

TA/TL/2025/2095



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS SEBARAN POLUTAN KEBAUAN H_2S DARI IPAL SEWON MENGGUNAKAN MODEL APLIKASI *AERMOD*

Bagas Prabadewandaru Basuki

20513219

Dosen Pembimbing:

Dr.Eng. Ir. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., I.P.M.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Universitas Islam Indonesia

2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF H_2S ODOR POLLUTANTS FROM SEWON WWTP USING *AERMOD* APPLICATION MODEL

Bagas Prabadewandaru Basuki

20513219

Supervisor:

Dr.Eng. Ir. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., I.P.M.

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS SEBARAN POLUTAN KEBAUAN H₂S DARI IPAL SEWON
MENGUNAKAN MODEL APLIKASI 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.

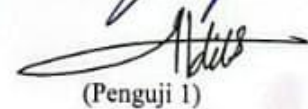
**Bagas Prabadewandaru Basuki
20513219**

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 4 Desember 2025 dan disetujui oleh:

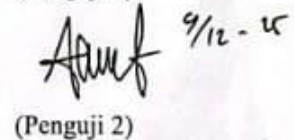
Dr.Eng. Ir. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., I.P.M.

 8/12-25
(Pembimbing)

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.


(Penguji 1)

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

 9/12-25
(Penguji 2)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana


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



PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*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, 4 Desember 2025

Yang membuat pernyataan,



Bagas Prabadewandaru Basuki

20513219

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatulahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan nikmat kesehatan, keimanan, serta petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul “ANALISIS SEBARAN POLUTAN KEBAUAN H₂S DARI IPAL SEWON MENGGUNAKAN MODEL APLIKASI AERMOD”. Penyusunan laporan ini merupakan salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dengan izin Allah dan berkat bantuan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak, penyusunan laporan ini dapat berjalan lancar, ditambah “Kepala yang Batu” penulis untuk segera menyelesaikan. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan permohonan maaf kepada pihak-pihak berikut:

1. Kedua orang tua penulis Ayah dan Bunda yang senantiasa membimbing anak anaknya hingga mencapai titik saat ini. Bunda yang selalu “Bawel” atas apapun yang penulis lakukan. Ayah yang senantiasa mengajari, menegur, dan berdiskusi atas segala hal. Semoga hal hal baik selalu menyertai kalian.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., I.P.M. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan waktunya untuk direpoti untuk membimbing, memberi arahan dan masukan untuk penulis.
3. Bapak Joni Aldilla Fajri, Dr., S.T., M.Eng. dan Ibu Ana Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji 1 dan 2 Tugas Akhir yang turut memberikan masukan dan arahan untuk menjadikan penelitian ini menjadi lebih baik.
4. Rekan alumni SMA N 4 Kota Cirebon yang tanpa sadar telah banyak memberikan pengalaman berarti, dan menjadi bekal dasar penulis dari awal pertemuan hingga saat ini. Semoga hal hal baik selalu menyertai kalian.

5. Salman Sudiro yang mau direpoti atas pertanyaan dan kebingungan penulis sejak pertama kali berpartner dalam KP hingga saat penelitian ini disusun. Semoga hal hal baik selalu menyertaimu.
6. Fardi, Atuy, Ateg, Saipal, Lupis, Bung Dzul, Aiko, Ismet, dan teman TL UII 20 Demis Penghuni Kos Zephia, yang telah bersedia menjadi teman dan selalu direpoti oleh penulis, selama berkuliah di kampus ini. Tak lupa teman-teman Angkatan 2020 Program Studi Teknik Lingkungan. Semoga hal hal baik selalu menyertai kalian, sampai bertemu di lain waktu.
7. Penggalan lirik lagu Perunggu yang menjadi pengingat, *“...Ku perlu hadapi. Tak lagi harus mencari. Yang kerap alihkan perhatian. Kiat tuk melupa tanggungan...”*
8. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Maka, dengan berbesar hati, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik maupun saran yang membangun demi kemajuan penulis dan kelayakan laporan tugas akhir ini. Penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan, kekhilafan, dan keterbatasan yang ada dalam penelitian ini. Semoga laporan tugas akhir ini memberikan manfaat bagi kita semua. Aamiin. Wassalamualaikum Warrahmatulahi Wabarakatuh

Sleman, 14 Mei 2024

Penulis,

Bagas Prabadewandaru Basuki

NIM : 20513219

ANALISIS SEBARAN POLUTAN KEBAUAN H_2S DARI IPAL SEWON MENGGUNAKAN MODEL APLIKASI *AERMOD*

Mahasiswa : Bagas Prabadewandaru Basuki
NIM : 20513219
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Dr.Eng. Ir. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., I.P.M.

Abstrak

BAGAS P.B. Analisis Sebaran Polutan Kebauan H_2S dari IPAL Sewon Menggunakan Model Aplikasi *AERMOD*. Dibimbing oleh Dr.Eng. Ir. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., I.P.M.

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sewon melayani Kawasan Perkotaan Yogyakarta dan berpotensi menghasilkan dampak kebauan, khususnya gas hidrogen sulfida (H_2S) yang terbentuk dari proses biologis pada beberapa unit pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi kebauan H_2S berdasarkan pengukuran lapangan serta memetakan persebarannya menggunakan model dispersi *AERMOD* berbasis *Gaussian Plume*. Pengukuran dilakukan pada 54 titik menggunakan H_2S *Gas Analyzer* dan hasilnya digunakan untuk menghitung laju emisi sebagai input pemodelan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai konsentrasi H_2S tertinggi berada pada SDB saat siang hari (0,067 ppm), serta terdapat peningkatan konsentrasi pada area kolam. Sementara persentase penyumbang kebauan terbesar berasal dari *Pre-Treatment* saat sore hari (33%). Hasil pemodelan *AERMOD* menunjukkan konsentrasi yang cenderung lebih tinggi dibandingkan pengukuran lapangan, dengan beberapa nilai melebihi ambang batas 0,02 ppm serta jangkauan sebaran mencapai ± 7 km pada periode 1 jam dengan arah dominan barat laut. Validasi menggunakan RMSE menunjukkan kecenderungan model *over predicted*. Temuan ini mengindikasikan adanya potensi risiko kebauan signifikan di sekitar IPAL Sewon, terutama ketika instalasi beroperasi pada kapasitas puncak.

Kata kunci: *AERMOD*, H_2S , IPAL Sewon, Kebauan, Pemodelan Dispersi.

**ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF H₂S ODOR POLLUTANTS
FROM SEWON WWTP USING AERMOD APPLICATION
MODEL**

Student : Bagas Prabadewandaru Basuki
Student Number : 20513219
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Dr.Eng. Ir. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., I.P.M.

Abstract

The Sewon Wastewater Treatment Plant (WWTP) serves the Yogyakarta Urban Area and has the potential to generate odor impacts, particularly hydrogen sulfide (H₂S) gas produced from biological processes in several treatment units. This study aims to analyze H₂S odor concentrations based on field measurements and to map their dispersion using the AERMOD dispersion model with a Gaussian Plume approach. Measurements were conducted at 54 points using an H₂S Gas Analyzer, and the results were used to calculate emission rates as modeling inputs. Field measurements showed that the highest H₂S concentration occurred at the Sludge Drying Bed (SDB) during the daytime (0.067 ppm), with an observable increase in concentrations around the pond area. Meanwhile, the highest contribution to odor emissions originated from the Pre-Treatment unit in the afternoon (33%). AERMOD modeling results indicated concentrations generally higher than the field measurements, with several values exceeding the 0.02 ppm threshold and a dispersion range reaching ±7 km for the 1-hour period with a dominant northwest direction. Validation using RMSE showed a tendency for the model to overpredict. These findings indicate a potential risk of significant odor impacts around the Sewon WWTP, particularly when the installation operates at peak capacity.

Key words: AERMOD, Dispersion Modelling, H₂S, Odor, Sewon WWTP.

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
Abstrak.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 IPAL Sewon.....	6
2.2 Hidrogen Sulfida (H ₂ S).....	8
2.2.1 Karakteristik Hidrogen Sulfida (H ₂ S).....	8
2.2.2 Sumber Gas Hidrogen Sulfida (H ₂ S).....	9
2.2.3 Faktor Meteorologi.....	10
2.2.4 Dampak Gas Hidrogen Sulfida Terhadap Kesehatan dan Lingkungan Sekitar.....	11
2.3 H ₂ S <i>Gas Analyzer</i>	12
2.4 <i>AERMOD View</i>	14
2.5 Penelitian Terdahulu.....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	20
3.1 Tahap Penelitian.....	20
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	21
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	23
3.4 Pemodelan Kebauan.....	25
3.4.1 Visualisasi Data Hasil Pengukuran Menggunakan QGIS.....	25
3.4.2 Pemodelan Sebaran Kebauan Menggunakan AERMOD.....	26
3.4.2.1 Perhitungan Nilai Laju Emisi.....	27
3.5 Uji Validasi Model.....	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Sistem Pengolahan IPAL Sewon.....	30
4.2 Konsentrasi Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	35
4.2.1 Nilai Rata Rata Konsentrasi Kebauan H ₂ S	37
4.2.2 Nilai Maksimum Konsentrasi Kebauan H ₂ S.....	39
4.3 Persentase Sumber Kebauan.....	40
4.3.1 Persentase Sumber Kebauan Berdasarkan Nilai Rata Rata	40
4.3.2 Persentase Sumber Kebauan Berdasarkan Nilai Maksimum.....	41
4.4 Peta Konsentrasi Kebauan H ₂ S	42
4.4.1 Pemodelan Menggunakan QGIS	42
4.4.2 Pemodelan Menggunakan AERMOD	49
4.5 Uji Validasi Model H ₂ S.....	57
BAB V PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Konsentrasi Hidrogen Sulfida dan Dampaknya Terhadap Kesehatan	12
Tabel 2. 2 Daftar Penelitian Terdahulu	17
Tabel 3. 1 Rentang Waktu Pengambilan Sampel Masing Masing Sesi	22
Tabel 4. 1 Tabel Kondisi Eksisting IPAL Sewon	30
Tabel 4. 2 Data Sample Lapangan.....	42
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Laju Emisi H ₂ S	50
Tabel 4. 4 Uji Validasi Model RMSE Berdasarkan Nilai Observasi Rata Rata.....	57
Tabel 4. 5 Uji Validasi Model RMSE Berdasarkan Nilai Observasi Minimum.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Alur Kerangka Berpikir Penelitian	3
Gambar 2. 1 Skema Sistem Operasi IPAL Sewon	7
Gambar 2. 2 Skema Proses IPLT	8
Gambar 2. 3 Gas Analyzer Merek Bosean BH90A H ₂ S	13
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	20
Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sample	22
Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan sub-program AERMOD, AERMET, dan AERMAP.....	27
Gambar 3. 4 Diagram Alir Perhitungan Laju Emisi.....	28
Gambar 4. 1 Siteplan IPAL Sewon	31
Gambar 4. 2 Peta Pembagian Sumber Potensi Kebauan	37
Gambar 4. 3 Nilai Rata Rata Konsentrasi Kebauan H ₂ S.....	38
Gambar 4. 4 Nilai Maksimum Konsentrasi Kebauan H ₂ S	39
Gambar 4. 5 Persentase Sumber Kebauan Nilai Rata Rata	40
Gambar 4. 6 Persentase Sumber Kebauan Nilai Maksimum	41
Gambar 4. 7 Peta Konsentrasi Kebauan H ₂ S IPAL Sewon Pagi Hari.....	45
Gambar 4. 8 Peta Konsentrasi Kebauan H ₂ S IPAL Sewon Siang Hari.....	46
Gambar 4. 9 Peta Konsentrasi Kebauan H ₂ S IPAL Sewon Sore Hari	47
Gambar 4. 10 <i>Windrose blowing to</i>	51
Gambar 4. 11 Distribusi Frekuensi Kelas Angin	52
Gambar 4. 12 Hasil Pemodelan H ₂ S 1 Jam	53
Gambar 4. 13 Hasil Pemodelan H ₂ S 24 Jam	54
Gambar 4. 14 Hasil Pemodelan H ₂ S <i>Period</i>	56
Gambar 4. 15 Grafik Uji Validasi Model RMSE Berdasarkan Nilai Rata Rata.....	58
Gambar 4. 16 Grafik Uji Validasi Model Berdasarkan Nilai Minimum.....	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, pertumbuhan penduduk Indonesia yang semakin cepat mengakibatkan fasilitas sanitasi menjadi hal yang penting pengadaannya, dan IPAL adalah salah satu fasilitas penunjang sanitasi yang perlu mendapatkan perhatian lebih intensif. Menurut Hidayat, F. R. (2023), IPAL atau Instalasi Pengolahan Air Limbah merujuk pada seperangkat struktur, teknik, dan peralatan yang dibuat untuk memproses serta mengelola limbah sehingga sampah tersebut bisa dibuang ke lingkungan tanpa dampak merugikan. Selain itu, berdasarkan PERMENLHK No.102 Tahun 2018 mendefinisikan IPAL sebagai sebuah infrastruktur yang dirancang untuk mengelola Air Limbah secara fisika, kimia dan/atau biologi sehingga memenuhi Baku Mutu Air Limbah.

Di Indonesia, sudah banyak instalasi air limbah yang dibangun, salah satunya adalah IPAL Sewon. IPAL Sewon terletak di Kel. Pendowoharjo, Kec.Sewon, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Dipilihnya IPAL Sewon atau sekarang dikenal dengan nama BALAI PIALAM, karena untuk saat ini, IPAL Sewon adalah IPAL komunal terbesar yang berada di DIY. Dengan kapasitas desain sebesar 14.000 m³/hari, IPAL ini menggunakan sistem jaringan pipa terpusat yang mencakup Kota Yogyakarta bagian selatan, sebagian Kabupaten Bantul, dan perbatasan wilayah Kabupaten Sleman.

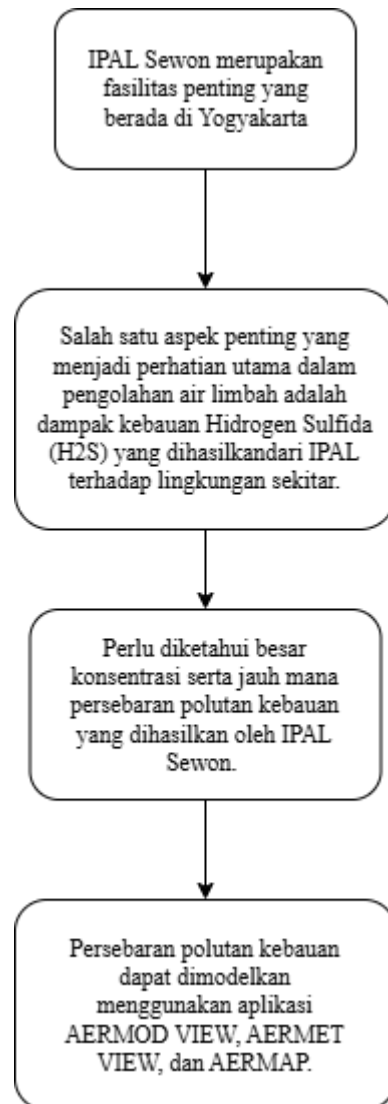
Unit pengolahan yang terdapat di IPAL Sewon adalah *grit chamber*, kolam ekualisasi, kolam maturasi, kolam *sequencing batch reactor*, *sludge drying bed*, dan terakhir bak klorinasi. Dalam proses pengolahan air limbah, terutama pada unit-unit yang berlangsung secara anaerob, terdapat pembentukan gas yang dihasilkan dari reaksi anaerob, salah satunya adalah hidrogen sulfida (H₂S), selain itu CO₂, CH₄, dan NH₃ adalah gas yang muncul akibat reaksi tersebut (Tchobanoglous et al., 1993). Gas ini seringkali terlepas ke udara secara tidak terkendali dan menjadi sumber utama kebauan di sekitar instalasi pengolahan air limbah. Dalam hal ini, kolam maturasi adalah salah satu unit pengolahan yang memiliki potensi sumber H₂S.

H₂S atau Hidrogen Sulfida adalah suatu gas pencemar yang memiliki karakteristik bau khas “telur busuk”, tidak berwarna, sangat beracun, dan mudah terbakar. Gas ini dapat menyebabkan dampak yang buruk bagi kesehatan (ATSDR, 2000). Pada berbagai tingkat konsentrasi, hidrogen sulfida dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Dalam konsentrasi yang cukup banyak, H₂S dapat menjadi salah satu substansi yang dapat menyebabkan polusi udara. Pada kadar sekitar 2,8 mg/m³, gas ini dapat memperburuk gangguan pernapasan pada penderita asma. Konsentrasi 5,0 mg/m³ berpotensi menimbulkan iritasi pada mata. Jika kadarnya meningkat menjadi 7–14 mg/m³, terjadi peningkatan kadar laktat dalam darah disertai penurunan kemampuan penyerapan oksigen. Pada rentang 5–29 mg/m³, paparan gas ini dapat menyebabkan iritasi mata lebih lanjut. Ketika konsentrasi mencapai 28 mg/m³, gejala seperti kelelahan, hilangnya nafsu makan, dan sakit kepala mulai muncul. Pada paparan lebih dari 140 mg/m³, indra penciuman dapat mengalami kelumpuhan. Konsentrasi melebihi 560 mg/m³ menimbulkan gangguan serius pada sistem pernapasan, dan pada paparan setidaknya 700 mg/m³ berisiko menyebabkan kematian (WHO, 2003).

Menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021, pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu udara ambien yang telah ditetapkan. Sementara itu, Setiap substansi yang bukan merupakan bagian dari komposisi udara normal disebut polutan (Chandra, 2007; Fadila, 2021).

Dengan mempertimbangkan potensi risiko kesehatan dan gangguan lingkungan akibat paparan H₂S, diperlukan pemetaan yang lebih detail mengenai pola penyebarannya. Oleh karena itu, pemodelan menggunakan AERMOD dipilih sebagai metode untuk memprediksi distribusi kebauan H₂S di area penelitian. Mengingat lokasi IPAL Sewon yang berada ditengah tengah kota dan populasi manusia yang makin meningkat ini, maka dilakukan penelitian mengenai pemetaan penyebaran konsentrasi polutan yang berfokus pada parameter H₂S. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan peta penyebaran polutan menggunakan Aplikasi AERMOD. Salah satu alasan aplikasi ini dipilih karena dikembangkan oleh AERMIC *American Meteorological Society* (AMS), jarang

digunakan di Indonesia (Erwin, 2016). Berikut adalah skema kerangka berpikir yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. 1 Alur Kerangka Berpikir Penelitian

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Jumlah besaran konsentrasi polutan kebauan H_2S yang dihasilkan oleh IPAL Sewon.
2. Jarak luasan persebaran polutan kebauan H_2S yang dihasilkan IPAL oleh Sewon.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis besar konsentrasi polutan kebauan H₂S yang dihasilkan oleh IPAL Sewon berdasarkan pengukuran lapangan dan pemodelan menggunakan model aplikasi AERMOD.
2. Menganalisis seberapa jauh persebaran polutan kebauan H₂S yang dihasilkan oleh IPAL Sewon menggunakan model aplikasi AERMOD.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai besaran gas Hidrogen Sulfida (H₂S) di area IPAL Sewon berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 50 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebauan
2. Memberikan informasi mengenai sumber penyebab pencemaran gas Hidrogen Sulfida (H₂S) yang ada di IPAL Sewon.
3. Sebagai bahan evaluasi dan pencegahan bagi masyarakat, instansi, serta pemerintah mengenai pencemaran udara jika kadar gas Hidrogen Sulfida (H₂S) berada di atas baku mutu yang telah ditentukan oleh pemerintah.
4. Sebagai bahan pembelajaran bagi peneliti dalam menambah pengetahuan dan pengalaman berharga di masa yang akan datang serta sebagai bahan masukan bagi peneliti selanjutnya. Sebagai bahan pembelajaran bagi peneliti dalam menambah pengetahuan dan pengalaman serta sebagai bahan masukan untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Ruang Lingkup

Berikut merupakan ruang lingkup penelitian yang akan dilakukan :

1. Parameter yang diukur pada penelitian ini yaitu kadar gas Hidrogen Sulfida (H₂S) dalam udara di IPAL Sewon Bantul Yogyakarta.
2. Alat yang digunakan untuk analisis konsentrasi gas H₂S berupa Bosean BH90A *Hydrogen Sulfide (H₂S) Gas Detector*.
3. Hasil pengambilan sampel menggunakan *Hydrogen Sulfide Gas Detector* pada pagi, siang dan sore hari akan di rata-ratakan. Nilai tersebut diasumsikan

memiliki nilai yang sama, yaitu 24 jam pengukuran untuk dapat dibandingkan dengan nilai rata-rata prediksi hasil keluaran model AERMOD serta dapat dibandingkan dengan Baku Mutu.

4. Baku mutu H₂S yang digunakan yaitu Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 50 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebauan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 IPAL Sewon

IPAL atau Instalasi Pengolahan Air Limbah adalah sistem pengolahan air limbah yang bertujuan untuk membersihkan air dari polutan atau kotoran, sebelum dilepaskan kembali ke lingkungan. IPAL Sewon adalah instalasi pengolahan air terpusat setingkat daerah yang terletak di Kecamatan Sewon, Bantul, DIY. Air limbah dialirkan dengan memanfaatkan perbedaan kontur tanah, yaitu dari wilayah dengan elevasi lebih tinggi di Kabupaten Sleman menuju daerah yang lebih rendah di Kabupaten Bantul. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sewon menerapkan proses pengolahan fisik dan biologis. Menurut sarananya, sistem penyaluran air limbah terbagi menjadi sistem onsite/setempat dan sistem offsite/terpusat (Habib dan Welly, 2021). IPAL Sewon memiliki kapasitas desain sebesar 15.500 m³/hari dengan cakupan pelayanan sebanyak 25.000 SR. Hingga saat ini, jaringan perpipaan yang dibangun untuk menyalurkan limbah domestik dari rumah warga ke IPAL Sewon telah mencapai panjang sekitar 234 km.

