupa data temporal atau spasial. Data yang didapatkan seperti suhu, tekanan, kecepatan angin, dan kelembapan.
- b. Data dimensi jalan yang diperoleh dari Kepwal Yogyakarta Nomor 71 Tahun 2018 Tentang Penetapan Ruas-Ruas Jalan Kota Yogyakarta. Data dimensi jalan yang dibutuhkan berupa panjang dan lebar jalan.
- c. Nilai faktor emisi kendaraan dilihat dari UU No 12 Tahun 2010. Nilai faktor emisi akan digunakan untuk perhitungan inventarisasi emisi.

Selengkapnya, perolehan data primer (perhitungan kendaraan) dan sekunder ini dianalisis menggunakan perangkat lunak, seperti yang tercantum dalam Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

| No | Proses                            | Kebutuhan Data                                                                                                                                  | Jenis Perangkat                            |
|----|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. | Inventarisasi Emisi               | Volume jalan lalu lintas sesuai jenis kendaraan                                                                                                 | Microsoft Excel, QGIS                      |
|    |                                   | Faktor emisi kendaraan kategori bahan bakar                                                                                                     | Microsoft Excel                            |
|    |                                   | Koordinat jalan, lebar jalan, panjang jalan                                                                                                     | Microsoft Excel, QGIS, AERMOD Versi 12.0.0 |
| 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 Excel, WRPLOT, AERMET, ODV       |
|    |                                   | Peta tata guna lahan                                                                                                                            | AERMAP                                     |
|    |                                   | Peta kontur                                                                                                                                     | AERMAP                                     |
| 3. | Uji Validasi Model                | Uji korelasi                                                                                                                                    | Microsoft Excel                            |

### 3.3.2 Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini, pengambilan sampel hanya dilakukan saat pengukuran konsentrasi  $\text{NO}_2$  menggunakan instrumen impinger di Jalan Bantul dan Jalan DI Panjaitan dengan alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

a. Alat

1. Peralatan pengambilan contoh uji,
2. Labu ukur 25 mL, 250 mL dan 100 mL,
3. Gelas ukur 250 mL,
4. Gelas piala 250 mL,
5. Tabung uji 10 mL,
6. Spektrofotometer dilengkapi kuvet,
7. Neraca analitik dengan ketelitian 0,1 mg,
8. Botol pyrex berwarna gelap,
9. Kaca arloji
10. Pipet

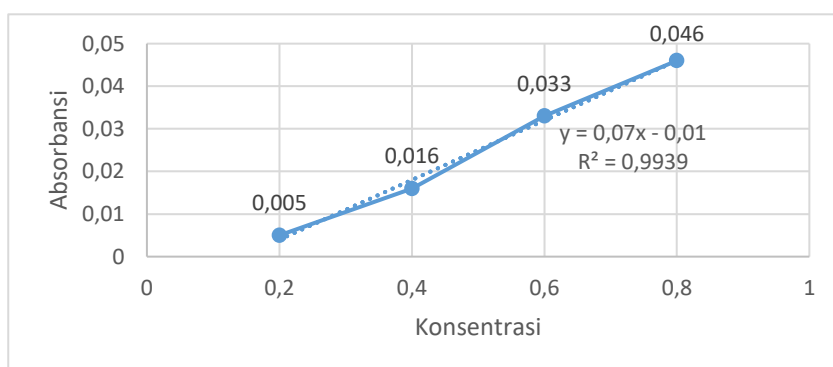
b. Bahan

1. Hablur asam sulfanilat ( $\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$ ),
2. Larutan asam asetat glasial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$  pekat),
3. Air suling bebas nitrit,
4. Larutan induk (NEDA,  $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$ ),
5. Larutan aseton ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ),
6. Larutan penjerap Griess Saltzman,
7. Larutan induk nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ),
8. Larutan standar nitrit ( $\text{NO}_2^-$ )

### 3.3.3 Pengujian Laboratorium

Pada penelitian ini, uji sampel di laboratorium dilakukan untuk mengetahui konsentrasi  $\text{NO}_2$  yang telah diukur di Jalan Bantul dan Jalan DI Panjaitan selama 1 jam pengukuran dengan mengacu pada metode SNI 7119.2-2017. Secara umum tahapan yang dilalui sebagai berikut:

1. Pembuatan larutan penjerap. Larutan penjerap digunakan untuk pengambilan contoh uji di lapangan. Pembuatan larutan penjerap dibuat dengan menambahkan larutan NEDA dan aseton serta melarutkan asam sulfanilat dan asam asetat.
2. Pengambilan contoh uji. Pengambilan contoh uji dilakukan di lapangan selama 1 jam. Polutan akan melewati rangkaian peralatan pengambilan contoh uji dan dijerap didalam larutan penjerap. Larutan contoh uji yang digunakan sebanyak 10 mL.
3. Pembuatan Kurva Kalibrasi. Kurva kalibrasi berfungsi untuk menghubungkan nilai konsentrasi dengan absorbansi dari spektrofotometer menggunakan regresi linier. Pembuatan kurva kalibrasi dilakukan di laboratorium dengan menggunakan larutan standar masing-masing yaitu 0,2 mL; 0,4 mL; 0,6 mL; dan 0,8 mL. Larutan standar dicampur dengan larutan penjerap, lalu dibaca pada hasil spektrofotometer pada panjang gelombang 550 nm. Selanjutnya, hasil pembacaan diplotkan ke dalam kurva kalibrasi. Hasil kurva kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Kurva Kalibrasi

4. Pengujian contoh uji. Pengujian contoh uji dilakukan dengan membaca hasil pengukuran di spektrofotometer lalu dihitung konsentrasinya dengan kurva kalibrasi. Hasil contoh uji dihitung konsentrasinya untuk menghasilkan jumlah  $\text{NO}_2$  dalam larutan standar. Selanjutnya volume contoh uji di udara ambien juga dihitung. Dan terakhir konsentrasi  $\text{NO}_2$

di udara ambien didapatkan dengan membandingkan jumlah NO<sub>2</sub> dari contoh uji hasil perhitungan kurva kalibrasi dan volume udara ambien.

### 3.4 Analisis

Dalam melakukan analisis, teknik analisis data dilakukan dengan pendekatan secara kuantitatif untuk menghitung konsentrasi polutan dari emisi kendaraan bermotor di udara ambien. Dalam analisis data dilakukan dalam beberapa tahap:

#### 1. Inventarisasi Emisi Sektor Transportasi (Sumber Garis)

Dalam analisis komposisi lalu lintas, setelah mendapatkan jumlah kendaraan yang dihitung, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan beban emisi. Dengan persamaan yang digunakan pada Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2.

$$VKT_{j, line} = \sum_{i=1}^N Q_{ji} \cdot l_i \quad (3.1)$$

$$E_{cji} = VKT_{ji} \cdot EF_{cj} (100 - C) / 100 \quad (3.2)$$

keterangan:

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

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

$l_i$  = 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

Faktor emisi yang digunakan dapat mengacu pada faktor emisi jenis kendaraan yang telah ditentukan oleh PerMenLH No. 12/2010 yang terletak pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Faktor Emisi Kendaraan Umum

| Kategori                    | CO<br>(g/km) | HC<br>(g/km) | NO <sub>x</sub><br>(g/km) | PM <sub>10</sub><br>(g/km) | CO <sub>2</sub><br>(g/km) | SO <sub>2</sub><br>(g/km) |
|-----------------------------|--------------|--------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Sepeda motor                | 14           | 5,9          | 0,29                      | 0,24                       | 3180                      | 0,008                     |
| Mobil penumpang<br>(bensin) | 40           | 4            | 2                         | 0,01                       | 3180                      | 0,026                     |
| Mobil penumpang<br>(solar)  | 2,8          | 0,2          | 3,5                       | 0,53                       | 3172                      | 0,44                      |
| Mobil penumpang<br>Bis      | 32,4         | 3,2          | 2,3                       | 0,12                       | 3178                      | 0,11                      |
| Truk                        | 11           | 1,3          | 11,9                      | 1,4                        | 3172                      | 0,93                      |
|                             | 8,4          | 1,8          | 17,7                      | 1,4                        | 3172                      | 0,82                      |

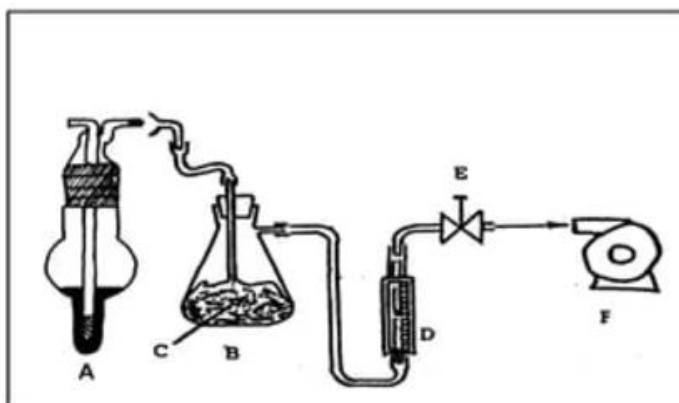
Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010

## 2. Analisis konsentrasi NO<sub>2</sub>

Proses analisis konsentrasi NO<sub>2</sub> dalam SNI 7119.2-2017 tentang cara uji kadar nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dengan metode *Griess Saltzman* menggunakan spektrofotometer.

### a. Prinsip

Gas nitrogen dioksida dijerap dalam larutan *Griess Saltzman* sehingga membentuk senyawa *azo dye* berwarna merah muda yang stabil setelah 15 menit. Konsentrasi larutan ditentukan secara spektrofotometri pada panjang gelombang 550 nm. Berikut merupakan rangkaian peralatan yang digunakan untuk pengambilan contoh uji NO<sub>2</sub>

**Gambar 3.4** Rangkaian peralatan pengambilan contoh uji NO<sub>2</sub>

Sumber: SNI 7119.2-2017

Keterangan:

A = botol penjerap

B = perangkap uap

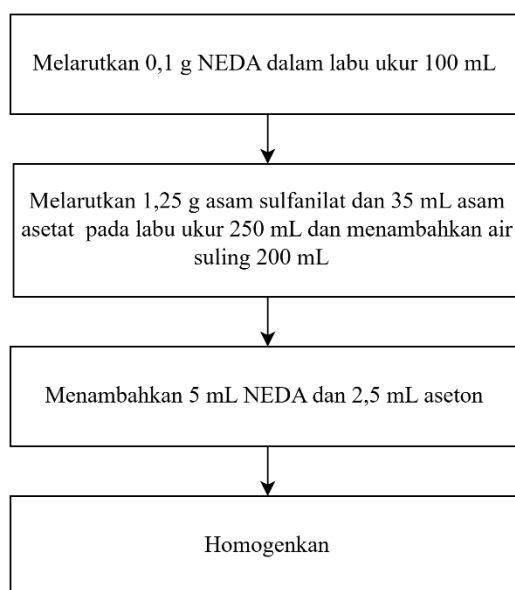
C = arang aktif atau soda lime

D = flow meter laju aliran 0,4 L/meter

E = kran pengatur

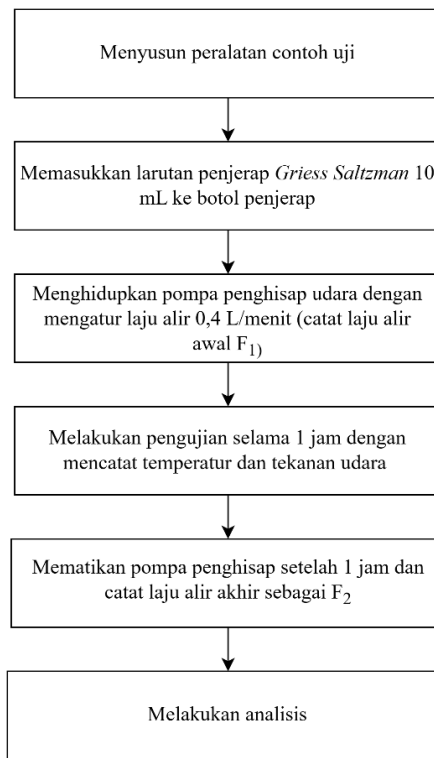
F = pompa

b. Pembuatan Larutan Penjerap



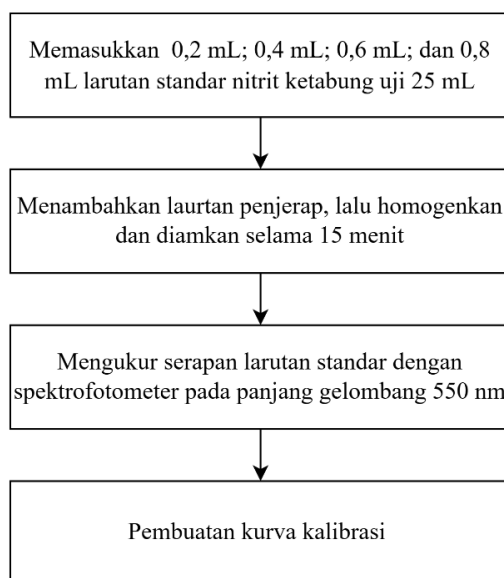
**Gambar 3.5** Alur pembuatan larutan penjerap, mengacu pada SNI 7119.2-2017

## c. Pengambilan contoh uji



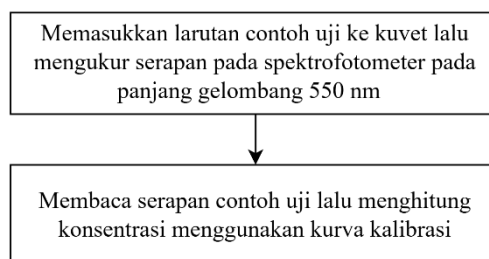
**Gambar 3.6** Alur pengambilan contoh uji mengacu pada SNI 7119.2-2017

## d. Pembuatan kurva kalibrasi



**Gambar 3.7** Alur pembuatan kurva kalibrasi mengacu pada SNI 7119.2-2017

## e. Pengujian contoh uji



**Gambar 3.8** Alur pengujian contoh uji mengacu pada SNI 7119.2-2017

f. Perhitungan Sampel NO<sub>2</sub>1. Konsentrasi NO<sub>2</sub> dalam larutan standar

$$\text{NO}_2 = \frac{a}{100} \times \frac{46}{69} \times \frac{1}{f} \times \frac{10}{100} \times 10^6 \quad (3.3)$$

Keterangan:

NO<sub>2</sub> = jumlah NO<sub>2</sub> dalam larutan standar NaNO<sub>2</sub> (µg/mL)

a = berat NaNO<sub>2</sub> yang ditimbang (g)

46 = berat molekul NO<sub>2</sub>

69 = berat molekul NaNO<sub>2</sub>

F = faktor yang menunjukkan jumlah mol NaNO<sub>2</sub> yang menghasilkan warna yang setara dengan 1 mol NO<sub>2</sub> (nilai f = 0,82)

10/1000 = faktor pengenceran dari larutan induk NaNO<sub>2</sub>

10<sup>6</sup> = konversi gram ke µg

## 2. Volume contoh uji di udara ambien

Volume contoh uji di udara ambien dihitung pada kondisi normal (25°C, 760 mmHg) dengan rumus sebagai berikut.

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \times t \times \frac{P_a}{T_a} \times \frac{298}{760} \quad (3.4)$$

Keterangan:

$V$  = volume udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg

$F_1$  = laju alir awal (L/menit)

$F_2$  = laju alir akhir (L/menit)

$t$  = durasi pengambilan contoh uji (menit)

$P_a$  = tekanan barometer rata-rata selama pengambilan contoh uji (mmHg)

$T_a$  = Temperatur rata-rata selama pengambilan contoh uji (K)

298 = konversi temperatur pada kondisi normal (25°C) ke Kelvin

760 = tekanan udara standar (mmHg)

### 3. Konsentrasi $\text{NO}_2$ di udara ambien

Konsentrasi  $\text{NO}_2$  dalam contoh uji dapat dihitung dengan rumus berikut

$$C = \frac{b}{V} \times \frac{10}{25} \times 1000 \quad (3.5)$$

Keterangan:

$C$  = konsentrasi  $\text{NO}_2$  di udara ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )

$b$  = jumlah  $\text{NO}_2$  dari contoh uji hasil perhitungan dari kurva kalibrasi ( $\mu\text{g}$ )

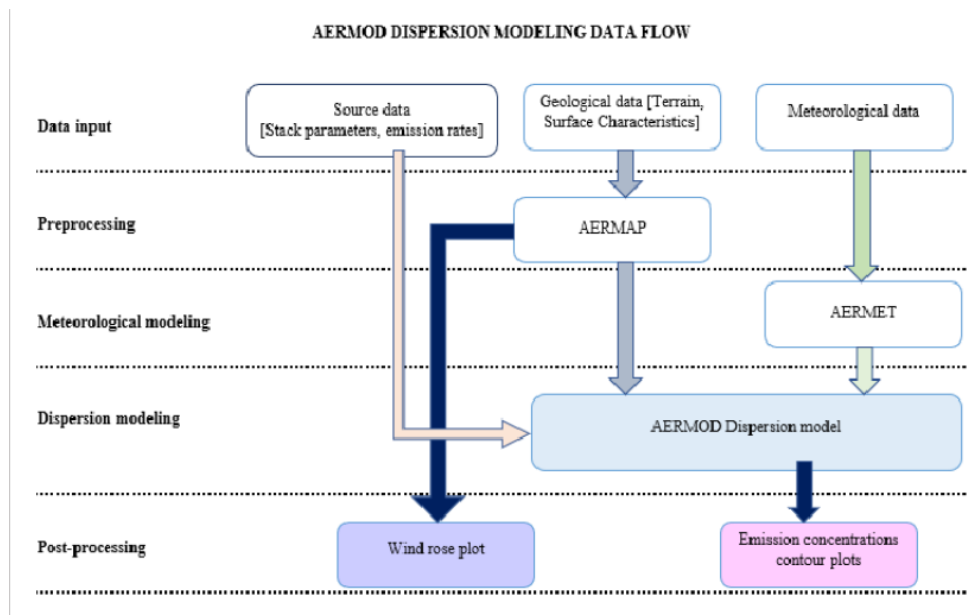
$V$  = volume udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg

10/25 = faktor pengenceran

1000 = konversi liter ke  $\text{m}^3$

### 3. Simulasi Model AERMOD Versi 12.0.0

Pada pemodelan AERMOD Versi 12.0.0 dilakukan beberapa tahapan sebelum mendapatkan hasil dispersi dari pemodelan. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Diagram proses AERMOD

Sumber: Momanyi dkk. (2022)

#### 1. Pengolahan AERMET

Pada tahap pengolahan AERMET data yang diperlukan berupa data meteorologi yang sudah dikumpulkan. Data pada AERMET berupa hourly meteorologi permukaan seperti suhu, curah hujan, arah dan kecepatan angin, cloud cover. Format yang dihasilkan dari pengolahan data AERMET ini berupa surface file (.SFC) dan Profile file (.PFL). Data meteorologi yang sudah didapatkan dari *website Copernicus* yang telah diolah pada excel selanjutnya digunakan sebagai *input* pada AERMET.

#### 2. Pengolahan AERMAP

Pada tahan pengolahan AERMAP, pre-prosesor ini akan mengolah data berupa medan permukaan tanah/terrain, dengan grid yang merepresentasikan reseptor dari model tersebut. Format luaran dari model AERMAP ini berupa reseptor output file (.rou) yang merupakan nilai elevasi permukaan dan elevasi reseptor spesifik dan source *output* file (.sou) yang merupakan nilai elevasi dari setiap

sumber emisi yang akan dimasukkan kedalam program utama AERMOD Versi 12.0.0. Data yang digunakan pada pengolahan AERMAP ini didapatkan dari *webgis* yang terdapat pada AERMET. Dengan elevasi SRTM 30 dengan koordinat sesuai dengan lokasi penelitian.

### 3. Pengolahan AERMOD Versi 12.0.0

Setelah melewati dua pre-prosesor, selanjutnya model akan dimasukkan kedalam *main processor*. Hasil pengukuran NO<sub>2</sub> di lapangan dimasukkan ke dalam data AERMOD Versi 12.0.0. Hasil dari pemodelan AERMOD Versi 12.0.0 ini berupa peta kontur konsentrasi pencemar dari polutan yang teliti. Terdapat beberapa tahapan didalam model AERMOD Versi 12.0.0 ini,

- a. *Control pathway*, tahap ini melakukan pengaturan terhadap jenis hasil luaran model. Hasil yang diolah berupa jenis pencemar udara dan output rata-rata waktu, tipe kawasan, tipe ketinggian kontur.
- b. *Source pathway*, tahap ini nantinya menentukan jenis sumber pencemar berupa titik/area/garis. Juga melakukan pengisian data berupa letak titik koordinat, laju emisi, *base elevation*, *release height*, dan lainnya. Pada penelitian ini menggunakan *line area* sebagai *source pathway* yang digunakan
- c. *Reseptor pathway*, tahap ini menentukan reseptor dalam wilayah kajian serta elevasi permukaan reseptor
- d. *Meteorology pathway*, pengolahan data dari pre-prosesor AERMET
- e. *Output pathway*, output yang dihasilkan model, berupa peta plot kontur pencemar udara.

### 4. Validasi Model

Setelah melakukan pengujian secara langsung pengukuran di lapangan dan juga melakukan olah data dengan pemodelan di *software*. Selanjutnya

dilakukan uji validitas model dengan membandingkan keduanya. Validasi model bertujuan untuk melihat kesesuaian hasil pengukuran dengan pemodelan. Validasi model ini dilakukan dengan metode *root mean square percentage error* (RMSPE). Persamaan RMSPE (Reed dkk., 2015) dapat dilihat pada Persamaan 3.6.

$$\text{RMSPE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \left( \frac{St - At}{At} \right)^2} \times 100\% \quad (3.6)$$

Keterangan:

$n$  = jumlah data

$St$  = nilai konsentrasi simulasi

$At$  = nilai konsentrasi aktual

Tingkat keakuratan suatu model dikatakan sesuai atau terpenuhi jika nilai RMSE yang didapatkan <25% model dapat diterima dan <10% model baik (Reed dkk., 2015).

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

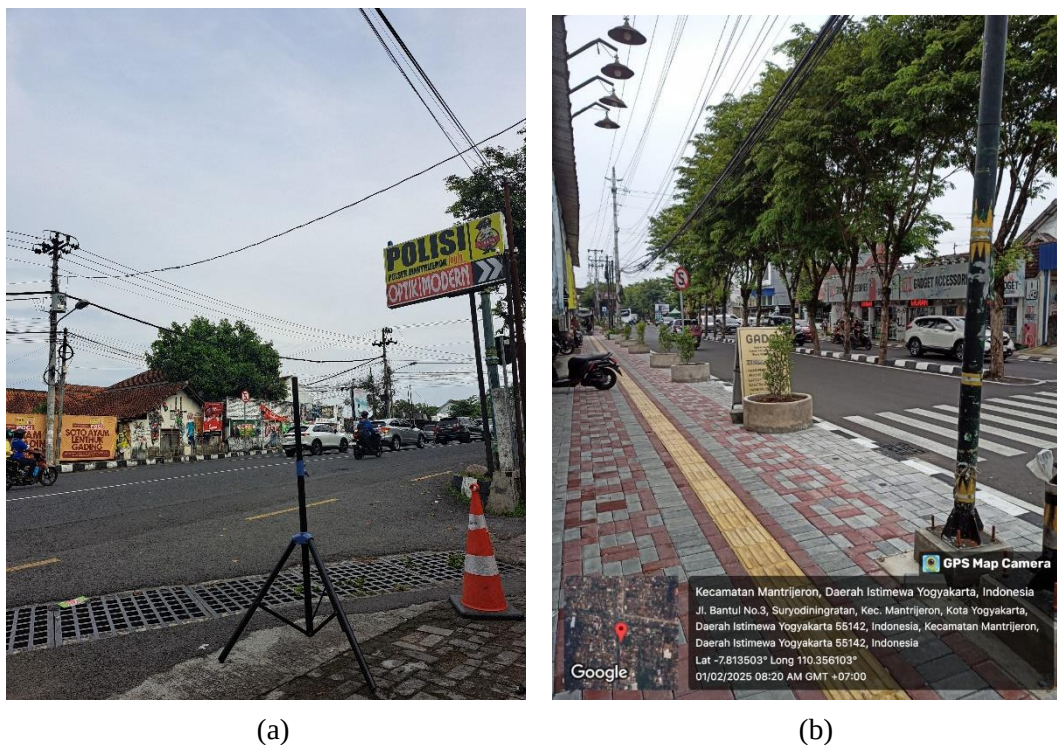
#### **4.1 Kondisi Lingkungan Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan di dua jalan utama, yaitu Jalan Bantul sebagai Titik 1 dan Jalan DI Panjaitan sebagai Titik 2. Lokasi penelitian berada di Kawasan kebudayaan yang ada di Kota Yogyakarta, dengan titik pusat di Alun-Alun Kidul Kota Yogyakarta. Lokasi ini memiliki tingkat kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi, karena banyaknya wisatawan yang berdatangan serta masyarakat yang melakukan aktivitas seperti bekerja dan bersekolah. Hal ini disebabkan oleh banyaknya reseptor sensitif seperti sekolah, kantor, pusat perbelanjaan dan tempat wisata.

Pemilihan lokasi didasarkan pada kondisi lingkungan sekitar dan banyaknya reseptor sensitif yang terdapat di daerah tersebut. Pemilihan lokasi ini juga mengacu pada SNI 19-7119.6-2017. Penelitian dilaksanakan dalam kurun waktu 1 minggu pada tanggal 30 Januari, 1, 2, dan 4 Februari, pada hari kerja (Kamis & Selasa) dan hari libur (Sabtu & Minggu). Penelitian dilakukan pada pukul 08.00 – 09.00, 12.00 – 13.00, dan 16.00 – 17.00. Selama penelitian berlangsung, kepadatan lalu lintas pada lokasi penelitian tergolong rendah terutama saat hari libur. Kondisi lingkungan pada saat penelitian berbeda-beda pada beberapa waktu saat dilakukannya pengambilan sampel uji. Pada lokasi Jalan DI Panjaitan pada tanggal 30 Januari 2025 kondisi sedikit mendung serta gerimis pada saat siang hari. Dan pada hari-hari lainnya cuaca cerah dengan intensitas matahari cukup tinggi.

Selama proses pengambilan sampel, lingkungan sekitar memiliki tingkat kepadatan yang cukup tinggi di hari Jumat dan Selasa atau pada *weekdays*. Hal ini disebabkan oleh tingginya aktivitas masyarakat pada di hari-hari tersebut. Namun pada hari Sabtu dan Minggu atau *weekend* jumlah masyarakat maupun wisatawan yang melintas lebih sedikit. Aktivitas dominan pada hari tersebut adalah *jogging* atau bersepeda, sehingga intensitas kendaraan menurun pada hari-hari tersebut.

Pada Titik 1, terdapat banyak vegetasi berupa pohon di sekitar area pengambilan sampel. Keberadaan vegetasi ini dapat memengaruhi hasil konsentrasi polutan. Selain itu pada Titik 2 terdapat reseptor sensitif seperti sekolah, tempat ibadah, dan juga tempat perbelanjaan. Selebihnya kondisi lingkungan daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4.1** Kondisi Lingkungan  
(a) Titik 1; (b) Titik 2

## 4.2 Inventarisasi Emisi Kendaraan

Inventarisasi emisi digunakan untuk melihat estimasi beban emisi dari  $\text{NO}_2$  yang dihasilkan dari sumber garis pada kendaraan di jalan. Inventarisasi emisi kendaraan ini diperoleh dari 10 data jalan yang digunakan, dengan masing-masing kategori kendaraan dihitung secara manual. Pengamatan jumlah kendaraan dilakukan selama 1 jam pada waktu yang telah ditentukan. Metode pengambilan data dilakukan dengan merekam CCTV yang terpasang di beberapa jalan dan mengamati langsung di Jalan Bantul dan Jalan DI Panjaitan, kemudian dihitung secara manual.

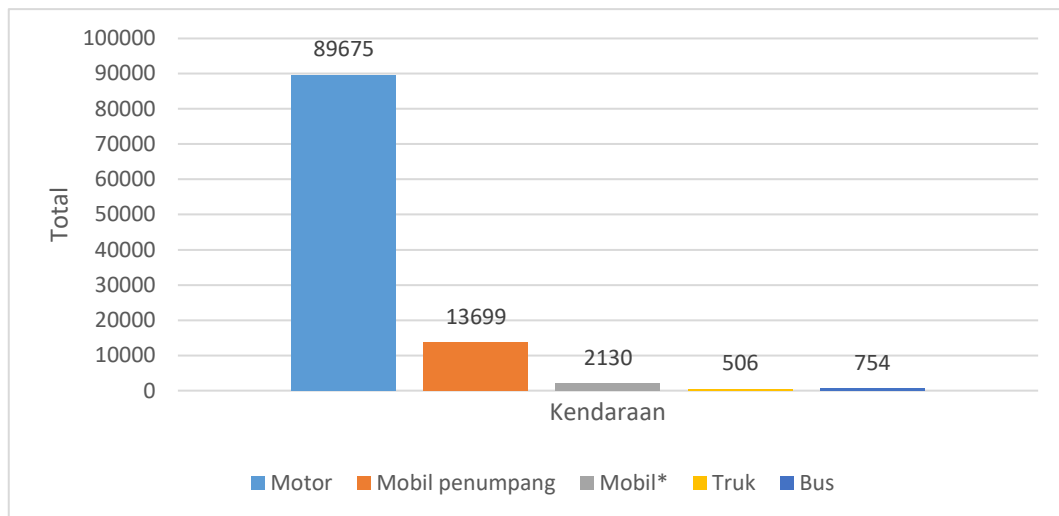
Perhitungan inventarisasi emisi ini menggunakan metode *Tier 2* berdasarkan faktor emisi berbasis kilometer jalan kendaraan atau *Vehicle Kilometer Traveled* (VKT), sesuai dengan PERMENLH/12/2010. Kategori kendaraan digolongkan menjadi 5 jenis yaitu, sepeda motor, mobil pribadi, dan mobil dengan bahan bakar solar, truk, dan bus. Perhitungan kendaraan dilakukan dengan mencari rata-rata kendaraan selama 1 jam pengukuran, dengan cara membagi jumlah kendaraan dengan jumlah hari pengukuran (4 hari). Dengan demikian, hasil akhir yang digunakan adalah rata-rata total kendaraan selama 1 jam. Data jumlah kendaraan dapat dilihat pada Tabel 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

**Tabel 4.1** Jumlah Total Kendaraan

| NO | Nama Jalan                | Jumlah Kendaraan (unit/jam) |       |        |     |      |
|----|---------------------------|-----------------------------|-------|--------|-----|------|
|    |                           | Motor                       | Mobil | Mobil* | Bus | Truk |
| 1  | Jalan Bantul              | 12702                       | 1188  | 166    | 45  | 38   |
| 2  | Jalan DI Panjaitan        | 5477                        | 822   | 96     | 15  | 34   |
| 3  | Jalan Letjend MT Haryono  | 6662                        | 1277  | 176    | 73  | 75   |
| 4  | Jalan Mayjend Sutoyo      | 6915                        | 1546  | 201    | 63  | 78   |
| 5  | Jalan KH Wakhid Hasyim    | 5773                        | 1159  | 96     | 131 | 24   |
| 6  | Jalan Brigjen Katamso     | 10263                       | 2096  | 192    | 52  | 58   |
| 7  | Jalan Parangtritis        | 7687                        | 1361  | 159    | 44  | 55   |
| 8  | Jalan Suryowijayan        | 5179                        | 1045  | 126    | 103 | 30   |
| 9  | Jalan KH Ahmad Dahlan     | 15107                       | 1653  | 550    | 101 | 58   |
| 10 | Jalan Panembahan Senopati | 13911                       | 1553  | 370    | 128 | 57   |

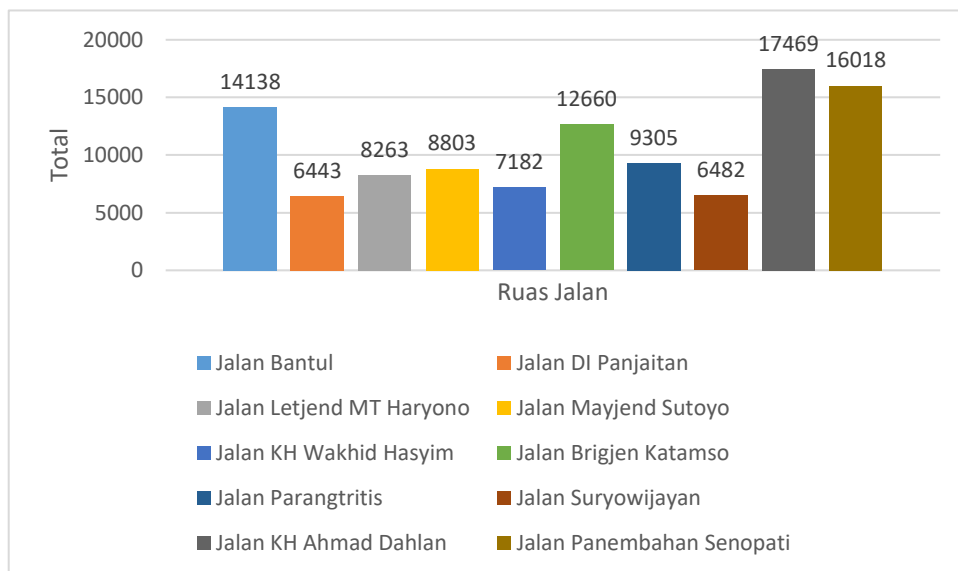
Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

\*Mobil bahan bakar solar



**Gambar 4.2** Jumlah Kendaraan Total

\*Mobil bahan bakar solar



**Gambar 4.3** Jumlah Kendaraan Untuk Setiap Jalan

Jumlah kendaraan terbanyak berada di Jalan KH Ahmad Dahlan dengan total 17469 kendaraan, sedangkan jumlah kendaraan paling sedikit berada di jalan DI Panjaitan dengan total 6443 kendaraan. Jenis Kendaraan yang paling sering melintas adalah sepeda motor dengan jumlah 89675 unit, sementara yang paling jarang melintas ialah truk dengan jumlah 506 unit.

Rata-rata jumlah kendaraan per jenis dikalikan dengan panjang jalan yang dilalui oleh kendaraan tersebut. Diasumsikan bahwa panjang jalan yang ditempuh oleh kendaraan merupakan jarak dari titik awal hingga titik akhir jalan, sesuai dengan data dari KEPWAL Yogyakarta 07/2018 Tentang Penetapan Ruas-Ruas Jalan Kota Yogyakarta. Hasil perkalian tersebut kemudian dikalikan dengan faktor emisi untuk memperoleh emisi total. Faktor emisi  $\text{NO}_2$  dihitung menggunakan faktor emisi  $\text{NO}_x$  berdasarkan PERMENLH/12/2010, dengan mengalikan hasil faktor emisi  $\text{NO}_x$  dengan persentase perubahan  $\text{NO}_2$ . Persentase perubahan  $\text{NO}_2$  sebesar 5%, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Carslaw dan Beevers (2005) menyebutkan  $\text{NO}_2$  primer dari kendaraan seringkali diasumsikan menyumbang 5% dari total  $\text{NO}_x$  dari kendaraan. Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Beban Emisi Jenis Kendaraan Setiap Jalan

| NO | Nama Jalan                | Beban Emisi Garis (g/jam) |         |         |         |         |
|----|---------------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|
|    |                           | Motor                     | Mobil   | Mobil*  | Bus     | Truk    |
| 1  | Jalan Bantul              | 266,931                   | 172,177 | 42,102  | 38,805  | 48,739  |
| 2  | Jalan DI Panjaitan        | 106,522                   | 110,255 | 22,533  | 11,971  | 40,3600 |
| 3  | Jalan Letjend MT Haryono  | 73,367                    | 96,988  | 23,393  | 32,989  | 50,412  |
| 4  | Jalan Mayjend Sutoyo      | 63,229                    | 97,491  | 22,181  | 23,638  | 43,530  |
| 5  | Jalan KH Wakhid Hasyim    | 110,144                   | 152,501 | 22,105  | 102,560 | 27,948  |
| 6  | Jalan Brigjen Katamso     | 221,048                   | 311,340 | 49,909  | 45,958  | 76,246  |
| 7  | Jalan Parangtritis        | 153,148                   | 187,001 | 38,232  | 35,971  | 66,879  |
| 8  | Jalan Suryowijayan        | 36,391                    | 50,640  | 10,685  | 29,699  | 12,866  |
| 9  | Jalan KH Ahmad Dahlan     | 241,482                   | 182,227 | 106,106 | 66,249  | 56,586  |
| 10 | Jalan Panembahan Senopati | 141,378                   | 108,850 | 45,383  | 53,380  | 35,357  |

Sumber: Hasil perhitungan, 2025

Berdasarkan perhitungan di atas, estimasi total emisi dari seluruh kategori kendaraan dapat dihitung dan digunakan sebagai *input* model AERMOD versi 12.0.0 seperti pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.4 berikut.

**Tabel 4.3** Estimasi Tingkat Emisi Total Kendaraan

| NO | Nama Jalan                | Beban Emisi Garis total (g/jam) | Beban Emisi Garis total (g/s) | Beban Emisi Garis total (g/s/m <sup>2</sup> ) |
|----|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1  | Jalan Bantul              | 568,755                         | 0,158                         | 1,09E-05                                      |
| 2  | Jalan DI Panjaitan        | 291,641                         | 0,081                         | 8,63E-06                                      |
| 3  | Jalan Letjend MT Haryono  | 277,148                         | 0,077                         | 1,01E-05                                      |
| 4  | Jalan Mayjend Sutoyo      | 250,069                         | 0,069                         | 8,47E-06                                      |
| 5  | Jalan KH Wakhid Hasyim    | 415,258                         | 0,115                         | 9,74E-06                                      |
| 6  | Jalan Brigjen Katamso     | 704,501                         | 0,196                         | 1,10E-05                                      |
| 7  | Jalan Parangtritis        | 481,232                         | 0,134                         | 8,84E-06                                      |
| 8  | Jalan Suryowijayan        | 140,282                         | 0,039                         | 8,93E-06                                      |
| 9  | Jalan KH Ahmad Dahlan     | 652,650                         | 0,181                         | 1,03E-05                                      |
| 10 | Jalan Panembahan Senopati | 384,349                         | 0,107                         | 1,02E-05                                      |

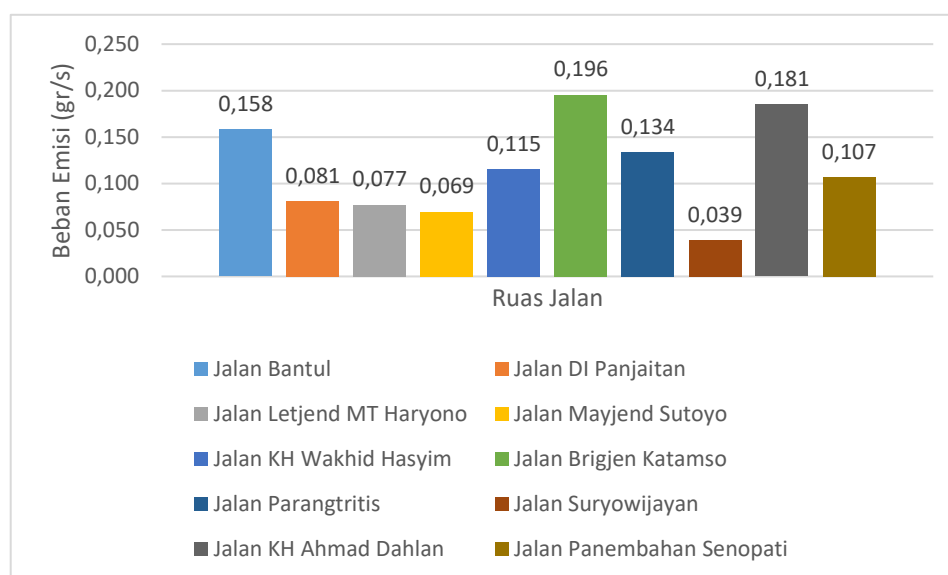
**Gambar 4.4** Beban Emisi Total Setiap Jalan

Diagram tersebut menunjukkan bahwa beban emisi total tertinggi berada di Jalan Brigjen Katamso, berbeda dengan jumlah kendaraan terbanyak yang berada di Jalan KH Ahmad Dahlan. Hal ini mengindikasikan bahwa selain jumlah kendaraan atau faktor emisi itu sendiri, terdapat faktor lain yang memengaruhi emisi, seperti dimensi jalan. Jalan Brigjen Katamso memiliki panjang ruas yang lebih besar dibandingkan dengan Jalan KH Ahmad Dahlan, sehingga berdampak pada besarnya nilai *Vehicle Kilometer Traveled* (VKT). Sesuai dengan metode *Tier*

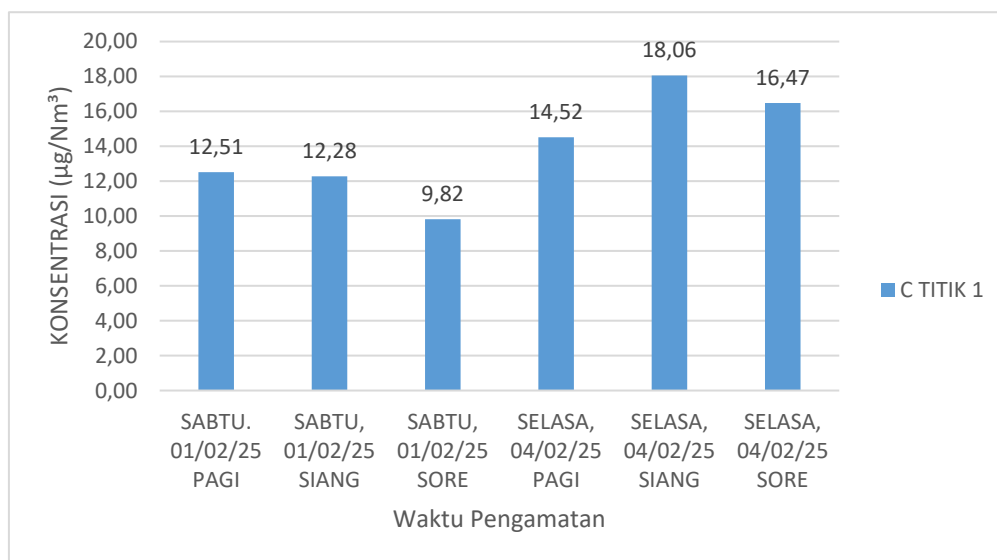
2,  $VKT_{\text{garis}}$  berbanding lurus dengan panjang ruas jalan, yang berarti peningkatan  $VKT_{\text{garis}}$  akan meningkatkan nilai emisi.

### 4.3 Pengukuran Konsentrasi $\text{NO}_2$ di Lapangan

Pengambilan sampel uji dilakukan di dua titik dengan hari yang berbeda. Pengukuran dilakukan selama 1 jam pada pagi, siang, dan sore hari. Titik 1 terletak di Jalan Bantul, dengan pengambilan sampel dilakukan pada hari Selasa 03 Februari 2025 dan Sabtu 01 Februari 2025. Titik 2 terletak Jalan DI Panjaitan, dengan pengambilan sampel dilakukan pada hari Kamis 30 Januari 2025 dan Minggu 02 Februari 2025. Pengambilan contoh uji dilakukan dengan metode *Giress Saltzman* dengan alat impinger, sesuai pada SNI 7119.2-2017 tentang Cara Uji Kadar Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ).

#### 4.3.1 Konsentrasi $\text{NO}_2$ di Jalan Bantul

Hasil pemantauan konsentrasi  $\text{NO}_2$  di lapangan pada Jalan Bantul dapat dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Konsentrasi  $\text{NO}_2$  Jalan Bantul

Berdasarkan Gambar 4.5, nilai konsentrasi  $\text{NO}_2$  tertinggi tercatat sebesar 18,06  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  pada hari Selasa 04 Februari 2025 pada siang hari pukul 12.00 – 13.00 dengan suhu 35,3°C dan tekanan 744,2 mmHg. Sementara itu, konsentrasi terendah

sebesar  $9,82 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  terjadi pada hari Sabtu 01 Februari 2025 pada sore hari pukul 16.00 – 17.00 dengan suhu  $33,6^\circ\text{C}$  dan tekanan 742,8 mmHg.

Perbedaan konsentrasi  $\text{NO}_2$  dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu, tekanan udara, arah dan kecepatan arah angin. Penelitian oleh Riyanti dkk. (2018) menunjukkan bahwa terdapat faktor meteorologi dan transportasi yang berpengaruh dalam perubahan konsentrasi  $\text{NO}_2$ . Kecepatan angin dan arah angin mempengaruhi konsentrasi  $\text{NO}_2$ , jika kecepatan angin tinggi maka konsentrasi  $\text{NO}_2$  akan semakin kecil karena kecepatan angin yang tinggi akan membuat persebaran polutan lebih cepat dan konsentrasi akan menurun. Selain itu juga temperature sangat berpengaruh pada perbedaan konsentrasi ini.  $\text{NO}_2$  merupakan senyawa yang mudah terbentuk jika berada di temperature yang tinggi. Sehingga perbedaan temperature akan berpengaruh pada perbedaan konsentrasi pada beberapa titik ataupun pada setiap waktu.

Kelembapan juga menjadi pengaruh dalam adanya perbedaan konsentrasi  $\text{NO}_2$  di udara ambien. Dalam penelitian Herawati dkk. (2018) mengatakan kelembapan menyebabkan penurunan konsentrasi  $\text{NO}_2$  di udara. Selain itu konsentrasi pencemar ini berbanding lurus dengan kelembapan. Dimana tingkat kelembapan akan mengakibatkan peningkatan konsentrasi pencemar yang dihasilkan di udara.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Dwirahmawati dkk. (2018) mengenai uji korelasi hubungan antara jumlah kendaraan, jarak, dan hubungan kecepatan angin terhadap konsentrasi  $\text{NO}_2$  ambien di lokasi bervegetasi dan tidak bervegetasi. Hasilnya menunjukkan terdapat korelasi atau hubungan yang signifikan antara volume kendaraan dengan konsentrasi  $\text{NO}_2$  dengan nilai sebesar 0,843 (sangat kuat) dengan metode yang digunakan adalah *Ranks Spearman*. Peningkatan yang signifikan ini menandakan bahwa konsentrasi  $\text{NO}_2$  meningkat seiring peningkatan dari jumlah kendaraan yang ada di lokasi penelitian atau sekitar jalan.

Selain itu, jenis bahan bakar kendaraan juga memengaruhi peningkatan konsentrasi  $\text{NO}_2$  di udara.  $\text{NO}_2$  dihasilkan dari proses pembakaran pada suhu tinggi pada kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin maupun solar. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Antilla dkk. (2011) menunjukkan bahwa emisi  $\text{NO}_2$

primer meningkat akibat penggunaan katalis pada mesin diesel modern, dengan peningkatan sekitar 32% - 44% sepanjang tahun 2005 - 2009.

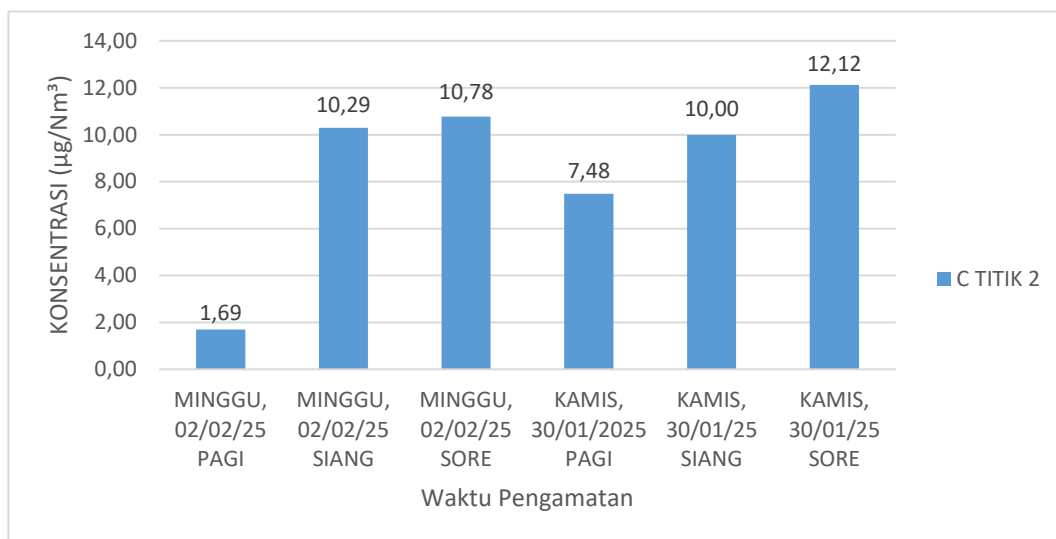
Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 dalam lampiran VII tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu udara ambien parameter NO<sub>2</sub> adalah 200 µg/m<sup>3</sup> untuk pengukuran selama 1 jam. Hasil konsentrasi di lapangan menunjukkan bahwa konsentrasi NO<sub>2</sub> masih berada jauh dibawah baku mutu, dengan nilai konsentrasi tertinggi tercatat pada siang hari. Hal ini disebabkan oleh komposisi kendaraan dan suhu lingkungan yang meningkat pada siang hari.