IPAL Sewon ini berada di Jl. Selarong No.4a, RT.09, Kel. Pendowoharjo, Kec.Sewon, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. IPAL ini berlokasi disekitar area sawah. IPAL ini dibangun pada tahun 1995 dengan luas lahan sebesar 6,7 Ha dan melayani Sebagian besar wilayah Kota Yogyakarta dan Sebagian wilayah Kabupaten Bantul. IPAL Sewon menggunakan pengolahan secara fisik dan biologi untuk mengolah air limbah sebelum akhirnya air hasil olahan dialirkan kembali ke Sungai Bedog melalui saluran terbuka dan pipa beton (Zidni,2022). Bentuk pengolahan biologis yang digunakan di IPAL Sewon adalah *Aerated Lagoon* yang bersifat fakultatif dan pematangan pada kolam maturasi yang bersifat anaerobik.

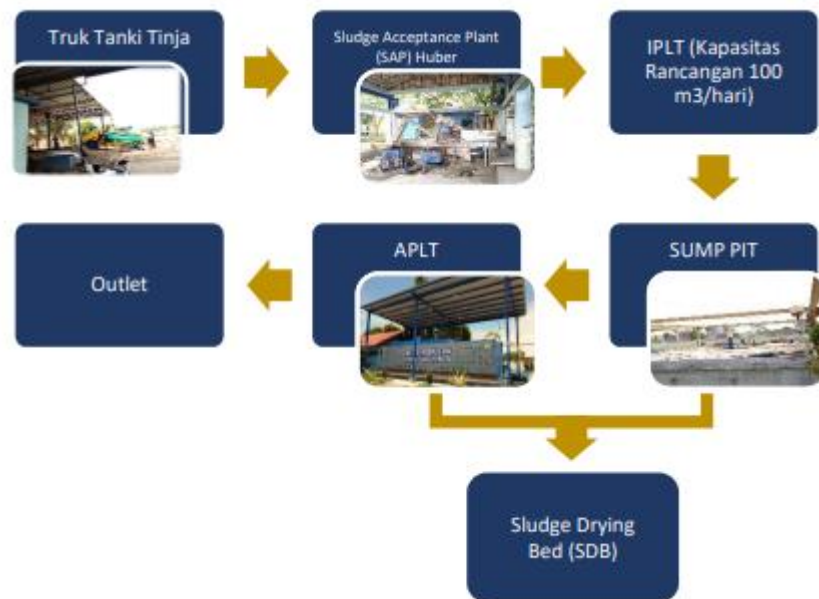
Proses pengolahan limbah di IPAL Sewon memiliki skema operasi sebagai berikut.



Gambar 2. 1 Skema Sistem Operasi IPAL Sewon

Sumber : Balai Pialam IPAL Sewon

Selain itu, pada IPAL Sewon juga terdapat pengolahan lumpur tinja (IPLT) dengan skema operasi sebagai berikut.



Gambar 2. 2 Skema Proses IPLT

Sumber : Balai Pialam IPAL Sewon

2.2 Hidrogen Sulfida (H₂S)

2.2.1 Karakteristik Hidrogen Sulfida (H₂S)

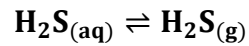
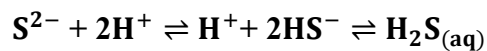
Gas Hidrogen Sulfida (H₂S) merupakan senyawa fase gas yang terbentuk dari proses anaerobik, proses anaerobik sendiri biasanya terjadi pada suhu sekitar 28 – 45°C (Irawan, D., & Khudori, A., 2015). Memiliki karakteristik berbau menyengat, tidak berwarna, sangat beracun dan mudah terbakar, dimana penyebarannya melalui udara yang berpotensi menyerang paru-paru yang menjadi organ targetnya (Dhau Aprilia Hakim dkk, 2022). Gas ini dapat menyebabkan iritasi dan sesak nafas, pada konsentrasi yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan kerusakan pada sistem pernafasan (Lestari et al., 2019).

Hidrogen Sulfida memiliki sifat sifat sebagai berikut :

1. Titik didih : -60,2°C
2. Titik lebur : -85,5°C
3. Massa molar : 34,076 g/mol
4. Kepadatan : 1,363 kg/m³

Dalam air limbah, mengandung berbagai senyawa organik dan anorganik seperti protein dan sulfat yang menjadi sumber nutrisi bagi mikroorganisme. Di dalam sistem perpipaan, mikroba memanfaatkan akseptor elektron seperti oksigen,

nitrat, sulfat, dan karbonat. Ketika oksigen terlarut (DO) dan nitrat habis, kondisi dalam saluran berubah menjadi anaerob sehingga air limbah menjadi septik. Pada kondisi ini, bakteri fermentatif dan bakteri pereduksi sulfat mulai aktif. Bakteri pereduksi sulfat menggunakan sulfur dari ekskreta manusia maupun hewan serta sulfat dari air hujan sebagai akseptor elektron untuk proses respirasi anaerob. Melalui proses inilah sulfur dan sulfat direduksi menjadi hidrogen sulfida (H₂S) (Sherief, M., & Aly Hassan, A., 2022). Berikut adalah persamaan kimia pembentukan gas H₂S menurut Sherief, M., & Aly Hassan, A. (2022).



2.2.2 Sumber Gas Hidrogen Sulfida (H₂S)

Gas H₂S merupakan salah satu gas kontaminan yang dapat dihasilkan dari kegiatan industry, ditemukan pada gas alam, produksi biogas, dan kotoran hewan (Suhirman dkk, 2023). Menurut (Suhirman, 2020), H₂S sering ditemukan pada sumber gas alam dengan kisaran 50-3.000 ppm. H₂S sendiri dapat muncul dari proses dekomposisi kotoran hewan dan manusia. Dalam sumber lain (ATSDR, 2000), polutan senyawa H₂S ini dapat juga berasal dari proses pembusukan bakteri bahan organik, pada saluran sistem pipa air limbah, dan instalasi pengolahan air limbah.

Gas hidrogen sulfida (H₂S) di instalasi pengolahan air limbah (IPAL) umumnya terbentuk akibat kondisi tanpa oksigen selama proses degradasi bahan organik. Pada bagian saluran maupun unit pengolahan dengan ketersediaan oksigen rendah, bakteri pereduksi sulfat (sulfate-reducing bacteria/SRB) memanfaatkan ion sulfat (SO₄²⁻) dalam air limbah sebagai akseptor elektron, sehingga menghasilkan sulfida yang kemudian terlepas sebagai H₂S (Syed et al., 2017). Fenomena ini kerap terjadi pada pengolahan limbah domestik maupun industri, khususnya pada unit anaerob seperti septic tank, tangki imhoff, atau reaktor anaerobik (Park et al., 2019). Gas H₂S tidak hanya memicu gangguan bau, tetapi juga dapat menimbulkan korosi biogenik pada jaringan perpipaan, struktur beton, serta peralatan berbahan logam, yang pada akhirnya memperpendek masa

pakai infrastruktur IPAL (Jiang et al., 2019). Lebih jauh lagi, pelepasan H₂S dari IPAL menghadirkan ancaman terhadap kesehatan pekerja maupun masyarakat sekitar karena sifatnya yang beracun pada kadar tertentu (Nghiem et al., 2017).

2.2.3 Faktor Meteorologi

Kondisi meteorologi berperan besar dalam mengendalikan pola penyebaran polutan udara, termasuk hidrogen sulfida (H₂S) yang berasal dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Arah dan kecepatan angin menjadi faktor utama yang menentukan pergerakan polutan secara horizontal, sedangkan faktor atmosfer lain seperti stabilitas, suhu, dan kelembaban memengaruhi proses dispersi serta tingkat pengencerannya di udara sekitar. Peningkatan kecepatan angin umumnya mendorong polutan menyebar lebih luas, namun pada atmosfer yang stabil polutan cenderung bertahan dan menumpuk di sekitar titik emisi. Pemahaman mengenai karakteristik meteorologi ini sangat diperlukan dalam pemodelan dispersi seperti AERMOD, yang menggunakan data meteorologi sebagai input utama untuk memprediksi konsentrasi polutan di ruang sekitar (Cimorelli et al., 2005). Penelitian lain juga menegaskan bahwa variasi kondisi angin dan atmosfer dapat secara signifikan memengaruhi hasil simulasi sebaran polutan berbau, termasuk H₂S (Seinfeld & Pandis, 2016). Dengan demikian, analisis aspek meteorologi menjadi komponen penting dalam studi ini untuk memperoleh gambaran yang akurat mengenai penyebaran kebauan H₂S dari IPAL Sewon.

Salah satu faktor meteorologi yang mempengaruhi nilai konsentrasi H₂S adalah suhu. Korelasi antara suhu dan konsentrasi hidrogen sulfida (H₂S) dalam sistem anaerob terutama dipengaruhi oleh aktivitas bakteri pereduksi sulfat (SRB) serta karakteristik fisik-kimia gas H₂S. Penelitian oleh Deng et al. (2023) menunjukkan bahwa produksi H₂S oleh SRB mencapai nilai maksimum pada sekitar 30 °C, dan baik suhu yang lebih rendah maupun lebih tinggi menyebabkan penurunan produksi gas tersebut. Sementara itu, studi pemodelan oleh Cao et al. (2025) melaporkan bahwa peningkatan suhu tidak hanya mempercepat proses reduksi sulfat oleh SRB, tetapi juga menurunkan kelarutan H₂S dalam air, sehingga lebih banyak gas dilepaskan ke fase udara. Ayangbenro dan Babalola

(2018) juga menegaskan bahwa kenaikan temperatur dapat memperkuat laju metabolisme SRB hingga mengungguli mikroba lain dalam sistem anaerob, yang pada akhirnya meningkatkan pembentukan H₂S. Secara keseluruhan, temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa suhu tinggi berperan penting dalam memperbesar produksi dan pelepasan H₂S, sehingga menjadi faktor yang harus diperhatikan dalam evaluasi risiko kebauan dan proses pengolahan air limbah berbasis anaerob.

2.2.4 Dampak Gas Hidrogen Sulfida Terhadap Kesehatan dan Lingkungan Sekitar

Gas hidrogen sulfida (H₂S) merupakan polutan udara berbau khas yang dapat menimbulkan berbagai dampak kesehatan, terutama pada sistem pernapasan dan saraf manusia. Pada konsentrasi rendah, H₂S menyebabkan iritasi pada mata, hidung, dan tenggorokan, serta gejala seperti sakit kepala, mual, dan kelelahan. Paparan pada konsentrasi menengah dapat menimbulkan gangguan pernapasan lebih serius, termasuk bronkitis dan penurunan fungsi paru-paru. Sementara itu, paparan dalam kadar tinggi bersifat toksik dan berpotensi fatal karena dapat menghambat kerja enzim sitokrom oksidase dalam sel, sehingga mengganggu transportasi oksigen dalam tubuh (ATSDR, 2000). Penelitian epidemiologi menunjukkan bahwa paparan kronis terhadap H₂S, bahkan dalam kadar yang relatif rendah, berkaitan dengan peningkatan risiko gangguan neurologis, iritasi saluran pernapasan, serta keluhan kesehatan umum pada masyarakat sekitar sumber emisi (Farber & Jackson, 2017). Oleh karena itu, pemantauan konsentrasi H₂S di udara ambien sangat penting untuk melindungi kesehatan masyarakat, khususnya di wilayah sekitar IPAL. Berikut adalah tabel kadar Hidrogen Sulfida dan dampak yang ditimbulkannya.

Tabel 2. 1 Konsentrasi Hidrogen Sulfida dan Dampaknya Terhadap Kesehatan

Konsentrasi (ppm)	Efek Kesehatan
0,008–0,2	Ambang penciuman; bau 'telur busuk' terdeteksi
20	Kehilangan kemampuan indra penciuman; masih dapat ditoleransi beberapa jam
20–50	Iritasi pada mata
50	Paparan lama dapat menyebabkan faringitis dan bronkitis
60	Paparan lama dapat menimbulkan konjungtivitis dan rasa sakit pada mata
150+	Iritasi saluran pernapasan atas; hilangnya indra penciuman
250	Risiko edema paru dengan potensi fatal
500	Sangat berbahaya; evakuasi harus dilakukan jauh di bawah kadar ini
1000	Kehilangan kesadaran
1000–2000	Keracunan akut: hiperventilasi, distress, mual, muntah, koma, henti napas
>2000	Kehilangan kesadaran seketika; kemungkinan besar berakibat fatal

Sumber : ATSDR (2000).

Selain dampak pada kesehatan, paparan H₂S pada konsentrasi tinggi dapat berakibat buruk pada tanaman disekitarnya. Pada konsentrasi rendah, gas H₂S dapat menggunakan gas tersebut sebagai sumber sulfur yang digunakan untuk pertumbuhan. Sementara itu, paparan konsentrasi H₂S tinggi dapat mengganggu pertumbuhan akar hingga kematian akar jika paparan kronis terjadi (Ausma et al, 2019).

2.3 H₂S Gas Analyzer

H₂S Gas Analyzer adalah suatu alat yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi kandungan H₂S pada suatu Lokasi. Jenis gas analyzer yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah gas analyzer merek Bosean tipe BH90A, dengan sensor H₂S. Pemilihan penggunaan alat ini dalam penelitian kali ini karena beberapa keuntungan yaitu, memiliki ukuran portable, memiliki bobot yang ringan, dan penggunaannya yang ringkas serta mudah digunakan. Selain itu, alat ini juga alat ini terdapat alarm yang akan terpicu jika konsentrasi gas yang diuji mencapai

level yang berbahaya. Alat ini juga dilengkapi baterai Li DC 3,7V, dengan kapasitas sebesar 1500mAh, dan port pengisian USB. Alat ini dapat mendeteksi gas H₂S pada range 0-100 ppm.



Gambar 2. 3 Gas Analyzer Merek Bosean BH90A H₂S

Berikut adalah langkah langkah penggunaan *gas analyzer* merek Bosean tipe BH90A dengan sensor H₂S.

1. Persiapan Alat

- Pastikan kondisi alat dalam baik dan baterai terisi penuh.
- Lakukan kalibrasi alat sesuai standar laboratorium atau petunjuk pabrikan jika diperlukan.

2. Menyalakan Alat

- Tekan dan tahan tombol *power* hingga layar menyala.
- Pastikan semua fitur ditampilkan di layar LCD.

3. Pengaturan Alat

- Pastikan satuan pengukuran yang ditampilkan adalah PPM.
- Pastikan satuan suhu yang ditampilkan adalah °C.
- Pastikan waktu yang ditampilkan pada alat sudah sesuai

4. Pengukuran

- Tempatkan alat pada area yang ingin dilakukan pengukuran. Pastikan reseptor pada alat tidak terhalan oleh objek lain agar dapat mendeteksi secara akurat.
- Tunggu beberapa saat untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat.

5. Pembacaan dan Pemantauan Alat

- Hasil pengukuran dapat dilihat pada layar LCD.
- Apabila terdengar alarm dari alat, segera lakukan prosedur keselamatan.

6. Mematikan Alat

- Setelah selesai melakukan pengamatan, matikan alat dengan cara tekan dan tahan tombol *power* pada alat.
- Letakkan alat pada wadahnya dalam keadaan kering.

7. Perawatan Alat

- Lakukan kalibrasi secara berkala atau sesuai frekuensi penggunaan.
- *Charge* ulang alat apabila persentase baterai sudah menurun drastis selama penggunaan.

2.4 AERMOD View

AERMOD View adalah suatu software yang digunakan dalam membuat pemodelan *Air Dispersion*. AERMOD View adalah software yang menggunakan model Dispersi Gauss yang berfungsi untuk melihat penyebaran polusi pada daerah pedesaan dan perkotaan dengan kontur permukaan datar atau Elevasi yang bervariasi. Menurut (Ismahani, 2022), pemodelan dengan AERMOD View menjadi salah satu instrument penting dalam upaya pengidentifikasian serta pemahaman mengenai dampak pencemaran udara yang diakibatkan aktivitas industri. Menurut Ismahani (2022) dan Putra (2023), pemodelan dengan AERMOD View telah menjadi alat penting untuk menemukan dan memahami dampak pencemaran udara yang disebabkan oleh aktivitas industri. Pemodelan ini memungkinkan analisis menyeluruh terhadap sebagian besar komponen kualitas

udara, seperti perpindahan dan penyebaran polutan di atmosfer. Oleh karena itu, pemodelan AERMOD adalah alat yang sangat membantu untuk menemukan polutan dan distribusi kebauan H₂S di lingkungan IPAL Sewon.

Dalam proses pemodelan dispersi udara menggunakan AERMOD, terdapat tiga tahapan utama yang membentuk satu rangkaian analisis yang terpadu, yaitu AERMET sebagai pra-sesor meteorologi, AERMAP sebagai pra-prosesor medan/geomorfologi, dan AERMOD sebagai *main processor*. Tahap pertama, AERMET, berperan dalam menyusun karakteristik atmosfer melalui pengolahan data meteorologi permukaan dan profil udara atas untuk menghasilkan parameter turbulensi seperti kecepatan gesekan, panjang Monin–Obukhov, tinggi lapisan campuran, serta skala kecepatan konvektif, yang menjadi dasar utama dalam penentuan dinamika pergerakan massa udara. Tahap kedua, AERMAP, bertugas mengolah data topografi dari *Digital Elevation Model* (DEM) untuk menentukan elevasi setiap reseptor dan menghitung ketinggian pengaru (*hc*), sehingga model dapat mempertimbangkan pengaruh kontur lahan baik di wilayah datar maupun berketinggian dalam proses dispersi. Tahap ketiga adalah AERMOD sebagai unit pengolah utama, yang mengintegrasikan keluaran dari AERMET dan AERMAP dengan data sumber pencemar untuk menghasilkan simulasi sebaran polutan berdasarkan konfigurasi model, seperti jenis sumber emisi, penempatan reseptor, tipe kawasan, durasi analisis, serta metode dispersi yang relevan dengan kondisi atmosfer stabil maupun konvektif. Melalui integrasi ketiga tahapan tersebut, AERMOD mampu menyajikan gambaran spasial konsentrasi polutan dalam bentuk peta kontur, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi potensi paparan polutan pada berbagai kondisi lingkungan dan karakteristik wilayah studi.

Terdapat 5 *pathway* utama yang harus diinput dan diperhatikan. Berikut adalah 5 *pathway* utama yang harus diinput dan diperhatikan dalam penggunaan AERMOD VIEW.

1. *Control Pathway*

Control Pathway merupakan tahap awal yang berfungsi untuk menentukan parameter dasar dalam proses simulasi. Pada tahap ini ditetapkan opsi dispersi, jenis polutan yang akan dianalisis, serta periode waktu penyebarannya. Penentuan jenis polutan dan durasi analisis dilakukan

terlebih dahulu sebagai dasar bagi tahap selanjutnya.

2. *Source Pathway*

Tahap ini berfokus pada penginputan data sumber emisi, meliputi koordinat lokasi sumber, luas area, laju emisi, dan karakteristik gas yang dilepaskan. Informasi tersebut diperlukan untuk menghitung konsentrasi polutan yang dihasilkan dari setiap sumber emisi yang dimodelkan.

3. *Receptor Pathway*

Pada *Receptor Pathway*, ditentukan lokasi reseptor atau titik-titik pengukuran konsentrasi polutan. Pengguna dapat mengatur reseptor dalam bentuk grid seragam atau menentukan titik spesifik sesuai kebutuhan analisis, termasuk jumlah dan jarak antar grid.

4. *Meteorological Pathway*

Pathway ini melibatkan input data meteorologi seperti kecepatan dan arah angin, suhu udara, serta kelembapan. Data meteorologis biasanya diperoleh dari hasil pengamatan dalam periode tertentu dan berperan penting dalam meningkatkan ketepatan hasil simulasi.

5. *Terrain Pathway*

Tahap ini berkaitan dengan pengolahan data topografi melalui penggunaan model *Digital Elevation Model* (DEM). Data kontur permukaan tanah membantu menggambarkan pengaruh kondisi geografis, termasuk bangunan dan fitur alam lainnya, terhadap pola penyebaran polutan di atmosfer

2.5 Penelitian Terdahulu

Salah satu referensi yang digunakan penulis dalam melaksanakan penelitian ini adalah dengan membaca beberapa penelitian terdahulu. Dari penelitian tersebut, tidak ditemukan judul yang sama dengan penelitian yang sedang berjalan. Meski demikian, penelitian tersebut masih berkaitan dengan penelitian yang sedang dilaksanakan peneliti. Daftar penelitian terdahulu yang dijadikan referensi ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Sumber	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
1	Dincer (2020)	Dispersion modeling and air quality measurements to evaluate the odor impact of a wastewater treatment plant in İzmir	Pengukuran konsentrasi bau pada penelitian ini mengacu pada standar Eropa EN 13725 (CEN, 2003) dengan menggunakan metode Dynamic Olfactometry, yaitu teknik pengujian bau yang melibatkan indera penciuman manusia. Metode ini menggunakan pendekatan ya/tidak, di mana sampel diuji dan diencerkan secara bertahap hingga 50% panelis tidak lagi mendeteksinya. Setelah diperoleh nilai konsentrasi bau untuk parameter NH ₃ dan H ₂ S, data tersebut kemudian dimodelkan menggunakan AERMOD View untuk mensimulasikan sebaran bau di area sekitar IPAL.	Konsentrasi H ₂ S bervariasi antara 0,08 dan 52,05 µg/m ³ , sedangkan konsentrasi NH ₃ bervariasi antara 13,73 dan 286,33 µg/m ³ . Konsentrasi H ₂ S maksimum (52,05 µg/m ³) diukur pada SP-1 titik yang merupakan pintu masuk WTP İzmir. Konsentrasi NH ₃ maksimum (286,33 µg/m ³) diukur pada SP 11 yang merupakan lumpur penyimpanan WTP. Nilai konsentrasi ambang batas bau terendah untuk hidrogen sulfida diberikan oleh EA (2007) sebesar 0,71 µg/m ³ .