Konsentrasi NO<sub>2</sub> yang melebihi baku mutu dapat berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia. Dampak pada lingkungan meliputi peningkatan pembentukan ozon dan hujan asam. Adapun dampak pada kesehatan manusia dapat berupa peningkatan kejadian asma pediatrik secara global akibat polusi NO<sub>2</sub> dari pembakaran kendaraan (Anenberg dkk., 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Darmawan (2018) menunjukkan bahwa terdapat pengaruh NO<sub>2</sub> pada kesehatan petugas pemungut karcis di tol. Petugas merasakan gejala seperti batuk, mata merah, pusing, hingga sesak nafas. Ini menunjukkan bahwa paparan NO<sub>2</sub> berlebih, terkhusus yang berasal dari kendaraan, tidak aman untuk kesehatan manusia. Sehingga perlu adanya control dalam menurunkan polusi NO<sub>2</sub>.

#### **4.3.2 Konsentrasi NO<sub>2</sub> di Jalan DI Panjaitan**

Hasil pemantauan konsentrasi NO<sub>2</sub> di lapangan pada Titik 1 dapat dilihat pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Konsentrasi  $\text{NO}_2$  Jalan DI Panjaitan

Berdasarkan dari Gambar 4.6, nilai konsentrasi nilai  $\text{NO}_2$  tertinggi tercatat sebesar  $12,12 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  pada hari Kamis 30 Januari 2025 pada sore hari pukul 16.00 – 17.00 dengan suhu  $30,7^\circ\text{C}$  dan tekanan  $744,6 \text{ mmHg}$ . Sementara itu, konsentrasi terendah sebesar  $1,69 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  pada hari Minggu 02 Februari 2025 pada pagi hari pukul 08.00 – 09.00 dengan suhu  $30^\circ\text{C}$  dan tekanan  $745,7 \text{ mmHg}$ .

Perbedaan konsentrasi  $\text{NO}_2$  dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu, tekanan udara, arah dan kecepatan arah angin. Pada pengamatan di lapangan, konsentrasi tertinggi terjadi pada siang hari yang berkaitan dengan suhu udara yang tinggi.

Perbedaan pada konsentrasi  $\text{NO}_2$  dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, tekanan udara, arah dan kecepatan arah angin. Dalam penelitian yang dilakukan Riyanti dkk. (2018) menunjukkan bahwa terdapat faktor meteorologi dan transportasi yang berpengaruh dalam perubahan konsentrasi  $\text{NO}_2$ . Kecepatan angin dan arah angin mempengaruhi konsentrasi  $\text{NO}_2$ , dimana jika kecepatan angin tinggi maka konsentrasi  $\text{NO}_2$  akan semakin kecil karena kecepatan angin yang tinggi akan membuat persebaran polutan lebih cepat dan konsentrasi akan menurun. Selain itu juga temperature sangat berpengaruh pada perbedaan konsentrasi ini.  $\text{NO}_2$  merupakan senyawa yang mudah terbentuk jika berada di temperature yang tinggi.

Sehingga perbedaan temperature ini akan berpengaruh pada perbedaan konsentrasi pada beberapa titik ataupun pada setiap waktu.

Selain itu kelembapan juga menjadi pengaruh dalam adanya perbedaan konsentrasi  $\text{NO}_2$  di udara ambien. Dalam penelitian Herawati dkk. (2018) mengatakan kelembapan menyebabkan penurunan konsentrasi  $\text{NO}_2$  di udara. Selain itu konsentrasi pencemar ini berbanding lurus dengan kelembapan. Dimana tingkat kelembapan akan mengakibatkan peningkatan konsentrasi pencemar yang dihasilkan di udara.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Dwirahmawati dkk. (2018) mengenai uji korelasi hubungan antara jumlah kendaraan, jarak, dan hubungan kecepatan angin terhadap konsentrasi  $\text{NO}_2$  ambien pada lokasi bervegetasi dan tidak bervegetasi. Hasilnya menunjukkan adanya korelasi atau hubungan yang signifikan antara volume kendaraan dengan konsentrasi  $\text{NO}_2$  dengan nilai sebesar 0,843 (sangat kuat) dengan metode yang digunakan adalah *Ranks Spearman*. Peningkatan yang signifikan ini menandakan bahwa konsentrasi  $\text{NO}_2$  meningkat seiring peningkatan dari jumlah kendaraan yang ada di lokasi penelitian atau sekitar jalan.

Selain itu, jenis bahan bakar kendaraan juga memengaruhi peningkatan konsentrasi  $\text{NO}_2$  di udara.  $\text{NO}_2$  dihasilkan dari proses pembakaran pada suhu tinggi pada kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin maupun solar. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Antilla dkk. (2011) menunjukkan bahwa emisi  $\text{NO}_2$  primer meningkat akibat penggunaan katalis pada mesin diesel modern, dengan peningkatan sekitar 32% - 44% sepanjang tahun 2005 - 2009.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 dalam lampiran VII tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu udara ambien parameter  $\text{NO}_2$  adalah  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  untuk pengukuran selama 1 jam. Hasil konsentrasi di lapangan menunjukkan bahwa nilai  $\text{NO}_2$  masih berada jauh dibawah baku mutu, dengan nilai konsentrasi tertinggi tercatat pada sore hari. Hal ini disebabkan karena komposisi kendaraan yang meningkat di sore hari.

Konsentrasi  $\text{NO}_2$  yang melebihi baku mutu dapat berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia. Dampak pada lingkungan meliputi peningkatan pembentukan ozon dan hujan asam. Adapun dampak pada kesehatan manusia dapat

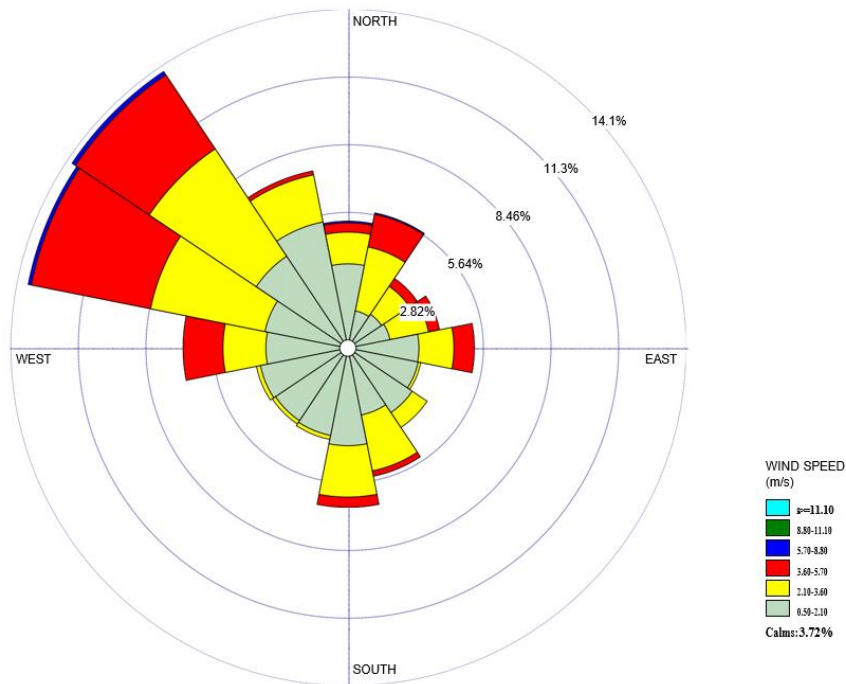
berupa peningkatan kejadian asma pediatrik secara global akibat polusi NO<sub>2</sub> dari pembakaran kendaraan (Anenberg dkk., 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Darmawan (2018) menunjukkan bahwa terdapat pengaruh NO<sub>2</sub> pada kesehatan petugas pemungut karcis di tol. Petugas merasakan gejala seperti batuk, mata merah, pusing, hingga sesak nafas. Ini menunjukkan bahwa paparan NO<sub>2</sub> berlebih, terkhusus yang berasal dari kendaraan, tidak aman untuk kesehatan manusia. Sehingga perlu adanya control dalam menurunkan polusi NO<sub>2</sub>.

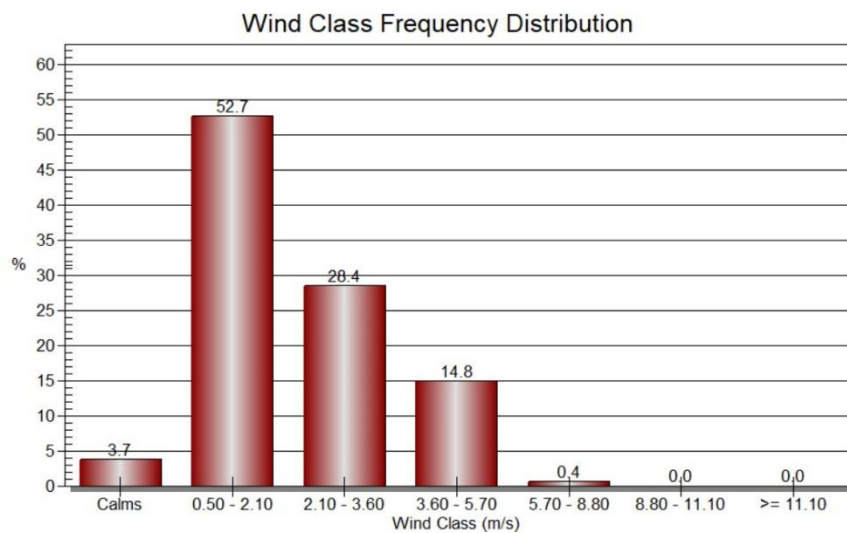
#### **4.4 Karakteristik Pola Arah dan Kecepatan Angin**

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan WRPLOT View, pola sebaran angin di lokasi penelitian menunjukkan arah angin dominan berasal dari barat laut dengan frekuensi sebesar 14,1%, selanjutnya dari arah utara hingga timur laut sebesar 5,64%. Hal ini menunjukkan bahwa daerah yang berada di sebelah timur dari sumber emisi cenderung memiliki tingkat konsentrasi polutan yang lebih tinggi, mengingat arah pergerakan angin membawa polutan kearah tersebut.

Kecepatan angin dominan berkisar antara 0,5 – 2,10 m/s, dengan persentase tertinggi sebesar 52,7%. Kecepatan ini dikategorikan sebagai angin lambat hingga tenang yang memungkinkan adanya akumulasi polutan di sekitar sumber emisi. Selain itu terdapat kategori *calms wind* dengan kecepatan < 0,5 m/s sebesar 3,7%, angin dengan kecepatan sedang hingga tinggi yaitu 2,10 – 3,60 m/s tercatat sebesar 28,4%, sedangkan angin dengan kecepatan lebih tinggi 3,60 – 5,70 m/s sebesar 14,8%. Kecepatan angin besar dapat membantu dalam mempercepat dispersi polutan sehingga konsentrasi menjadi lebih rendah pada area sumber emisi. Kecepatan angin diatas 5,70 – 8,50 m/s jarang terjadi, hanya 0,4%, dan 8,80 – 11,10 m/s dan  $\geq 11,10$  m/s sebesar 0% sehingga tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap sebarannya. Pola sebaran angin dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan distribusi frekuensi kelas angin dapat dilihat pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.7** Windrose Periode 2024-2025 di Area Kota Yogyakarta



**Gambar 4.8** Distribusi Frekuensi Kecepatan Angin Periode 2024-2025 di Kota Yogyakarta

Dari data dsitribusi ini, kondisi meteorologi khususnya arah dan kecepatan angin berperan penting dalam persebaran konsentrasi polutan  $\text{NO}_2$ . Arah angin dominan dari barat laut menuju timur menyebabkan peningkatan risiko paparan

polutan di daerah timur. Kecepatan angin rendah cenderung meningkatkan konsentrasi polutan disekitar sumber emisi. Jika angin kencang polutan akan terdispersi lebih jauh.

#### 4.5 Dispersi NO<sub>2</sub> Model AERMOD

Dalam pemodelan dispersi polutan yang bersumber dari kendaraan atau sumber garis (*line source*) diperlukan estimasi emisi polutan, dalam hal ini NO<sub>2</sub> sebagai *input*. Beban emisi ini memengaruhi hasil prediksi konsentrasi oleh model AERMOD Versi 12.0.0. Estimasi emisi dihitung menggunakan metode *Tier 2*, berdasarkan faktor emisi berbasis kilometer jalan kendaraan atau *Vehicle Kilometer Traveled* (VKT).

Pemodelan dengan AERMOD Versi 12.0.0 memerlukan data meteorologi sebagai input, yang diproses menggunakan *software* AERMET. Data meteorologi yang dibutuhkan berupa tutupan awan, suhu, kelembapan, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi matahari, dan tinggi awan terendah (*ceiling height*). Data ini diperlukan dalam rentang waktu satu tahun, yaitu pada 1 Februari 2024 hingga 31 Januari 2025. Data tersebut diperoleh dari *Copernicus Data Store* yang dikelola oleh *The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Data yang digunakan merupakan *datasets ERA5 hourly* yang sesuai dengan lokasi penelitian

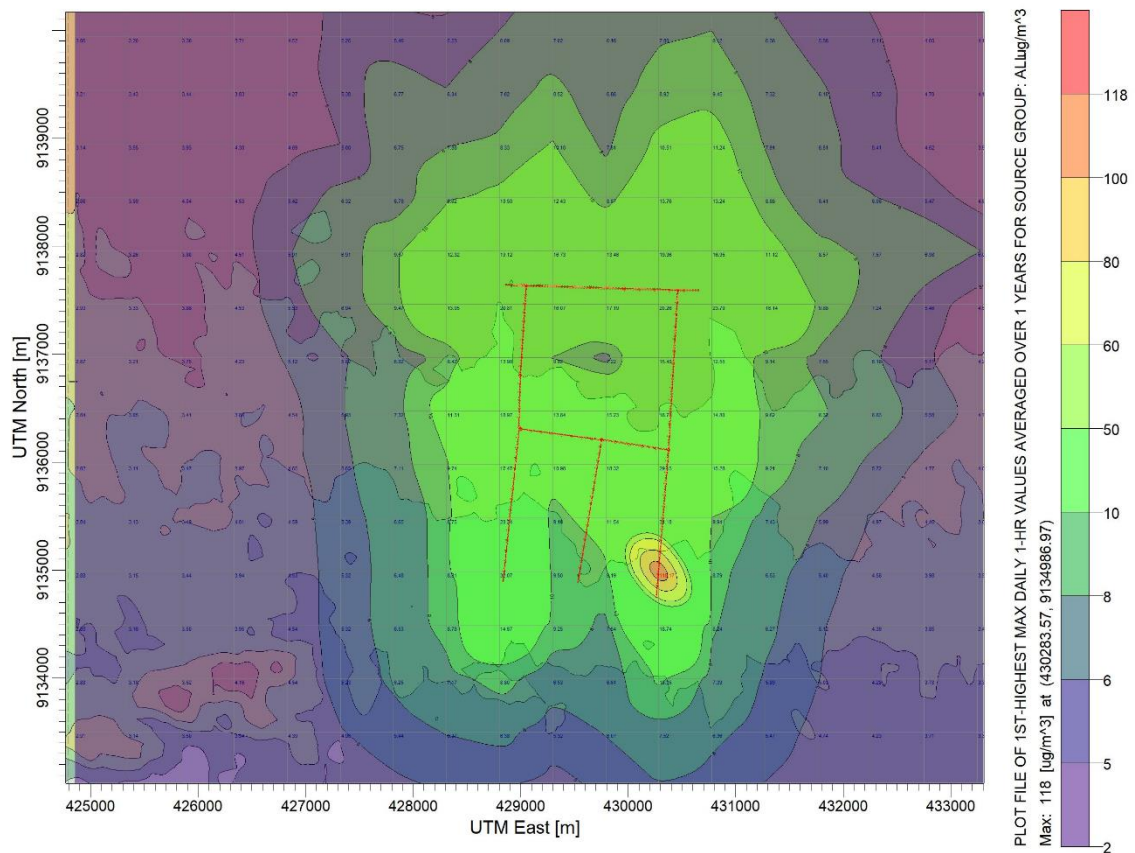
Dalam pengolahan model AERMOD Versi 12.0.0, diperlukan informasi mengenai penggunaan lahan atau tutupan lahan di area penelitian. Data penggunaan lahan ini diperoleh melalui *preprocessor* AERMET. Di sekitar area penelitian, terdapat dua jenis tutupan lahan utama, yaitu *pasture/hay* dan *high intensity residential*. Setelah jenis tutupan lahan ditentukan, terdapat tiga parameter penting yang dihasilkan, yaitu *albedo* (sinar matahari yang dipantulkan), *bowen ratio* (ukuran jumlah uap air di permukaan), dan *surface roughness* (panjang kekasaran permukaan). Namun, hasil pengolahan data ini mungkin tidak sepenuhnya akurat atau tidak sesuai dengan kondisi lapangan. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian nilai ketiga parameter tersebut guna meningkatkan akurasi model dengan memvalidasi hasil konsentrasi model sehingga mendekati konsentrasi aktual. Nilai

parameter input *albedo*, *bowen ratio*, dan *surface roughness* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Parameter Meteorologi

| <i>Sector</i> | <i>Albedo</i> | <i>Bowen Ratio</i> | <i>Surface Roughness</i> |
|---------------|---------------|--------------------|--------------------------|
| 1             | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 2             | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 3             | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 4             | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 5             | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 6             | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 7             | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 8             | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 9             | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 10            | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 11            | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |
| 12            | 0,180         | 0,620              | 0,087                    |

Setelah melakukan *input* data pada AERMET, diperoleh *output* file ekstensi berupa \*.SFC. File ini kemudian digunakan sebagai *input* pada AERMOD Versi 12.0.0. Data yang dibutuhkan pada AERMOD Versi 12.0.0 meliputi data emisi dan data topografi berupa *Digital Elevation Model SRTM*. Pada data source yang digunakan berupa *line area* sesuai dengan sumber polusi berupa kendaraan. Domain area yang digunakan sebesar 5 km x 5 km, dengan konsentrasi rata-rata dihitung selama 1 jam. Hasil dispersi polutan NO<sub>2</sub> ditampilkan dalam bentuk *overlay isopleth* pada *Google Earth*. Visualisasi hasil model dispersi NO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.9.



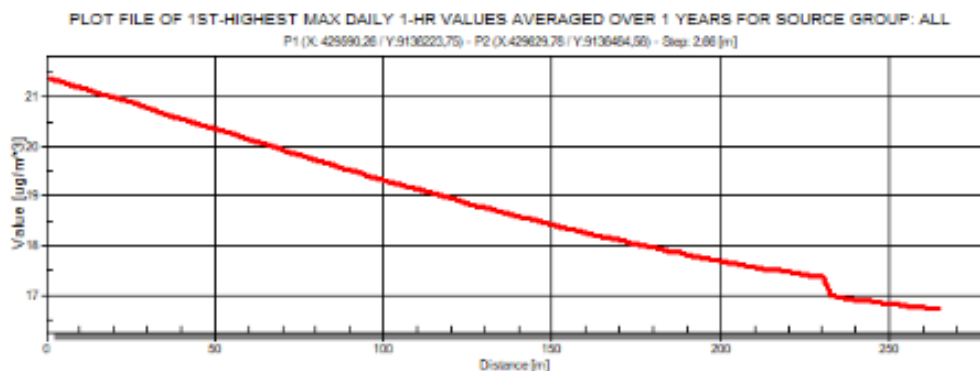
**Gambar 4.9** Dispersi NO<sub>2</sub> Selama 1 Jam

Berdasarkan hasil pemodelan, dispersi konsentrasi NO<sub>2</sub> sesuai dengan arah angin dominan, dimana konsentrasi terbesar cenderung berada di arah timur dan tenggara. Nilai konsentrasi terbesar mencapai 118 µg/m<sup>3</sup>, sedangkan konsentrasi terkecil adalah 2 µg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi tertinggi berada pada koordinat X: 430272,1 dan Y: 9134987 dan konsentrasi terendah berada pada koordinat X: 434751,4 dan Y: 9131503. Konsentrasi NO<sub>2</sub> pada titik pengukuran lapangan di Jalan Bantul berdasarkan hasil model adalah sebesar 18,97 µg/m<sup>3</sup>, sedangkan di Jalan DI Panjaitan sebesar 13,84 µg/m<sup>3</sup>. Nilai ini masih berada jauh di bawah baku mutu yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021. Namun, hasil model ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata pengukuran aktual di lapangan.

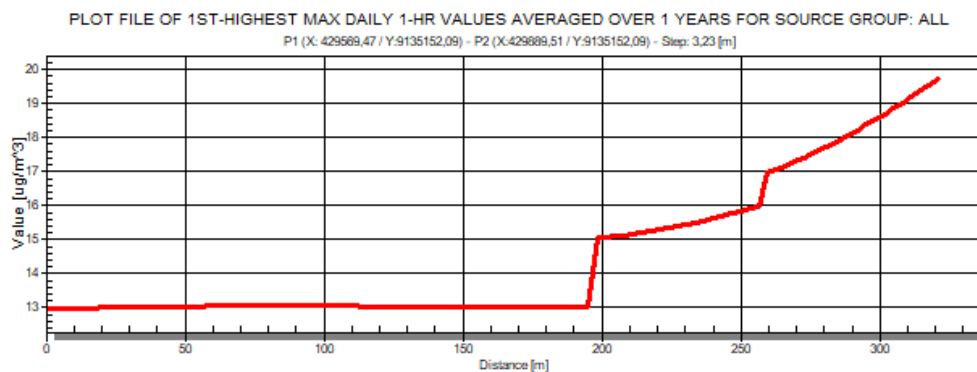
Hasil pemodelan menunjukkan bahwa dispersi polutan tertinggi mengarah ke tenggara. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yang, termasuk stabilitas atmosfer yang cenderung stabil dengan kecepatan tertinggi 3,60 – 5,70 m/s. Kondisi

ini memungkinkan polutan tersebar lebih jauh, sehingga hasil model mungkin tidak sepenuhnya sesuai dengan kondisi di lapangan.

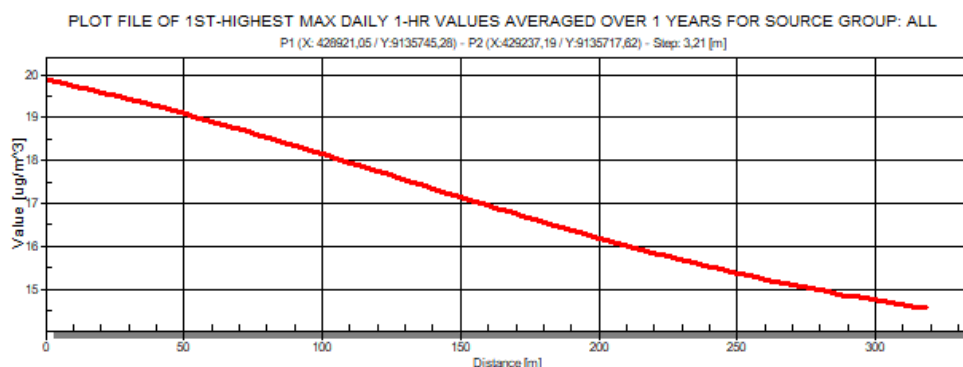
Pola sebaran  $\text{NO}_2$  dari hasil pemodelan juga menunjukkan potensi pengaruhnya terhadap reseptor sensitif di area sekitar yang merupakan wilayah rentan terkena dampak pencemaran. Reseptor sensitif dalam pemodelan ini meliputi tempat wisata Alun-Alun Kidul dekat Jalan MT Haryono, SD Negeri Suryodiningratan 2 dekat Jalan Bantul, dan Masjid Jogokariyan dekat Jalan Panjaitan. Pola sebaran  $\text{NO}_2$  terhadap reseptor sensitif ini dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.10** (a) Reseptor Alun-Alun Kidul (b) Reseptor Masjid Jogokariyan (c) Reseptor SDN Suryodiningratan 2

Pada gambar (a) terlihat bahwa sebaran  $\text{NO}_2$  dari Jalan MT Haryono menuju reseptor Aun-Alun Kidul mengalami penurunan konsentrasi. Semakin jauh jaraknya, terutama pada jarak lebih dari 100 m konsentrasi  $\text{NO}_2$  menurun dari  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  menjadi  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada reseptor sensitif tersebut, sumber emisi tidak memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan konsentrasi  $\text{NO}_2$ .