2	Augusto, M. R. et al., (2020)	Modeling of H ₂ S Dispersion in Brazil with Aermoc: Case Study of Water Resource Recovery Facility In South of Brazil	Peneliti melakukan pemodelan dispersi gas hidrogen sulfida (H ₂ S) menggunakan AERMOD pada beberapa fasilitas pengolahan air limbah (<i>Water Resource Recovery Facility</i> /WRRF) di wilayah selatan Brasil. Data input yang digunakan meliputi laju emisi H ₂ S dari unit-unit pengolahan, data meteorologi lokal (kecepatan dan arah angin, suhu, kondisi stabilitas atmosfer), serta karakteristik topografi dan tata guna lahan di sekitar lokasi penelitian. AERMOD digunakan untuk memetakan pola penyebaran konsentrasi H ₂ S secara spasial guna mengidentifikasi sebaran polutan terhadap lingkungan sekitar.	Hasil pemodelan menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi H ₂ S berada pada area leeward (searah angin dominan) dari sumber emisi. Konsentrasi tertinggi ini terutama terjadi pada kondisi atmosfer stabil (kategori F) yang umum terjadi pada malam hari. Penyebaran H ₂ S terdeteksi hingga jarak beberapa ratus meter, dan pada beberapa titik konsentrasinya mendekati atau melebihi ambang batas penciuman bau (<i>odor threshold</i>). Hal ini mengindikasikan adanya potensi gangguan bau (<i>odor nuisance</i>) terhadap kawasan permukiman yang berada di sekitar fasilitas pengolahan.
3	Lim, L. Y. et al., (2022).	Field measurement and dispersion modelling of hydrogen sulphide for recycled paper mill in Malaysia	Menggunakan metode pengukuran langsung konsentrasi gas H ₂ S di lapangan pada fasilitas pabrik daur ulang kertas (recycled paper mill) di Malaysia. Pengukuran dilakukan untuk memperoleh data emisi aktual dari sumber proses industri. Data pengukuran tersebut kemudian digunakan sebagai input dalam pemodelan dispersi menggunakan AERMOD, dengan memasukkan data meteorologi lokal, karakteristik topografi, dan kondisi operasional pabrik. Tujuan utama pemodelan adalah untuk memetakan sebaran spasial konsentrasi H ₂ S dan membandingkannya dengan data hasil pengukuran lapangan.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa AERMOD mampu mereplikasi pola penyebaran H ₂ S yang serupa dengan hasil pengukuran lapangan, dengan tingkat akurasi yang dinilai memadai. Konsentrasi H ₂ S tertinggi terdeteksi di sekitar area sumber emisi utama, terutama saat kondisi stabilitas atmosfer rendah dan kecepatan angin minimum. Pada beberapa periode waktu, konsentrasi H ₂ S berada mendekati atau melewati ambang batas penciuman bau (<i>odor threshold</i>), menunjukkan adanya potensi gangguan bau terhadap area permukiman di sekitar lokasi pabrik. Penelitian ini menegaskan pentingnya monitoring lapangan dan pemodelan AERMOD secara simultan untuk prediksi risiko bau dan perencanaan pengendalian emisi.

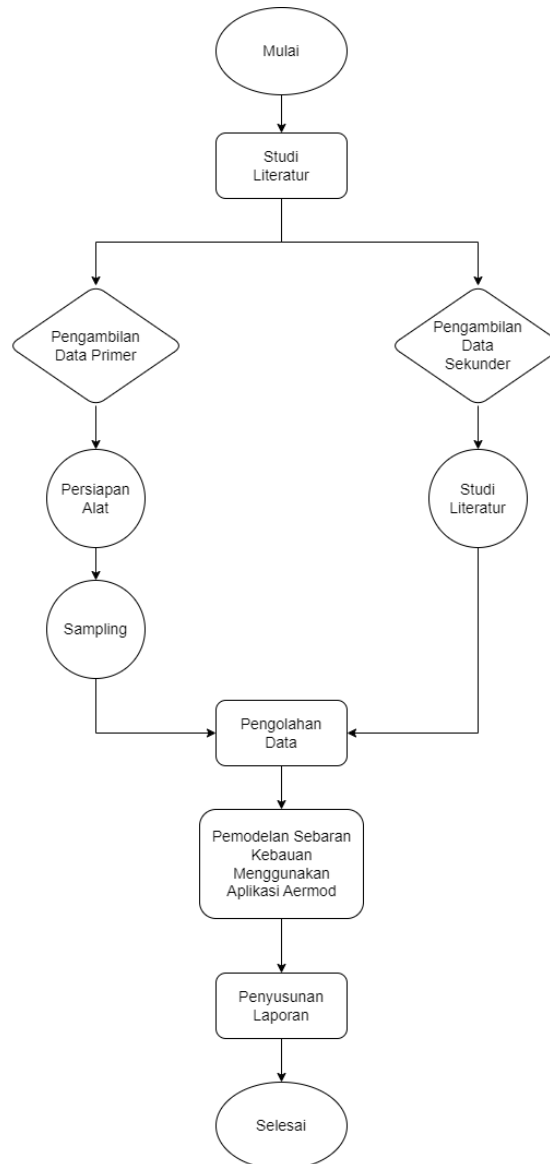
4	Luckert, A et al., (2022).	Dispersion modelling as a tool for assessment and management of odour emissions from a wastewater treatment plant	<p>Penelitian menggunakan pemodelan dispersi bau dari IPAL menggunakan AERMOD sebagai alat utama. Data emisi bau, terutama senyawa H₂S dan senyawa odor lainnya, dikumpulkan dari beberapa unit proses IPAL yang dimodelkan sebagai area source dan point source. Pemodelan ini menggunakan data meteorologi lokal secara real-time, meliputi kecepatan angin, arah angin, suhu udara, dan stabilitas atmosfer sebagai input utama. Hasil pemodelan kemudian divalidasi melalui pengukuran lapangan menggunakan metode olfaktometri untuk menentukan konsentrasi bau (<i>odor concentration</i>, OU/m³). Tujuan utama dari studi ini adalah untuk mengevaluasi radius sebaran dampak bau (<i>odor impact radius</i>) serta memberikan dasar pertimbangan dalam manajemen pengendalian bau melalui skenario mitigasi yang lebih efektif.</p>	<p>Hasil pemodelan AERMOD menunjukkan bahwa potensi gangguan bau H₂S pada permukiman sekitar IPAL paling tinggi terjadi pada periode Juni hingga Agustus, khususnya pada sore hingga malam hari (sekitar pukul 19.00), seiring dengan pola arah dan kecepatan angin dominan. Meskipun demikian, konsentrasi H₂S yang terdispersi masih jauh berada di bawah ambang batas kesehatan, baik untuk pekerja IPAL maupun masyarakat sekitar — di mana nilai maksimum yang terdeteksi hanya mendekati 1 ppm pada jarak sekitar 2,5 meter dari sumber, jauh di bawah batas paparan 15 menit sebesar 10 ppm, meskipun sudah melampaui ambang penciuman bau sebesar 0,47 ppb. Arah angin dikonfirmasi sebagai faktor penentu utama munculnya bau di suatu lokasi. Evaluasi skenario mitigasi menunjukkan bahwa pemasangan rotary drum screen lebih efektif dalam menurunkan potensi gangguan bau dibandingkan peninggian dinding perimeter.</p>
---	----------------------------	---	---	---

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian

Proses tahapan yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

a. Pengambilan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengukuran konsentrasi bau gas H₂S di IPAL Sewon dengan menggunakan alat H₂S Gas Analyzer. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan melalui studi literatur yang mencakup informasi meteorologi, peta wilayah studi, data ketinggian, serta peta kontur atau elevasi.

b. Visualisasi Data Menggunakan Qgis

Data hasil pengukuran di lapangan yang telah diperoleh akan divisualisasikan menggunakan perangkat lunak Qgis, sehingga dapat menghasilkan peta sebaran konsentrasi kebauan.

c. Visualisasi Data Menggunakan AERMOD

Visualisasi data dengan menggunakan AERMOD dilakukan untuk memperoleh gambaran persebaran kebauan H₂S. Pada tahap awal, data hasil pengukuran di lapangan diolah terlebih dahulu untuk menghasilkan nilai laju emisi, yang kemudian digunakan sebagai input dalam AERMOD. Melalui algoritmanya, AERMOD akan mengolah data tersebut bersama dengan data pendukung lainnya menjadi model distribusi kebauan H₂S.

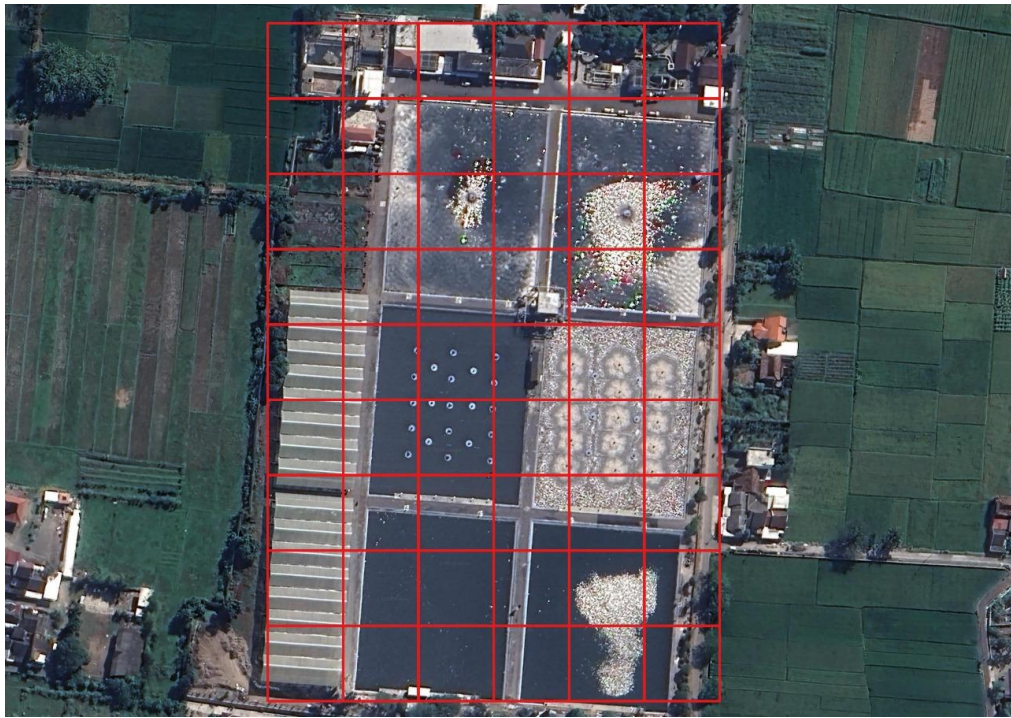
d. Uji Validasi Data

Uji validasi data dilakukan untuk mengetahui akurasi prediksi konsentrasi H₂S yang di hasilkan oleh model AERMOD. Metode yang digunakan dalam uji validasi ini adalah menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE).

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sewon di Dusun Cepit, Pandowoharjo, Sewon, Bantul, Daerah Istimewah Yogyakarta. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Juli 2024. Terdapat 54 grid yang dapat dilihat pada gambar 3.2. Dari masing masing grid tersebut akan diambil satu sampel untuk mewakili tiap gridnya. Pengambilan

sampel dilakukan sebanyak 3 sesi, yaitu pagi hari, siang hari dan sore hari. Hal tersebut diperlukan untuk mengetahui secara detail tingkat konsentrasi kebauan yang ada di IPAL Sewon agar dapat dikelola dan dipantau lebih lanjut. Selain itu, perlu dilakukan perbandingan antara konsentrasi kebauan IPAL Sewon dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 50 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebauan. Peta lokasi pengambilan sampling kebauan amonia di IPAL Sewon ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sample

Tabel rentang waktu pengambilan sampel kebauan H₂S dari masing masing sesi ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Rentang Waktu Pengambilan Sampel Masing Masing Sesi

Sesi	Durasi	Waktu
Pagi	120 menit	08.00-10.00
Siang	120 menit	12.00-14.00
Sore	120 menit	15.00-17.00

3.3 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif, dengan pengumpulan data primer dilakukan secara langsung di lapangan. Dalam studi ini, data primer yang dikumpulkan berupa hasil pengukuran bau H₂S menggunakan alat *H₂S Gas Analyzer*. Pengukuran konsentrasi H₂S di lapangan semula direncanakan dilakukan dalam satu hari penuh untuk mewakili tiga rentang waktu pengamatan. Namun, sesi pagi pada hari pertama tidak dapat dilaksanakan sehingga pengambilan data dilanjutkan pada hari berikutnya. Walaupun terdapat perbedaan hari, seluruh pengukuran dilakukan menggunakan instrumen yang sama, titik sampling yang sama, serta prosedur pengukuran yang identik. Selain itu, kondisi meteorologi pada hari-hari pengukuran menunjukkan pola yang relatif konsisten tanpa anomali signifikan yang berpotensi memengaruhi sebaran konsentrasi H₂S. Dengan demikian, data yang diperoleh tetap memenuhi syarat konsistensi metodologis dan dapat digunakan sebagai dasar analisis laju emisi maupun validasi model dispersi.

Setelah memperoleh data hasil pengukuran lapangan, nilai konsentrasi H₂S dari setiap *grid* terlebih dahulu dikelompokkan berdasarkan sesi pengambilan serta unit pengolahannya masing-masing. Setiap kelompok data kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah total data pada kelompok tersebut untuk memperoleh nilai konsentrasi rata-rata pada tiap sesi dan tiap unit pengolahan. Sementara itu, nilai maksimum ditentukan dengan memilih angka konsentrasi terbesar dari setiap kelompok sesuai unit pengolahan dan sesi pengukuran. Setelah nilai konsentrasi rata-rata dan maksimum diperoleh, tahap selanjutnya adalah menghitung persentase tingkat kebauan. Perhitungan ini dilakukan dengan membagi nilai konsentrasi unit pengolahan sesuai sesi pengukuran, dengan jumlah nilai konsentrasi tiap unit pengolahan. Hasil pembagian tersebut kemudian dikalikan 100% sehingga menghasilkan persentase kebauan. Dengan demikian, analisis tidak hanya menggambarkan besaran konsentrasi H₂S, tetapi juga menunjukkan proporsi area yang terdampak bau pada tiap sesi pengukuran, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi kebauan di area sekitar IPAL. Berikut adalah rumus untuk menghitung nilai

konsentrasi rata rata dan maksimum, serta persentase sumber kebauan berdasarkan nilai rata rata dan maksimum.

1. Nilai Rata Rata Konsentrasi (\bar{x})

$$\frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

x_n = Nilai Konsentrasi Tiap Titik ke-n

n = Jumlah Data

2. Nilai Maksimum Konsentrasi (x_{max})

$$\text{Max } (x_1, x_2, x_3, \dots x_n.)$$

x_n = Nilai Konsentrasi Tiap Titik ke-n

3. Persentase Sumber Kebauan Nilai Maksimum dan Rata Rata

$$\frac{\text{Nilai Maksimum} / \text{Rata Rata Sumber ke } - n}{\sum_{n=1}^m \text{Nilai Maksimum} / \text{Rata Rata Sumber ke } - n}$$

m = Jumlah Total Sumber

Sementara itu, data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Data Meteorologi

Data meteorologi yang digunakan mencakup informasi mengenai tutupan awan, suhu udara, kelembaban, tekanan atmosfer, arah dan kecepatan angin, serta ketinggian awan terendah (*ceiling height*).

b. Peta Wilayah Studi

Data didapatkan dari *Google Earth Pro* sesuai dengan lokasi sampling yaitu IPAL Sewon Bantul.

c. Data Elevasi

Peta elevasi atau kontur diperlukan karena data tersebut tidak tersedia pada peta dasar wilayah studi. Informasi elevasi untuk area penelitian diperoleh dari situs www.webgis.com, dengan pemilihan data berdasarkan koordinat yang sesuai dengan lokasi studi.

3.4 Pemodelan Kebauan

3.4.1 Visualisasi Data Hasil Pengukuran Menggunakan QGIS

Visualisasi data hasil pengukuran lapangan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak QGIS. QGIS merupakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yang memiliki kemampuan dalam mengelola, menganalisis, dan memvisualisasikan data spasial. Dalam penelitian ini, QGIS dimanfaatkan untuk menampilkan sebaran konsentrasi polutan H₂S berdasarkan titik-titik pengukuran di lapangan.

Melalui proses interpolasi spasial seperti *Inverse Distance Weighting* (IDW) atau Kriging yang tersedia di dalam QGIS, data pengukuran yang tersebar tidak merata dapat diolah menjadi grid atau peta kontur yang lebih halus dan representatif. Hal ini memudahkan dalam menganalisis pola distribusi konsentrasi H₂S di area sekitar lokasi penelitian. Visualisasi ini juga mendukung proses identifikasi terhadap wilayah dengan konsentrasi tinggi, yang penting untuk langkah pemodelan dispersi selanjutnya menggunakan AERMOD.

Selain itu, keunggulan QGIS dalam mengintegrasikan berbagai layer spasial seperti penggunaan lahan, batas administrasi, dan data topografi turut memperkaya konteks analisis. Dengan demikian, visualisasi data menggunakan QGIS memberikan gambaran yang lebih menyeluruh dan mendalam terkait kondisi pencemaran udara H₂S di wilayah studi.

Langkah langkah visualisasi data hasil pengukuran lapangan menggunakan QGIS adalah sebagai berikut.

1. Pengolahan Data Pengukuran

Data hasil pengukuran lapangan berupa konsentrasi H₂S di beberapa titik lokasi dimasukkan ke dalam format yang sesuai untuk diolah di QGIS. Data tersebut meliputi koordinat lokasi pengukuran (x, y) dan nilai

konsentrasi H₂S (z), yang disusun dalam format CSV atau shapefile agar dapat diimpor sebagai layer spasial di dalam QGIS.

2. Interpolasi dan Pembuatan Layer Raster

Setelah data pengukuran berhasil dimasukkan, dilakukan proses interpolasi untuk memperkirakan nilai konsentrasi H₂S di area yang tidak terukur secara langsung. Proses ini dilakukan menggunakan algoritma interpolasi seperti Inverse Distance Weighting (IDW) atau Kriging melalui *Interpolation Tool* yang tersedia pada QGIS. Hasil interpolasi ini menghasilkan layer raster yang menggambarkan distribusi spasial konsentrasi H₂S secara menyeluruh.

3. Pembuatan Peta Kontur dan Peta Tematik

Berdasarkan layer raster hasil interpolasi, QGIS digunakan untuk membuat peta kontur atau peta tematik konsentrasi H₂S. Peta ini menunjukkan garis atau area dengan konsentrasi polutan yang sama, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi pola sebaran H₂S di wilayah studi. Peta ini juga dapat dikombinasikan dengan layer lain seperti penggunaan lahan, pemukiman, atau batas administrasi untuk memperkaya konteks visualisasi.

4. Analisis Visualisasi

Peta kontur atau tematik yang dihasilkan dianalisis untuk mengidentifikasi daerah dengan konsentrasi H₂S yang tinggi serta pola penyebarannya. Analisis ini memberikan pemahaman awal mengenai sebaran polutan di sekitar wilayah IPAL dan menjadi dasar penting untuk tahap pemodelan dispersi berikutnya menggunakan AERMOD.

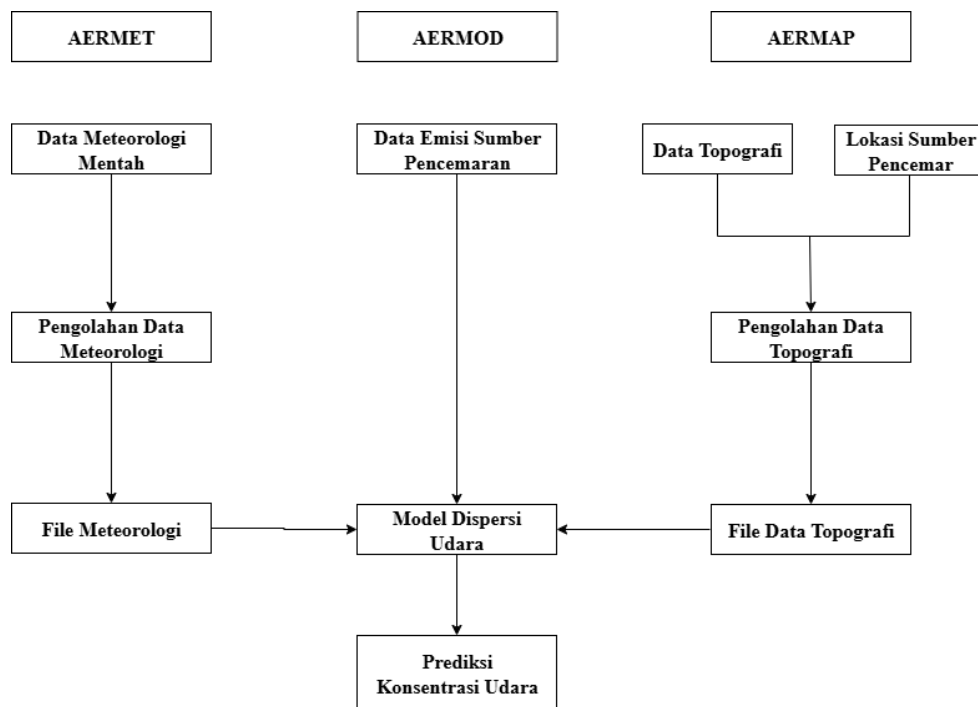
Dengan menggunakan QGIS, hasil pengukuran lapangan dapat divisualisasikan secara efektif sehingga memudahkan dalam menganalisis dan memahami sebaran polutan H₂S di area sekitar IPAL Sewon.

3.4.2 Pemodelan Sebaran Kebauan Menggunakan AERMOD

Pemodelan sebaran bau dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak AERMOD. AERMOD merupakan model dispersi udara yang dirancang untuk simulasi pada jarak pendek, yaitu hingga 50 kilometer, dengan asumsi bahwa kondisi meteorologi tetap konstan selama periode pemodelan satu jam dan bersifat

homogen secara horizontal. Model ini cocok digunakan di wilayah pengukuran yang memiliki kontur permukaan datar maupun kompleks, baik di area pedesaan maupun perkotaan. Dalam penerapannya, AERMOD memerlukan data meteorologi seperti suhu udara, arah angin, dan kecepatan angin. AERMOD sendiri direkomendasikan oleh U.S. *Environmental Protection Agency* (USEPA) karena kemampuannya yang unggul dalam memodelkan dispersi udara pada skala jarak dekat. Pemodelan ini terdiri atas beberapa sub-program, di antaranya pengolahan data meteorologi melalui AERMET dan penyusunan data kontur permukaan menggunakan AERMAP untuk mendukung pembuatan peta kontur sebaran bau.

Berikut adalah diagram alir tahapan sub-program AERMET, AERMOD, dan AERMAP.

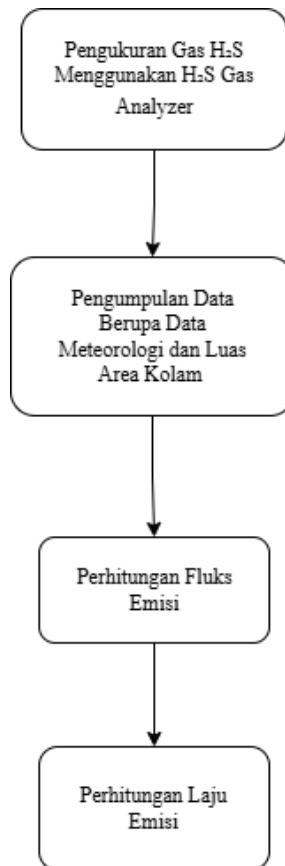


Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan sub-program AERMOD, AERMET, dan AERMAP

3.4.2.1 Perhitungan Nilai Laju Emisi

Perhitungan laju emisi H₂S yang diperoleh dari data konsentrasi dalam bentuk ppm dilakukan dengan terlebih dahulu mengonversinya ke satuan massa per volume (mg/Nm³ atau µg/m³) dengan memperhitungkan massa molekul H₂S

serta kondisi standar temperatur dan tekanan. Setelah itu, nilai konsentrasi hasil konversi dikalikan dengan debit aliran gas buang (m^3/detik) untuk mengetahui jumlah massa polutan yang dilepaskan per satuan waktu. Nilai ini kemudian dinyatakan sebagai laju emisi dalam satuan gram per detik (g/s) dan digunakan sebagai input pada model AERMOD. Oleh karena itu, ketelitian perhitungan laju emisi sangat dipengaruhi oleh akurasi proses konversi satuan maupun data debit gas buang yang digunakan (U.S. EPA, 2004).



Gambar 3. 4 Diagram Alir Perhitungan Laju Emisi

Rumus Perhitungan Fluks Emisi dan Laju Emisi adalah sebagai berikut :

1. Fluks Emisi

$$F = C \times V$$

F = Fluks Emisi

C = Konsentrasi H_2S (mg/m^3)

V = Kecepatan Angin (m/det)

2. Perhitungan Laju Emisi

$$Q = F \times A$$

Q = Laju Emisi

F = Fluks Emisi

A = Luas Area

3.5 Uji Validasi Model

Uji validasi model dilakukan untuk menilai tingkat akurasi hasil prediksi konsentrasi H₂S yang dihasilkan oleh AERMOD. Dalam proses ini, data hasil simulasi dibandingkan dengan data hasil pengukuran langsung di lapangan. Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai konsentrasi H₂S yang diprediksi model dengan nilai observasi pada titik-titik pengukuran yang sama. Data pengukuran lapangan diambil dari beberapa lokasi perwakilan, yaitu area Pre-Treatment, kolam, SDB, dan IPLT. Untuk menilai tingkat kesalahan antara hasil model dan data observasi, digunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE), yang menghitung selisih kuadrat antara nilai prediksi dan observasi, kemudian dirata-ratakan dan diambil akar kuadratnya. Nilai RMSE menggambarkan sejauh mana perbedaan antara hasil pengukuran aktual dengan hasil yang diprediksi oleh model. Perhitungan nilai RMSE dapat dilakukan menggunakan rumus berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$$

n = Jumlah observasi

P_i = Nilai yang diprediksi oleh model pada observasi ke- i

O_i = Nilai yang diobservasi pada observasi ke- i

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Pengolahan IPAL Sewon

IPAL Sewon merupakan fasilitas pengolahan air limbah terpadu yang berfungsi melayani kawasan perkotaan Yogyakarta atau dikenal dengan sebutan Kartamantul. Wilayah pelayanannya mencakup hampir seluruh Kota Yogyakarta, sebagian wilayah Kabupaten Sleman (meliputi Kecamatan Mlati, Depok, Gamping, dan Ngaglik), serta sebagian wilayah Kabupaten Bantul (Kecamatan Kasihan, Sewon, dan Banguntapan). Sistem ini dirancang untuk menangani air limbah domestik dari kawasan padat penduduk dengan kapasitas pengolahan mencapai sekitar 33.000 m³ per hari. Berikut adalah tabel kondisi eksisting IPAL Sewon.

Tabel 4. 1 Tabel Kondisi Eksisting IPAL Sewon

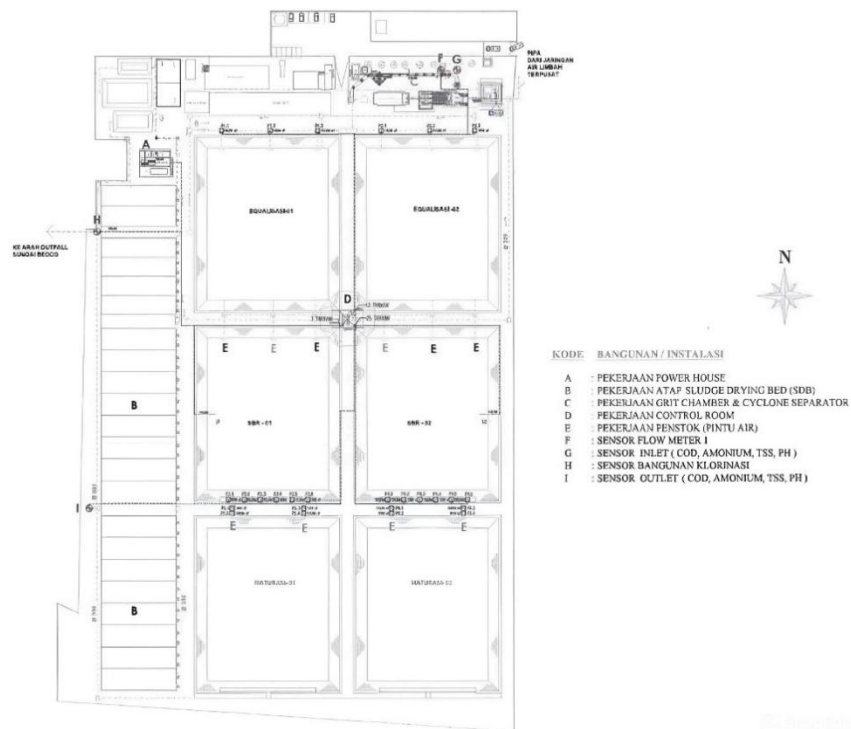
Kondisi Eksisting	
Pelayanan	26.050 SR
Kuantitas Air Limbah Masuk	38.400 m ³ /hari
BOD Aliran Masuk	339 mg/liter
BOD Aliran Keluar	25,6 mg/liter
<i>Sequencing Batch Reactor</i>	2 siklus 4 jam/hari (waktu tinggal)

Proses pengolahan di IPAL Sewon menggunakan sistem kolam stabilisasi yang terdiri dari beberapa tahapan, yaitu kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi. Melalui tahapan tersebut, kualitas efluen yang dihasilkan diharapkan memenuhi baku mutu air limbah domestik sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016.

Air limbah dari wilayah Kartamantul dialirkan secara gravitasi melalui jaringan pipa bawah tanah. Sistem jaringan ini terdiri atas pipa servis yang menyalurkan air limbah dari pipa lateral menuju pipa induk, serta dilengkapi dengan beberapa stasiun pompa di titik-titik tertentu untuk menjaga kelancaran aliran menuju instalasi pengolahan. Jaringan tersebut memungkinkan air limbah dari daerah dengan elevasi lebih tinggi di Sleman mengalir secara alami ke arah selatan menuju IPAL Sewon di Bantul.

Selain fasilitas utama pengolahan air limbah, di area IPAL Sewon juga terdapat Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) yang berfungsi menerima dan mengolah lumpur tinja dari tangki septik individu maupun komunal, baik milik masyarakat, swasta, maupun pemerintah daerah. Lumpur tinja yang diangkut menggunakan truk penyedot akan diolah melalui proses pengeringan dan stabilisasi sebelum dimanfaatkan kembali, misalnya sebagai bahan kompos atau dibuang secara aman.

Kehadiran IPAL Sewon memberikan manfaat besar dalam mengurangi pencemaran air di Sungai Code dan Sungai Bedog, serta mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) poin ke-6, yaitu menjamin ketersediaan air bersih dan sanitasi yang layak bagi masyarakat. Selain itu, IPAL Sewon juga menjadi salah satu model pengelolaan air limbah perkotaan yang berhasil diterapkan di Indonesia dan dapat dijadikan acuan bagi daerah lain dalam pengembangan sistem pengolahan air limbah terpusat. Berikut adalah siteplan IPAL Sewon Bantul



Gambar 4. 1 Siteplan IPAL Sewon

Sumber : Balai Pialam IPAL Sewon

Untuk mengolah air limbah diperlukan beberapa proses didalamnya. Pengolahan air limbah yang terdapat didalam IPAL Sewon sendiri antara lain sebagai berikut :

a. *Pre-Treatment*

Pre-Treatment merupakan tahapan awal dalam proses pengolahan air limbah yang bertujuan untuk menghilangkan padatan berukuran besar seperti sampah, pasir, dan kerikil. Pada tahap ini digunakan beberapa unit penyisih awal, di antaranya *bar screen* dan *grit chamber* (bak pengendap pasir).

Bar screen berfungsi sebagai penyaring kasar yang dipasang di bagian paling awal aliran air limbah untuk menahan benda-benda besar yang terbawa dari sistem saluran. Penyaringan ini penting dilakukan agar material kasar tidak masuk ke tahap pengolahan berikutnya, karena dapat menghambat kinerja unit-unit pengolahan di tahap selanjutnya. Secara prinsip, *bar screen* bekerja dengan cara menahan partikel atau material berukuran besar agar tidak masuk ke dalam sistem pengolahan utama. Sementara, *grit chamber* atau bak pengendap pasir berfungsi sebagai *grit chamber* merupakan unit bangunan yang berfungsi untuk mengendapkan grit yang memiliki ukuran $> 0,2$ mm, gravel atau material padat lainnya yang memiliki massa jenis relatif lebih besar dari zat padat organik. Singkatnya, *grit chamber* berfungsi untuk memisahkan material yang memiliki massa jenis relatif yang lebih berat daripada massa jenis zat organik. *Grit chamber* ini berfungsi untuk melindungi peralatan mekanis dari abrasi akibat partikel yang padat dan keras.

Untuk *bar screen*, potensi kebauan yang muncul dapat diakibatkan karena limbah padat organik menumpuk dan membusuk. Lalu untuk *grit chamber* juga dapat berpotensi untuk menjadi salah satu unit pengolahan yang menghasilkan kebauan tingkat tinggi, jika padatan organik yang ikut masuk kedalam hasil penyaringan *grit* membusuk dan membentuk zona anaerob yang menghasilkan H_2S didasar kolam (Metcalf & Eddy, 2014).

b. *Primary Treatment*

Primary treatment merupakan tahap berikutnya setelah proses pre-treatment, yang berfungsi untuk menghilangkan padatan dari air limbah melalui proses pengendapan. Pada IPAL Sewon, tahapan ini diterapkan melalui penggunaan kolam ekualisasi. Kolam tersebut berperan untuk menurunkan kadar material kasar, partikel diskrit, dan zat padat tersuspensi sebelum dialirkan ke unit pengolahan berikutnya.

Secara umum, pengolahan tahap awal ini bekerja berdasarkan prinsip pengolahan fisik, terutama melalui proses penyaringan dan pengendapan. Tujuan utamanya adalah untuk menghilangkan material berukuran besar serta sebagian bahan organik yang masih tersuspensi. Proses ini dilakukan dengan mengatur kecepatan aliran agar partikel padat memiliki waktu yang cukup untuk mengendap secara gravitasi di dasar kolam, sehingga air limbah yang keluar menjadi lebih homogen dan mudah diproses pada tahap berikutnya.

Penguapan dapat terjadi pada permukaan kolam ekualisasi, yang diakibatkan karena buih yang muncul dan terakumulasi, karena hasil dari proses *anaerobic* yang terjadi didalam dasar kolam, yang selanjutnya kebauan dapat menyebar dengan dibantu dari aliran turbulensi udara (Metcalf & Eddy, 2014).

c. *Secondary Treatment*

Secondary treatment merupakan tahap pengolahan lanjutan yang bertujuan untuk menurunkan kadar bahan organik dalam air limbah melalui proses biologis. Pada tahap ini, mikroorganisme aerob dimanfaatkan untuk mendegradasi senyawa organik yang masih tersisa setelah tahap sebelumnya. Di IPAL Sewon, proses *secondary treatment* dilakukan menggunakan kolam SBR (*Sequence Batch Reactor*) dan kolam maturasi.

Kedua unit tersebut berperan penting dalam menurunkan konsentrasi zat organik sehingga kualitas air limbah menjadi lebih baik. Selain itu, proses ini juga membantu mengurangi kadar nutrien seperti nitrogen dan fosfor, serta berkontribusi dalam menekan jumlah mikroorganisme patogen yang terkandung di dalam air limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan.

Jika didasarkan perhitungan skoring pemilihan, SBR sendiri memiliki potensi pelepasan bau yang cukup tinggi yaitu, sebesar 4 poin (R. A. Fenner et al., 2007).

d. *Tertiary Treatment*

Tertiary treatment merupakan tahapan akhir pengolahan air limbah. Proses ini berfungsi menghilangkan kandungan kimia dan fisika yang masih tersisa dalam air limbah setelah melalui pengolahan sebelumnya. *Tertiary treatment* biasanya dilakukan dengan proses klorinasi, filtrasi, atau penggunaan teknologi lainnya. Proses ini berfungsi meningkatkan kualitas efluen sehingga air limbah dapat dibuang ke lingkungan dengan aman. IPAL Sewon menggunakan klorinasi pada pengolahan ketiga. Setelah melalui kolam maturasi air limbah akan memasuki proses klorinasi untuk membunuh bakteri yang masih tersisa dari pengolahan sebelumnya. Selain itu klorinasi dapat berfungsi untuk mengurangi bau yang tidak sedap pada air limbah. Selanjutnya, untuk potensi kebauan H₂S yang dapat ditimbulkan dalam unit pengolahan ini cenderung sangat kecil dan bahkan mendekati tidak sama sekali. Hal ini dikarenakan senyawa klorin dapat digunakan untuk menghilangkan kebauan H₂S pada saat fase cair (Metcalf & Eddy, 2014).

e. *Sludge Treatment*

Sludge treatment merupakan tahapan pengolahan terhadap lumpur yang berasal dari sisa proses instalasi pengolahan air limbah. Proses ini bertujuan untuk menstabilkan dan mengurangi kandungan bahan berbahaya pada lumpur yang masih mengandung air, senyawa organik, serta logam anorganik. Jika tidak dikelola dengan tepat, lumpur tersebut dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Selain itu, padatan yang mengering atau bahan yang mudah membusuk karena proses stabilisasi yang kurang memadai dapat menjadikan SDB sebagai salah satu unit pengolahan air limbah yang menjadi sumber polutan kebauan. Di IPAL Sewon, pengolahan lumpur dilakukan menggunakan *Sludge Drying Bed* (SDB), yaitu unit yang berfungsi untuk menurunkan volume lumpur serta meningkatkan kadar *Total Suspended Solid* (TSS). Prinsip

kerjanya mengandalkan pengeringan alami melalui perpaduan aliran udara dan panas matahari, sehingga air dalam lumpur dapat menguap dan terpisah dari padatan. Menurut Metcalf & Eddy (2014), SDB ini sendiri dapat menjadi salah satu unit pengolahan dalam IPAL yang berpotensi mengeluarkan polutan kebauan dengan tingkat tinggi karena terdapat padatan yang mengering karena proses stabilisasi padatan yang tidak memadai.

4.2 Konsentrasi Hidrogen Sulfida (H₂S)

Untuk menganalisis sebaran polutan kebauan H₂S diperlukan data sampel konsentrasi H₂S di lokasi tersebut. Untuk penelitian ini, pengambilan sampel menggunakan H₂S *gas analyzer* di lokasi yang telah ditentukan. Hasil pengambilan sampel menggunakan H₂S *gas analyzer* diasumsikan sama dengan pengukuran selama 24 jam sehingga dapat dibandingkan dengan hasil pemodelan akhir dari AERMOD. Pengambilan sampel dibagi menjadi 3 rentang waktu, yaitu pagi hari, siang hari, dan sore hari. Hasil pencatatan konsentrasi H₂S pada masing-masing titik dan waktu dapat dilihat pada lampiran.

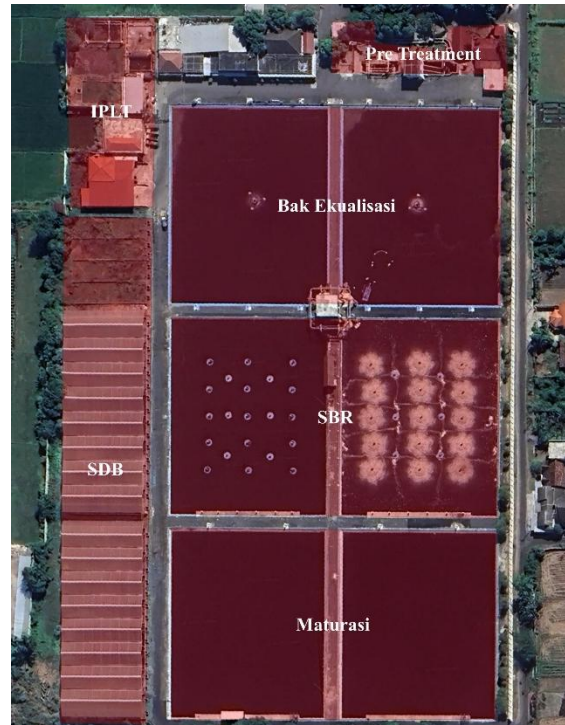
Data konsentrasi H₂S yang telah didapatkan selanjutnya dimodelkan ke dalam aplikasi Qgis dan AERMOD. Qgis atau Quantum Geographic Information System adalah suatu software yang biasa digunakan untuk mengolah data, khususnya data spasial yang bersifat open source (Ezrahyu et al., 2024). Menurut Fernando (2021), Quantum GIS (QGIS) merupakan salah satu perangkat lunak berbasis web GIS yang terus berkembang mengikuti kemajuan teknologi. Keunggulan utama QGIS adalah sifatnya yang open source dan didukung oleh komunitas pengguna global, sehingga siapa pun dapat berkontribusi dalam memperbaiki dan mengembangkan fitur-fiturnya agar menjadi aplikasi yang semakin optimal.