Pada gambar (b) grafik menunjukkan adanya kenaikan konsentrasi pada beberapa titik tertentu. Pada jarak awal, yang merupakan sumber emisi, konsentrasi sebesar  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  cenderung konstan hingga mencapai jarak 200 m, terjadi kenaikan signifikan hingga  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pada titik akhir, konsentrasi mencapai  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hal ini mengindikasikan bahwa sumber emisi memiliki kontribusi besar terhadap konsentrasi  $\text{NO}_2$  di sekitar reseptor Masjid Jogokariyan. Kenaikan konsentrasi ini disebabkan oleh lokasi reseptor yang berdekatan dengan sumber emisi terbesar serta perbedaan elevasi, dimana Kawasan Masjid Jogokariyan memiliki elevasi yang lebih rendah dibandingkan reseptor lainnya.

Pada gambar (c), pola penurunan konsentrasi pada lokasi reseptor tidak menunjukkan perubahan yang drastic dan cenderung linear. Hal ini menandakan bahwa polusi yang dihasilkan dari sumber emisi ke reseptor sensitif tidak berkontribusi signifikan. Konsentrasi di sumber emisi sebesar  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sementara di reseptor sensitive lainnya hanya  $< 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dari ketiga reseptor sensitif yang dianalisis, Masjid Jogokariyan memiliki tingkat polusi  $\text{NO}_2$  tertinggi. Hal ini disebabkan oleh kedekatan reseptor dengan sumber emisi, arah angin yang mengarah ke lokasi tersebut, serta perbedaan elevasi yang mendukung pergerakan polutan ke area tersebut. Sementara itu, dua lokasi lainnya menunjukkan paparan  $\text{NO}_2$  yang lebih rendah. Namun, tidak menutup kemungkinan pada waktu-waktu tertentu atau kondisi atmosfer yang berbeda, konsentrasi  $\text{NO}_2$  di lokasi tersebut dapat meningkat. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara secara berkala tetap diperlukan untuk mengantisipasi potensi peningkatan polusi.

Seperti penelitian yang dilakukan oleh Macedo dan Ramos (2020) kelas stabilitas atmosfer yang diperoleh di lapangan terdapat pada kelas B, C, dan D dan pada keadaan di lapangan kondisi atmosfer tidak stabil. Ketidakstabilan ini berpengaruh pada persebaran polutan karena turbulensi.

Dalam penelitian yang sama, membandingkan sebaran antara  $\text{NO}_x$  dengan  $\text{NO}_2$  menunjukkan bahwa konsentrasi  $\text{NO}_2$  melebihi baku mutu. Hal ini dipengaruhi karena bervariasinya kondisi lalu lintas dan juga faktor meteorologis. Penelitian yang dilakukan oleh Sarwano dkk. (2020) mengenai disepersi  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$ , dispersi konsentrasi dipengaruhi oleh arah angin dominan, dan konsentrasi yang tinggi berada di area yang dekat dengan sumber emisi dan konsentrasi menurun berdasarkan jarak. Faktor turbulensi seperti bangunan, memengaruhi persebaran polutan. Pada  $\text{NO}_2$  konsentrasi meningkat berdasarkan jarak, selain itu pada elevasi 100 mdpl konsentrasi mengalami kenaikan. Kenaikan elevasi menyebabkan turbulensi mekanik yang meningkatkan konsentrasi  $\text{NO}_2$  akibat akumulasi polutan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Munir dkk. (2020) tingkat  $\text{NO}_x$  di atmosfer selama empat musim paling tinggi pada musim dingin. Hal ini dikarenakan ketinggian dari batas atmosfer yang lebih rendah menghambat penyebaran polutan dibandingkan musim panas. Konsentrasi  $\text{NO}_x$  pada musim dingin  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dan pada musim panas  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Malakan dkk. (2018) menyebutkan bahwa AERMOD tidak dapat memprediksi  $\text{SO}_2$  secara baik. Disamping itu masalah yang ditemukan seperti *input* emisi, selain itu juga rendahnya konsentrasi  $\text{SO}_2$  yang

terukur di lapangan, dan juga reaksi atmosfer atau deposisi mekanis yang tidak masuk ke dalam model. Pada penelitian ini menggunakan data meteorologi dari *hourly* MM5 (*model-generated*) dan data meteorologi hasil observasi lapangan. Hasil menunjukkan prediksi konsentrasi  $\text{SO}_2$  menggunakan dua data meteorologi tersebut lebih tinggi daripada hasil konsentrasi  $\text{SO}_2$  di lapangan. Sehingga AERMOD tidak memberikan hasil yang baik (*overprediction*). Hal ini dapat disebabkan karena rendahnya konsentrasi  $\text{SO}_2$  yang diukur sehingga menyulitkan dalam membandingkan antara hasil pengukuran dengan hasil prediksi.

Dalam penelitian Kumar dkk. (2019) dalam mengevaluasi *Urban Background Model* (UBM) dan AERMOD, menyimpulkan bahwa AERMOD tidak lebih baik daripada UBM dalam analisis  $\text{NO}_x$ . Dengan standar deviasi persentase error antara hasil pengamatan dengan hasil prediksi yaitu 43 pada tahun 2007 dan 24 pada tahun 2012 untuk UBM. Hasil keseluruhan menunjukkan bahwa AERMOD tidak cocok untuk prediksi  $\text{NO}_x$  karena hasilnya yang *overprediction*. Namun untuk parameter PM menunjukkan bahwa AERMOD menunjukkan hasil yang lebih baik daripada UBM. Perbedaan ini dipengaruhi oleh faktor meteorologi dan konsentrasi *background* sepanjang tahun pengamatan.

Kondisi meteorologi saat pengambilan sampel di lapangan tidak sepenuhnya sesuai dengan data meteorologi yang digunakan dalam pemodelan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan periode data, dimana data meteorologi merupakan hasil pengolahan selama satu tahun (01 Februari 2024 sampai 31 Januari 2025), sedangkan pengukuran lapangan dilakukan pada 30 Januari 2025 sampai 04 Februari 2025. Selain itu, pengukuran dilakukan selama satu jam, sementara data meteorologi yang digunakan bersifat periodik. Meskipun data tersebut dapat mewakili periode satu jam, perbedaan ini dapat menyebabkan ketidaksesuaian hasil konsentrasi pada model. Faktor lain yang memengaruhi adalah kompleksitas AERMOD, yang mempertimbangkan elemen seperti elevasi dan topografi. Perbedaan kondisi tersebut dapat berkontribusi pada hasil model yang tidak sepenuhnya sesuai dengan kondisi lapangan.

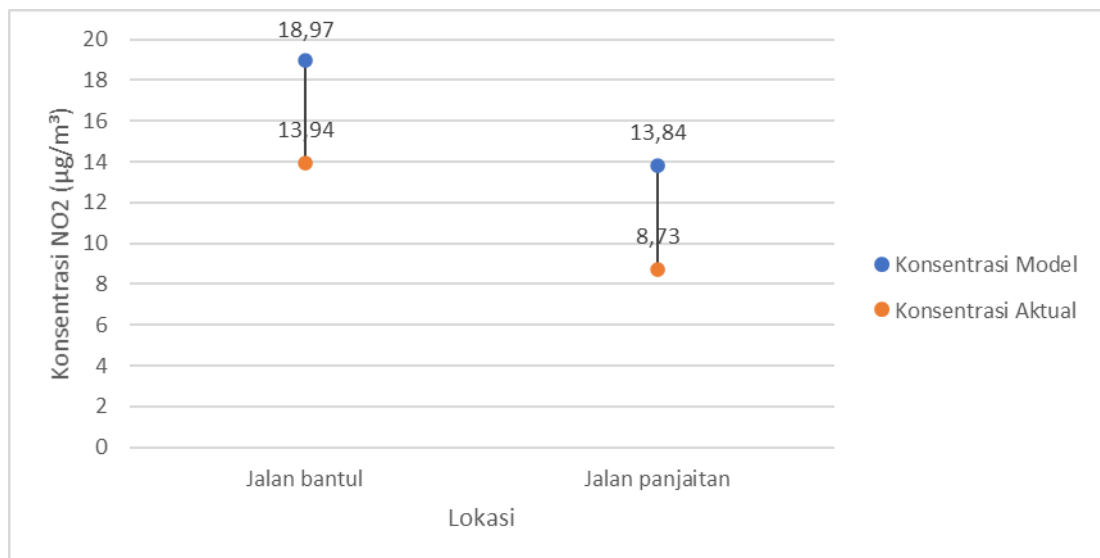
#### 4.6 Uji Validitas Model Dengan Hasil Pengukuran

Validasi model dilakukan dengan metode RMSPE (*Root Mean Square Percentage Error*) dengan membandingkan hasil pemodelan dan data pengukuran lapangan secara langsung. Pengambilan sampel dilakukan di Jalan Bantul dan Jalan DI Panjaitan, lokasi model disesuaikan dengan titik pengukuran tersebut. Nilai hasil pengukuran langsung dirata-ratakan untuk memperoleh satu nilai yang kemudian dibandingkan dengan hasil model. Pada pengukuran 1 jam, nilai rata-rata konsentrasi NO<sub>2</sub> di Jalan Bantul dan Jalan DI Panjaitan masing-masing sebesar 13,94 µg/m<sup>3</sup> dan 8,73 µg/m<sup>3</sup>. Sementara itu, hasil pemodelan menunjukkan konsentrasi NO<sub>2</sub> sebesar 18,97 µg/m<sup>3</sup> di Jalan Bantul dan 13,84 µg/m<sup>3</sup> di Jalan DI Panjaitan. Meskipun terdapat perbedaan, baik hasil model maupun pengukuran lapangan masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan.

Validasi model diperlukan untuk menilai tingkat kepercayaan suatu model, karena terdapat berbagai faktor yang dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara hasil pemodelan dan pengukuran langsung. Ketidakakuratan dalam pemodelan kualitas udara merupakan hal yang umum terjadi, sehingga hasil prediksi model dapat lebih rendah (*under prediction*) atau lebih tinggi (*over prediction*) dari nilai sebenarnya (Munir dkk., 2020). Uji validitas konsentrasi NO<sub>2</sub> dihitung seperti Persamaan (3.6) dan hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.5 sedangkan perbandingan hasil keduanya dapat dilihat pada Gambar 4.11.

**Tabel 4. 5 Uji Validitas Model**

| Titik | Keterangan Titik | Konsentrasi Model    | Konsentrasi Aktual | $(\frac{St - At}{At})^2$ | RMSPE (%) |
|-------|------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|-----------|
| 1     | Jalan bantul     | 18,97                | 13,94              | 0,130                    | 36,08%    |
| 2     | Jalan panjaitan  | 13,84                | 8,73               | 0,585                    | 76,51%    |
|       |                  | $\Sigma (St - At)^2$ |                    | 0,716                    | 59,81%    |



**Gambar 4.11** Perbandingan Hasil Konsentrasi Model dan Aktual

Berdasarkan hasil uji validitas menggunakan persamaan RMSPE, model menunjukkan ketidakakuratan yang cukup signifikan. Nilai RMSPE sebesar 36,08% diperoleh untuk Jalan Bantul dan 76,51% untuk Jalan DI Panjaitan. Angka ini tergolong tinggi, mengingat batas nilai RMSPE yang umum digunakan untuk model ialah  $<25\%$ . Tingkat keakuratan suatu model dikatakan sesuai atau terpenuhi jika nilai RMSE yang didapatkan  $<25\%$  model dapat diterima dan  $<10\%$  model baik (Reed dkk., 2015). Berdasarkan hasil perbandingan pada Gambar 4.11 terlihat adanya perbedaan yang mencolok, dimana hasil pemodelan berada lebih jauh diatas hasil pengukuran aktual. Hal ini mengindikasikan bahwa model menghasilkan hasil prediksi yang berlebihan (*overprediction*).

Dalam memvalidasi hasil model, dilakukan kalibrasi dengan menyesuaikan data *input* model agar hasil prediksi lebih mendekati pengukuran aktual. Kalibrasi model ini dilakukan dengan mengatur tiga parameter utama pada data AERMET, yaitu *albedo*, *bowen ratio*, dan *surface roughness*. Ketiga parameter tersebut memengaruhi hasil konsentrasi model, terutama jika nilainya tidak sesuai dengan kondisi lapangan, sehingga dapat menyebabkan perbedaan signifikan atau ketidakakuratan hasil model terhadap data aktual.

Dalam membandingkan dua data antara hasil model dengan hasil observasi perlu data yang cukup banyak untuk melihat hasil jangka panjangnya. Keterbatasan data membuat hasil pengukuran kurang sesuai atau dapat menyebabkan *over/underprediction* (Munir dkk., 2020).

Igri dkk. (2011) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa variasi hasil konsentrasi bergantung pada *surface roughness*, *bowen ratio*, dan *albedo*. Karena AERMOD memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap parameter meteorologi serta penggunaan lahan dapat dilihat dari pemilihan reseptor dan jarak tertentu dari sumber untuk melihat perubahan parameter penggunaan lahan.

Dalam penelitian Kumar dkk. (2019) dalam mengevaluasi *Urban Background Model* (UBM) dan AERMOD, menyimpulkan bahwa AERMOD tidak lebih baik daripada UBM dalam analisis NO<sub>x</sub>. Dengan standar deviasi persentase error antara hasil pengamatan dengan hasil prediksi yaitu 43 pada tahun 2007 dan 24 pada tahun 2012 untuk UBM. Hasil keseluruhan menunjukkan bahwa AERMOD tidak cocok untuk prediksi NO<sub>x</sub> karena hasilnya yang *overprediction*. Namun untuk parameter PM menunjukkan bahwa AERMOD menunjukkan hasil yang lebih baik daripada UBM. Perbedaan ini dipengaruhi oleh faktor meteorologi dan konsentrasi *background* sepanjang tahun pengamatan.

Perbedaan hasil antara pengukuran aktual dan pemodelan tidak hanya disebabkan oleh kondisi meteorologi dan kelengkapan data di lapangan maupun data pembanding, tetapi juga oleh kemungkinan kesalahan pengukuran. Kesalahan tersebut dapat terjadi akibat pembuatan kurva kalibrasi yang tidak akurat atau gangguan pada alat yang menyebabkan fluktuasi laju alir. Laju alir yang tidak stabil akan memengaruhi nilai absorbansi contoh uji. Selain itu, adanya kontaminan yang bercampur dengan contoh uji selama perjalanan juga dapat mengakibatkan ketidaksesuaian hasil pengukuran. Faktor lain yang berpotensi memengaruhi hasil pengukuran adalah kondisi hujan yang terjadi di lapangan pada saat pengambilan data.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban emisi total dari seluruh kendaraan sesuai lokasi penelitian adalah
  - a. Jalan Bantul 0,158 g/s;
  - b. Jalan Di Panjaitan 0,081 g/s;
  - c. Jalan Letjend MT Haryono 0,077 g/s;
  - d. Jalan Mayjend Sutoyo 0,069 g/s;
  - e. Jalan KH Wakhid Hasyim 0,115 g/s;
  - f. Jalan Brigjen Katamso 0,196 g/s (emisi tertinggi);
  - g. Jalan Parangtritis 0,134 g/s;
  - h. Jalan Suryowijayan 0,039 g/s;
  - i. Jalan KH Ahmad Dahlan 0,181 g/s; dan
  - j. Jalan Panembahan Senopati 0,107 g/s.
2. Hasil pengukuran konsentrasi secara aktual di Jalan Bantul (Titik 1) tertinggi dan terendah berturut-turut sebesar 18,06  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  dan 9,82  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  dengan rata-rata pengukuran sebesar 13,94  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Hasil pengukuran di Jalan DI Panjaitan (Titik 2) tertinggi dan terendah berturut-turut sebesar 12,12  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  dan 1,69  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  dengan rata-rata pengukuran sebesar 8,73  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ .
3. Hasil konsentrasi model terbesar sebesar 118  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , berada di daerah timur, sedangkan konsentrasi di lokasi penelitian Titik 1 sebesar 18,97  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  dan Titik 2 sebesar 13,84  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ .
4. Model tidak dapat merepresentasikan hasil pengukuran aktual selama 1 jam pengukuran dengan nilai RSMPE sebesar 59,81%.

## 5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut untuk penelitian selanjutnya:

1. Pengukuran aktual untuk kualitas udara sumber emisi bergerak dapat dilakukan lebih banyak titik lokasi dan waktu yang sama, yaitu pada jam puncak pagi, siang, dan sore.
2. Mengkaji lebih jauh faktor-faktor lain dalam *input* model, seperti tutupan lahan, vegetasi, dan luas RTH untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati.
3. Melakukan pemodelan dengan *software* jenis lain untuk melihat perbedaan dan menilai akurasi hasil pengukuran lapangan

## DAFTAR PUSTAKA

- Anttila P, Tuovinen J.P, & Niemi J.V. (2011). Primary NO<sub>2</sub> Emissions and their role in the development of NO<sub>2</sub> concentrations in a traffic environment, *Atmospheric Environment* 45:986-992.
- Arif, M. R., Afiuddin, A. E., & Ramadani, T. A. (2020). Pemodelan Dispersi Emisi SO<sub>2</sub> menggunakan Gaussian Dispersion Model (Studi Kasus Cerobong PLTU Kabupaten Probolinggo). *Ecolab*, 14(2), 137-145.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Jogja. (2023). Aplikasi Dataku DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA. Diakses pada 20 november 2024. [https://bappeda.jogjaprov.go.id/dataku/data\\_dasar/cetak/422-luas-wilayah](https://bappeda.jogjaprov.go.id/dataku/data_dasar/cetak/422-luas-wilayah)
- Bernhard, A. (2010) The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. *Nature Education Knowledge* 3(10):25
- Budiyono, A. (2010). Pencemaran udara: dampak pencemaran udara pada lingkungan. *Berita Dirgantara*, 2(1).
- Carslaw, D. C., & Beevers, S. D. (2005). Estimations of road vehicle primary NO<sub>2</sub> exhaust emission fractions using monitoring data in London. *Atmospheric Environment*, 39(1), 167-177. doi: [10.1016/j.atmosenv.2004.08.053](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.08.053)
- Dwirahmawati, F., Nasrullah, N., & Sulistyantara, B. (2018). Analisis perubahan konsentrasi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) pada area bervegetasi dan tidak bervegetasi di Jalan Simpang Susun. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 10(1), 13-18.
- Ghaziani, S. F., Orkomi, A. A., & Rajabi, M. A. (2021). Gaseous air pollutants dispersion emitted from point and line sources by coupling WRF-AERMOD models (case study: Lowshan, guilan province, iran). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 19(4), 649-660.
- Hasibuan, F., Warsito, W., & Suciwati, S. W. (2015). Simulasi model dispersi polutan gas dan partikulat molekul pada pabrik semen dengan menggunakan software Matlab 7.12. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*.

- Ismahani, R., & Anurogo, W. (2023). Pemodelan AERMOD Untuk Proyeksi Pola Penyebaran Emisi Heat Recovery Steam Generator PT X dan PT Y. *Indonesian Journal of Conservation*, 11(2), 51-63.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2013). Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup
- Kumar, A., Brandt, J., Ketzel, M., Patil, R. S., Dikshit, A. K., & Hertel, O. (2019). Evaluation of the urban background model (UBM) and AERMOD for Mumbai city. *Environmental Modeling & Assessment*, 24, 75-86. Doi: [10.1007/s10666-018-9607-5](https://doi.org/10.1007/s10666-018-9607-5)
- Kurniawati, I. D. (2017). *Indikator Pencemaran Udara Berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Kondisi Iklim (Studi di Wilayah Terminal Mangkang dan Terminal Penggaron Semarang)* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Semarang).
- Macêdo, M. F. M., & Ramos, A. L. D. (2020). Vehicle atmospheric pollution evaluation using AERMOD model at avenue in a Brazilian capital city. *Air quality, atmosphere & health*, 13(3), 309-320. doi: [10.1007/s11869-020-00792-z](https://doi.org/10.1007/s11869-020-00792-z)
- Masito, A. (2018). Analisis risiko kualitas udara ambien (NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub>) dan gangguan pernapasan pada masyarakat di Wilayah Kalianak Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(4), 394-401.
- Michalski, G., Bhattacharya, S. K., & Girsch, G. (2014). NO<sub>x</sub> cycle and the tropospheric ozone isotope anomaly: an experimental investigation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(10), 4935-4953.
- Millah, H. R. (2022). Hubungan Faktor Meteorologis Dan Kepadatan Lalu Lintas Dengan Kualitas Udara Di Kota Tabanan (Doctoral dissertation, Poltekkes Kemenkes Denpasar Jurusan Kesehatan Lingkungan 2022).
- Munir, S., Mayfield, M., Coca, D., Mihaylova, L. S., & Osammor, O. (2020). Analysis of Air Pollution in Urban Areas with Airviro Dispersion Model—A Case Study in the City of Sheffield, United

- Kingdom. *Atmosphere*, 11(3), 285. Doi: <https://doi.org/10.3390/atmos11030285>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Lampiran VII.
- Prasetya, A. A., Nasrullah, N., & Sulistyantara, B. (2022). Analysis of NO<sub>2</sub> pollutant gas emissions distributions in bandung city. *IOP Conference Series.Earth and Environmental Science*, 1092(1), 012002. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1092/1/012002>
- Riyanti, A., Herawati, P., & Pajriani, N. H. (2018). Pengaruh Konsentrasi NO<sub>2</sub> Udara Ambien pada Daerah Padat Kendaraan Terhadap Konsentrasi NO<sub>2</sub> Udara Dalam Ruang (Studi Kasus di Kawasan Simpang Pulai Kota Jambi). *Jurnal Daur Lingkungan*, 1(2), 60-64. doi: <http://dx.doi.org/10.33087/daurling.v1i2.12>
- 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). doi: <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201510001>
- Rofienda, R. (2009). Dampak Negatif Pencemaran Nitrogen Dioksida, Usaha Pencegahan dan Penanggulangannya. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 26(1), 26-31.
- Rosyid, H. A., & Rosariawati, F. (2023). Analisis Sebaran Emisi NH<sub>3</sub> pada Cerobong Industri Pupuk dengan Pemodelan AERMOD. *Envirous*, 4(1), 102-108.
- Said, I. (2023). Pemodelan AERMOD Sebaran NO<sub>2</sub> Pengangkutan Batubara Di Batu Sopang Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik AMATA*, 4(2), 30-38.
- Sarwano, E., Wijayanto, E., Huda, H., Harrits, R. F., & Zain, I. F. (2020). Dispersi SO<sub>2</sub> Dan NO<sub>2</sub> Dari Cerobong Auxiliary boiler Industri Methanol PT KMI Menggunakan Gaussian Plum Model AERMOD Di Kota Bontang Kalimantan Timur Indonesia. *Jurnal Chemurgy*, 6(2), 109 – 117. Doi: [10.30872/cmg.v6i2.9560](https://doi.org/10.30872/cmg.v6i2.9560)