Saat ini, aplikasi Qgis telah berevolusi sehingga saat ini dapat digunakan untuk penggunaan yang lebih luas seperti melihat, mengedit, dan menganalisis data spasial (Graser & Olaya, 2015). Qgis bekerja dengan cara memproses data geografis yang selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk data spasial yang terdiri dari data vektor dan data raster. Data vektor digunakan sebagai representasi objek

geografis berupa garis, titik, dan poligon. Sementara data raster digunakan sebagai representasi bentuk grid atau piksel yang berisi nilai tertentu pada tiap selnya. Setelah mendapatkan data konsentrasi H₂S lalu dilanjutkan dengan mencari titik koordinat x dan y dengan menggunakan bantuan google earth. Kedua data tersebut lantas diinput kedalam QGIS, yang nantinya menghasilkan visualisasi persebaran H₂S dalam bentuk peta kontur konsentrasi polutan (*peta isopleth*).

AERMOD adalah aplikasi pemodelan yang merupakan versi pengembangan dari model ISC3 (*industrial source complex model*). AERMOD sendiri atas AERMOD sebagai model utama dan AERMET pemodelan meteorologi serta AERMAP sebagai pengolah data permukaan bumi (Ciromelli et. al, 2005). AERMOD menggunakan pendekatan Gaussian dan bi-Gaussian untuk memprediksi konsentrasi polutan di udara ambien dengan tingkat akurasi yang tinggi. Model ini dapat diterapkan pada berbagai tipe wilayah, baik kawasan perkotaan maupun pedesaan, sehingga sangat adaptif dan sesuai untuk berbagai kebutuhan pemodelan kualitas udara (Futari et al., 2025). Untuk dapat memodelkan pola persebaran H₂S didalam AERMOD memerlukan nilai laju emisi. Jika mengacu pada nilai laju emisi H₂S di IPAL pada Llavador Colomer, dkk (2012), menyebutkan bahwa rata rata laju emisi H₂S pada 3 IPAL berbeda yang terdapat di Spanyol berada direntang antara 0,09 dan 2,47 g/s. Sementara itu, pada penelitian ini nilai laju emisi yang akan digunakan berdasarkan pada hasil perhitungan.

Hasil analisis data konsentrasi kebauan H₂S tersebut nantinya akan disajikan dalam bentuk grafik. Penyajian grafik tersebut nantinya akan dikelompokkan

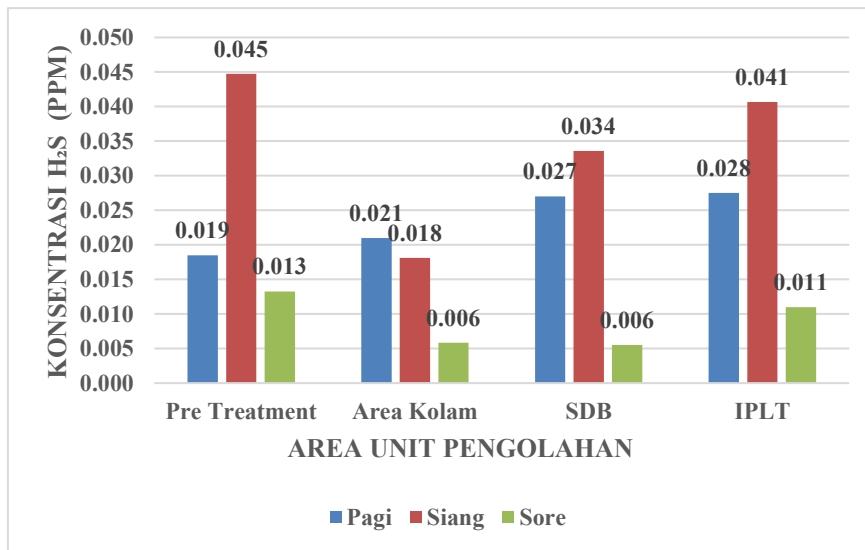


Gambar 4. 2 Peta Pembagian Sumber Potensi Kebauan

berdasarkan sumber kebauan, yaitu Pre-Treatment, Area Kolam, IPLT dan SDB yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Area *Pre-Treatment* terdiri dari inlet saluran limbah, bak ekualisasi dan *grit chamber*. Selanjutnya pada area kolam terdapat 6 kolam yang terdiri dari 2 kolam ekualisasi, 2 kolam SBR serta 2 kolam maturasi. Selanjutnya, pada sisi barat IPAL Sewon terdapat area SDB yang berjumlah 20 unit. Terakhir, area IPLT yang berada di sisi utara SDB yang melayani pengolahan lumpur tinja Kawasan Perkotaan Yogyakarta (KPY).

4.2.1 Nilai Rata Rata Konsentrasi Kebauan H₂S

Hasil nilai rata rata konsentrasi kebauan H₂S berdasarkan masing masing sumber ditunjukkan pada Gambar berikut.

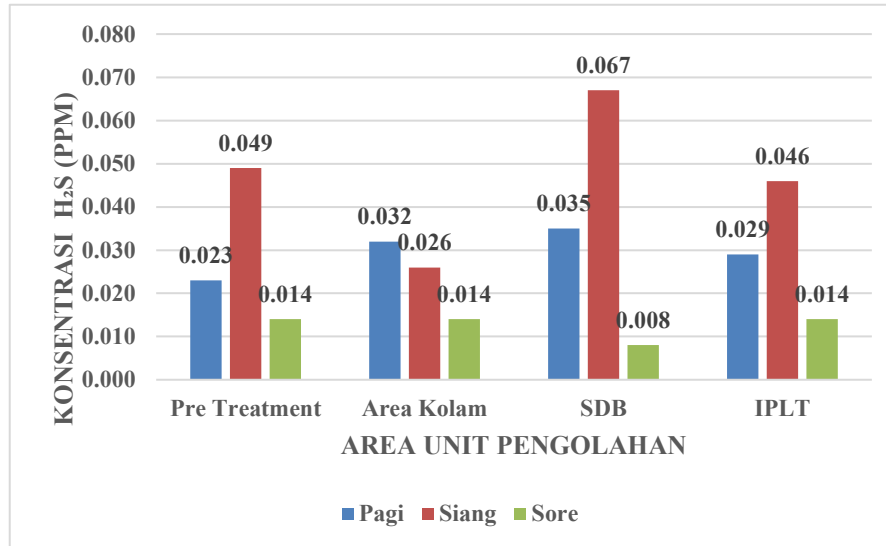


Gambar 4. 3 Nilai Rata Rata Konsentrasi Kebauan H₂S

Berdasarkan gambar tersebut, IPAL Sewon memiliki empat titik sumber emisi bau Hidrogen Sulfida (H₂S), yaitu pada bagian *Pre-Treatment*, kolam area pengolahan, SDB, dan IPLT. Sumbu X pada grafik menunjukkan urutan waktu pengambilan sampel, di mana warna biru merepresentasikan pengukuran pada pagi hari, warna merah pada siang hari, dan warna hijau pada sore hari. Sementara itu, sumbu Y menggambarkan nilai rata-rata konsentrasi bau H₂S dalam satuan ppm untuk setiap sumber dan waktu pengambilan. Dari gambar 4.3 terlihat bahwa konsentrasi H₂S berada dalam kisaran 0,006 hingga 0,045 ppm. Nilai rata-rata terendah terdeteksi pada area SDB dan Area Kolam saat sesi pengukuran sore hari, sedangkan nilai rata-rata tertinggi terjadi pada area *Pre-Treatment* saat pengambilan sampel di pagi hari.

4.2.2 Nilai Maksimum Konsentrasi Kebauan H₂S

Hasil nilai rata rata konsentrasi kebauan H₂S berdasarkan masing masing sumber ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 4 Nilai Maksimum Konsentrasi Kebauan H₂S

Berdasarkan gambar tersebut, IPAL Sewon memiliki empat titik sumber emisi bau Hidrogen Sulfida (H₂S), yaitu pada bagian *Pre-Treatment*, kolam area pengolahan, SDB, dan IPLT. Sumbu X pada grafik menunjukkan urutan waktu pengambilan sampel, di mana warna biru merepresentasikan pengukuran pada pagi hari, warna merah pada siang hari, dan warna hijau pada sore hari. Sementara itu, sumbu Y menggambarkan nilai rata-rata konsentrasi bau H₂S dalam satuan ppm untuk setiap sumber dan waktu pengambilan. Dari gambar 4.4 terlihat bahwa konsentrasi H₂S berada dalam kisaran 0,008 hingga 0,067 ppm. Nilai maksimum terendah terdeteksi pada area SDB saat sesi pengukuran sore hari, sedangkan nilai maksimum tertinggi terjadi pada area yang sama saat pengambilan sampel di siang hari. Selain itu, terdapat kenaikan nilai konsentrasi pada area kolam. Hal ini terjadi, karena air hasil pengolahan IPLT masuk ke unit pengolahan *grit chamber* menjadi salah satu faktor meningkatnya kebauan di area kolam (Arlina, D., 2018).

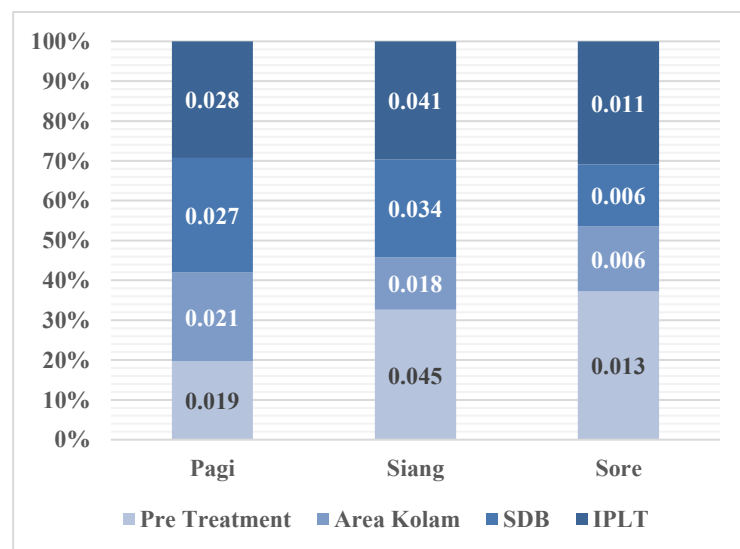
Sebagai pembandingan terhadap hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, beberapa studi sebelumnya telah melaporkan rentang konsentrasi H₂S yang cukup beragam. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kadar hidrogen sulfida (H₂S) di instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dapat bervariasi secara luas, dipengaruhi oleh kondisi operasional, lingkungan, dan metode estimasi yang

digunakan. Dalam kajian pemodelan oleh Zwain et al. (2020), emisi H₂S yang dihasilkan dari proses *extended aeration* diperkirakan mencapai 6.403 ppm pada musim panas dan 5.614 ppm pada musim dingin, menggambarkan potensi peningkatan pelepasan H₂S pada suhu yang lebih tinggi. Sementara itu, penelitian lapangan yang dilakukan oleh Sherief dan Hassan (2022) memperlihatkan adanya dinamika konsentrasi yang sangat signifikan dalam pengukuran langsung pada ruang udara tangki penampung, dengan nilai puncak sekitar 250 ppm pada malam hari dan penurunan hingga sekitar 15 ppm pada siang hari. Variasi ini terutama dikaitkan dengan perubahan parameter seperti suhu, karakteristik aliran, serta kedalaman air limbah. Di sisi lain, studi oleh Moreno-Silva et al. (2020) yang memanfaatkan flux chamber dan pemodelan AERMOD mencatat bahwa konsentrasi median H₂S di permukaan kolam IPAL berada di kisaran ~1 ppm, meskipun sesekali ditemukan nilai puncak yang dapat mencapai hingga 10 kali lipat dari median tersebut. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa besarnya konsentrasi H₂S di IPAL sangat dipengaruhi oleh tipe proses, kondisi setempat, dan pendekatan pengukuran maupun pemodelan yang diterapkan.

4.3 Persentase Sumber Kebauan

4.3.1 Persentase Sumber Kebauan Berdasarkan Nilai Rata Rata

Persentase rata rata konsentrasi kebauan H₂S berdasarkan masing masing sumber ditunjukkan pada gambar berikut.

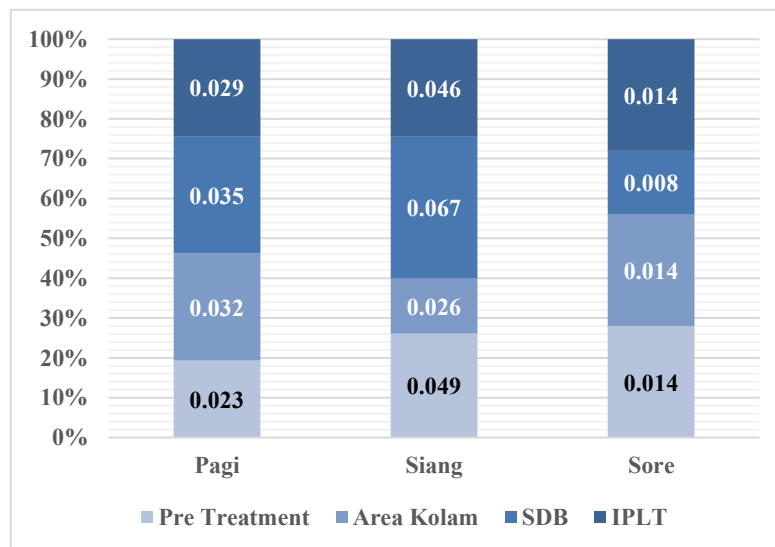


Gambar 4. 5 Persentase Sumber Kebauan Nilai Rata Rata

Berdasarkan gambar di atas sumbu x menunjukkan sumber kebauan H₂S, sedangkan sumbu y menunjukkan persentase kebauan dari masing masing sumber pada setiap sesi. Dari grafik di atas, dapat dilihat persentase sumber kebauan yang terdiri di pagi hari yaitu *Pre-Treatment* sebesar 20%, area kolam sebesar 22%, SDB sebesar 29% dan IPLT sebesar 29%. Persentase sumber kebauan yang terdiri di siang hari yaitu *Pre-Treatment* sebesar 33%, area kolam sebesar 13%, SDB sebesar 24% dan IPLT sebesar 30%. Persentase sumber kebauan yang terdiri di sore hari yaitu *Pre-Treatment* sebesar 37%, area kolam sebesar 16%, SDB sebesar 15% dan IPLT sebesar 31%. Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat persentase penyumbang kebauan terbesar adalah *Pre-Treatment* di sore hari yaitu sebesar 33% dan persentase penyumbang kebauan terkecil yaitu Area Kolam di siang hari sebesar 13%.

4.3.2 Persentase Sumber Kebauan Berdasarkan Nilai Maksimum

Hasil nilai rata rata konsentrasi kebauan H₂S berdasarkan masing masing sumber ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4. 6 Persentase Sumber Kebauan Nilai Maksimum

Berdasarkan gambar di atas sumbu x menunjukkan sumber kebauan H₂S, sedangkan sumbu y menunjukkan persentase kebauan dari masing masing sumber pada setiap sesi. Dari grafik di atas, dapat dilihat persentase sumber kebauan yang terdiri di pagi hari yaitu *Pre-Treatment* sebesar 19%, area kolam sebesar 27%, SDB sebesar 29% dan IPLT sebesar 24%. Persentase sumber kebauan yang terdiri

di siang hari yaitu *Pre-Treatment* sebesar 26%, area kolam sebesar 14%, SDB sebesar 36% dan IPLT sebesar 24%. Persentase sumber kebauan yang terdiri di sore hari yaitu *Pre-Treatment* sebesar 28%, area kolam sebesar 28%, SDB sebesar 16% dan IPLT sebesar 28%. Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat persentase penyumbang kebauan terbesar adalah SDB di siang hari yaitu sebesar 36% dan persentase penyumbang kebauan terkecil yaitu Area Kolam di siang hari sebesar 14%.

4.4 Peta Konsentrasi Kebauan H₂S

4.4.1 Pemodelan Menggunakan QGIS

Pemodelan peta kontur menggunakan QGIS dapat menghasilkan penggambaran visual dari data hasil pengukuran lapangan. Dalam pemodelan menggunakan QGIS, diperlukan data konsentrasi H₂S hasil pengukuran sampling serta titik kordinat x dan y dari masing masing data. Pengukuran sampel dilakukan secara langsung menggunakan H₂S *Gas Analyzer*. Sedangkan titik koordinat x dan y didapatkan dari *Google Earth Pro*. Tabel hasil sampling H₂S di 54 titik pada pagi, siang dan sore hari ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 2 Data Sample Lapangan

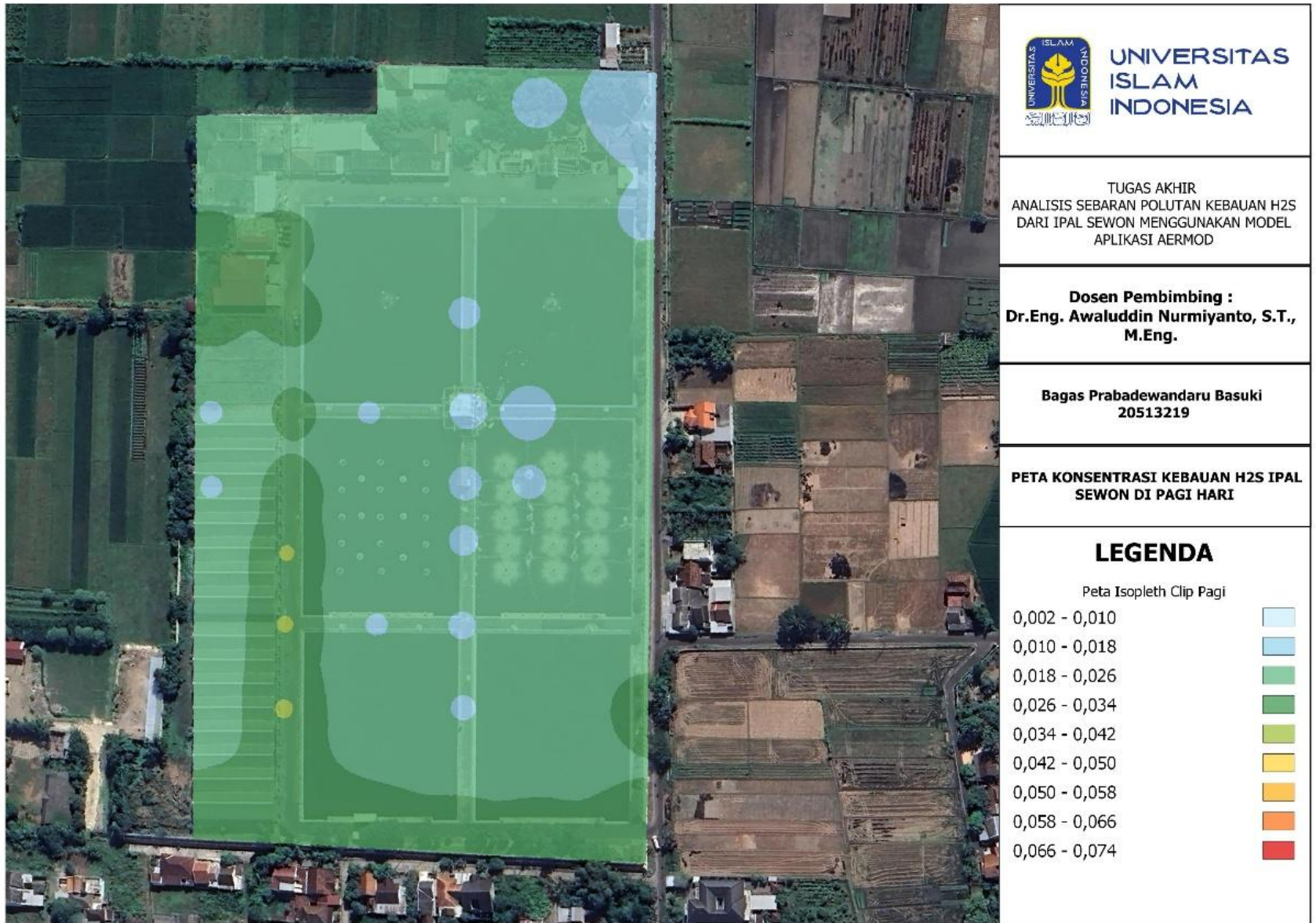
Titik ke-	X	Y	Tingkat Kebauan Pagi (PPM)	Tingkat Kebauan Siang (PPM)	Tingkat Kebauan Sore (PPM)
Titik 1	110.334245	-7.860706	0.026	0.041	0.014
Titik 2	110.334580	-7.860688	0.023	0.046	0.011
Titik 3	110.334916	-7.860734	0.023	0.049	0.014
Titik 4	110.335242	-7.860716	0.020	0.046	0.011
Titik 5	110.335560	-7.860699	0.017	0.043	0.014
Titik 6	110.335995	-7.860744	0.014	0.041	0.014
Titik 7	110.335967	-7.861170	0.017	0.011	0.014
Titik 8	110.335487	-7.861151	0.020	0.002	0.014
Titik 9	110.335242	-7.861205	0.020	0.014	0.014
Titik 10	110.334824	-7.861177	0.020	0.011	0.011
Titik 11	110.334552	-7.861176	0.029	0.041	0.011
Titik 12	110.334216	-7.861221	0.029	0.046	0.014
Titik 13	110.334207	-7.861447	0.029	0.035	0.008
Titik 14	110.334552	-7.861475	0.029	0.035	0.008
Titik 15	110.334833	-7.861484	0.025	0.020	0.005
Titik 16	110.335223	-7.861503	0.017	0.017	0.005