- Sasmita, A., Khaira, I., Elystia, S., & Reza, M. (2021). Dispersi Karbon Monoksida (CO) dari Emisi Transportasi Menggunakan Model Gaussian Line Source di Jalan Jendral Sudirman Pekanbaru. *Journal of Environmental Engineering and Waste Management*, 6(2), 145-159. doi: <http://dx.doi.org/10.33021/jenv.v6i2.1448>
- Sasmita, A., Andrio, D., & Nopita, R. (2021). DISPERSI SO<sub>2</sub> DAN NO<sub>2</sub> DARI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) TEMBILAHAN, RIAU. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 13(2), 98-107.
- Setyawan, F. M., & Nasrullah, N. (2024). Green lane planning for safety, beauty, and reduction of the diffusion of air pollutants to the environment in the boyolali interchange on semarang-solo toll road. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 1384(1), 012020. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1384/1/012020>
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 7119.2-2017 tentang Cara Uji Kadar Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) Dengan Metoda Griess Saltzman Menggunakan Spektrofotometer
- Sukmawati, P. D., & Warisaura, A. D. (2023). Analisis Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi Gas Monoksida dan Particulate Matter di Jalan Gejayan, Yogyakarta. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3).
- Syaza, E. B., Norazian, M. N., Hassan, Z., Sandu, A. V., Vizureanu, P., Ahmad Zia Ul-Saufie, . . . Deák, G. (2022). Effects of weather and anthropogenic precursors on ground-level ozone concentrations in malaysian cities. *Atmosphere*, 13(11), 1780. doi: <https://doi.org/10.3390/atmos1311178>
- Wardoyo, A. Y. P. (2016). *Emisi partikulat kendaraan bermotor dan dampak kesehatan*. Universitas Brawijaya Press.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Perhitungan Inventarisasi Emisi

#### A. Jumlah Kendaraan Hari Kerja dan Hari Libur

**WEEKDAY 30/01/25**

##### Jalan Mayjend Sutoyo

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 1728           | 483             | 19  | 15   | 98     |
| Siang         | 2631           | 492             | 17  | 45   | 74     |
| Sore          | 1492           | 503             | 20  | 28   | 82     |

##### Jalan MT Haryono

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 1329           | 387             | 21  | 19   | 86     |
| Siang         | 2570           | 377             | 21  | 45   | 60     |
| Sore          | 1509           | 416             | 24  | 30   | 57     |

##### Jalan Panjaitan

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 1371           | 291             | 3   | 4    | 37     |
| Siang         | 2244           | 267             | 5   | 21   | 26     |
| Sore          | 1164           | 288             | 4   | 14   | 38     |

##### Jalan Bantul

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 3169           | 340             | 17  | 12   | 50     |

|       |      |     |    |    |    |
|-------|------|-----|----|----|----|
| Siang | 2547 | 302 | 14 | 12 | 32 |
| Sore  | 4198 | 210 | 14 | 9  | 43 |

**Jl KH Wahid Hasyim**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 1524           | 348             | 40  | 16   | 26     |
| Siang         | 1663           | 397             | 43  | 8    | 24     |
| Sore          | 1936           | 412             | 43  | 11   | 31     |

**Jl Suryowijayan**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 1430           | 278             | 37  | 16   | 30     |
| Siang         | 1489           | 391             | 33  | 13   | 47     |
| Sore          | 2013           | 385             | 34  | 11   | 43     |

**Jalan Parangtritis**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2909           | 378             | 6   | 15   | 57     |
| Siang         | 1784           | 481             | 9   | 33   | 75     |
| Sore          | 2947           | 502             | 14  | 18   | 59     |

**Jalan KH Ahmad Dahlan**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 4665           | 468             | 26  | 19   | 133    |
| Siang         | 3920           | 301             | 22  | 19   | 301    |
| Sore          | 6664           | 608             | 48  | 12   | 112    |

**Jalan Panembahan Senopati**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |  |  |  |  |
|---------------|----------------|--|--|--|--|
|---------------|----------------|--|--|--|--|

|       | 1     | 2               | 3   | 4    | 5      |
|-------|-------|-----------------|-----|------|--------|
|       | Motor | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi  | 4185  | 456             | 20  | 13   | 256    |
| Siang | 2898  | 687             | 34  | 29   | 136    |
| Sore  | 6100  | 716             | 55  | 16   | 145    |

#### Jalan Brigjen Katamso

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 3257           | 682             | 2   | 27   | 75     |
| Siang         | 3050           | 691             | 16  | 29   | 83     |
| Sore          | 3982           | 710             | 22  | 12   | 73     |

#### WEEKDAY 04/02/25

#### Jalan Mayjend Sutoyo

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2841           | 560             | 26  | 42   | 112    |
| Siang         | 2234           | 517             | 22  | 58   | 80     |
| Sore          | 2773           | 527             | 13  | 30   | 58     |

#### Jalan MT Haryono

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2459           | 478             | 33  | 45   | 96     |
| Siang         | 2556           | 407             | 28  | 48   | 73     |
| Sore          | 2698           | 465             | 18  | 28   | 56     |

#### Jalan Panjaitan

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |   |   |   |   |
|---------------|----------------|---|---|---|---|
|               | 1              | 2 | 3 | 4 | 5 |

|       | Motor | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
|-------|-------|-----------------|-----|------|--------|
| Pagi  | 1987  | 313             | 5   | 21   | 54     |
| Siang | 2107  | 277             | 6   | 22   | 37     |
| Sore  | 2289  | 273             | 5   | 17   | 35     |

#### Jalan Bantul

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 3515           | 440             | 18  | 31   | 46     |
| Siang         | 2551           | 406             | 18  | 27   | 52     |
| Sore          | 4843           | 517             | 11  | 17   | 120    |

#### Jl KH Wahid Hasyim

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2102           | 445             | 54  | 11   | 43     |
| Siang         | 1837           | 383             | 51  | 17   | 31     |
| Sore          | 2230           | 397             | 38  | 9    | 28     |

#### Jl Suryowijayan

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 1998           | 242             | 35  | 16   | 34     |
| Siang         | 1648           | 380             | 36  | 14   | 56     |
| Sore          | 2101           | 372             | 23  | 13   | 27     |

#### Jalan Parangtritis

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |

|       |      |     |    |    |    |
|-------|------|-----|----|----|----|
| Pagi  | 2876 | 369 | 14 | 15 | 67 |
| Siang | 1895 | 461 | 11 | 25 | 77 |
| Sore  | 2917 | 528 | 9  | 19 | 60 |

**Jalan KH Ahmad Dahlan**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 4779           | 540             | 23  | 16   | 540    |
| Siang         | 4263           | 656             | 24  | 26   | 136    |
| Sore          | 6050           | 620             | 30  | 21   | 130    |

**Jalan Panembahan Senopati**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 4329           | 345             | 12  | 10   | 77     |
| Siang         | 3582           | 459             | 24  | 14   | 118    |
| Sore          | 5324           | 628             | 33  | 26   | 164    |

**Jalan Brigjen Katamso**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 3241           | 678             | 14  | 23   | 79     |
| Siang         | 3101           | 687             | 15  | 30   | 87     |
| Sore          | 3897           | 707             | 21  | 11   | 75     |

**WEEKEND 01/02/2025**

**Jalan Mayjend Sutoyo**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |

|       |      |     |    |    |    |
|-------|------|-----|----|----|----|
| Pagi  | 2551 | 463 | 29 | 34 | 68 |
| Siang | 2073 | 456 | 10 | 36 | 47 |
| Sore  | 2579 | 481 | 11 | 4  | 57 |

**Jalan MT Haryono**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2447           | 359             | 32  | 25   | 56     |
| Siang         | 1989           | 343             | 11  | 29   | 43     |
| Sore          | 2538           | 402             | 19  | 8    | 46     |

**Jalan Panjaitan**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2131           | 231             | 9   | 7    | 29     |
| Siang         | 1515           | 225             | 2   | 9    | 25     |
| Sore          | 2231           | 251             | 7   | 4    | 31     |

**Jalan Bantul**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 4802           | 547             | 17  | 19   | 45     |
| Siang         | 3094           | 359             | 15  | 8    | 86     |
| Sore          | 6093           | 249             | 10  | 7    | 56     |

**Jl KH Wahid Hasyim**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2378           | 326             | 46  | 8    | 40     |

|       |      |     |    |   |    |
|-------|------|-----|----|---|----|
| Siang | 1780 | 347 | 34 | 5 | 33 |
| Sore  | 2010 | 398 | 27 | 3 | 38 |

### Jl Suryowijayan

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 1457           | 379             | 41  | 13   | 42     |
| Siang         | 1671           | 407             | 27  | 8    | 37     |
| Sore          | 2075           | 421             | 24  | 7    | 59     |

### Jalan Parangtritis

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2352           | 412             | 15  | 26   | 40     |
| Siang         | 2534           | 553             | 16  | 26   | 36     |
| Sore          | 2771           | 502             | 21  | 9    | 47     |

### Jalan KH Ahmad Dahlan

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 5324           | 613             | 40  | 28   | 173    |
| Siang         | 4862           | 767             | 57  | 42   | 173    |
| Sore          | 6188           | 619             | 66  | 10   | 109    |

### Jalan Panembahan Senopati

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 5348           | 367             | 13  | 11   | 82     |
| Siang         | 5217           | 917             | 43  | 44   | 154    |
| Sore          | 5022           | 804             | 76  | 6    | 126    |

**Jalan Brigjen Katamso**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2797           | 657             | 17  | 28   | 53     |
| Siang         | 3408           | 825             | 11  | 17   | 47     |
| Sore          | 4099           | 749             | 29  | 7    | 50     |

**WEEKEND 02/02/2025****Jalan Mayjend Sutoyo**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2210           | 581             | 35  | 5    | 54     |
| Siang         | 2102           | 574             | 27  | 10   | 38     |
| Sore          | 2447           | 547             | 23  | 5    | 36     |

**Jalan MT Haryono**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2197           | 487             | 29  | 9    | 48     |
| Siang         | 1978           | 485             | 31  | 11   | 42     |
| Sore          | 2378           | 501             | 25  | 4    | 42     |

**Jalan Panjaitan**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 1778           | 278             | 6   | 6    | 31     |
| Siang         | 1329           | 303             | 4   | 7    | 20     |
| Sore          | 1761           | 291             | 5   | 2    | 20     |

**Jalan Bantul**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 5670           | 372             | 14  | 4    | 41     |
| Siang         | 3515           | 468             | 20  | 2    | 63     |
| Sore          | 6812           | 540             | 12  | 2    | 30     |

**Jl KH Wahid Hasyim**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 1890           | 377             | 53  | 2    | 34     |
| Siang         | 1834           | 405             | 56  | 3    | 34     |
| Sore          | 1906           | 402             | 39  | 1    | 22     |

**Jl Suryowijayan**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 1356           | 220             | 35  | 5    | 50     |
| Siang         | 1508           | 340             | 48  | 2    | 31     |
| Sore          | 1968           | 364             | 38  | 2    | 46     |

**Jalan Parangtritis**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2376           | 309             | 17  | 8    | 40     |
| Siang         | 2570           | 530             | 20  | 15   | 41     |
| Sore          | 2816           | 419             | 23  | 11   | 35     |

**Jalan KH Ahmad Dahlan**

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 4409           | 431             | 28  | 20   | 141    |
| Siang         | 4007           | 491             | 19  | 11   | 138    |
| Sore          | 5295           | 497             | 21  | 9    | 114    |

#### Jalan Panembahan Senopati

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 4449           | 345             | 12  | 10   | 77     |
| Siang         | 3731           | 459             | 24  | 14   | 118    |
| Sore          | 5459           | 28              | 164 | 33   | 26     |

#### Jalan Brigjen Katamso

| Waktu (menit) | TIPE KENDARAAN |                 |     |      |        |
|---------------|----------------|-----------------|-----|------|--------|
|               | 1              | 2               | 3   | 4    | 5      |
|               | Motor          | Mobil penumpang | Bus | Truk | Mobil* |
| Pagi          | 2785           | 558             | 20  | 11   | 51     |
| Siang         | 3541           | 772             | 15  | 20   | 51     |
| Sore          | 3895           | 668             | 24  | 17   | 42     |

#### B. Perhitungan Rata-Rata Kendaraan Per-jam

##### Jalan Mayjend Sutoyo

| JENIS           | TIPE KENDARAAN |         |                         |       |
|-----------------|----------------|---------|-------------------------|-------|
|                 | Weekday        | Weekend | Rata-Rata (weekend/day) | Total |
| Motor           | 6850           | 6981    | 6915                    | 8803  |
| Mobil penumpang | 1541           | 1551    | 1546                    |       |
| Mobil*          | 252            | 150     | 201                     |       |
| Truk            | 109            | 47      | 78                      |       |
| Bus             | 59             | 68      | 63                      |       |

##### Jalan MT Haryono

| JENIS | TIPE KENDARAAN |  |  |  |
|-------|----------------|--|--|--|
|-------|----------------|--|--|--|

|                        | Weekday | Weekend | Rata-Rata<br>(weekend/day) | Total |
|------------------------|---------|---------|----------------------------|-------|
| <b>Motor</b>           | 6561    | 6764    | 6662                       | 8263  |
| <b>Mobil penumpang</b> | 1265    | 1289    | 1277                       |       |
| <b>Mobil*</b>          | 214     | 139     | 176                        |       |
| <b>Truk</b>            | 108     | 43      | 75                         |       |
| <b>Bus</b>             | 73      | 74      | 73                         |       |

#### Jalan Panjaitan

| JENIS                  | TIPE KENDARAAN |         |                            |       |
|------------------------|----------------|---------|----------------------------|-------|
|                        | Weekday        | Weekend | Rata-Rata<br>(weekend/day) | Total |
| <b>Motor</b>           | 5581           | 5373    | 5477                       | 6443  |
| <b>Mobil penumpang</b> | 855            | 790     | 822                        |       |
| <b>Mobil*</b>          | 114            | 78      | 96                         |       |
| <b>Truk</b>            | 50             | 18      | 34                         |       |
| <b>Bus</b>             | 14             | 17      | 15                         |       |

#### Jalan Bantul

| JENIS                  | TIPE KENDARAAN |         |                            |       |
|------------------------|----------------|---------|----------------------------|-------|
|                        | Weekday        | Weekend | Rata-Rata<br>(weekend/day) | Total |
| <b>Motor</b>           | 10412          | 14993   | 12702                      | 14138 |
| <b>Mobil penumpang</b> | 1108           | 1268    | 1188                       |       |
| <b>Mobil*</b>          | 172            | 161     | 166                        |       |
| <b>Truk</b>            | 54             | 21      | 38                         |       |
| <b>Bus</b>             | 46             | 44      | 45                         |       |

#### Jl KH Wahid Hasyim

| JENIS                  | TIPE KENDARAAN |         |                            |       |
|------------------------|----------------|---------|----------------------------|-------|
|                        | Weekday        | Weekend | Rata-Rata<br>(weekend/day) | Total |
| <b>Motor</b>           | 5646           | 5899    | 5773                       | 7182  |
| <b>Mobil penumpang</b> | 1191           | 1128    | 1159                       |       |
| <b>Mobil*</b>          | 92             | 101     | 96                         |       |
| <b>Truk</b>            | 36             | 11      | 24                         |       |
| <b>Bus</b>             | 135            | 128     | 131                        |       |

#### Jl Suryowijayan

| JENIS                  | TIPE KENDARAAN |         |                            |       |
|------------------------|----------------|---------|----------------------------|-------|
|                        | Weekday        | Weekend | Rata-Rata<br>(weekend/day) | Total |
| <b>Motor</b>           | 5340           | 5018    | 5179                       | 6482  |
| <b>Mobil penumpang</b> | 1024           | 1066    | 1045                       |       |

|               |     |     |     |  |
|---------------|-----|-----|-----|--|
| <b>Mobil*</b> | 119 | 133 | 126 |  |
| <b>Truk</b>   | 42  | 19  | 30  |  |
| <b>Bus</b>    | 99  | 107 | 103 |  |

**Jalan Parangtritis**

| JENIS                  | TIPE KENDARAAN |         |                            |       |
|------------------------|----------------|---------|----------------------------|-------|
|                        | Weekday        | Weekend | Rata-Rata<br>(weekend/day) | Total |
| <b>Motor</b>           | 7664           | 7710    | 7687                       | 9305  |
| <b>Mobil penumpang</b> | 1360           | 1363    | 1361                       |       |
| <b>Mobil*</b>          | 198            | 120     | 159                        |       |
| <b>Truk</b>            | 63             | 48      | 55                         |       |
| <b>Bus</b>             | 32             | 56      | 44                         |       |

**Jalan KH Ahmad Dahlan**

| JENIS                  | TIPE KENDARAAN |         |                            |       |
|------------------------|----------------|---------|----------------------------|-------|
|                        | Weekday        | Weekend | Rata-Rata<br>(weekend/day) | Total |
| <b>Motor</b>           | 15171          | 15043   | 15107                      | 17469 |
| <b>Mobil penumpang</b> | 1597           | 1709    | 1653                       |       |
| <b>Mobil*</b>          | 676            | 424     | 550                        |       |
| <b>Truk</b>            | 57             | 60      | 58                         |       |
| <b>Bus</b>             | 87             | 116     | 101                        |       |

**Jalan Panembahan Senopati**

| JENIS                  | TIPE KENDARAAN |         |                            |       |
|------------------------|----------------|---------|----------------------------|-------|
|                        | Weekday        | Weekend | Rata-Rata<br>(weekend/day) | Total |
| <b>Motor</b>           | 13209          | 14613   | 13911                      | 16018 |
| <b>Mobil penumpang</b> | 1646           | 1460    | 1553                       |       |
| <b>Mobil*</b>          | 448            | 292     | 370                        |       |
| <b>Truk</b>            | 54             | 59      | 57                         |       |
| <b>Bus</b>             | 89             | 166     | 128                        |       |

**Jalan Brigjen Katamso**

| JENIS                  | TIPE KENDARAAN |         |                            |       |
|------------------------|----------------|---------|----------------------------|-------|
|                        | Weekday        | Weekend | Rata-Rata<br>(weekend/day) | Total |
| <b>Motor</b>           | 10264          | 10263   | 10263                      | 12660 |
| <b>Mobil penumpang</b> | 2078           | 2115    | 2096                       |       |
| <b>Mobil*</b>          | 236            | 147     | 192                        |       |
| <b>Truk</b>            | 66             | 50      | 58                         |       |
| <b>Bus</b>             | 45             | 58      | 52                         |       |

Contoh Jalan Bantul:

Weekday:

$$\begin{aligned}\text{Motor} &= \frac{(3169+2547+4198) + (3515+2551+4843)}{2} \\ &= 10412 \text{ unit}\end{aligned}$$

$$\text{Mobil} = 1108 \text{ unit}$$

$$\text{Mobil*} = 172 \text{ unit}$$

$$\text{Truk} = 54 \text{ unit}$$

$$\text{Bus} = 46 \text{ unit}$$

Weekend:

$$\begin{aligned}\text{Motor} &= \frac{(4802+3094+6093) + (5670+3515+6812)}{2} \\ &= 14993 \text{ unit}\end{aligned}$$

$$\text{Mobil} = 1268 \text{ unit}$$

$$\text{Mobil*} = 166 \text{ unit}$$

$$\text{Truk} = 38 \text{ unit}$$

$$\text{Bus} = 45 \text{ unit}$$

Rata-Rata:

$$\begin{aligned}\text{Motor} &= \frac{10412+14993}{2} \\ &= 12702 \text{ unit}\end{aligned}$$

$$\text{Mobil} = 1188 \text{ unit}$$

$$\text{Mobil*} = 166 \text{ unit}$$

$$\text{Truk} = 38 \text{ unit}$$

$$\text{Bus} = 45 \text{ unit}$$

$$\begin{aligned}\text{Total kendaraan Jalan Bantul} &= 12702+1188+166+38+45 \\ &= 14138 \text{ Unit}\end{aligned}$$

## C. Inventarisasi Emisi

| NO | FID JALAN                 | W   | L      | A                 | L                    |
|----|---------------------------|-----|--------|-------------------|----------------------|
|    |                           | (m) | (m)    | (m <sup>2</sup> ) | (km)                 |
|    |                           |     |        | $F = D \times E$  | $G = \frac{E}{1000}$ |
| 1  | Jalan Bantul              | 10  | 1449,3 | 14493             | 1,4493               |
| 2  | Jalan DI Panjaitan        | 7   | 1341,3 | 9389,1            | 1,3413               |
| 3  | Jalan Letjend MT Haryono  | 10  | 759,5  | 7595              | 0,7595               |
| 4  | Jalan Mayjend Sutoyo      | 13  | 630,6  | 8197,8            | 0,6306               |
| 5  | Jalan KH Wakhid Hasyim    | 9   | 1315,8 | 11842,2           | 1,3158               |
| 6  | Jalan Brigjen Katamso     | 12  | 1485,4 | 17824,8           | 1,4854               |
| 7  | Jalan Parangtritis        | 11  | 1374   | 15114             | 1,374                |
| 8  | Jalan Suryowijayan        | 9   | 484,6  | 4361,4            | 0,4846               |
| 9  | Jalan KH Ahmad Dahlan     | 16  | 1102,4 | 17638,4           | 1,1024               |
| 10 | Jalan Panembahan Senopati | 15  | 700,9  | 10513,5           | 0,7009               |

| NO | FID JALAN                 | Q             |       |        |     |      | VKT <sub>garis</sub> |           |           |           |           |
|----|---------------------------|---------------|-------|--------|-----|------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|    |                           | MOTOR         | MOBIL | MOBIL* | BUS | TRUK | MOTOR                | MOBIL     | MOBIL*    | BUS       | TRUK      |
|    |                           | kendaraan/jam |       |        |     |      | km/jam               |           |           |           |           |
|    |                           |               |       |        |     |      | M = H x G            | N = I x G | O = J x G | P = K x G | Q = L x G |
| 1  | Jalan Bantul              | 12702         | 1188  | 166    | 45  | 38   | 18409,01             | 1721,77   | 240,58    | 65,22     | 55,07     |
| 2  | Jalan DI Panjaitan        | 5477          | 822   | 96     | 15  | 34   | 7346,30              | 1102,55   | 128,76    | 20,12     | 45,60     |
| 3  | Jalan Letjend MT Haryono  | 6662          | 1277  | 176    | 73  | 75   | 5059,79              | 969,88    | 133,67    | 55,44     | 56,96     |
| 4  | Jalan Mayjend Sutoyo      | 6915          | 1546  | 201    | 63  | 78   | 4360,60              | 974,91    | 126,75    | 39,73     | 49,19     |
| 5  | Jalan KH Wakhid Hasyim    | 5773          | 1159  | 96     | 131 | 24   | 7596,11              | 1525,01   | 126,32    | 172,37    | 31,58     |
| 6  | Jalan Brigjen Katamso     | 10263         | 2096  | 192    | 52  | 58   | 15244,66             | 3113,40   | 285,20    | 77,24     | 86,15     |
| 7  | Jalan Parangtritis        | 7687          | 1361  | 159    | 44  | 55   | 10561,94             | 1870,01   | 218,47    | 60,46     | 75,57     |
| 8  | Jalan Suryowijayan        | 5179          | 1045  | 126    | 103 | 30   | 2509,74              | 506,41    | 61,06     | 49,91     | 14,54     |
| 9  | Jalan KH Ahmad Dahlan     | 15107         | 1653  | 550    | 58  | 101  | 16653,96             | 1822,27   | 606,32    | 63,94     | 111,34    |
| 10 | Jalan Panembahan Senopati | 13911         | 1553  | 370    | 128 | 57   | 9750,22              | 1088,50   | 259,33    | 89,72     | 39,95     |

Contoh perhitungan Jalan Bantul:

$$\begin{aligned}
 \text{VKT}_{\text{garis}} (\text{motor}) &= Q \times L \\
 &= 18409,01 \times 1,4493 \\
 &= 18409,01 \text{ km/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mobil} = 1188 \text{ km/jam}$$

$$\text{Mobil*} = 166 \text{ km/jam}$$

$$\text{Bus} = 45 \text{ km/jam}$$

Truk = 38 km/jam

D. Beban Emisi Total

| NO | FID JALAN                 | EF NOx |       |        |      |      | Egaris           |                  |                  |                  |                   | Egaris total | Egaris total | Egaris TOTAL |
|----|---------------------------|--------|-------|--------|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
|    |                           | MOTOR  | MOBIL | MOBIL* | BUS  | TRUK | MOTOR            | MOBIL            | MOBIL*           | BUS              | TRUK              |              |              |              |
|    |                           | g/km   |       |        |      |      | g/jam            |                  |                  |                  |                   | g/jam        | g/s          | g/s/m2       |
|    |                           |        |       |        |      |      | $W = M \times R$ | $X = N \times S$ | $Y = O \times T$ | $Z = P \times U$ | $AA = Q \times V$ |              |              |              |
| 1  | Jalan Bantul              | 0,29   | 2     | 3,5    | 11,9 | 17,7 | 266,931          | 172,177          | 42,102           | 38,805           | 48,740            | 568,755      | 0,158        | 1,09E-05     |
| 2  | Jalan DI Panjaitan        | 0,29   | 2     | 3,5    | 11,9 | 17,7 | 106,521          | 110,255          | 22,534           | 11,971           | 40,360            | 291,641      | 0,081        | 8,63E-06     |
| 3  | Jalan Letjend MT Haryono  | 0,29   | 2     | 3,5    | 11,9 | 17,7 | 73,367           | 96,988           | 23,393           | 32,989           | 50,412            | 277,148      | 0,077        | 1,01E-05     |
| 4  | Jalan Mayjend Sutoyo      | 0,29   | 2     | 3,5    | 11,9 | 17,7 | 63,229           | 97,491           | 22,181           | 23,638           | 43,530            | 250,069      | 0,069        | 8,47E-06     |
| 5  | Jalan KH Wakhid Hasyim    | 0,29   | 2     | 3,5    | 11,9 | 17,7 | 110,144          | 152,501          | 22,105           | 102,560          | 27,948            | 415,258      | 0,115        | 9,74E-06     |
| 6  | Jalan Brigjen Katamso     | 0,29   | 2     | 3,5    | 11,9 | 17,7 | 221,048          | 311,340          | 49,909           | 45,958           | 76,246            | 704,501      | 0,196        | 1,10E-05     |
| 7  | Jalan Parangtritis        | 0,29   | 2     | 3,5    | 11,9 | 17,7 | 153,148          | 187,001          | 38,232           | 35,971           | 66,879            | 481,232      | 0,134        | 8,84E-06     |
| 8  | Jalan Suryowijayan        | 0,29   | 2     | 3,5    | 11,9 | 17,7 | 36,391           | 50,641           | 10,685           | 29,699           | 12,866            | 140,282      | 0,039        | 8,93E-06     |
| 9  | Jalan KH Ahmad Dahlan     | 0,29   | 2     | 3,5    | 11,9 | 17,7 | 241,482          | 182,227          | 106,106          | 38,044           | 98,538            | 666,397      | 0,185        | 1,05E-05     |
| 10 | Jalan Panembahan Senopati | 0,29   | 2     | 3,5    | 11,9 | 17,7 | 141,378          | 108,850          | 45,383           | 53,381           | 35,357            | 384,349      | 0,107        | 1,02E-05     |

Contoh Perhitungan Jalan Bantul:

Emisi Garis (motor) =  $18409,01 \times 0,29$

= 266,931 g/jam

Mobil = 172,177 g/jam

Mobil\* = 42,102 g/jam

Bus = 38,805 g/jam

Truk = 48,740 g/jam

Egaris Total = 266,931 + 172,177 + 42,102 + 38,805 + 48,740

= 568,755 g/jam

= 0,158 g/s

## Lampiran 2 Perhitungan Konsentrasi NO2 Udara Ambien

### A. Perhitungan Kurva Kalibrasi

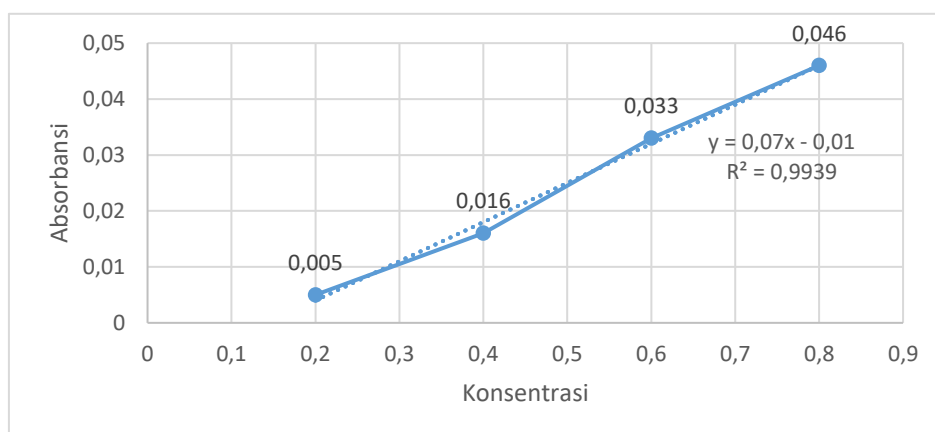
| Kode          | x          | y             | x.y           | x <sup>2</sup> |
|---------------|------------|---------------|---------------|----------------|
| Standard 1    | 0,2        | 0,005         | 0,001         | 0,04           |
| Standard 2    | 0,4        | 0,016         | 0,0064        | 0,16           |
| Standard 3    | 0,6        | 0,033         | 0,0198        | 0,36           |
| Standard 4    | 0,8        | 0,046         | 0,0368        | 0,64           |
| Standard 5    | 0,9        | 0,052         | 0,046665      | 0,81           |
| Standard 6    | 1          | 0,058         | 0,0577        | 1              |
| Standard 7    | 1,1        | 0,068         | 0,074635      | 1,21           |
| Standard 8    | 1,2        | 0,078         | 0,0936        | 1,44           |
| <b>Jumlah</b> | <b>6,2</b> | <b>0,3554</b> | <b>0,3366</b> | <b>5,66</b>    |

$$\text{Nilai } b = \frac{\sum x.y - \left[ \frac{\sum x \cdot \sum y}{n} \right]}{\sum x^2 - \left[ \frac{(\sum x)^2}{n} \right]} = \frac{0,3366 - \left[ \frac{6,2 \cdot 0,3554}{8} \right]}{5,66 - \left[ \frac{(6,2)^2}{8} \right]} = 0,0715$$

$$\text{Nilai } a = \frac{(\sum y) - (b \cdot \sum x)}{n} = \frac{(0,3554) - (0,0715 \cdot 6,2)}{8} = -0,0112$$

$$Y = bX + a = 0,0715 - 0,0112$$

Kurva kalibrasi:



### B. Perhitungan Volume Udara Contoh Uji

Dik:

Sabtu, 02/02/25

Pagi, Titik 1 (Jalan Bantul)

$$F_1 = 0,4 \text{ L/menit}$$

$$F_2 = 0,4 \text{ L/menit}$$

$$t = 60$$

$$P_a = 746,1 \text{ mmHg}$$

$$T_a = 28,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{0,4+0,4}{2} \times 60 \times \frac{746,1}{28,8} \times \frac{298}{760} \\ &= 23,261 \text{ L} \end{aligned}$$

### C. Jumlah NO<sub>2</sub> sampel uji berdasarkan kruva kalibrasi

Dik:

Nilai absorban blanko perjalanan: 0,002

$$b = \frac{\text{Nilai absorbansi}-\text{Nilai kurva kalibrasi (a)}}{\text{Nilai kurva kalibrasi (b)}}$$

$$b = \frac{0,002-(-0,0112)}{0,0715}$$

$$b = 0,185 \text{ (digunakan sebagai jaminan mutu agar mengurangi tingkat kontaminasi)}$$

Nilai absorban sampel: 0,054

$$b = \frac{0,054-(-0,0112)}{0,0715}$$

$$= 0,744$$

$$b = 0,744 - 0,185$$

$$= 0,558$$

### D. Perhitungan Konsentrasi NO<sub>2</sub> Udara Ambien

$$C = \frac{b}{v} \times \frac{10}{25} \times 1000$$

$$C = \frac{0,558}{23,261} \times \frac{10}{25} \times 1000$$

$$= 9,82 \text{ } \mu\text{g/Nm}^3$$

| Titik         | waktu                       | Nilai absorbansi (Y) | Nilai kurva kalibrasi |        | F1 (L/menit) | F2 (L/menit) | t (menit) | Pa (mmHg) | Ta (°C) | Ta (°K) | Temperatur kondisi normal (K) | Tekanan kondisi normal 1 atm (mmHg) | V (L)  | X (µg) | C (µg/Nm³) |
|---------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|--------|--------------|--------------|-----------|-----------|---------|---------|-------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|------------|
|               |                             |                      | a                     | b      |              |              |           |           |         |         |                               |                                     |        |        |            |
| Jl. PANJAITAN | 08.00 - 09.00<br>(30/01/25) | 0,034                | -0,0112               | 0,0715 | 0,4          | 0,4          | 60        | 746,8     | 30,3    | 303,3   | 273                           | 760                                 | 23,176 | 0,434  | 7,48       |
|               | 12.00- 13.00<br>(30/01/25)  | 0,044                | -0,0112               | 0,0715 | 0,4          | 0,4          | 60        | 745,6     | 32,9    | 305,9   | 273                           | 760                                 | 22,940 | 0,573  | 10,00      |
|               | 16.00 - 17.00<br>(30/01/25) | 0,053                | -0,0112               | 0,0715 | 0,4          | 0,4          | 60        | 744,6     | 30,7    | 303,7   | 273                           | 760                                 | 23,075 | 0,699  | 12,12      |
| Jl BANTUL     | 08.00 - 09.00<br>(01/02/25) | 0,054                | -0,0112               | 0,0715 | 0,4          | 0,4          | 60        | 746,1     | 28,8    | 301,8   | 273                           | 760                                 | 23,261 | 0,727  | 12,51      |
|               | 12.00- 13.00<br>(01/02/25)  | 0,052                | -0,0112               | 0,0715 | 0,4          | 0,4          | 60        | 743,3     | 34,2    | 307,2   | 273                           | 760                                 | 22,773 | 0,699  | 12,28      |
|               | 16.00 - 17.00<br>(01/02/25) | 0,042                | -0,0112               | 0,0715 | 0,4          | 0,4          | 60        | 742,8     | 33,6    | 306,6   | 273                           | 760                                 | 22,796 | 0,559  | 9,82       |
| Jl. PANJAITAN | 08.00 - 09.00<br>(02/02/25) | 0,008                | -0,0112               | 0,0715 | 0,4          | 0,4          | 60        | 745,7     | 30,0    | 303,0   | 273                           | 760                                 | 23,161 | 0,098  | 1,69       |
|               | 12.00- 13.00<br>(02/02/25)  | 0,043                | -0,0112               | 0,0715 | 0,4          | 0,4          | 60        | 744,3     | 33,8    | 306,8   | 273                           | 760                                 | 22,827 | 0,587  | 10,29      |

|           |                                |       |         |        |     |     |    |       |      |       |     |     |        |       |       |
|-----------|--------------------------------|-------|---------|--------|-----|-----|----|-------|------|-------|-----|-----|--------|-------|-------|
|           | 16.00 -<br>17.00<br>(02/02/25) | 0,045 | -0,0112 | 0,0715 | 0,4 | 0,4 | 60 | 743,4 | 33,3 | 306,3 | 273 | 760 | 22,842 | 0,615 | 10,78 |
| JL BANTUL | 08.00 -<br>09.00<br>(04/02/25) | 0,061 | -0,0112 | 0,0715 | 0,4 | 0,4 | 60 | 745,7 | 30,6 | 303,6 | 273 | 760 | 23,114 | 0,839 | 14,52 |
|           | 12.00-<br>13.00<br>(04/02/25)  | 0,056 | -0,0112 | 0,0715 | 0,4 | 0,2 | 60 | 744,2 | 35,3 | 308,3 | 273 | 760 | 17,039 | 0,769 | 18,06 |
|           | 16.00 -<br>17.00<br>(04/02/25) | 0,068 | -0,0112 | 0,0715 | 0,4 | 0,4 | 60 | 742,9 | 34,3 | 307,3 | 273 | 760 | 22,753 | 0,937 | 16,47 |

### Lampiran 3 Data Meteorologi Lapangan

| No |                                   | Waktu                    | Menit ke | Tekanan |       | Suhu  |       | Kec.Angin |       | Kelembapan |       |      |
|----|-----------------------------------|--------------------------|----------|---------|-------|-------|-------|-----------|-------|------------|-------|------|
|    |                                   |                          |          | (mmHg)  |       | (°C)  |       | (m/s)     |       | (%)        |       |      |
|    |                                   |                          |          |         | rata2 |       | rata2 |           | rata2 |            | rata2 |      |
| 1  | 30/01/2025 Titik 2 (JL PANJAITAN) | Pagi<br>(08.00 - 09.00)  | 15'      | 746,8   | 744,6 | 28,7  | 30,3  | 2,2       | 1,0   | 76,5       | 72,4  |      |
|    |                                   |                          | 30'      | 746,8   |       | 29,8  |       | 1,2       |       | 73,9       |       |      |
|    |                                   |                          | 45'      | 746,8   |       | 30,8  |       | 0,4       |       | 69,3       |       |      |
|    |                                   |                          | 60'      | 746,9   |       | 31,7  |       | 0,2       |       | 69,7       |       |      |
| 2  |                                   | Siang<br>(12.00 - 13.00) | 15'      | 745,9   | 745,6 | 31,7  | 32,9  | 1,1       | 1,4   | 68,1       | 63,0  |      |
|    |                                   |                          | 30'      | 745,7   |       | 32,4  |       | 1,9       |       | 63,1       |       |      |
|    |                                   |                          | 45'      | 745,6   |       | 33,6  |       | 1,7       |       | 62,6       |       |      |
|    |                                   |                          | 60'      | 745,3   |       | 33,8  |       | 1         |       | 58,3       |       |      |
| 3  |                                   |                          |          | 15'     | 744,5 | 744,6 | 31,1  | 30,7      | 4,3   | 3,1        | 62,3  | 63,6 |

|   |                                   |                             |     |       |         |      |      |     |     |      |      |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|-----|-------|---------|------|------|-----|-----|------|------|
|   |                                   | Sore<br>(16.00 -<br>17.00)  | 30' | 744,6 |         | 30,6 |      | 3,4 |     | 64,6 |      |
|   |                                   |                             | 45' | 744,6 |         | 30,6 |      | 2,1 |     | 63,9 |      |
|   |                                   |                             | 60' | 744,6 |         | 30,3 |      | 2,6 |     | 63,5 |      |
| 1 | 02/02/2025 Titik 2 (Jl PANJAITAN) | Pagi<br>(08.00 -<br>09.00)  | 15' | 745,6 | 745,675 | 29,1 | 30,0 | 1,1 | 1,3 | 78,5 | 74,1 |
|   |                                   |                             | 30' | 745,6 |         | 30,4 |      | 1,1 |     | 72,1 |      |
|   |                                   |                             | 45' | 745,7 |         | 30   |      | 1,7 |     | 73,5 |      |
|   |                                   |                             | 60' | 745,8 |         | 30,4 |      | 1,1 |     | 72,2 |      |
| 2 |                                   | Siang<br>(12.00 -<br>13.00) | 15' | 744,5 | 744,275 | 33,4 | 33,8 | 0   | 0,2 | 65,5 | 61,2 |
|   |                                   |                             | 30' | 744,3 |         | 33,3 |      | 0   |     | 63,1 |      |
|   |                                   |                             | 45' | 744,2 |         | 34,1 |      | 0,2 |     | 62,5 |      |
|   |                                   |                             | 60' | 744,1 |         | 34,5 |      | 0,4 |     | 53,7 |      |
| 3 |                                   | Sore<br>(16.00 -<br>17.00)  | 15' | 743,3 | 743,425 | 34,4 | 33,3 | 0,3 | 0,1 | 61   | 63,9 |
|   |                                   |                             | 30' | 743,2 |         | 34   |      | 0,2 |     | 61,4 |      |
|   |                                   |                             | 45' | 743,6 |         | 32,6 |      | 0   |     | 65,9 |      |
|   |                                   |                             | 60' | 743,6 |         | 32,1 |      | 0   |     | 67,1 |      |
| 1 | 04/02/1025 Titik 1 (Jl Bantul)    | Pagi<br>(08.00 -<br>09.00)  | 15' | 745,6 | 745,7   | 29,5 | 30,6 | 1,5 | 1,6 | 75,6 | 67,4 |
|   |                                   |                             | 30' | 745,7 |         | 30,4 |      | 2,3 |     | 68,6 |      |
|   |                                   |                             | 45' | 745,7 |         | 30,8 |      | 1,8 |     | 65,7 |      |
|   |                                   |                             | 60' | 745,8 |         | 31,7 |      | 0,6 |     | 59,5 |      |
| 2 |                                   | Siang<br>(12.00 -<br>13.00) | 15' | 744,5 | 744,15  | 34   | 35,3 | 0,1 | 0,8 | 56   | 52,2 |
|   |                                   |                             | 30' | 744,3 |         | 35,4 |      | 2   |     | 50,8 |      |
|   |                                   |                             | 45' | 744   |         | 35,9 |      | 0,6 |     | 52,8 |      |
|   |                                   |                             | 60' | 743,8 |         | 35,7 |      | 0,3 |     | 49,3 |      |
| 3 |                                   | Sore<br>(16.00 -<br>17.00)  | 15' | 742,9 | 742,925 | 33,8 | 34,3 | 0,9 | 0,9 | 61,9 | 61,7 |
|   |                                   |                             | 30' | 742,8 |         | 34,8 |      | 0   |     | 59   |      |
|   |                                   |                             | 45' | 743   |         | 34,4 |      | 1   |     | 61,2 |      |

|   |                                |                             |       |       |         |      |      |      |     |      |      |
|---|--------------------------------|-----------------------------|-------|-------|---------|------|------|------|-----|------|------|
|   |                                |                             | 60'   | 743   |         | 34,1 |      | 1,7  |     | 64,7 |      |
| 1 | 01/02/2025 Titik 1 (JI Bantul) | Pagi<br>(08.00 -<br>09.00)  | 15'   | 746   | 746,05  | 28,3 | 28,8 | 1,3  | 1,5 | 78,8 | 77,3 |
|   |                                |                             | 30'   | 746   |         | 28,8 |      | 0,7  |     | 77,7 |      |
|   |                                |                             | 45'   | 746,1 |         | 29,3 |      | 1,3  |     | 76,1 |      |
|   |                                |                             | 60'   | 746,1 |         | 28,9 |      | 2,5  |     | 76,4 |      |
|   |                                |                             |       |       |         |      |      |      |     |      |      |
| 2 |                                | Siang<br>(12.00 -<br>13.00) | 15'   | 743,7 | 743,3   | 34,9 | 34,2 | 0,3  | 0,9 | 59,1 | 59,7 |
|   |                                |                             | 30'   | 743,4 |         | 33,8 |      | 0,7  |     | 61,6 |      |
|   |                                |                             | 45'   | 743,4 |         | 34   |      | 1,3  |     | 59,7 |      |
|   |                                |                             | 60'   | 742,7 |         | 33,9 |      | 1,4  |     | 58,2 |      |
|   |                                |                             |       |       |         |      |      |      |     |      |      |
| 3 |                                | Sore<br>(16.00 -<br>17.00)  | 15'   | 742,7 | 742,775 | 33,9 | 33,6 | 1,4  | 0,9 | 58,2 | 61,0 |
|   |                                |                             | 30'   | 742,7 |         | 34,1 |      | 1,8  |     | 60,3 |      |
|   | 45'                            |                             | 742,7 | 33,4  |         | 0    |      | 62,8 |     |      |      |
|   | 60'                            |                             | 743   | 33,1  |         | 0,2  |      | 62,5 |     |      |      |
|   |                                |                             |       |       |         |      |      |      |     |      |      |

**Lampiran 4** Hasil Konsentrasi Model AERMOD Versi 12.0.0

| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 424843,59 | 9131564,35 | 4,25425                                              | 100,9                        | 123                                 | 1,6                         |
| 425335,93 | 9131564,35 | 5,55039                                              | 71,3                         | 71,3                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9131564,35 | 6,31732                                              | 64,5                         | 64,5                                | 1,6                         |
| 426320,61 | 9131564,35 | 6,0749                                               | 64                           | 64                                  | 1,6                         |
| 426812,95 | 9131564,35 | 4,75843                                              | 66,4                         | 66,4                                | 1,6                         |
| 427305,29 | 9131564,35 | 4,76716                                              | 69,6                         | 69,6                                | 1,6                         |
| 427797,63 | 9131564,35 | 4,80468                                              | 61,1                         | 61,1                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9131564,35 | 4,79879                                              | 63,9                         | 63,9                                | 1,6                         |
| 428782,31 | 9131564,35 | 4,77905                                              | 67                           | 67                                  | 1,6                         |
| 429274,65 | 9131564,35 | 4,74538                                              | 65,3                         | 65,3                                | 1,6                         |
| 429766,99 | 9131564,35 | 4,97451                                              | 64,9                         | 64,9                                | 1,6                         |
| 430259,33 | 9131564,35 | 5,0642                                               | 64,1                         | 64,1                                | 1,6                         |
| 430751,67 | 9131564,35 | 5,13815                                              | 65,7                         | 65,7                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9131564,35 | 5,04571                                              | 65,2                         | 65,2                                | 1,6                         |
| 431736,35 | 9131564,35 | 4,88305                                              | 61,8                         | 61,8                                | 1,6                         |
| 432228,69 | 9131564,35 | 4,66343                                              | 66,5                         | 66,5                                | 1,6                         |
| 432721,03 | 9131564,35 | 4,34819                                              | 62,2                         | 62,2                                | 1,6                         |
| 433213,37 | 9131564,35 | 4,12046                                              | 62                           | 62                                  | 1,6                         |
| 433705,71 | 9131564,35 | 3,82372                                              | 64,1                         | 64,1                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9131564,35 | 3,56564                                              | 62,9                         | 62,9                                | 1,6                         |
| 434690,39 | 9131564,35 | 3,30708                                              | 66,8                         | 66,8                                | 1,6                         |
| 424843,59 | 9132058,23 | 3,84482                                              | 75,2                         | 133                                 | 1,6                         |
| 425335,93 | 9132058,23 | 4,57075                                              | 78,5                         | 92                                  | 1,6                         |
| 425828,27 | 9132058,23 | 6,11127                                              | 81                           | 81                                  | 1,6                         |
| 426320,61 | 9132058,23 | 6,57771                                              | 68,4                         | 68,4                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9132058,23 | 5,96554                                              | 67                           | 67                                  | 1,6                         |
| 427305,29 | 9132058,23 | 5,21407                                              | 65,4                         | 65,4                                | 1,6                         |
| 427797,63 | 9132058,23 | 5,28244                                              | 67,7                         | 67,7                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9132058,23 | 5,31381                                              | 66,5                         | 66,5                                | 1,6                         |
| 428782,31 | 9132058,23 | 5,28101                                              | 67,4                         | 67,4                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9132058,23 | 5,11213                                              | 67,3                         | 67,3                                | 1,6                         |
| 429766,99 | 9132058,23 | 5,43748                                              | 63,9                         | 63,9                                | 1,6                         |
| 430259,33 | 9132058,23 | 5,66762                                              | 65,3                         | 65,3                                | 1,6                         |
| 430751,67 | 9132058,23 | 5,6801                                               | 69,9                         | 69,9                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9132058,23 | 5,52609                                              | 70,5                         | 70,5                                | 1,6                         |
| 431736,35 | 9132058,23 | 5,28927                                              | 66,8                         | 66,8                                | 1,6                         |
| 432228,69 | 9132058,23 | 4,96797                                              | 67                           | 67                                  | 1,6                         |
| 432721,03 | 9132058,23 | 4,62388                                              | 63,7                         | 63,7                                | 1,6                         |
| 433213,37 | 9132058,23 | 4,25086                                              | 65                           | 65                                  | 1,6                         |

| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 433705,71 | 9132058,23 | 3,94454                                              | 67,7                         | 67,7                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9132058,23 | 3,61215                                              | 71                           | 71                                  | 1,6                         |
| 434690,39 | 9132058,23 | 3,38683                                              | 67                           | 67                                  | 1,6                         |
| 424843,59 | 9132552,11 | 3,92193                                              | 66,2                         | 66,2                                | 1,6                         |
| 425335,93 | 9132552,11 | 4,23564                                              | 65,4                         | 65,4                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9132552,11 | 4,78904                                              | 62,4                         | 62,4                                | 1,6                         |
| 426320,61 | 9132552,11 | 6,15848                                              | 65,6                         | 65,6                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9132552,11 | 6,75633                                              | 70,9                         | 70,9                                | 1,6                         |
| 427305,29 | 9132552,11 | 5,75147                                              | 70,4                         | 70,4                                | 1,6                         |
| 427797,63 | 9132552,11 | 5,73981                                              | 71,1                         | 71,1                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9132552,11 | 6,01512                                              | 69,9                         | 69,9                                | 1,6                         |
| 428782,31 | 9132552,11 | 5,97863                                              | 69,5                         | 69,5                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9132552,11 | 5,64316                                              | 70,9                         | 70,9                                | 1,6                         |
| 429766,99 | 9132552,11 | 6,05598                                              | 72                           | 72                                  | 1,6                         |
| 430259,33 | 9132552,11 | 6,48248                                              | 71,6                         | 71,6                                | 1,6                         |
| 430751,67 | 9132552,11 | 6,3694                                               | 70,9                         | 70,9                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9132552,11 | 6,06054                                              | 75,2                         | 75,2                                | 1,6                         |
| 431736,35 | 9132552,11 | 5,72975                                              | 74,6                         | 74,6                                | 1,6                         |
| 432228,69 | 9132552,11 | 5,24404                                              | 70,2                         | 70,2                                | 1,6                         |
| 432721,03 | 9132552,11 | 4,77905                                              | 66,7                         | 66,7                                | 1,6                         |
| 433213,37 | 9132552,11 | 4,4022                                               | 69,9                         | 69,9                                | 1,6                         |
| 433705,71 | 9132552,11 | 3,97011                                              | 69,8                         | 69,8                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9132552,11 | 3,712                                                | 69                           | 69                                  | 1,6                         |
| 434690,39 | 9132552,11 | 3,50063                                              | 71,1                         | 71,1                                | 1,6                         |
| 424843,59 | 9133045,99 | 5,66214                                              | 68,1                         | 99                                  | 1,6                         |
| 425335,93 | 9133045,99 | 4,47761                                              | 69,9                         | 95                                  | 1,6                         |
| 425828,27 | 9133045,99 | 4,70193                                              | 65                           | 65                                  | 1,6                         |
| 426320,61 | 9133045,99 | 5,33202                                              | 70,2                         | 70,2                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9133045,99 | 6,65038                                              | 75                           | 75                                  | 1,6                         |
| 427305,29 | 9133045,99 | 6,88445                                              | 74,6                         | 74,6                                | 1,6                         |
| 427797,63 | 9133045,99 | 6,64785                                              | 71,3                         | 71,3                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9133045,99 | 7,09425                                              | 72                           | 72                                  | 1,6                         |
| 428782,31 | 9133045,99 | 7,01792                                              | 75,7                         | 75,7                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9133045,99 | 6,34004                                              | 74,8                         | 74,8                                | 1,6                         |
| 429766,99 | 9133045,99 | 6,88047                                              | 72,9                         | 72,9                                | 1,6                         |
| 430259,33 | 9133045,99 | 7,61603                                              | 72,9                         | 72,9                                | 1,6                         |
| 430751,67 | 9133045,99 | 7,3703                                               | 72,3                         | 72,3                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9133045,99 | 6,78348                                              | 74                           | 74                                  | 1,6                         |
| 431736,35 | 9133045,99 | 6,14996                                              | 76,3                         | 76,3                                | 1,6                         |
| 432228,69 | 9133045,99 | 5,4857                                               | 70,6                         | 70,6                                | 1,6                         |

| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 432721,03 | 9133045,99 | 4,97812                                              | 72                           | 72                                  | 1,6                         |
| 433213,37 | 9133045,99 | 4,4127                                               | 73,3                         | 73,3                                | 1,6                         |
| 433705,71 | 9133045,99 | 4,14018                                              | 73,6                         | 73,6                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9133045,99 | 3,81717                                              | 72,5                         | 72,5                                | 1,6                         |
| 434690,39 | 9133045,99 | 3,57656                                              | 73,6                         | 73,6                                | 1,6                         |
| 424843,59 | 9133539,87 | 7,6365                                               | 91,2                         | 91,2                                | 1,6                         |
| 425335,93 | 9133539,87 | 7,01384                                              | 84,3                         | 84,3                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9133539,87 | 5,93476                                              | 81,1                         | 109                                 | 1,6                         |
| 426320,61 | 9133539,87 | 5,33569                                              | 80,8                         | 80,8                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9133539,87 | 6,01158                                              | 84,5                         | 84,5                                | 1,6                         |
| 427305,29 | 9133539,87 | 6,89899                                              | 73,5                         | 73,5                                | 1,6                         |
| 427797,63 | 9133539,87 | 7,35341                                              | 72,8                         | 72,8                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9133539,87 | 8,2244                                               | 76,5                         | 76,5                                | 1,6                         |
| 428782,31 | 9133539,87 | 8,67076                                              | 74,3                         | 74,3                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9133539,87 | 7,12597                                              | 80,9                         | 80,9                                | 1,6                         |
| 429766,99 | 9133539,87 | 7,72477                                              | 76,1                         | 76,1                                | 1,6                         |
| 430259,33 | 9133539,87 | 9,42303                                              | 76,4                         | 76,4                                | 1,6                         |
| 430751,67 | 9133539,87 | 8,51154                                              | 80,2                         | 80,2                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9133539,87 | 7,4801                                               | 75,3                         | 75,3                                | 1,6                         |
| 431736,35 | 9133539,87 | 6,55819                                              | 79,8                         | 79,8                                | 1,6                         |
| 432228,69 | 9133539,87 | 5,74013                                              | 73,6                         | 73,6                                | 1,6                         |
| 432721,03 | 9133539,87 | 5,00685                                              | 75,8                         | 75,8                                | 1,6                         |
| 433213,37 | 9133539,87 | 4,63603                                              | 77,9                         | 77,9                                | 1,6                         |
| 433705,71 | 9133539,87 | 4,2521                                               | 72,8                         | 72,8                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9133539,87 | 3,91384                                              | 77,7                         | 77,7                                | 1,6                         |
| 434690,39 | 9133539,87 | 3,57432                                              | 74,3                         | 74,3                                | 1,6                         |
| 424843,59 | 9134033,75 | 7,07843                                              | 80,6                         | 80,6                                | 1,6                         |
| 425335,93 | 9134033,75 | 7,464                                                | 82,3                         | 82,3                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9134033,75 | 7,65566                                              | 94                           | 111                                 | 1,6                         |
| 426320,61 | 9134033,75 | 6,47559                                              | 110,3                        | 110,3                               | 1,6                         |
| 426812,95 | 9134033,75 | 6,08543                                              | 98,5                         | 107                                 | 1,6                         |
| 427305,29 | 9134033,75 | 6,94348                                              | 75                           | 75                                  | 1,6                         |
| 427797,63 | 9134033,75 | 8,15252                                              | 79,5                         | 79,5                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9134033,75 | 9,74433                                              | 80,9                         | 80,9                                | 1,6                         |
| 428782,31 | 9134033,75 | 11,77723                                             | 80,8                         | 80,8                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9134033,75 | 8,68811                                              | 77,9                         | 77,9                                | 1,6                         |
| 429766,99 | 9134033,75 | 8,57209                                              | 78,3                         | 78,3                                | 1,6                         |
| 430259,33 | 9134033,75 | 13,10608                                             | 80,3                         | 80,3                                | 1,6                         |
| 430751,67 | 9134033,75 | 9,98477                                              | 82,4                         | 82,4                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9134033,75 | 8,14976                                              | 78,2                         | 78,2                                | 1,6                         |

| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 431736,35 | 9134033,75 | 6,82984                                              | 79,9                         | 79,9                                | 1,6                         |
| 432228,69 | 9134033,75 | 5,84874                                              | 75,3                         | 75,3                                | 1,6                         |
| 432721,03 | 9134033,75 | 5,27527                                              | 80,2                         | 80,2                                | 1,6                         |
| 433213,37 | 9134033,75 | 4,77073                                              | 80,9                         | 80,9                                | 1,6                         |
| 433705,71 | 9134033,75 | 4,28343                                              | 81,7                         | 81,7                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9134033,75 | 3,94311                                              | 82,2                         | 82,2                                | 1,6                         |
| 434690,39 | 9134033,75 | 3,57902                                              | 79,7                         | 79,7                                | 1,6                         |
| 424843,59 | 9134527,63 | 6,49525                                              | 80,2                         | 80,2                                | 1,6                         |
| 425335,93 | 9134527,63 | 6,70096                                              | 79,4                         | 79,4                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9134527,63 | 7,30318                                              | 86,3                         | 86,3                                | 1,6                         |
| 426320,61 | 9134527,63 | 7,66721                                              | 83,9                         | 83,9                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9134527,63 | 7,62862                                              | 79,6                         | 79,6                                | 1,6                         |
| 427305,29 | 9134527,63 | 7,10689                                              | 82,4                         | 82,4                                | 1,6                         |
| 427797,63 | 9134527,63 | 8,54137                                              | 83,8                         | 83,8                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9134527,63 | 11,2368                                              | 84                           | 84                                  | 1,6                         |
| 428782,31 | 9134527,63 | 20,38746                                             | 83,9                         | 83,9                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9134527,63 | 12,03316                                             | 83,7                         | 83,7                                | 1,6                         |
| 429766,99 | 9134527,63 | 11,24598                                             | 84,4                         | 84,4                                | 1,6                         |
| 430259,33 | 9134527,63 | 25,54464                                             | 84                           | 84                                  | 1,6                         |
| 430751,67 | 9134527,63 | 11,37225                                             | 85,9                         | 85,9                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9134527,63 | 8,53523                                              | 82,9                         | 82,9                                | 1,6                         |
| 431736,35 | 9134527,63 | 7,14014                                              | 84,9                         | 84,9                                | 1,6                         |
| 432228,69 | 9134527,63 | 6,2346                                               | 82,1                         | 82,1                                | 1,6                         |
| 432721,03 | 9134527,63 | 5,42633                                              | 84,8                         | 84,8                                | 1,6                         |
| 433213,37 | 9134527,63 | 4,8292                                               | 83,6                         | 83,6                                | 1,6                         |
| 433705,71 | 9134527,63 | 4,26317                                              | 83,4                         | 83,4                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9134527,63 | 4,0462                                               | 84,9                         | 84,9                                | 1,6                         |
| 434690,39 | 9134527,63 | 3,73433                                              | 82,7                         | 82,7                                | 1,6                         |
| 424843,59 | 9135021,51 | 5,95052                                              | 81,6                         | 81,6                                | 1,6                         |
| 425335,93 | 9135021,51 | 6,38091                                              | 80,2                         | 80,2                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9135021,51 | 6,68476                                              | 87,6                         | 87,6                                | 1,6                         |
| 426320,61 | 9135021,51 | 6,83126                                              | 85,6                         | 85,6                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9135021,51 | 7,21584                                              | 81,8                         | 81,8                                | 1,6                         |
| 427305,29 | 9135021,51 | 7,74918                                              | 81,3                         | 81,3                                | 1,6                         |
| 427797,63 | 9135021,51 | 8,4849                                               | 83,2                         | 83,2                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9135021,51 | 11,2976                                              | 88,5                         | 88,5                                | 1,6                         |
| 428782,31 | 9135021,51 | 33,02859                                             | 85,9                         | 85,9                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9135021,51 | 11,89714                                             | 88,1                         | 88,1                                | 1,6                         |
| 429766,99 | 9135021,51 | 13,57846                                             | 89,9                         | 89,9                                | 1,6                         |
| 430259,33 | 9135021,51 | 51,22574                                             | 85,3                         | 85,3                                | 1,6                         |

| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 430751,67 | 9135021,51 | 12,05989                                             | 88,2                         | 88,2                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9135021,51 | 9,21424                                              | 86,4                         | 86,4                                | 1,6                         |
| 431736,35 | 9135021,51 | 7,75217                                              | 87,3                         | 87,3                                | 1,6                         |
| 432228,69 | 9135021,51 | 6,46521                                              | 87,8                         | 87,8                                | 1,6                         |
| 432721,03 | 9135021,51 | 5,72468                                              | 88,5                         | 88,5                                | 1,6                         |
| 433213,37 | 9135021,51 | 5,0815                                               | 85,9                         | 85,9                                | 1,6                         |
| 433705,71 | 9135021,51 | 4,52231                                              | 88,4                         | 88,4                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9135021,51 | 4,10307                                              | 87,8                         | 87,8                                | 1,6                         |
| 434690,39 | 9135021,51 | 3,73744                                              | 85,6                         | 85,6                                | 1,6                         |
| 424843,59 | 9135515,39 | 3,95891                                              | 85                           | 85                                  | 1,6                         |
| 425335,93 | 9135515,39 | 5,30163                                              | 87,2                         | 87,2                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9135515,39 | 6,51896                                              | 90,6                         | 90,6                                | 1,6                         |
| 426320,61 | 9135515,39 | 6,71403                                              | 89,6                         | 89,6                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9135515,39 | 6,53998                                              | 83,4                         | 83,4                                | 1,6                         |
| 427305,29 | 9135515,39 | 7,24219                                              | 87                           | 87                                  | 1,6                         |
| 427797,63 | 9135515,39 | 8,80834                                              | 83,7                         | 83,7                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9135515,39 | 11,26014                                             | 90,5                         | 90,5                                | 1,6                         |
| 428782,31 | 9135515,39 | 24,12969                                             | 90,2                         | 90,2                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9135515,39 | 12,95181                                             | 90,1                         | 90,1                                | 1,6                         |
| 429766,99 | 9135515,39 | 17,15647                                             | 92,7                         | 92,7                                | 1,6                         |
| 430259,33 | 9135515,39 | 29,83899                                             | 92,1                         | 92,1                                | 1,6                         |
| 430751,67 | 9135515,39 | 14,11856                                             | 93,5                         | 93,5                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9135515,39 | 10,6239                                              | 87,9                         | 87,9                                | 1,6                         |
| 431736,35 | 9135515,39 | 8,72786                                              | 90                           | 90                                  | 1,6                         |
| 432228,69 | 9135515,39 | 7,09446                                              | 91,2                         | 91,2                                | 1,6                         |
| 432721,03 | 9135515,39 | 5,90651                                              | 90,2                         | 90,2                                | 1,6                         |
| 433213,37 | 9135515,39 | 4,89014                                              | 86,3                         | 86,3                                | 1,6                         |
| 433705,71 | 9135515,39 | 4,44933                                              | 91,8                         | 91,8                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9135515,39 | 4,10138                                              | 91,1                         | 91,1                                | 1,6                         |
| 434690,39 | 9135515,39 | 3,79979                                              | 90,1                         | 90,1                                | 1,6                         |
| 424843,59 | 9136009,27 | 3,90885                                              | 93                           | 93                                  | 1,6                         |
| 425335,93 | 9136009,27 | 4,31377                                              | 86,1                         | 86,1                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9136009,27 | 4,83961                                              | 92                           | 92                                  | 1,6                         |
| 426320,61 | 9136009,27 | 5,88099                                              | 88,5                         | 88,5                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9136009,27 | 6,84426                                              | 91,9                         | 91,9                                | 1,6                         |
| 427305,29 | 9136009,27 | 7,72492                                              | 90,7                         | 90,7                                | 1,6                         |
| 427797,63 | 9136009,27 | 9,72546                                              | 92,9                         | 92,9                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9136009,27 | 13,02349                                             | 95                           | 95                                  | 1,6                         |
| 428782,31 | 9136009,27 | 21,91902                                             | 91,5                         | 91,5                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9136009,27 | 19,10792                                             | 94,6                         | 94,6                                | 1,6                         |

| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 429766,99 | 9136009,27 | 30,84365                                             | 94                           | 94                                  | 1,6                         |
| 430259,33 | 9136009,27 | 37,69607                                             | 96,1                         | 96,1                                | 1,6                         |
| 430751,67 | 9136009,27 | 21,48999                                             | 93,6                         | 93,6                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9136009,27 | 12,96445                                             | 94                           | 94                                  | 1,6                         |
| 431736,35 | 9136009,27 | 9,39513                                              | 94                           | 94                                  | 1,6                         |
| 432228,69 | 9136009,27 | 7,4479                                               | 95,6                         | 95,6                                | 1,6                         |
| 432721,03 | 9136009,27 | 6,20987                                              | 93,5                         | 93,5                                | 1,6                         |
| 433213,37 | 9136009,27 | 5,33553                                              | 95,8                         | 95,8                                | 1,6                         |
| 433705,71 | 9136009,27 | 4,68795                                              | 96,3                         | 96,3                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9136009,27 | 4,19523                                              | 95,2                         | 95,2                                | 1,6                         |
| 434690,39 | 9136009,27 | 3,80993                                              | 92                           | 92                                  | 1,6                         |
| 424843,59 | 9136503,15 | 3,95184                                              | 89,1                         | 89,1                                | 1,6                         |
| 425335,93 | 9136503,15 | 4,35375                                              | 90,8                         | 90,8                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9136503,15 | 4,88231                                              | 92,8                         | 92,8                                | 1,6                         |
| 426320,61 | 9136503,15 | 5,56608                                              | 91,3                         | 91,3                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9136503,15 | 6,52426                                              | 93,6                         | 93,6                                | 1,6                         |
| 427305,29 | 9136503,15 | 8,00308                                              | 97,9                         | 97,9                                | 1,6                         |
| 427797,63 | 9136503,15 | 10,447                                               | 93,8                         | 93,8                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9136503,15 | 15,13021                                             | 97,1                         | 97,1                                | 1,6                         |
| 428782,31 | 9136503,15 | 29,26102                                             | 97,4                         | 97,4                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9136503,15 | 17,74153                                             | 95,3                         | 95,3                                | 1,6                         |
| 429766,99 | 9136503,15 | 16,09719                                             | 99,1                         | 99,1                                | 1,6                         |
| 430259,33 | 9136503,15 | 20,15263                                             | 100,5                        | 100,5                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9136503,15 | 18,15818                                             | 98,7                         | 98,7                                | 1,6                         |
| 431244,01 | 9136503,15 | 12,09777                                             | 97,8                         | 97,8                                | 1,6                         |
| 431736,35 | 9136503,15 | 9,06173                                              | 100,3                        | 100,3                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9136503,15 | 7,31175                                              | 97,7                         | 97,7                                | 1,6                         |
| 432721,03 | 9136503,15 | 6,12037                                              | 96,1                         | 96,1                                | 1,6                         |
| 433213,37 | 9136503,15 | 5,32953                                              | 91,7                         | 91,7                                | 1,6                         |
| 433705,71 | 9136503,15 | 4,72666                                              | 98,7                         | 98,7                                | 1,6                         |
| 434198,05 | 9136503,15 | 4,24828                                              | 96,6                         | 96,6                                | 1,6                         |
| 434690,39 | 9136503,15 | 3,85539                                              | 94,4                         | 94,4                                | 1,6                         |
| 424843,59 | 9136997,03 | 3,94899                                              | 96,8                         | 96,8                                | 1,6                         |
| 425335,93 | 9136997,03 | 4,33206                                              | 97,1                         | 97,1                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9136997,03 | 4,95338                                              | 101,2                        | 101,2                               | 1,6                         |
| 426320,61 | 9136997,03 | 5,52357                                              | 96,2                         | 96,2                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9136997,03 | 6,3958                                               | 98,6                         | 98,6                                | 1,6                         |
| 427305,29 | 9136997,03 | 7,89435                                              | 99,8                         | 99,8                                | 1,6                         |
| 427797,63 | 9136997,03 | 9,75096                                              | 99,1                         | 99,1                                | 1,6                         |
| 428289,97 | 9136997,03 | 13,28291                                             | 100,7                        | 100,7                               | 1,6                         |

| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 428782,31 | 9136997,03 | 21,14794                                             | 95,9                         | 95,9                                | 1,6                         |
| 429274,65 | 9136997,03 | 15,47162                                             | 102,2                        | 102,2                               | 1,6                         |
| 429766,99 | 9136997,03 | 8,41793                                              | 103,5                        | 103,5                               | 1,6                         |
| 430259,33 | 9136997,03 | 18,18695                                             | 104,1                        | 104,1                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9136997,03 | 16,66328                                             | 100,5                        | 100,5                               | 1,6                         |
| 431244,01 | 9136997,03 | 12,25246                                             | 105,6                        | 105,6                               | 1,6                         |
| 431736,35 | 9136997,03 | 10,05921                                             | 102,3                        | 102,3                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9136997,03 | 7,87553                                              | 98                           | 98                                  | 1,6                         |
| 432721,03 | 9136997,03 | 6,19719                                              | 103,3                        | 103,3                               | 1,6                         |
| 433213,37 | 9136997,03 | 5,48351                                              | 100,4                        | 100,4                               | 1,6                         |
| 433705,71 | 9136997,03 | 4,81715                                              | 102,3                        | 102,3                               | 1,6                         |
| 434198,05 | 9136997,03 | 4,23135                                              | 100,8                        | 100,8                               | 1,6                         |
| 434690,39 | 9136997,03 | 3,83923                                              | 99,2                         | 99,2                                | 1,6                         |
| 424843,59 | 9137490,91 | 3,86391                                              | 97,2                         | 97,2                                | 1,6                         |
| 425335,93 | 9137490,91 | 4,22616                                              | 99,1                         | 99,1                                | 1,6                         |
| 425828,27 | 9137490,91 | 5,22797                                              | 105,2                        | 105,2                               | 1,6                         |
| 426320,61 | 9137490,91 | 5,63921                                              | 95,9                         | 95,9                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9137490,91 | 6,77126                                              | 98,7                         | 98,7                                | 1,6                         |
| 427305,29 | 9137490,91 | 8,42855                                              | 101,4                        | 101,4                               | 1,6                         |
| 427797,63 | 9137490,91 | 11,35473                                             | 101,5                        | 101,5                               | 1,6                         |
| 428289,97 | 9137490,91 | 17,76138                                             | 104,1                        | 104,1                               | 1,6                         |
| 428782,31 | 9137490,91 | 28,97536                                             | 100,6                        | 100,6                               | 1,6                         |
| 429274,65 | 9137490,91 | 24,46602                                             | 105,1                        | 105,1                               | 1,6                         |
| 429766,99 | 9137490,91 | 25,89316                                             | 107,2                        | 107,2                               | 1,6                         |
| 430259,33 | 9137490,91 | 29,16697                                             | 109,9                        | 109,9                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9137490,91 | 35,50497                                             | 102,6                        | 102,6                               | 1,6                         |
| 431244,01 | 9137490,91 | 18,66178                                             | 109,5                        | 109,5                               | 1,6                         |
| 431736,35 | 9137490,91 | 11,70265                                             | 106,1                        | 106,1                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9137490,91 | 8,48856                                              | 108                          | 108                                 | 1,6                         |
| 432721,03 | 9137490,91 | 6,69927                                              | 105,3                        | 105,3                               | 1,6                         |
| 433213,37 | 9137490,91 | 5,61943                                              | 104,2                        | 104,2                               | 1,6                         |
| 433705,71 | 9137490,91 | 4,88121                                              | 101,9                        | 101,9                               | 1,6                         |
| 434198,05 | 9137490,91 | 4,42759                                              | 107,8                        | 107,8                               | 1,6                         |
| 434690,39 | 9137490,91 | 3,96539                                              | 102,9                        | 102,9                               | 1,6                         |
| 424843,59 | 9137984,79 | 3,81097                                              | 96,6                         | 96,6                                | 1,6                         |
| 425335,93 | 9137984,79 | 4,39252                                              | 103,8                        | 103,8                               | 1,6                         |
| 425828,27 | 9137984,79 | 4,80835                                              | 101,9                        | 101,9                               | 1,6                         |
| 426320,61 | 9137984,79 | 5,64801                                              | 99,7                         | 99,7                                | 1,6                         |
| 426812,95 | 9137984,79 | 6,76192                                              | 105,4                        | 105,4                               | 1,6                         |
| 427305,29 | 9137984,79 | 8,47061                                              | 105,3                        | 105,3                               | 1,6                         |

| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 427797,63 | 9137984,79 | 10,95728                                             | 105,6                        | 105,6                               | 1,6                         |
| 428289,97 | 9137984,79 | 14,78555                                             | 107,9                        | 107,9                               | 1,6                         |
| 428782,31 | 9137984,79 | 20,38435                                             | 108,4                        | 108,4                               | 1,6                         |
| 429274,65 | 9137984,79 | 24,42533                                             | 108,6                        | 108,6                               | 1,6                         |
| 429766,99 | 9137984,79 | 17,19294                                             | 110,7                        | 110,7                               | 1,6                         |
| 430259,33 | 9137984,79 | 22,93438                                             | 115,1                        | 115,1                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9137984,79 | 22,26034                                             | 110,4                        | 110,4                               | 1,6                         |
| 431244,01 | 9137984,79 | 12,7699                                              | 114,4                        | 114,4                               | 1,6                         |
| 431736,35 | 9137984,79 | 10,21463                                             | 109,9                        | 109,9                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9137984,79 | 8,14041                                              | 110,7                        | 110,7                               | 1,6                         |
| 432721,03 | 9137984,79 | 6,80392                                              | 111,6                        | 111,6                               | 1,6                         |
| 433213,37 | 9137984,79 | 5,64705                                              | 111,1                        | 111,1                               | 1,6                         |
| 433705,71 | 9137984,79 | 4,86256                                              | 108                          | 108                                 | 1,6                         |
| 434198,05 | 9137984,79 | 4,41928                                              | 106,6                        | 106,6                               | 1,6                         |
| 434690,39 | 9137984,79 | 4,15418                                              | 109,7                        | 109,7                               | 1,6                         |
| 424843,59 | 9138478,67 | 3,71357                                              | 100,1                        | 100,1                               | 1,6                         |
| 425335,93 | 9138478,67 | 4,60709                                              | 108,5                        | 108,5                               | 1,6                         |
| 425828,27 | 9138478,67 | 5,09533                                              | 109,4                        | 109,4                               | 1,6                         |
| 426320,61 | 9138478,67 | 5,41016                                              | 106,9                        | 106,9                               | 1,6                         |
| 426812,95 | 9138478,67 | 6,24994                                              | 109,5                        | 109,5                               | 1,6                         |
| 427305,29 | 9138478,67 | 7,16508                                              | 108,6                        | 108,6                               | 1,6                         |
| 427797,63 | 9138478,67 | 8,31283                                              | 109,2                        | 109,2                               | 1,6                         |
| 428289,97 | 9138478,67 | 10,35843                                             | 113,7                        | 113,7                               | 1,6                         |
| 428782,31 | 9138478,67 | 13,90319                                             | 113,4                        | 113,4                               | 1,6                         |
| 429274,65 | 9138478,67 | 17,38685                                             | 111,4                        | 111,4                               | 1,6                         |
| 429766,99 | 9138478,67 | 12,99018                                             | 115,5                        | 115,5                               | 1,6                         |
| 430259,33 | 9138478,67 | 17,33018                                             | 117,3                        | 117,3                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9138478,67 | 17,14403                                             | 116                          | 116                                 | 1,6                         |
| 431244,01 | 9138478,67 | 11,51785                                             | 116,5                        | 116,5                               | 1,6                         |
| 431736,35 | 9138478,67 | 8,65653                                              | 114,6                        | 114,6                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9138478,67 | 7,24057                                              | 117,1                        | 117,1                               | 1,6                         |
| 432721,03 | 9138478,67 | 6,40826                                              | 115,2                        | 115,2                               | 1,6                         |
| 433213,37 | 9138478,67 | 5,52676                                              | 114,4                        | 114,4                               | 1,6                         |
| 433705,71 | 9138478,67 | 5,09587                                              | 115,4                        | 115,4                               | 1,6                         |
| 434198,05 | 9138478,67 | 4,60733                                              | 116                          | 116                                 | 1,6                         |
| 434690,39 | 9138478,67 | 4,16435                                              | 112,5                        | 112,5                               | 1,6                         |
| 424843,59 | 9138972,55 | 4,17072                                              | 109,5                        | 109,5                               | 1,6                         |
| 425335,93 | 9138972,55 | 4,32476                                              | 110,7                        | 110,7                               | 1,6                         |
| 425828,27 | 9138972,55 | 4,76496                                              | 109,4                        | 109,4                               | 1,6                         |
| 426320,61 | 9138972,55 | 5,1908                                               | 111,1                        | 111,1                               | 1,6                         |

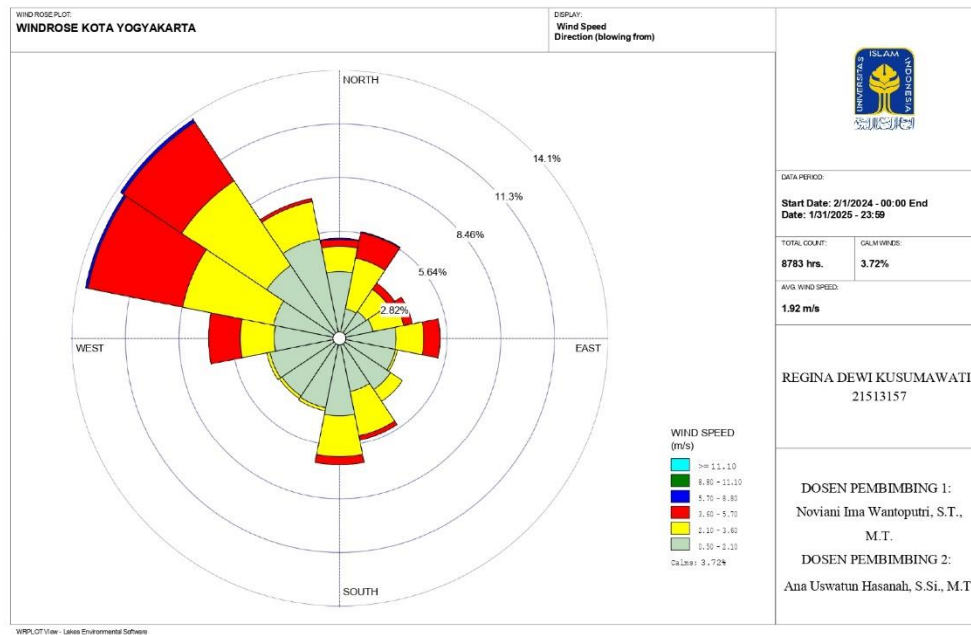
| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 426812,95 | 9138972,55 | 5,73465                                              | 111,3                        | 111,3                               | 1,6                         |
| 427305,29 | 9138972,55 | 6,30897                                              | 109,8                        | 109,8                               | 1,6                         |
| 427797,63 | 9138972,55 | 7,49402                                              | 112,8                        | 112,8                               | 1,6                         |
| 428289,97 | 9138972,55 | 9,31741                                              | 114,3                        | 114,3                               | 1,6                         |
| 428782,31 | 9138972,55 | 11,36351                                             | 116                          | 116                                 | 1,6                         |
| 429274,65 | 9138972,55 | 13,65078                                             | 114,2                        | 114,2                               | 1,6                         |
| 429766,99 | 9138972,55 | 11,11165                                             | 118,5                        | 118,5                               | 1,6                         |
| 430259,33 | 9138972,55 | 12,6196                                              | 114,1                        | 114,1                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9138972,55 | 13,98904                                             | 119,2                        | 119,2                               | 1,6                         |
| 431244,01 | 9138972,55 | 10,58807                                             | 120                          | 120                                 | 1,6                         |
| 431736,35 | 9138972,55 | 8,54101                                              | 120,8                        | 120,8                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9138972,55 | 7,09351                                              | 122,4                        | 122,4                               | 1,6                         |
| 432721,03 | 9138972,55 | 5,94768                                              | 118,3                        | 118,3                               | 1,6                         |
| 433213,37 | 9138972,55 | 5,2668                                               | 118,1                        | 118,1                               | 1,6                         |
| 433705,71 | 9138972,55 | 4,87523                                              | 119,2                        | 119,2                               | 1,6                         |
| 434198,05 | 9138972,55 | 4,56719                                              | 121                          | 121                                 | 1,6                         |
| 434690,39 | 9138972,55 | 4,14322                                              | 117,8                        | 117,8                               | 1,6                         |
| 424843,59 | 9139466,43 | 4,10769                                              | 115,9                        | 115,9                               | 1,6                         |
| 425335,93 | 9139466,43 | 4,31179                                              | 116,5                        | 116,5                               | 1,6                         |
| 425828,27 | 9139466,43 | 4,55537                                              | 108,1                        | 108,1                               | 1,6                         |
| 426320,61 | 9139466,43 | 5,01807                                              | 114                          | 114                                 | 1,6                         |
| 426812,95 | 9139466,43 | 5,39837                                              | 119,6                        | 119,6                               | 1,6                         |
| 427305,29 | 9139466,43 | 6,16251                                              | 114,1                        | 114,1                               | 1,6                         |
| 427797,63 | 9139466,43 | 7,18899                                              | 115,6                        | 115,6                               | 1,6                         |
| 428289,97 | 9139466,43 | 8,20498                                              | 117,4                        | 117,4                               | 1,6                         |
| 428782,31 | 9139466,43 | 9,80425                                              | 118,9                        | 118,9                               | 1,6                         |
| 429274,65 | 9139466,43 | 11,76423                                             | 122,7                        | 122,7                               | 1,6                         |
| 429766,99 | 9139466,43 | 9,99445                                              | 121,8                        | 121,8                               | 1,6                         |
| 430259,33 | 9139466,43 | 11,01505                                             | 122,1                        | 122,1                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9139466,43 | 11,26261                                             | 123,2                        | 123,2                               | 1,6                         |
| 431244,01 | 9139466,43 | 9,47013                                              | 125,7                        | 125,7                               | 1,6                         |
| 431736,35 | 9139466,43 | 7,98382                                              | 123,9                        | 123,9                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9139466,43 | 7,07356                                              | 127,8                        | 127,8                               | 1,6                         |
| 432721,03 | 9139466,43 | 6,14879                                              | 123,4                        | 123,4                               | 1,6                         |
| 433213,37 | 9139466,43 | 5,26073                                              | 127,8                        | 127,8                               | 1,6                         |
| 433705,71 | 9139466,43 | 4,80118                                              | 123,7                        | 123,7                               | 1,6                         |
| 434198,05 | 9139466,43 | 4,42459                                              | 124,6                        | 124,6                               | 1,6                         |
| 434690,39 | 9139466,43 | 4,13724                                              | 127                          | 127                                 | 1,6                         |
| 424843,59 | 9139960,31 | 4,00291                                              | 119                          | 119                                 | 1,6                         |
| 425335,93 | 9139960,31 | 4,19468                                              | 121                          | 121                                 | 1,6                         |

| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 425828,27 | 9139960,31 | 4,52927                                              | 111,1                        | 111,1                               | 1,6                         |
| 426320,61 | 9139960,31 | 4,84364                                              | 122,1                        | 122,1                               | 1,6                         |
| 426812,95 | 9139960,31 | 5,22368                                              | 120,8                        | 120,8                               | 1,6                         |
| 427305,29 | 9139960,31 | 6,13951                                              | 118                          | 118                                 | 1,6                         |
| 427797,63 | 9139960,31 | 7,00497                                              | 120,7                        | 120,7                               | 1,6                         |
| 428289,97 | 9139960,31 | 7,52703                                              | 124,1                        | 124,1                               | 1,6                         |
| 428782,31 | 9139960,31 | 8,83504                                              | 124,9                        | 124,9                               | 1,6                         |
| 429274,65 | 9139960,31 | 9,10629                                              | 123,4                        | 123,4                               | 1,6                         |
| 429766,99 | 9139960,31 | 9,20911                                              | 126,1                        | 126,1                               | 1,6                         |
| 430259,33 | 9139960,31 | 9,66284                                              | 128,9                        | 128,9                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9139960,31 | 10,20372                                             | 127,3                        | 127,3                               | 1,6                         |
| 431244,01 | 9139960,31 | 8,54115                                              | 131,7                        | 131,7                               | 1,6                         |
| 431736,35 | 9139960,31 | 7,44826                                              | 127,1                        | 127,1                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9139960,31 | 6,70551                                              | 130,7                        | 130,7                               | 1,6                         |
| 432721,03 | 9139960,31 | 6,0719                                               | 133                          | 133                                 | 1,6                         |
| 433213,37 | 9139960,31 | 5,41938                                              | 129,8                        | 129,8                               | 1,6                         |
| 433705,71 | 9139960,31 | 4,89649                                              | 122,8                        | 122,8                               | 1,6                         |
| 434198,05 | 9139960,31 | 4,41326                                              | 129,8                        | 129,8                               | 1,6                         |
| 434690,39 | 9139960,31 | 4,06727                                              | 128,5                        | 128,5                               | 1,6                         |
| 424843,59 | 9140454,19 | 3,83709                                              | 119,4                        | 119,4                               | 1,6                         |
| 425335,93 | 9140454,19 | 4,11065                                              | 121,3                        | 121,3                               | 1,6                         |
| 425828,27 | 9140454,19 | 4,40966                                              | 125,8                        | 125,8                               | 1,6                         |
| 426320,61 | 9140454,19 | 4,65164                                              | 123,7                        | 123,7                               | 1,6                         |
| 426812,95 | 9140454,19 | 5,33993                                              | 123,5                        | 123,5                               | 1,6                         |
| 427305,29 | 9140454,19 | 5,84843                                              | 119,9                        | 119,9                               | 1,6                         |
| 427797,63 | 9140454,19 | 7,55045                                              | 128,7                        | 128,7                               | 1,6                         |
| 428289,97 | 9140454,19 | 7,10087                                              | 129                          | 129                                 | 1,6                         |
| 428782,31 | 9140454,19 | 7,82783                                              | 129,1                        | 129,1                               | 1,6                         |
| 429274,65 | 9140454,19 | 7,76231                                              | 128,1                        | 128,1                               | 1,6                         |
| 429766,99 | 9140454,19 | 8,28401                                              | 131,3                        | 131,3                               | 1,6                         |
| 430259,33 | 9140454,19 | 8,56994                                              | 133,2                        | 133,2                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9140454,19 | 9,04973                                              | 133,2                        | 133,2                               | 1,6                         |
| 431244,01 | 9140454,19 | 7,73573                                              | 135,4                        | 135,4                               | 1,6                         |
| 431736,35 | 9140454,19 | 6,71908                                              | 129,3                        | 129,3                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9140454,19 | 6,16403                                              | 137,2                        | 137,2                               | 1,6                         |
| 432721,03 | 9140454,19 | 5,64265                                              | 139,2                        | 139,2                               | 1,6                         |
| 433213,37 | 9140454,19 | 5,39307                                              | 135                          | 135                                 | 1,6                         |
| 433705,71 | 9140454,19 | 4,89222                                              | 130,8                        | 130,8                               | 1,6                         |
| 434198,05 | 9140454,19 | 4,43475                                              | 133,7                        | 133,7                               | 1,6                         |
| 434690,39 | 9140454,19 | 4,0932                                               | 133,9                        | 133,9                               | 1,6                         |

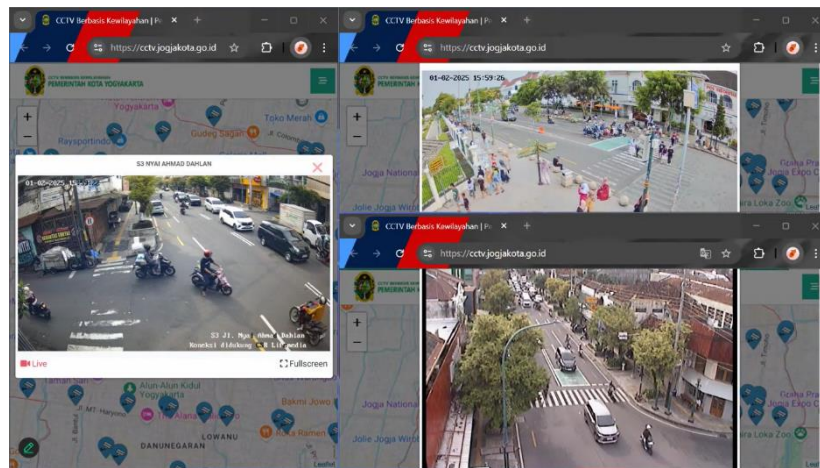
| <b>X</b>  | <b>Y</b>   | <b>Concentration<br/>(AVERAGE<br/>CONC) [ug/m^3]</b> | <b>Elevation<br/>(ZELEV)</b> | <b>Hill<br/>Heights<br/>(ZHILL)</b> | <b>Flagpole<br/>(ZFLAG)</b> |
|-----------|------------|------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 424843,59 | 9140948,07 | 3,7835                                               | 123,9                        | 123,9                               | 1,6                         |
| 425335,93 | 9140948,07 | 4,02957                                              | 132                          | 132                                 | 1,6                         |
| 425828,27 | 9140948,07 | 4,20625                                              | 129,4                        | 129,4                               | 1,6                         |
| 426320,61 | 9140948,07 | 4,65423                                              | 131,3                        | 131,3                               | 1,6                         |
| 426812,95 | 9140948,07 | 4,96008                                              | 129,8                        | 129,8                               | 1,6                         |
| 427305,29 | 9140948,07 | 6,10789                                              | 128,9                        | 128,9                               | 1,6                         |
| 427797,63 | 9140948,07 | 7,50665                                              | 132,8                        | 132,8                               | 1,6                         |
| 428289,97 | 9140948,07 | 6,97367                                              | 130                          | 130                                 | 1,6                         |
| 428782,31 | 9140948,07 | 6,92593                                              | 132,9                        | 132,9                               | 1,6                         |
| 429274,65 | 9140948,07 | 7,15958                                              | 133,1                        | 133,1                               | 1,6                         |
| 429766,99 | 9140948,07 | 7,47617                                              | 136,4                        | 136,4                               | 1,6                         |
| 430259,33 | 9140948,07 | 7,63964                                              | 135,6                        | 135,6                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9140948,07 | 7,71955                                              | 137,3                        | 137,3                               | 1,6                         |
| 431244,01 | 9140948,07 | 7,25827                                              | 139,6                        | 139,6                               | 1,6                         |
| 431736,35 | 9140948,07 | 6,39398                                              | 141,4                        | 141,4                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9140948,07 | 5,83415                                              | 140                          | 140                                 | 1,6                         |
| 432721,03 | 9140948,07 | 5,32397                                              | 142,8                        | 142,8                               | 1,6                         |
| 433213,37 | 9140948,07 | 5,14653                                              | 134,8                        | 134,8                               | 1,6                         |
| 433705,71 | 9140948,07 | 4,8738                                               | 136,9                        | 136,9                               | 1,6                         |
| 434198,05 | 9140948,07 | 4,44948                                              | 136,7                        | 136,7                               | 1,6                         |
| 434690,39 | 9140948,07 | 4,03927                                              | 142,5                        | 142,5                               | 1,6                         |
| 424843,59 | 9141441,95 | 3,73473                                              | 131                          | 131                                 | 1,6                         |
| 425335,93 | 9141441,95 | 3,85715                                              | 133,8                        | 133,8                               | 1,6                         |
| 425828,27 | 9141441,95 | 4,1478                                               | 129,9                        | 129,9                               | 1,6                         |
| 426320,61 | 9141441,95 | 4,574                                                | 133,8                        | 133,8                               | 1,6                         |
| 426812,95 | 9141441,95 | 4,96593                                              | 131,5                        | 131,5                               | 1,6                         |
| 427305,29 | 9141441,95 | 6,90367                                              | 133,8                        | 133,8                               | 1,6                         |
| 427797,63 | 9141441,95 | 7,24433                                              | 133,2                        | 133,2                               | 1,6                         |
| 428289,97 | 9141441,95 | 6,79037                                              | 135,8                        | 135,8                               | 1,6                         |
| 428782,31 | 9141441,95 | 6,27515                                              | 137,9                        | 137,9                               | 1,6                         |
| 429274,65 | 9141441,95 | 6,63009                                              | 139,7                        | 139,7                               | 1,6                         |
| 429766,99 | 9141441,95 | 6,81687                                              | 139                          | 139                                 | 1,6                         |
| 430259,33 | 9141441,95 | 6,9412                                               | 141,8                        | 141,8                               | 1,6                         |
| 430751,67 | 9141441,95 | 6,5592                                               | 135,1                        | 135,1                               | 1,6                         |
| 431244,01 | 9141441,95 | 6,54859                                              | 147,5                        | 147,5                               | 1,6                         |
| 431736,35 | 9141441,95 | 5,80333                                              | 147,8                        | 147,8                               | 1,6                         |
| 432228,69 | 9141441,95 | 5,38926                                              | 143,9                        | 143,9                               | 1,6                         |
| 432721,03 | 9141441,95 | 4,99933                                              | 148,8                        | 148,8                               | 1,6                         |
| 433213,37 | 9141441,95 | 4,88225                                              | 146,7                        | 146,7                               | 1,6                         |
| 433705,71 | 9141441,95 | 4,57282                                              | 146,3                        | 146,3                               | 1,6                         |



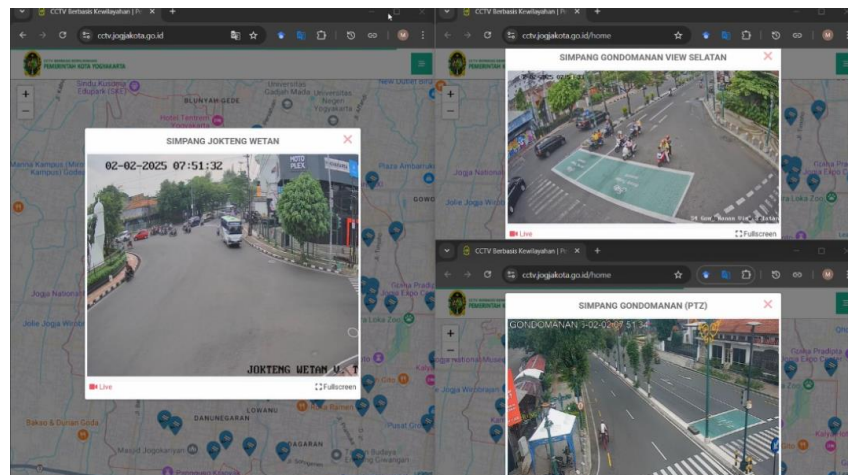
## Lampiran 6 Windrose Kota Yogyakarta



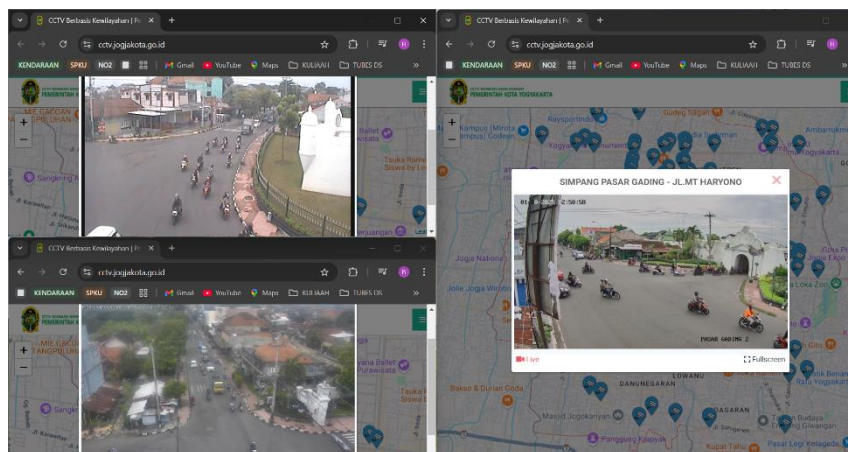
## Lampiran 7 CCTV Kota Yogyakarta



**Gambar 1** CCTV Ahmad Dahlan, CCTV Titik Nol, dan CCTV Simpang Gondomanan



**Gambar 2** CCTV Gondomanan, Gondomanan View Selatan, dan Jekteng Wetan



**Gambar 3** CCTV Pasar Gading, CCTV Tamansari, dan CCTV Jekteng Kulon

### Lampiran 8 Dokumentasi



**Gambar 4** Impinger



**Gambar 5** Spektrofotometer



**Gambar 6** Pengukuran di lapangan



**Gambar 7** Pengujian Sampel di Laboratorium

### **RIWAYAT HIDUP**



Regina Dewi Kusumawati lahir di Berau pada tanggal 28 November 2002. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Kusno dan Ibu Supriati. Penulis menempuh Sekolah Menengah Pertama di SMPIT Ash-Shohswah masuk pada tahun 2015 dan lulus pada tahun 2018, pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Berau dan lulus pada tahun 2021, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang lebih tinggi di Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan di Universitas Islam Indonesia melalui jalur prestasi.

Penulis telah berhasil menyelesaikan tugas akhir yang telah diberikan dengan kerja keras dan semangat tinggi. Melalui tugas akhir ini penulis berharap dapat memberikan manfaat dan kontribusi yang baik terhadap lingkungan luar, terutama pada bidang Teknik Lingkungan.