Titik ke-	X	Y	Tingkat Kebauan Pagi (PPM)	Tingkat Kebauan Siang (PPM)	Tingkat Kebauan Sore (PPM)
Titik 17	110.335477	-7.861522	0.018	0.020	0.005
Titik 18	110.335948	-7.861549	0.020	0.014	0.002
Titik 19	110.335921	-7.861947	0.020	0.014	0.005
Titik 20	110.335458	-7.861919	0.016	0.014	0.002
Titik 21	110.335204	-7.861892	0.017	0.017	0.005
Titik 22	110.334814	-7.861873	0.017	0.017	0.008
Titik 23	110.334524	-7.861855	0.029	0.035	0.008
Titik 24	110.334188	-7.861827	0.017	0.036	0.008
Titik 25	110.334170	-7.862125	0.017	0.067	0.005
Titik 26	110.334487	-7.862162	0.032	0.038	0.005
Titik 27	110.334832	-7.862145	0.020	0.020	0.008
Titik 28	110.335176	-7.862181	0.017	0.017	0.005
Titik 29	110.335439	-7.862200	0.017	0.014	0.002
Titik 30	110.335902	-7.862228	0.023	0.017	0.002
Titik 31	110.335884	-7.862454	0.023	0.017	0.002
Titik 32	110.335421	-7.862408	0.020	0.017	0.005
Titik 33	110.335158	-7.862407	0.017	0.017	0.005
Titik 34	110.334822	-7.862425	0.020	0.017	0.008
Titik 35	110.334450	-7.862406	0.035	0.029	0.005
Titik 36	110.334133	-7.862370	0.020	0.030	0.005
Titik 37	110.334114	-7.862659	0.020	0.029	0.005
Titik 38	110.334423	-7.862687	0.035	0.029	0.005
Titik 39	110.334786	-7.862714	0.017	0.017	0.005
Titik 40	110.335130	-7.862742	0.017	0.020	0.005
Titik 41	110.335393	-7.862752	0.020	0.023	0.005
Titik 42	110.335856	-7.862797	0.026	0.023	0.005
Titik 43	110.335828	-7.863114	0.029	0.023	0.005
Titik 44	110.335366	-7.863077	0.022	0.026	0.005
Titik 45	110.335112	-7.863068	0.017	0.020	0.005
Titik 46	110.334749	-7.863040	0.020	0.020	0.005
Titik 47	110.334395	-7.863021	0.035	0.029	0.005
Titik 48	110.334078	-7.863012	0.020	0.029	0.005
Titik 49	110.334068	-7.863473	0.032	0.026	0.005
Titik 50	110.334431	-7.863510	0.032	0.026	0.005
Titik 51	110.334739	-7.863574	0.032	0.026	0.005
Titik 52	110.335065	-7.863574	0.029	0.026	0.005
Titik 53	110.335356	-7.863611	0.029	0.026	0.005
Titik 54	110.335746	-7.863629	0.029	0.023	0.005

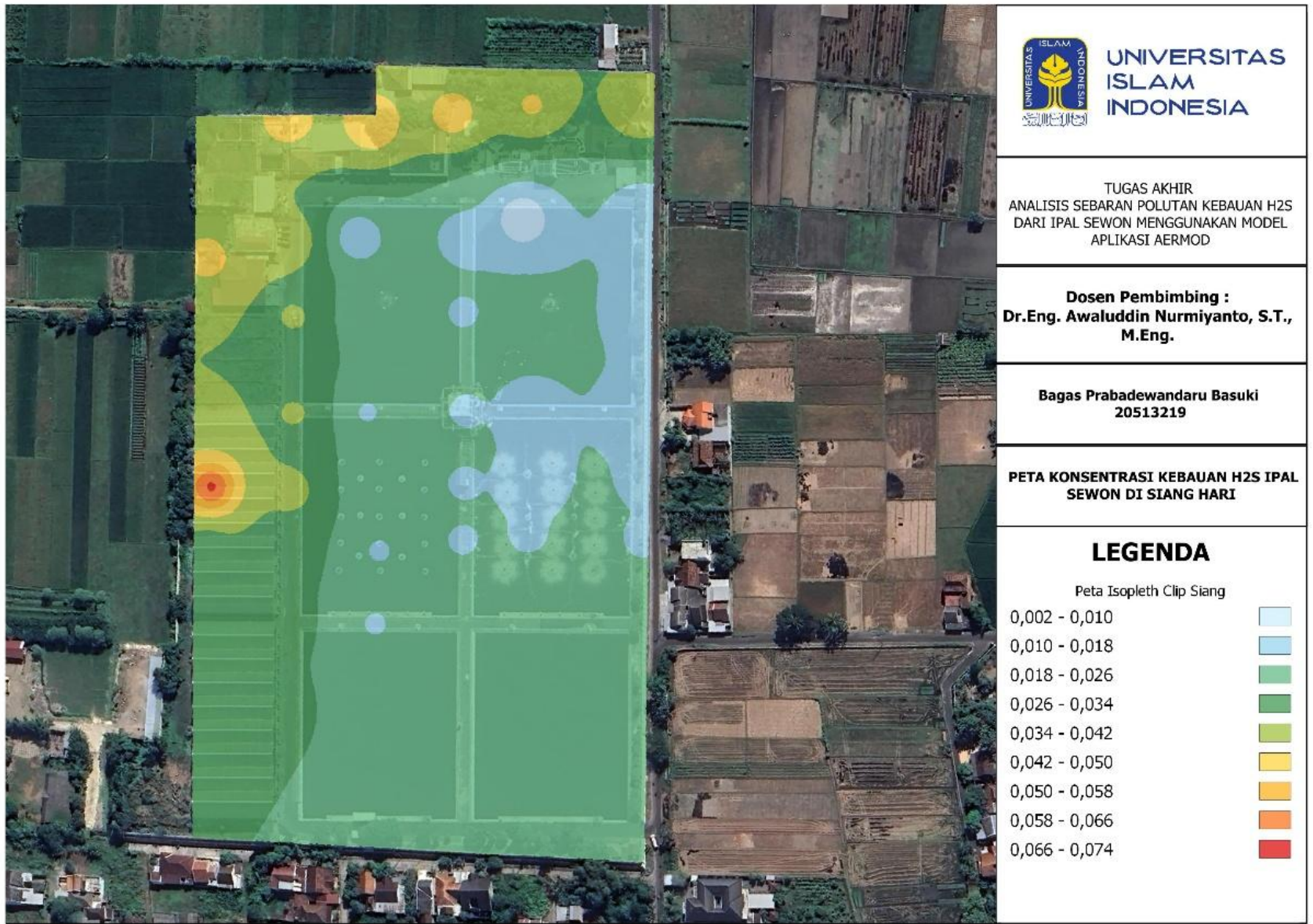
Tabel diatas hanya menunjukkan nilai konsentrasi dari tiap titik sampling, oleh karena itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai kontur konsentrasi

kebauan H₂S dengan menggunakan bantuan QGIS. Tahap awal ialah menginput data hasil pengukuran konsentrasi sebanyak 54 titik dalam bentuk excel kedalam QGIS. Lalu, QGIS akan memvisualisasikan nilai konsentrasi pada tiap titik sampling dengan algoritmanya. Setelah peta kontur hasil visualisasi tersebut muncul, kita bisa mengedit warna dan rentang konsentrasi skala tersebut sesuai kebutuhan.

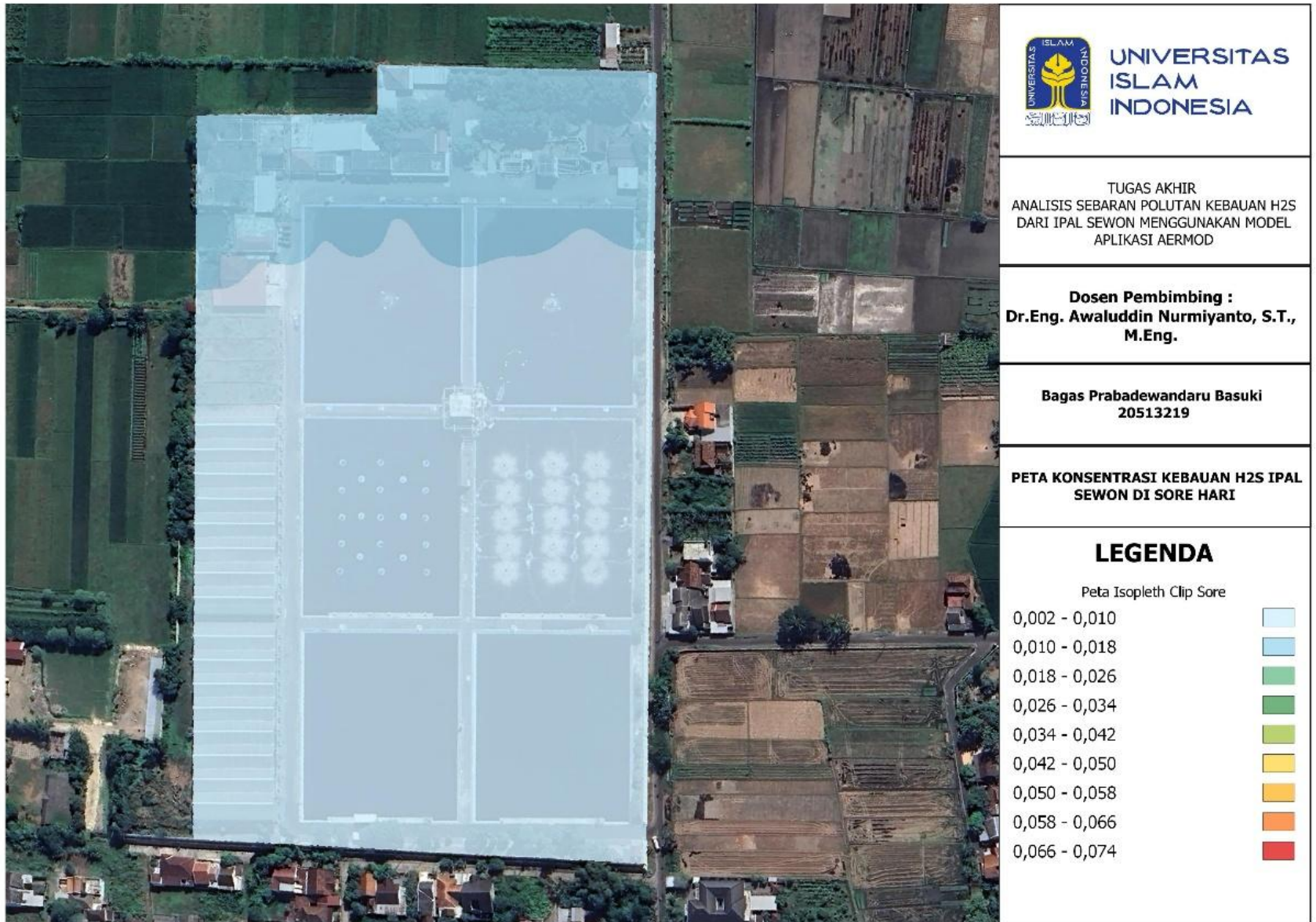
Hasil pemodelan kebauan H₂S menggunakan QGIS berdasarkan hasil data sampling di 3 waktu yang berbeda, yaitu pagi, siang, dan sore hari ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 4. 7 Peta Konsentrasi Kebauan H₂S IPAL Sewon Pagi Hari



Gambar 4. 8 Peta Konsentrasi Kebauan H₂S IPAL Sewon Siang Hari



Gambar 4. 9 Peta Konsentrasi Kebauan H₂S IPAL Sewon Sore Hari

Berdasarkan hasil pemodelan di QGIS, dapat dilihat bahwasannya konsentrasi H₂S mencapai puncaknya saat siang hari, sementara pagi hari lebih rendah dari siang hari, dan sore hari menunjukkan penurunan konsentrasi H₂S yang signifikan. Sumber unit pengolahan yang memiliki konsentrasi H₂S tertinggi saat pagi hari adalah SDB dengan rentang konsentrasi sebesar 0,034-0,042 PPM, selanjutnya unit IPLT memiliki konsentrasi H₂S sebesar 0,026-0,034 PPM, sementara itu area kolam dan *Pre-Treatment* memiliki rentang konsentrasi yang sama, yaitu 0,01-0,018 PPM. Untuk tingkat konsentrasi H₂S tertinggi saat siang hari sendiri masih terdapat pada unit SDB dengan konsentrasi sebesar 0,067 PPM, selanjutnya area IPLT berada di 0,042-0,05 PPM, lalu unit *Pre-Treatment* memiliki rentang sebesar 0,026-0,034 PPM, dan terakhir area kolam memiliki rentang konsentrasi sebesar 0,01-0,026. Sementara itu, saat sore hari terjadi penurunan konsentrasi H₂S yang sangat signifikan, dimana rentang konsentrasi tertinggi terdapat pada area IPLT dan *Pre-Treatment*, yang berada direntang 0,01-0,018 PPM. Sementara SDB dan area kolam berada direntang 0,002-0,01 PPM.

Perbedaan tingkat konsentrasi H₂S ini salah satunya dipengaruhi karena aktifitas operasional pengolahan air limbah. Potensi kenaikan konsentrasi H₂S dapat terjadi apabila unit terkait sedang beroperasi saat diambil sample. Berdasarkan hasil pemodelan saat pagi, siang, dan sore hari, Area SDB menjadi unit pengolahan yang memiliki potensi konsentrasi kebauan H₂S tertinggi. Konsentrasi tertinggi kebauan H₂S pada unit ini sendiri terjadi pada saat siang hari. Hal ini dapat terjadi disebabkan karena saat pengambilan sample di siang hari, suhu cenderung tinggi, sehingga pelepasan konsentrasi kebauan H₂S ke udara terjadi dengan signifikan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Weng, Huanxin et al., (2015), yang menunjukkan bahwa adanya korelasi antara waktu pengeringan, suhu, dan jumlah pelepasan H₂S ke udara. Sementara, saat sore hari suhu sudah menurun, sehingga konsentrasi pelepasan H₂S ke udara menjadi rendah.

Selain itu, meteorologi juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat konsentrasi H₂S. Faktor meteorologi yang berperan terhadap tingkat konsentrasi H₂S itu sendiri diantaranya adalah arah angin, kecepatan angin, tekanan udara, kelembapan udara, dan suhu. Arah angin berperan sebagai penentu

arah sebaran kebauan dari sumber emisi. Kecepatan angin mempengaruhi jauh dan seberapa cepat kebauan bergerak. Kecepatan angin yang tinggi dapat mengurangi konsentrasi H₂S pada area sumber dan meningkatkan area yang terdampak. Tekanan udara mempengaruhi densitas dan pergerakan udara. Selain itu, kelembapan juga mempengaruhi konsentrasi H₂S di udara. Hal tersebut dapat dilihat pada penelitian Takimoto, Y., et al. (2025), didalam penelitiannya, terdapat perubahan konsentrasi H₂S yang linier terhadap meningkatnya kelembapan udara. Sementara, suhu mempengaruhi penguapan dan penyebaran H₂S diudara.

4.4.2 Pemodelan Menggunakan AERMOD

4.4.2.1 Hasil Perhitungan Laju Emisi

Hasil dan contoh perhitungan laju emisi H₂S IPAL Sewon Bantul adalah sebagai berikut.

A. Asumsi dan Pertimbangan

- Distribusi Konsentrasi

Konsentrasi H₂S yang diukur di berbagai titik di atas area, diasumsikan sebagai representasi dari seluruh area.

- Data Meteorologi

Data meteorologi rata-rata bulanan di daerah lokasi studi yang meliputi tutupan awan, temperatur, kelembapan, tekanan, arah angin, kecepatan angin, presipitasi dan radiasi matahari diambil dari (<https://cds.climate.copernicus.eu/>)

- Konsentrasi H₂S yang digunakan merupakan konsentrasi tertinggi dari masing masing area yang memiliki potensi sebagai unit sumber pencemar.

B. Data Pengukuran Lapangan

Area IPLT

- Konsentrasi H₂S (C) : 0,046 PPM = 0,064 mg/m³
- Kecepatan Angin (V) : 1,288 m/det (rata rata selama sebulan)
- Luas Total Kolam (A) : 3200 m²

C. Perhitungan Fluks Emisi

$$F = C \times V$$

$$F = 0,064 \times 1,288$$

$$F = 0,08 \text{ mg/m}^2/\text{s}$$

D. Perhitungan Laju Emisi Total

$$E_{total} = F \times A_{Total}$$

$$E_{total} = 0,08 \text{ mg/m}^2/\text{s} \times 32000 \text{ m}^2$$

$$E_{total} = 263,3 \text{ mg/s}$$

$$E_{total} = 0,2636 \text{ g/s}$$

$$\text{Laju Emisi Total} = 0.00008239 \text{ g/s/m}^2$$

Berikut adalah tabel hasil perhitungan laju emisi H₂S pada masing masing area.

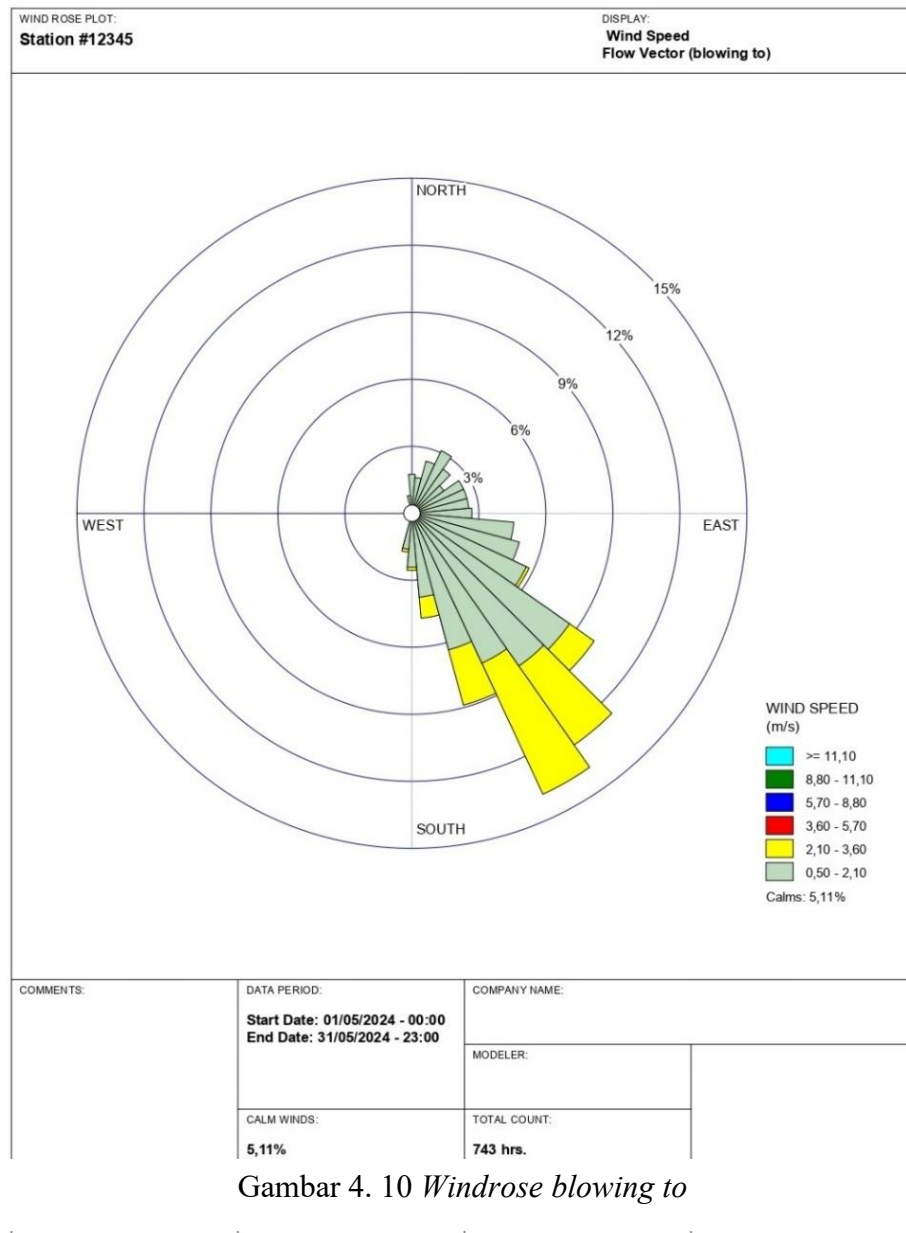
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Laju Emisi H₂S

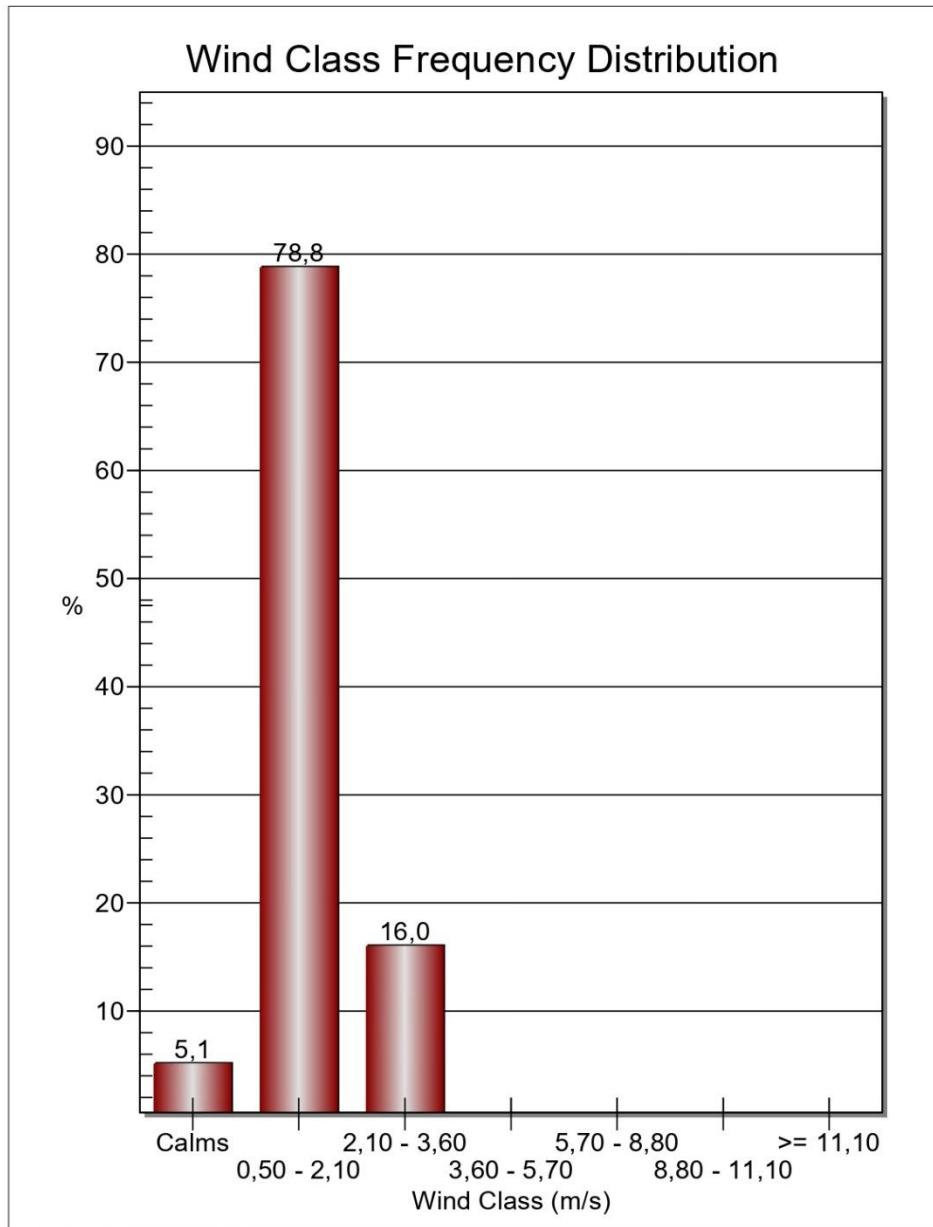
Area	Konsentrasi H ₂ S		Kecepatan Angin (V) m/s	Luas Area (A) m ²	Fluks Emisi (F) mg/m ² /s	Laju Emisi Total		
	PPM	mg/m ³				mg/s	g/s	g/s/m ²
Kolam 1	0.025	0.035	1.288	5950	0.04	266.4	0.2664	0.00004478
Kolam 2	0.020	0.028	1.288	5950	0.04	213.1	0.2131	0.00003582
Kolam 3	0.020	0.028	1.288	5950	0.04	213.1	0.2131	0.00003582
Kolam 4	0.023	0.032	1.288	5950	0.04	245.1	0.2451	0.00004119
Kolam 5	0.032	0.044	1.288	5600	0.06	321.0	0.3210	0.00005731
Kolam 6	0.029	0.040	1.288	5600	0.05	290.9	0.2909	0.00005194
Pre-Treatment	0.049	0.068	1.288	1200	0.09	105.3	0.1053	0.00008776
SDB	0.067	0.093	1.288	8360	0.12	1003.2	1.0032	0.00012000
IPLT	0.046	0.064	1.288	3200	0.08	263.6	0.2636	0.00008239

4.4.2.2 Hasil Windrose dan Distribusi Frekuensi Kelas Angin

Windrose adalah penggambaran arah dan kecepatan dominan angin, yang berhembus pada suatu tempat dalam waktu tertentu. Hasil *windrose* ini didapatkan dari hasil pengolahan data kecepatan dan arah angin yang dimasukkan kedalam *software WRPLOT*. Hasil *windrose* tersebut selanjutnya akan dibandingkan dengan peta isopleth hasil pemodelan AERMOD. Dalam diagram *windrose*, kecepatan angin dibagi ke dalam beberapa kategori warna. Rentang 0,5–2,1 m/s

ditampilkan dengan warna hijau muda, rentang 2,1–3,6 m/s menggunakan warna kuning, rentang 3,6–5,7 m/s ditandai dengan warna merah, rentang 5,7–8,8 m/s menggunakan warna biru tua, rentang 8,8–11 m/s diwakili oleh warna hijau tua, sedangkan kecepatan angin ≥ 11 m/s ditunjukkan dengan warna biru muda. Berdasarkan hasil *windrose*, didapatkan bahwa arah angin dominan rata-rata adalah dari arah barat laut ke tenggara, dengan kecepatan rata-rata 1,27 m/s. Hasil pemodelan *windrose* dapat dilihat pada gambar berikut.



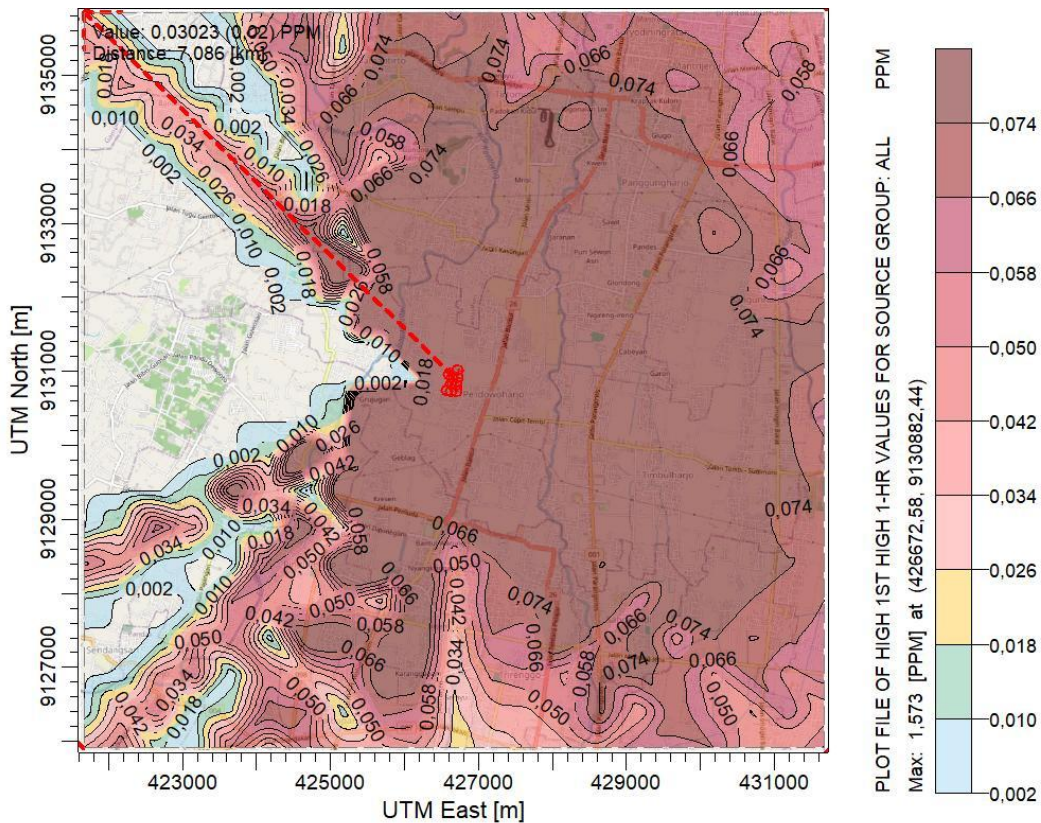


Gambar 4. 11 Distribusi Frekuensi Kelas Angin

Selain mendapatkan hasil berupa *windrose*, didapatkan juga grafik distribusi kelas angin. Grafik distribusi kelas angin merupakan gambaran statistik yang menunjukkan kelas kecepatan angin yang terjadi dalam jangka waktu tertentu pada suatu lokasi. Berdasarkan kelas angin dalam grafik, distribusi frekuensi kelas angin yang paling dominan sebesar 0,5 - 2,10 m/s dengan persentase 78,8%

4.4.2.3 Analisis Sebaran Polutan Kebauan H₂S

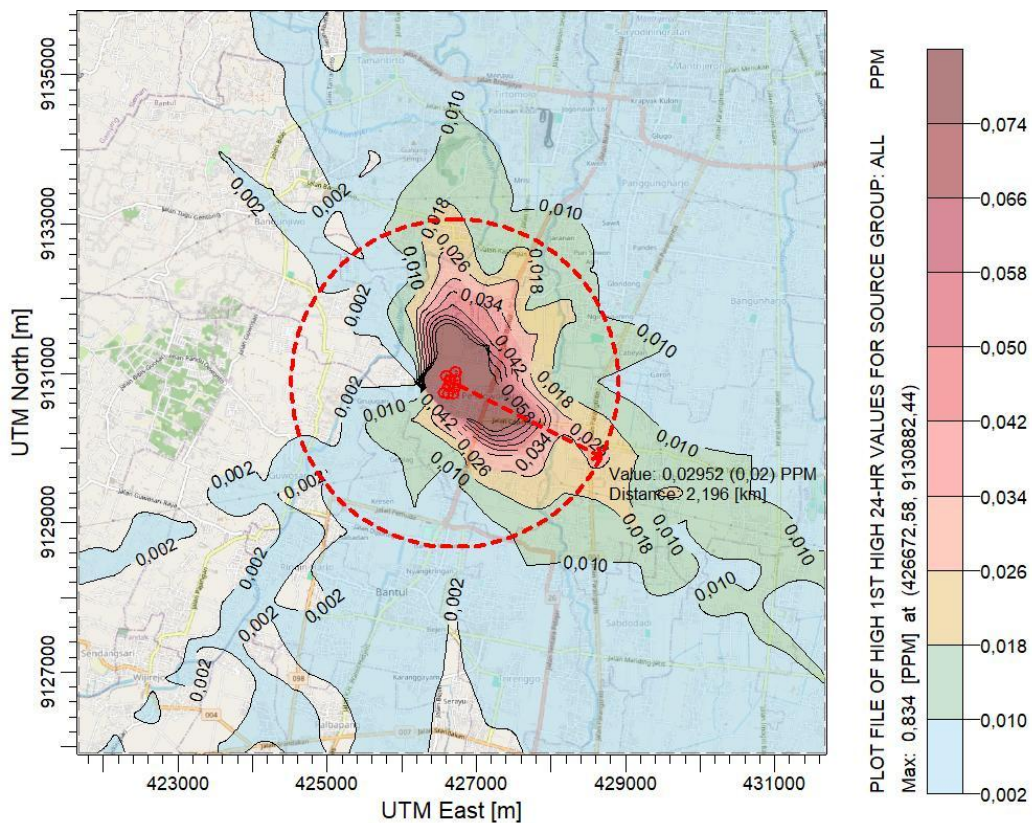
Pemodelan menggunakan *software* AERMOD ini menggunakan, 3 jenis model pengukuran. Jenis model pengukuran ini berdasarkan waktu pengukuran yang dilakukan, yaitu 1 jam, 24 jam, dan *period* (rentang periode tertentu), dengan menggunakan hasil perhitungan laju emisi. Selain menginput hasil perhitungan laju emisi, diperlukan juga faktor lain yang nantinya akan mempengaruhi sebaran polutan H₂S, faktor lain yang mempengaruhi sebaran tersebut adalah kondisi meteorologi dan topografi. Hasil pengolahan kondisi kedua faktor tersebut selanjutnya diinput kedalam AERMET dan AERMAP. Data yang telah diinput tersebut nantinya akan mempengaruhi hasil akhir pemodelan di AERMOD. Berikut adalah hasil pemodelan sebaran kebauan H₂S berdasarkan waktu pengukuran 1 jam, 24 jam, dan rentang periode tertentu.



Gambar 4. 12 Hasil Pemodelan H₂S 1 Jam

Gambar 4.13 merupakan hasil pemodelan menggunakan AERMOD yang menunjukkan hasil distribusi konsentrasi H₂S, berdasarkan hasil identifikasi unit pengolahan yang berpotensi sebagai sumber pencemar. Hasil pemodelan tersebut menggunakan data input yang meliputi nilai laju emisi, faktor meteorologi, dan parameter dispersi yang sesuai. Gambar 4.13 juga merupakan model sebaran polutan di udara dan area yang terpengaruh oleh emisi H₂S selama 1 jam. Dapat dilihat bahwa dari hasil pemodelan tersebut menghasilkan prediksi konsentrasi H₂S pada rentang 0,002-0,074 PPM.

Berdasarkan hasil dispersi tersebut, dapat dikatakan bahwa konsentrasi H₂S yang dihasilkan oleh IPAL Sewon melebihi baku mutu. Berdasarkan Keputusan

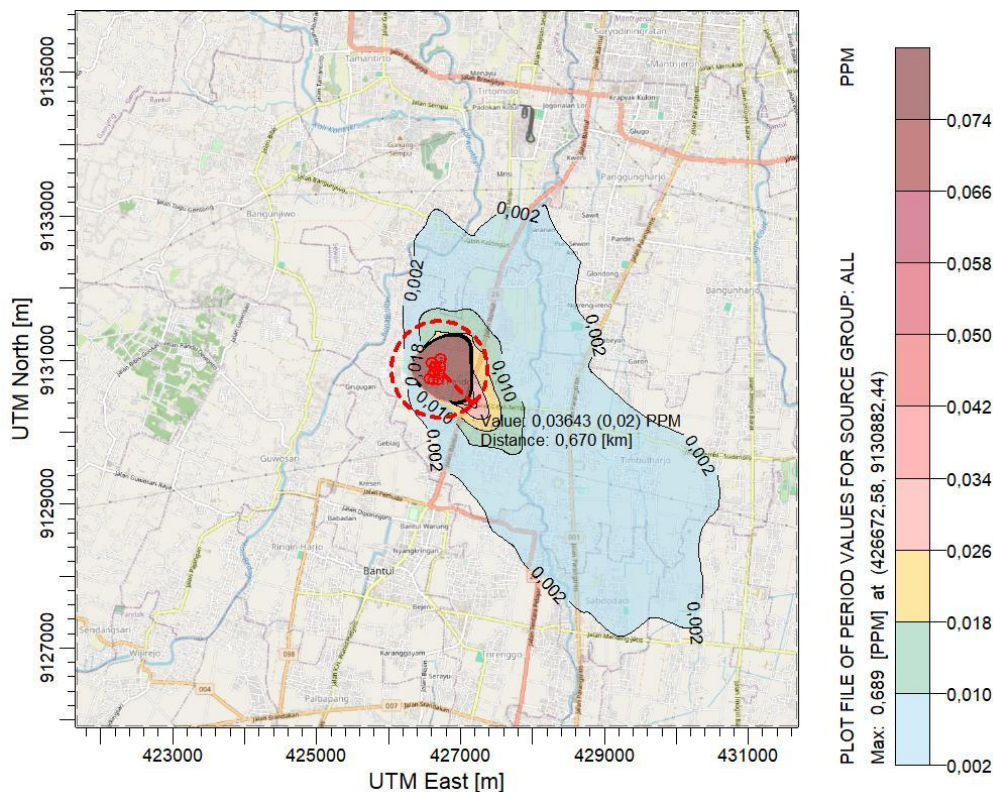


Gambar 4. 13 Hasil Pemodelan H₂S 24 Jam

Menteri Lingkungan Hidup No. 50 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebauan, nilai baku mutu H₂S adalah sebesar 0,02 PPM, sedangkan rentang dispersi H₂S di atas 0,02 PPM. Selain itu, hasil dispersi tersebut juga memprediksikan jarak terjauh daerah yang terdampak, yaitu sejauh 7,086 km. Hal tersebut menunjukkan bahwa kegiatan pengolahan air limbah dan lumpur tinja di IPAL Sewon dalam rentang 1 jam dapat menimbulkan dampak kebauan yang signifikan. Selanjutnya, hasil pemodelan sebaran kebauan H₂S di IPAL Sewon pada pengukuran 24 jam, ditunjukkan pada gambar berikut.

Hasil simulasi menggunakan AERMOD untuk periode pengukuran 24 jam ditampilkan pada Gambar 4.14 Total terdapat 9 area source yang dimasukkan ke dalam model, yaitu Pre Treatment, SDB, IPLT, serta 6 kolam pengolahan. Setiap *area source* memiliki nilai laju emisi yang berbeda-beda, dengan kisaran 0,00003582–0,00012 g/s/m² yang diperoleh dari hasil rekapitulasi perhitungan sebelumnya. Nilai konsentrasi H₂S hasil pemodelan sangat dipengaruhi oleh besarnya laju emisi yang dimasukkan. Semakin tinggi laju emisi, maka konsentrasi H₂S yang terbentuk akan semakin tinggi, dan sebaliknya jika laju emisinya lebih rendah. Hasil pemodelan 24 jam menunjukkan konsentrasi H₂S berada pada rentang 0,002–0,074 PPM. Konsentrasi tertinggi terjadi pada lokasi yang berada di sekitar IPAL Sewon, sedangkan pada lokasi yang lebih jauh dari sumber menunjukkan konsentrasi yang lebih rendah. Jauh sebaran konsentrasi 24 jam ini lebih kecil dibandingkan hasil pemodelan 1 jam. Perbedaan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah dalam waktu 24 jam, terjadi pengenceran (dilusi) konsentrasi H₂S yang terjadi karena adanya perubahan kecepatan angin pada lokasi tersebut.

Selanjutnya, hasil pemodelan sebaran kebauan H₂S di IPAL Sewon pada pengukuran rentang periode tertentu, ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 14 Hasil Pemodelan H₂S *Period*

Hasil simulasi menggunakan AERMOD untuk pengukuran rentang periode tertentu ditampilkan pada Gambar 4.15 Total terdapat 9 area source yang dimasukkan ke dalam model, yaitu Pre Treatment, SDB, IPLT, serta 6 kolam pengolahan. Setiap area source memiliki nilai laju emisi yang berbeda-beda, dengan kisaran 0,00003582–0,00012 g/s/m² yang diperoleh dari hasil rekapitulasi perhitungan sebelumnya.

Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara hasil konsentrasi pengukuran rentang periode tertentu dan 1 jam pengukuran ataupun 24 jam pengukuran. Konsentrasi pengukuran rentang periode tertentu yang lebih rendah dibandingkan konsentrasi 1 jam atau 24 jam pengukuran disebabkan karena adanya variasi kondisi meteorologi yang terjadi dari hasil pemodelan “period” ini. Selain itu, hasil pemodelan AERMOD pada durasi “period” menunjukkan bahwa sebaran H₂S konsisten mengarah ke sektor barat laut. Hal ini sesuai dengan hasil *windrose* yang menunjukkan arah angin yang bertiup menuju barat laut.

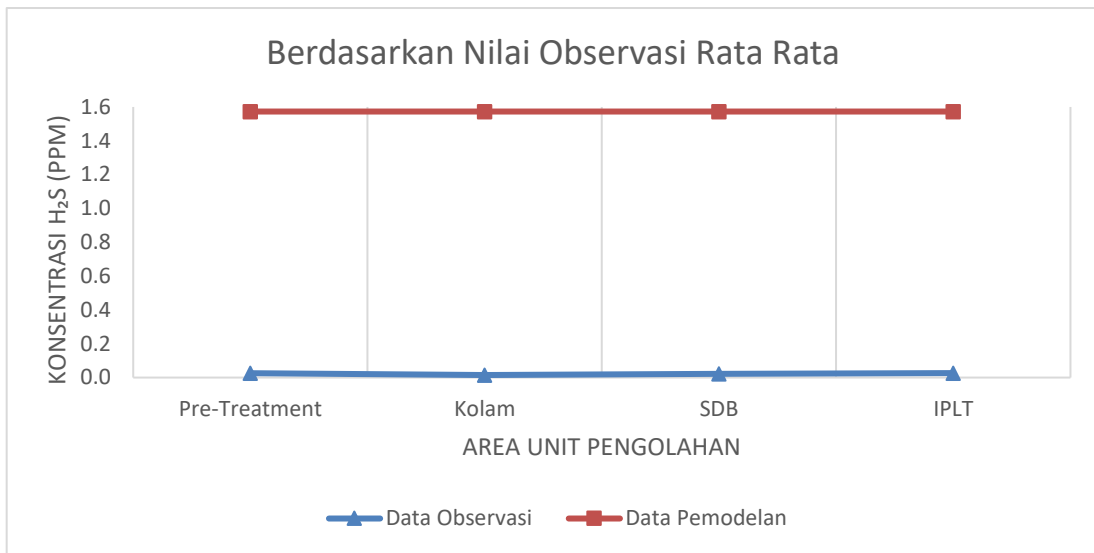
Konsentrasi yang muncul terlihat lebih rendah dibandingkan durasi 1 jam dan 24 jam karena telah melalui proses perata-rataan secara waktu. Meskipun nilai konsentrasinya menurun, pola arah sebaran yang stabil mengindikasikan bahwa wilayah barat laut berpotensi mengalami paparan berulang dalam jangka panjang, terutama jika terdapat permukiman pada arah tersebut.

4.5 Uji Validasi Model H₂S

Uji validasi model ini dilakukan dengan Root Mean Square Percent Error (RMSPE), yakni membandingkan hasil prediksi persebaran oleh aplikasi AERMOD dengan hasil pengukuran yang dilakukan secara langsung, pada lokasi yang sama. Area yang akan dilakukan uji validasi yaitu *Pre-Treatment*, IPLT, SDB, dan Area Kolam. Sedangkan data prediksi yang digunakan hasil pemodelan yang dilakukan selama 1 jam. Area uji validasi model dilakukan hanya pada area IPAL Sewon, hal ini dikarenakan adanya perbedaan jumlah grid lokasi IPAL Sewon dan area pemodelan. Hasil perhitungan uji validasi model dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 4 Uji Validasi Model RMSE Berdasarkan Nilai Observasi Rata Rata

Berdasarkan Nilai Observasi Rata-Rata							
Area	Data Observasi	Data Pemodelan	Selisih Error	Kuadrat Selisih	Jumlah Selisih kuadrat	Rata-rata Selisih kuadrat	Akar Kuadrat Rata-Rata (RMSE)
<i>Pre-Treatment</i>	0.026	1.573	1.55	2.39	9.62	2.40	1.55
Kolam	0.015	1.573	1.56	2.43			
SDB	0.022	1.573	1.55	2.41			
IPLT	0.026	1.573	1.55	2.39			



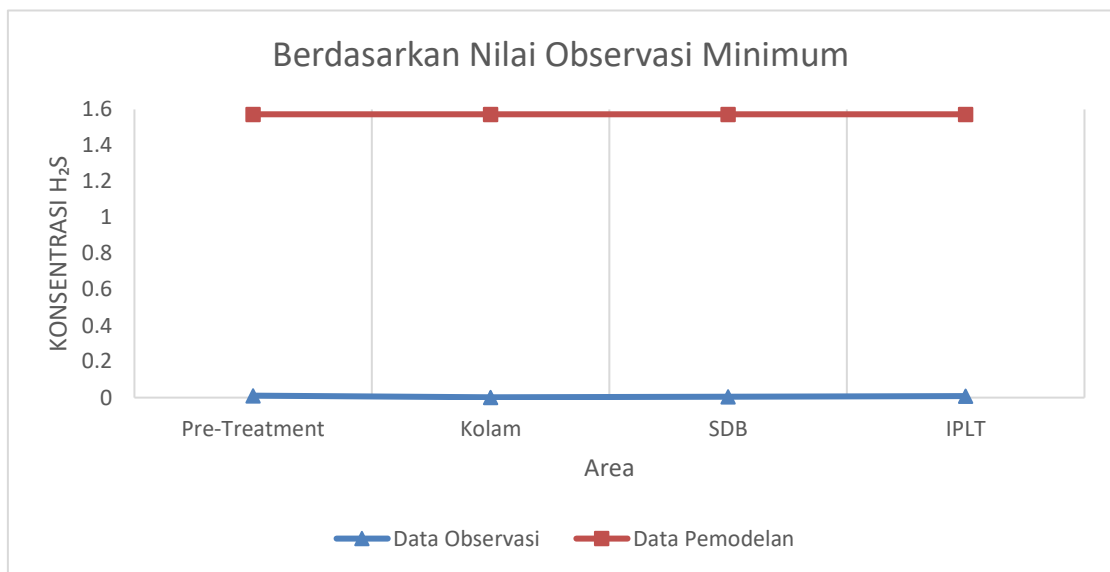
Gambar 4. 15 Grafik Uji Validasi Model RMSE Berdasarkan Nilai Rata Rata

Nilai RMSE yang kecil mengindikasikan bahwa hasil pemodelan AERMOD memiliki akurasi yang cukup baik dalam melakukan prediksi konsentrasi H₂S di udara. Sebaliknya, jika hasil RMSE menunjukkan nilai yang besar, mengindikasikan bahwa hasil prediksi AERMOD memiliki akurasi yang kurang baik dalam melakukan prediksi konsentrasi H₂S di udara.

Berdasarkan hasil perhitungan uji model validasi yang menggunakan nilai observasi rata rata, didapatkan nilai RMSE sebesar 1,55 dan terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada grafik yang ditunjukkan. Nilai RMSE yang lebih besar dari hasil observasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara data pengukuran observasi dan data pengukuran pemodelan. Hasil tersebut tidak berarti bahwa hasil tersebut tidak valid, tetapi hal tersebut dapat diartikan bahwa model membutuhkan penyesuaian lebih lanjut. Dalam kasus ini, terdapat efek topografi yang kurang diperhitungkan atau kurangnya data observasi diluar IPAL Sewon, sehingga uji validasi model hanya menggunakan data di area IPAL Sewon.

Tabel 4. 5 Uji Validasi Model RMSE Berdasarkan Nilai Observasi Minimum

Berdasarkan Nilai Observasi Minimum							
Area	Data Observasi	Data Pemodelan	Selisih Error	Kuadrat Selisih	Jumlah Selisih kuadrat	Rata-rata Selisih kuadrat	Akar Kuadrat Rata-Rata (RMSE)
<i>Pre-Treatment</i>	0.011	1.573	1.56	2.44	9.82	2.45	1.57
Kolam	0.002	1.573	1.57	2.47			
SDB	0.005	1.573	1.57	2.46			
IPLT	0.008	1.573	1.57	2.45			



Gambar 4. 16 Grafik Uji Validasi Model Berdasarkan Nilai Minimum

Berdasarkan hasil perhitungan uji model validasi yang menggunakan nilai observasi minimum, didapatkan nilai RMSE sebesar 1,57 dan terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada grafik yang ditunjukkan. Nilai RMSE yang lebih besar dari hasil observasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara data pengukuran observasi dan data pengukuran pemodelan.

Berdasarkan hasil perhitungan uji validasi model dengan menggunakan nilai observasi rata rata dan minimum yang dibandingkan dengan data pemodelan, ditemukan bahwa nilai RMSE keduanya diatas standar, meskipun selisih antara keduanya tidak terput jauh, yaitu sebesar 0,02. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan kondisi tersebut, salah satunya adalah keterbatasan data hasil

pengukuran lapangan. Dalam pelaksanaan uji validasi model, data observasi yang digunakan hanya berasal dari area di dalam IPAL Sewon. Pada jarak yang lebih jauh, tidak tersedia data pengukuran lapangan karena keterbatasan alat. Hal ini disebabkan alat H₂S Gas Analyzer yang digunakan hanya memiliki resolusi 0,1 ppm, sehingga konsentrasi H₂S di luar area IPAL Sewon tidak dapat terdeteksi. Berdasarkan hasil uji validasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa model AERMOD bersifat *over predicted*, yaitu model memprediksi konsentrasi H₂S lebih tinggi dibandingkan nilai yang terukur secara langsung di lapangan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang berjudul “Analisis Sebaran Polutan Kebauan H₂S dari IPAL Sewon Menggunakan Model Aplikasi AERMOD” dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai konsentrasi H₂S tertinggi berada pada SDB saat siang hari (0,067 ppm), serta terdapat peningkatan konsentrasi pada area kolam. Sementara persentase penyumbang kebauan terbesar berasal dari Pre-Treatment saat sore hari (33%).
2. Konsentrasi kebauan H₂S yang terdeteksi pada pengukuran lapangan berada di bawah baku mutu, namun hasil pemodelan AERMOD menunjukkan konsentrasi H₂S yang lebih tinggi dan sebagian besar melebihi ambang 0,02 PPM sesuai Keputusan Menteri LH No. 50 Tahun 1996. Hal ini mengindikasikan adanya potensi risiko kebauan yang signifikan, khususnya apabila aktivitas IPAL berada pada kondisi operasi maksimum.
3. Model AERMOD menunjukkan jangkauan penyebaran polutan yang luas, yaitu hingga lebih dari ±7 km pada durasi 1 jam, dan lebih pendek pada pemodelan 24 jam dan *period* karena adanya efek dilusi. Arah penyebaran dominan mengikuti angin menuju sektor barat laut, sehingga wilayah tersebut memiliki potensi paparan berulang dalam jangka panjang.
4. Hasil uji validasi menggunakan RMSE menunjukkan bahwa model AERMOD bersifat *over predicted*, yaitu prediksi konsentrasi lebih tinggi dibandingkan hasil pengukuran lapangan. Faktor penyebab utamanya adalah terbatasnya titik sampling di luar area IPAL serta keterbatasan alat lapangan dengan resolusi 0,1 ppm.

5.2 Saran

Peneliti selanjutnya disarankan untuk menambahkan titik pengambilan sampel di luar area penelitian, sehingga proses uji validasi model dapat dilakukan dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Bertambahnya variasi data pembanding akan meningkatkan reliabilitas evaluasi kesalahan (error) pada hasil pemodelan. Selain itu, peneliti selanjutnya juga disarankan untuk menggunakan metode lain yang lebih sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- ATSDR. (2000). *Toxicological profile for hydrogen sulfide*. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Arofah, L. M., Khambali, R., & Rachmaniyah, R. (2018). Analisis risiko kadar gas hidrogen sulfida (H₂S) pada masyarakat sekitar pabrik bioethanol (Studi kasus: Pabrik bioethanol PT. Energi Agro Nusantara Kecamatan Gedeg Kabupaten Mojokerto tahun 2018). *Gema Kesehatan Lingkungan*, 16, 110–117.
- Chandra, B. (2007). *Pengantar kesehatan lingkungan*. EGC.
- Cimorelli, A. J., Perry, S. G., Venkatram, A., Weil, J. C., Paine, R. J., Wilson, R. B., ... & Brode, R. W. (2005). AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5), 682–693.
- Dinçer, F., Dinçer, F. K., Sari, D., Ceylan, Ö., & Ercan, Ö. (2020). Dispersion modeling and air quality measurements to evaluate the odor impact of a wastewater treatment plant in İzmir. *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2119–2125.
- Ezrahayu, P., Julius, A. M., & Aritonang, S. (2024). Penggunaan aplikasi QGIS processing modeler dalam menentukan potensi bencana tanah longsor di Kabupaten Bogor. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 8(1), 41–52.
- Fenner, R. A., Guthrie, P. M., & Piano, E. (2007). Process selection for sanitation systems and wastewater treatment in refugee camps during disaster-relief situations. *Water and Environment Journal*, 21(4), 252–264.
- Fitrianingsih, A. C. A. A. Y., & Siahaan, S. (2022). Efektivitas tanaman hias dalam penyerapan polutan gas NH₃ dan H₂S di udara. *JURLIS*:

Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura, 3(1), 15–22.

- Futari, M. Y. R., & Ali, M. (2025). Pemodelan sebaran polutan udara dari flarestack menggunakan AERMOD di Onshore Receiving Facilities PT X. *Jurnal Serambi Engineering*, 10(1).
- Graser, A., & Olaya, V. (2015). Processing: A python framework for the seamless integration of geoprocessing tools in QGIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2219–2245.
- Hakim, D. A., Rahayu, T. E. P. S., & Fitriana, D. (2022). Adsorpsi gas H₂S dengan karbon aktif dari tempurung buah nipah teraktivasi natrium hidroksida. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 6(1), 85–95.
- HIDAYAT, F. R. (2023). *ANALISA RANCANG BANGUN KONTROL KUALITAS AIR DI TAMPUNGAN AIR IPAL* (Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana).
- 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.
- Jayadipraja, E. A., Daud, A., Assegaf, A. H., & Maming, M. (2016). Applying spatial analysis tools in public health: The use of AERMOD in modeling the emission dispersion of SO₂ and NO₂ to identify exposed area to health risks. *Public Health of Indonesia*, 2(1), 20–27.
- Kinasih, C. A. P. (2022). Penilaian tingkat keberlanjutan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) domestik Sewon di Yogyakarta dan Semanggi Solo.
- Llavador Colomer, F., Espinos Morato, H., & Mantilla Iglesias, E. (2012). Estimation of hydrogen sulfide emission rates at several wastewater treatment plants through experimental concentration measurements and dispersion modeling. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(7), 758–766.

- Maharani, S., & Aryanta, W. R. (2023). Dampak buruk polusi udara bagi kesehatan dan cara meminimalkan risikonya. *Jurnal Ecocentrism*, 3(2), 47–58.
- Metcalf & Eddy, AECOM. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Moreno-Silva, C., Calvo, D. C., Torres, N., Ayala, L., Gaitán, M., González, L., ... & Susa, M. R. (2020). Hydrogen sulphide emissions and dispersion modelling from a wastewater reservoir using flux chamber measurements and AERMOD® simulations. *Atmospheric Environment*, 224, 117263.
- Pasquarelli, F., Mariniello, A., Romano, F., Oliva, G., Belgiorno, V., Naddeo, V., & Zarra, T. (2024). Hydrogen sulphide and odour emissions control in wastewater treatment plants (WWTPs) by an integrated sustainable biotechnological system. *Chemical Engineering Transactions*, 112, 187–192.
- Priambodo, H. D. P., & Herumurti, W. (2021). Perencanaan pengembangan sistem penyaluran air limbah terpusat IPAL Sewon. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), D196–D202.
- Putra, D. Y. (2023). Uji model AERMOD terhadap emisi di PT. X Jawa Timur. *Environmental Science and Engineering Conference*, 370.
- Putra, M. Z. (2022). Penilaian risiko pada IPAL Sewon, Kabupaten Bantul, DI Yogyakarta.
- Putrianingsih, Y., & Dewi, Y. S. (2019). Pengaruh tanaman sirih gading (*Epipremnum aureum*) terhadap polutan udara dalam ruangan. *Jurnal TechLINK*, 3(1).
- Sampetoding, S. F. Analisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan gas hidrogen sulfida (H₂S) pada pekerja di area Kaji Station PT Medco E&P Indonesia Rimau Asset.
- Suhirman, S., Ariyanto, T., & Prasetyo, I. (2021). Preparation of potassium permanganate confined in porous carbon synthesized from palm

- kernel shell and its application for hydrogen sulfide removal. *Key Engineering Materials*, 884, 77–82.
- Suhrman, S., Prasetyo, I., & Ariyanto, T. (2023). Pengaruh ozonisasi kering pada karbon aktif tempurung kelapa sawit mengemban partikel nano KMnO_4 untuk mengoksidasi kontaminan gas H_2S dalam reaktor batch. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 8(4), 273–278.
- Sherief, M., & Aly Hassan, A. (2022). The impact of wastewater quality and flow characteristics on H_2S emissions generation: Statistical correlations and an artificial neural network model. *Water*, 14(5), 791.
- Takimoto, Y., Komatsu, K., Namiki, H., Mochizuki, K., Nakagawa, T., Nagata, K., ... & Monkawa, A. (2025). Localized surface plasmon resonance sensing of hydrogen sulfide using zinc oxide film. *Scientific Reports*, 15(1), 28087.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (Eds.). (1993). *Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues*. McGraw-Hill.
- Weng, H., Dai, Z., Ji, Z., Gao, C., & Liu, C. (2015). Release and control of hydrogen sulfide during sludge thermal drying. *Journal of Hazardous Materials*, 296, 61–67.
- World Health Organization. (2003). *Hydrogen sulfide: Human health aspects*. WHO.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengukuran Lapangan

A. Pagi Hari

0,026 ppm 32,4°C	0,023 ppm 32,2°C	0,023 ppm 30,7°C	0,020 ppm 29,6°C	0,017 ppm 29,6°C	0,014 ppm 29,6°C
0,029 ppm 32,4°C	0,029 ppm 32,4°C	0,029 ppm 32,2°C	0,020 ppm 37,1°C	0,020 ppm 37,1°C	0,017 ppm 37,6°C
0,024 ppm 32,5°C	0,024 ppm 32,5°C	0,025 ppm 33,5°C	0,017 ppm 37,3°C	0,018 ppm 38,5°C	0,020 ppm 37,4°C
0,017 ppm 32,4°C	0,029 ppm 32,5°C	0,017 ppm 32,6°C	0,017 ppm 37,6°C	0,016 ppm 37,5°C	0,020 ppm 37,8°C
0,017 ppm 37,6°C	0,022 ppm 34,4°C	0,020 ppm 30,5°C	0,017 ppm 37,6°C	0,017 ppm 36,5°C	0,023 ppm 37,6°C
0,020 ppm 34,6°C	0,025 ppm 35,4°C	0,020 ppm 35,4°C	0,029 ppm 37,5°C	0,020 ppm 36,7°C	0,023 ppm 38,8°C
0,020 ppm 34,6°C	0,025 ppm 30,5°C	0,029 ppm 37,8°C	0,017 ppm 37,5°C	0,020 ppm 38,4°C	0,026 ppm 38,7°C
0,020 ppm 37,6°C	0,025 ppm 34,4°C	0,020 ppm 38,5°C	0,017 ppm 36,5°C	0,022 ppm 35,6°C	0,024 ppm 38,6°C
0,022 ppm 39,2°C	0,022 ppm 37,3°C	0,022 ppm 39,3°C	0,024 ppm 39,5°C	0,029 ppm 39,1°C	0,029 ppm 38,9°C

B. Siang Hari

0,041 PPM 38,4°C	0,046 PPM 37,9°C	0,049 PPM 37,3°C	0,046 PPM 37,7°C	0,043 PPM 32,2°C	0,041 PPM 307,3°C
0,046 PPM 37,2°C	0,041 PPM 37,2°C	0,011 PPM 36,7°C	0,043 PPM 37,2°C	0,002 PPM 36,7°C	0,011 PPM 37,1°C
0,035 PPM 36,9°C	0,035 PPM 36,8°C	0,020 PPM 34,1°C	0,017 PPM 34,5°C	0,020 PPM 33,4°C	0,024 PPM 37,5°C
0,036 PPM 34,7°C	0,035 PPM 37,1°C	0,017 PPM 37,6°C	0,017 PPM 37,9°C	0,014 PPM 37,8°C	0,014 PPM 37,5°C
0,063 PPM 37,4°C	0,038 PPM 37,9°C	0,020 PPM 34,6°C	0,017 PPM 38,1°C	0,014 PPM 37,2°C	0,017 PPM 34,7°C
0,030 PPM 33,3°C	0,029 PPM 37,8°C	0,017 PPM 33,8°C	0,017 PPM 38,1°C	0,017 PPM 37,5°C	0,017 PPM 37,6°C
0,029 PPM 37,2°C	0,029 PPM 37,4°C	0,017 PPM 35,7°C	0,020 PPM 38,5°C	0,023 PPM 38,7°C	0,023 PPM 37,4°C
0,029 PPM 33,3°C	0,029 PPM 37,7°C	0,020 PPM 35,9°C	0,020 PPM 38,7°C	0,026 PPM 33,4°C	0,023 PPM 37,9°C
0,026 PPM 37,0°C	0,026 PPM 37,6°C	0,026 PPM 37,5°C	0,026 PPM 37,7°C	0,026 PPM 37,4°C	0,023 PPM 36,9°C

C. Sore Hari

0,014 ppm 34,4°C	0,011 ppm 35,0°C	0,014 ppm 35,0°C	0,014 ppm 34,6°C	0,014 ppm 34,2°C	0,014 ppm 31,2°C
0,014 ppm 35,2°C	0,011 ppm 38,7°C	0,014 ppm 34,4°C	0,014 ppm 34,5°C	0,014 ppm 34,4°C	0,014 ppm 32,0°C
0,008 ppm 35,7°C	0,008 ppm 35,4°C	0,005 ppm 35,9°C	0,005 ppm 35,9°C	0,005 ppm 34,4°C	0,002 ppm 35,0°C
0,008 ppm 34,9°C	0,008 ppm 35,0°C	0,008 ppm 35,1°C	0,005 ppm 35,8°C	0,002 ppm 35,6°C	0,005 ppm 36,4°C
0,005 ppm 35,0°C	35,1°C 0,005 ppm	0,008 ppm 35,6°C	0,005 ppm 35,5°C	0,002 ppm 35,6°C	0,002 ppm 35,7°C
0,005 ppm 35,4°C	0,005 ppm 35,6°C	0,008 ppm 35,0°C	0,005 ppm 35,8°C	0,005 ppm 35,9°C	0,002 ppm 36,0°C
0,005 ppm 35,7°C	0,005 ppm 35,6°C	0,005 ppm 35,9°C	0,005 ppm 34,4°C	0,005 ppm 35,4°C	0,005 ppm 34,6°C
0,005 ppm 35,0°C	0,005 ppm 0,005 ppm 34,4°C	0,005 ppm 35,0°C	0,005 ppm 35,6°C	0,005 ppm 35,7°C	0,005 ppm 34,5°C
0,005 ppm 34,2°C	0,005 ppm 34,4°C	0,005 ppm 35,0°C	0,005 ppm 35,6°C	0,005 ppm 34,6°C	0,005 ppm 34,4°C

Lampiran 2 Baku Mutu Hidrogen Sulfida (H₂S)

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 50 Tahun 1996 tanggal 25 november 1996.

No.	Parameter	Satuan	Nilai Batas	Metoda Pengukuran	Peralatan
1	Amoniak (NH ₃)	ppm	2,0	Metoda Indofenol	Spektrofotometer
2	Metil Merkaptan (CH ₃ SH)	ppm	0,002	Absorbsi Gas	Gas Kromatograf
3	Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	ppm	0,02	a. Merkuri tiosinat b. Absorbsi Gas	Spektrofotometer Gas Kromatograf
4	Metil sulfida ((CH ₃) ₂ S)	ppm	0,01	Absorbsi Gas	Gas Kromatograf
5	Stirena (C ₆ H ₈ CHCH ₂)	ppm	0,1	Absorbsi Gas	Gas Kromatograf

Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian

