

Analisis Sebaran Emisi SO₂ dan NO_x Dari Cerobong Steam Boiler dan Genset PT X Menggunakan Pemodelan AERMOD

Daffa Maulana Atthorih dan Praditya Sigit Ardisty Sitogasa*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi (Penulis): praditya.s.tl@upnjatim.ac.id

Kata Kunci:

AERMOD, Dispersi Udara, Emisi, NO_x, SO₂, RPA

ABSTRAK

Seiring dengan berjalannya waktu, industri yang ada di dunia ini juga semakin berkembang secara pesat, termasuk industri yang bergerak di bidang Pengolahan Daging Ayam dan *Cold Storage* Terintegrasi, PT. X ini memiliki sumber emisi yang berasal dari kegiatan produksi dan kegiatan penunjang sehingga menghasilkan SO₂ dan NO_x. Baku mutu yang digunakan tercantum pada Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VII Baku Mutu Udara Ambien. Oleh karena itu, dilakukan simulasi dispersi untuk menetapkan kadar maksimum dari pelepasan emisi dari kegiatan produksi PT. X. Penelitian ini menggunakan *software Aermod View*. Hasil sebaran dispersi model emisi SO₂, NO₂, Total partikulat yaitu parameter NO₂ memiliki angka yang paling tinggi dengan total ambien <30,6 mg/Nm³, Parameter Total Partikulat dengan total ambien 27,5 mg/Nm³, Parameter SO₂ dengan total ambien <22,6 mg/Nm³.

Keyword:

AERMOD, Air Dispersion, Emission, NO_x, SO₂, RPA

ABSTRACT

As time goes by, industries in this world are also developing rapidly, including industries engaged in Chicken Meat Processing and Integrated Cold Storage, PT. X has emission sources originating from production activities and supporting activities resulting in SO₂, NO_x, Total Particulates. The quality standards used are listed in Government Regulation no. 22 of 2021 concerning Implementation of Environmental Protection and Management Attachment VII Ambien Air Quality Standards. Therefore, a dispersion simulation is carried out to determine the maximum level of emission released from the production activities of PT. X. This research uses *Aermod View software*. The results of the dispersion distribution model for emissions of SO₂, NO₂, Total particulates, namely the NO₂ parameter has the highest number with a total ambient <30.6 mg/Nm³, the Total Particulate parameter with a total ambient of 27.5 mg/Nm³, the SO₂ parameter with a total ambient <22.6 mg/Nm³.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri rumah potong ayam, peternakan ayam ras pedaging, industri pengolahan daging ayam, dan *cold storage* berkembang cukup signifikan. Hal itu didasari oleh tingginya konsumsi daging ayam di Indonesia yang menyebabkan meningkatnya produksi ayam ras pedaging. Produksi 3,76 juta ton meningkat 15% dibandingkan tahun sebelumnya (BPS, 2023). Proses peternakan ayam ras, rumah potong ayam, industri pengolahan daging ayam, maupun *cold storage* memerlukan sumber daya dalam proses pelaksanaannya yang dimana hal tersebut akan menghasilkan output berupa limbah dan emisi yang berdampak untuk perusakan lingkungan.

Agroindustri ayam ras pedaging termasuk kedalam salah satu jenis industri yang turut berkontribusi dalam menyumbang emisi yang menyebabkan kerusakan lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari industri rumah potong ayam, pengolahan daging, dan peternakan ayam ras

pedaging berupa Sulfur Dioksida (SO₂), dan Nitrogen Oksida (NO_x). Dalam industri rumah potong ayam, pengolahan daging, maupun peternakan ayam ras pedaging terdapat proses kegiatan penunjang yang memerlukan proses pembakaran, seperti steam boiler dan genset.

Menurut Skunca *et al.* (2018), penggunaan energi pada industri pengolahan daging ayam termasuk ke dalam salah satu industri yang berkontribusi tinggi dalam menghasilkan gas rumah kaca (GRK). Nitrogen Oksida (NO_x) merupakan oksida nitrogen yang terbentuk dari 2 gas yaitu NO₂ dan NO. Sumber utama emisi Nitrogen Oksida (NO_x) berasal dari pembakaran (kombusi) dari kendaraan, produksi energi, pembuangan sampah, maupun pengoperasian steam boiler dan genset. Pembentukan NO₂ dan NO merupakan hasil reaksi antara Nitrogen dengan Oksigen di udara. Gas NO₂ adalah gas yang berwarna coklat kemerahan, berbau tajam menyengat hidung dan beracun, sedangkan gas NO tidak berwarna dan tidak berbau (Prabowo & Muslim, 2018).

Sedangkan, paparan gas SO₂ memiliki efek berbahaya bagi kesehatan pernapasan walaupun dengan konsentrasi paparan yang rendah. Paparan jangka panjang SO₂ di udara ambien secara signifikan dapat meningkatkan resiko terkena penyakit diabetes tipe 2 pada penduduk asia yang berusia 30-50 tahun (Li *et al.*, 2021)

Kualitas udara di kawasan industri sangat ditentukan oleh emisi yang dikeluarkan dari cerobong industri. Pada industri rumah potong ayam dan pengolahan ayam emisi tersebut berasal dari kegiatan produksi non pembakaran di proses pemipilan dan feedmill yang dikendalikan menggunakan cyclone pada kedua proses tersebut. Sedangkan pada kegiatan penunjang terdapat pada proses pembakaran yang ditimbulkan dari 6 unit boiler berbahan bakar *Compressed Natural Gas (CNG)* dengan kapasitas masing-masing adalah 3 ton (2 unit), 2 ton (4 unit) serta 6 unit genset untuk *emergency* dengan 2 unit berkapasitas 750 kVA, 2 unit berkapasitas 1.500 kVA, dan 2 unit berkapasitas 1.875 kVA yang dipergunakan untuk kegiatan *emergency*.

Gas yang dikeluarkan melalui cerobong boiler dan genset akan mengalami dispersi ke udara ambien menuju area sekitar industri sehingga kualitas udara harus terus dilakukan pemantauan untuk memastikan udara ambien memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Namun, pemantauan kualitas udara yang dilakukan oleh suatu industri terbatas pada beberapa titik sampling saja karena memerlukan biaya yang besar, waktu yang lama, tenaga yang besar, serta teknologi yang canggih. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas udara dan sebaran emisi dari industri rumah potong ayam. Salah satu alternatif yang dapat digunakan dalam pemantauan kualitas udara adalah dengan menggunakan pemodelan kualitas udara dengan model AERMOD.

AERMOD merupakan salah satu *soft ware* pemodelan untuk menganalisa sebaran dispersi atmosferik yang memiliki tiga modul, yaitu modul dispersi, pra pengolahan data meteorologi, dan pra pengolahan data permukaan bumi peruntukan AERMOD dapat dipakai untuk perkotaan maupun pedesaan.

Cara kerja AERMOD dengan cara mengestimasi profil meteorologi melalui beberapa persamaan dan interpolasi pengukuran yang berdekatan. Untuk memperhitungkan konsentrasi, AERMOD memerlukan beberapa data, termasuk data klimatologis seperti, efek vertikal angin, suhu, dan turbulensi. (Cimorelli *et al.*, 2005, pp. 682–693). Selain menginput sumber emisi, diperlukan input sumber lain seperti sumber bergerak lainnya yang dapat mempengaruhi konsentrasi pencemar di sekitar titik sampling sehingga dapat memperoleh hasil yang akurat.

Dalam melaksanakan pemantauan persebaran polutan tersebut perlu memperhatikan faktor - faktor yang mempengaruhi persebaran polutan itu sendiri, antara lain:

1. Stabilitas Atmosfer

Stabilitas atmosfer berkaitan dengan pergerakan udara secara vertikal. Pergerakan vertikal udara dipengaruhi oleh suhu dan tekanan atmosfer. Akibat dari adanya pergerakan vertikal udara akan menyebabkan terjadinya konveksi atau pencampuran vertikal udara. (Franek & DeRose, 2003).

2. Arah Angin dan Kecepatan Angin

Arah angin adalah faktor penting penentuan konsentrasi pencemar udara (Abdullah *et al.*, 2016). Kecepatan angin

mempercepat penyebaran polutan dan mengurangi konsentrasi polutan (Godish, 1997).

3. Suhu Udara

Suhu udara berbanding lurus dengan konsentrasi SO₂. Ketika suhu udara tinggi, maka akan semakin tinggi konsentrasi SO₂. Hal itu dikarenakan suhu tinggi membuat gas akan semakin cepat terurai. (Istantinova *et al.*, 2013).

4. Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi peningkatan konsentrasi NO_x, selama musim hujan konsentrasi NO_x akan meningkat satu kali lipat (Fikeraddis & Endeshaw, 2020).

5. Tekanan Udara

Semakin tinggi tekanan udara makasemakin rendah peningkatan laju konveksi udara yang tidak kondusif untuk difusi pencemar (Zeng & Zhang, 2017)

6. Presipitasi / Curah Hujan

Curah hujan ringan dapat mengurangi konsentrasi SO₂ melalui efek pencucian langsung dari hujan. Pengaruh langsung dari adanya hujan sebagian besar menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi polutan udara (Kwak *et al.*, 2017).

7. Radiasi Matahari

Radiasi matahari yang kuat disertai dengan suhu udara yang tinggi telah mempengaruhi sedikit perubahan konsentrasi pada gas SO₂ dan NO₂ yang terjadi saat hujan pada musim panas (Deqing *et al.*, 2021).

8. Tutupan Awan dan Tinggi Awan Rendah

Tutupan awan (cloudcover) mempunyai pengaruh besar terhadap suhu. Umumnya, keberadaan awan akan menghalau banyak energi matahari untuk mencapai permukaan bumi sehingga mengakibatkan suhu udara menurun (Sasmita *et al.*, 2019)

Pada penelitian ini bertujuan untuk simulasi dispersi udara dengan parameter SO₂ dan NO_x untuk menetapkan kadar maksimum dan sebaran dari pelepasan emisi dari industri rumah potong ayam.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan pemodelan lingkungan AERMOD dengan titik sampling cerobong genset dan steam boiler. Pada pemodelan simulasi dispersi cerobong, parameter yang dimodelkan adalah Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Oksida (NO_x).

2.1 Mengetahui Rona Lingkungan Lokasi Penelitian

Adapun parameter rona lingkungan yang dikumpulkan meliputi curah hujan, hari hujan, temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan dan arah angin serta tekanan udara.

2.2 Kecepatan Alir

Kecepatan alir dapat dihitung berdasarkan rencana alat terpasang dengan perhitungan sebagai berikut:

$$V = m/s \quad (1)$$

Keterangan:

V_i = Kecepatan aliran gas buang pada tiap titik lintas (m/detik);

m = Tinggi Cerobong;

s = waktu

2.3 Perhitungan Beban Emisi

Perhitungan beban emisi dilakukan pada seluruh cerobong yang melepas emisi ke lingkungan di lingkungan lokasi penelitian menggunakan persamaan yang tercantum pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2019 – Lampiran XV tentang Tata Cara Perhitungan Beban Emisi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal. Perhitungan beban emisi dari hasil pengukuran emisi secara manual:

$$Q = V \times A \quad (2)$$

$$BE = C \times Q \times 0,0036 \times Op \text{ hours} \quad (3)$$

Keterangan ;

BE : Laju emisi pencemar (ton/tahun)

C : Konsentrasi terkoreksi (mg/Nm³)

Q : Laju alir (gas buang) volumetric (m³/detik)

0,0036 : Fator konversi dari mg/detik ke kg/jam

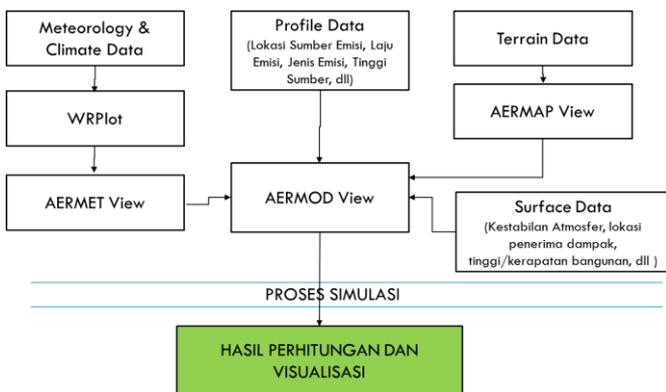
Op hours : Jam operasi selama 1 tahun

V : Laju alir (m/detik)

A : Luas penampang cerobong (m²)

2.4 Perhitungan Simulasi Dispersi untuk Menetapkan Kadar Maksimum

Perhitungan simulasi disperse untuk menetapkan kadar maksimum dari pelepasan emisi dari kegiatan produksi menggunakan *software* AERMOD. Alur pemrograman menggunakan AERMOD View ditunjukkan oleh diagram alir proses simulasi pada **gambar 2.1** berikut.



Gambar 2.1 Diagram Alir Simulasi dan permodelan AERMOD View

Beberapa perangkat lunak penunjang yang terintegrasi dengan model AERMOD, antara lain:

- WRPlot, berfungsi untuk mengolah data meteorologi, sehingga dapat diolah pada modul AERMET View
- AERMET View, berfungsi untuk mengolah data meteorologi sehingga siap dibaca oleh modul AERMOD View.
- AERMAP View, berfungsi untuk menampilkan informasi ketinggian dan topografi wilayah studi, dengan melakukan sinkronisasi ketinggian bangunan, tebing, dan lain sebagainya.

2.5 Radiasi Matahari

Selanjutnya melakukan penentuan kelas stabilitas atmosfer, penentuan kelas stabilitas atmosfer berdasarkan nilai intensitas radiasi matahari pada musim hujan. Bila intensitas penyinaran matahari diperoleh dengan persamaan angstrom termodifikasi berikut:

$$S = 0.177 + 0.239 \frac{n}{n_0} + 0.0019 \times DTR \times 0.004 \times RH \quad (4)$$

Dimana :

S = radiasi matahari per harinya (Watt/m²)

n = lama matahari bersinar dalam satu hari (jam)

n₀ = lama maksimum matahari bersinar per hari (jam)

S₀ = radiasi matahari ekstraterrestrial (1361 Watt/m²)

RH = kelembaban udara (%)

DTR = diurnal temperature range = Tmax – Tmin

Kemudian tentukan klasifikasi stabilisasi atmosfer dengan **tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Stabilitas Atmosfer oleh Pasquill dan Gifford

Kecepatan Angin	Siang		
	Intensitas Radiasi Matahari (Watt/m ²)		
	Kuat (>600)	Sedang (300-600)	Rendah (<300)
<2	A	B	B
2-3	B	B	C
3-5	B	C	C
5-6	C	C	D
>6	C	D	D

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

3.1. Rona Awal Lingkungan

- Data Curah Hujan Dan Hujan Harian

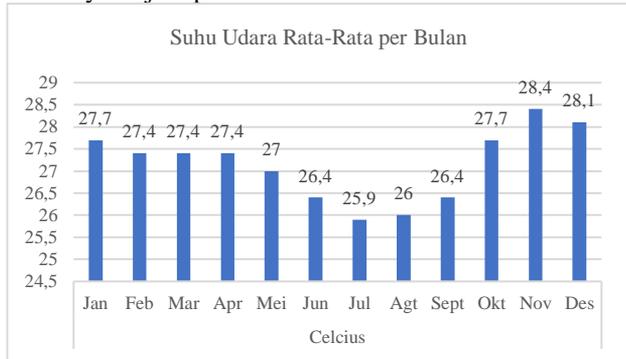
Data curah hujan selama satu tahun yang diperoleh menunjukkan nilai curah hujan tertinggi di Kecamatan Kalibaru adalah 833 mm yang terjadi pada bulan November 2021. Sedangkan nilai curah hujan terendah terjadi pada bulan Mei yaitu sebesar 71 mm. Hari hujan tertinggi terjadi pada bulan November, sedangkan pada bulan terendah adalah bulan Mei dan bulan Juli.

Tabel 3.1 Iklim di Stasiun Kalibaru Tahun 2021

Bulan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan (hari)
Januari	204	19
Februari	265	15
Maret	228	22
April	129	11
Mei	71	4
Juni	326	11
Juli	25	4
Agustus	390	9
September	440	15
Oktober	213	11
November	833	24
Desember	406	20

- Temperatur Udara

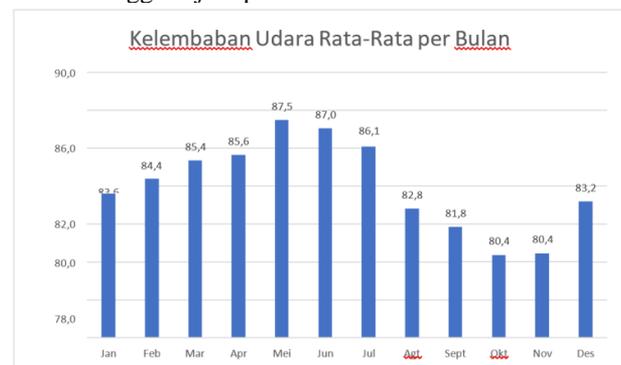
Berdasarkan data Stasiun Meteorologi lokasi penelitian, suhu udara rata-rata di sekitar lokasi rencana kegiatan berkisar antara 25,9°C hingga 28,4°C. Suhu terendah umumnya terjadi pada bulan Juli, sedangkan suhu tertinggi umumnya terjadi pada bulan November.



Gambar 3.1 Suhu Udara Rata-Rata Per Bulan

- Kelembaban Udara Relatif

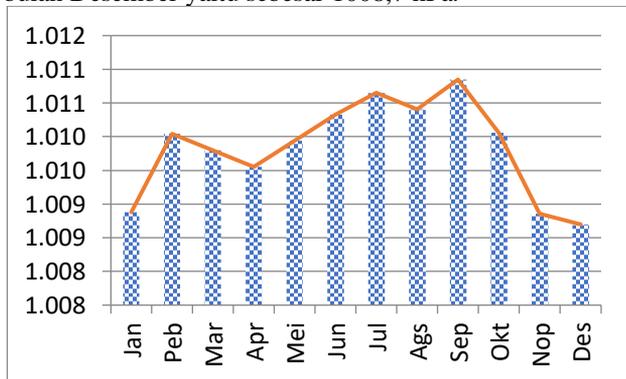
Kelembaban udara pada lokasi pekerjaan yang tercatat di Stasiun Meteorologi lokasi penelitian berkisar antara 80,4% hingga 87,5%. Kelembaban Oktober, sedangkan kelembaban udara tertinggi terjadi pada bulan Mei.



Gambar 3.2 Kelembaban Rata-Rata Per Bulan

- Tekanan Udara

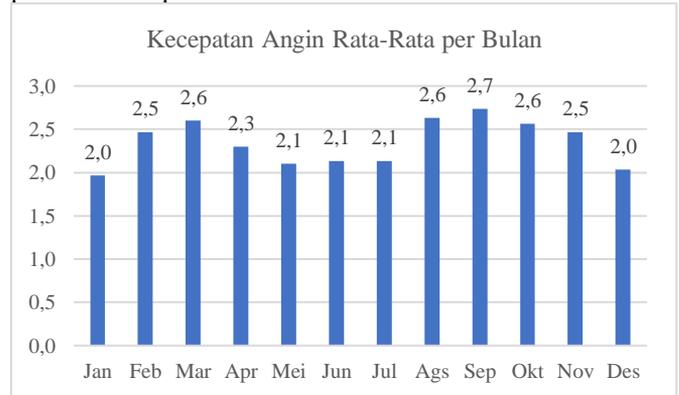
Data tekanan udara yang digunakan untuk periode lima tahun terakhir yaitu rentang 2015-2020 dari NOAA untuk area lokasi kegiatan. Tekanan udara bulanan rata-rata tertinggi terjadi pada bulan September yaitu sebesar 1010,8 hPa sedangkan tekanan udara rata-rata terendah terjadi pada bulan Desember yaitu sebesar 1008,7 hPa.



Gambar 3.3 Tekanan Udara Rata-Rata Bulanan (2015 – 2020)

- Arah Kecepatan Angin

Kecepatan angin rata-rata per bulan pada lokasi rencana kegiatan yang tercatat di Stasiun Meteorologi Lokasi penelitian berkisar antara 2,0 m/detik hingga 2,7 m/detik. Kecepatan angin terendah tercatat terjadi pada bulan Januari dan Desember, sedangkan kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan September.



Gambar 3.4 Kecepatan Angin Rata-Rata Per Bulan

3.2. Kecepatan Alir

Adapun data yang diperoleh dari perhitungan kecepatan alir emisi tersebut adalah 1,923 m/s, berikut perhitungannya:
 Diketahui : Ketinggian cerobong = 8 m ; waktu = 0,55 s
 Maka, $\rightarrow V = 8 \text{ m} / 0,55 \text{ s} = 14,5 \text{ m/s}$

3.3. Perhitungan Beban Emisi

Diketahui:

$C(\text{SO}_2) : 650 \text{ mg/Nm}^3 (*)$

$C(\text{NO}_x) : 1000 \text{ mg/Nm}^3 (*)$

(*: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Termal Lampiran II)

Op hours : 8640 jam

V : 20 m/detik

A : 0,18 m²

Jadi:

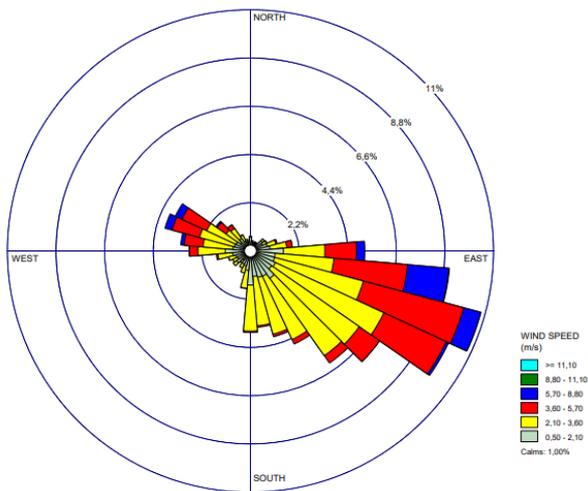
$Q = 20 \text{ m/detik} \times 0,18 \text{ m}^2 = 3,60 \text{ m}^3/\text{detik}$

- BE (SO₂) = 100 x 3,60 x 0,0036 x 8640 = 11.197,2 Ton/tahun

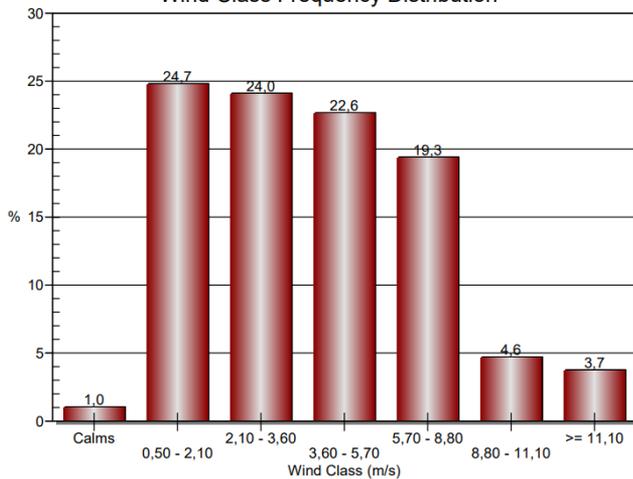
- BE (NO_x) = 1000 x 3,60 x 0,0036 x 8640 = 111.974,4 Ton/tahun

3.4. Perhitungan Simulasi Dispersi untuk Menetapkan Kadar Maksimum

Pemodelan sebaran udara pada lokasi Operasional dibantu oleh perangkat lunak AERMOD View dan didukung oleh pre-prosesor seperti WRPLOT dan AERMET View. Data yang digunakan dalam melakukan permodelan sebaran emisi yaitu Data meteorologi (arah/kecepatan angin, suhu permukaan, kelembaban udara, tekanan atmosfer, paparan radiasi sinar matahari, tutupan atmosfer, dan lain-lain), Hourly Surface Met Data. Berdasarkan analisis meteorologi diketahui mawar angin di lokasi penelitian bahwa angin bertiup dari tenggara ke barat laut dengan kecepatan angin 2,1 - 3,6 m/s. Data mawar angin dominan dan frekuensi distribusi di Kabupaten Subang dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



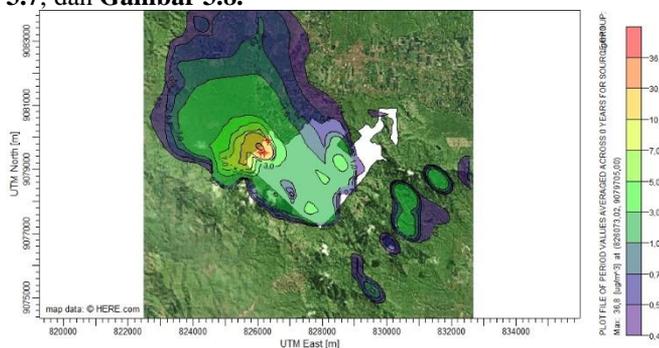
Wind Class Frequency Distribution



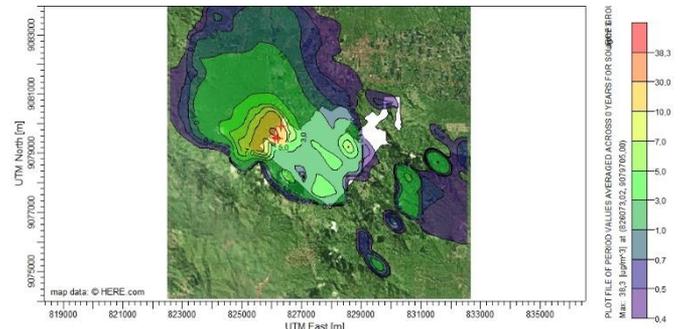
Gambar 3.5 Windrose Dominan dan Frekuensi Distribusi Kecepatan Angin di Lokasi Penelitian

Data yang telah didapat dilakukan analisa menggunakan software AERMOD, dengan hasil sebagai berikut.

Persebaran gas SO₂ dan NO_x dilakukan dengan mensimulasikan emisi yang berasal dari cerobong Diesel Generator dengan radius kurang lebih 2 km dari lokasi kegiatan. Pemilihan sumber emisi yang dimodelkan mempertimbangkan waktu operasional dan konsentrasi maksimum yang dihasilkan oleh masing-masing sumber emisi. Hasil model dapat dilihat pada Gambar 3.6, Gambar 3.7, dan Gambar 3.8.



Gambar 3.6 Simulasi Emisi Gas SO₂



Gambar 3.7 Simulasi Emisi Gas NO_x

Berdasarkan gambar simulasi dispersi gas SO₂, dan NO_x tersebar ke arah barat laut dari sumber emisi/cerobong mengikuti arah angin. Dispersi gas SO₂, dan NO_x dominan menuju ke arah barat sesuai dengan arah angin dominan. Konsentrasi SO₂ tertinggi adalah sekitar 36,8 µg/m³ yang terletak pada jarak kurang lebih 200-300 m dari sumber emisi. Konsentrasi NO_x tertinggi adalah 38,3 µg/m³ yang terletak pada jarak kurang lebih 200-300 m. Kedua hasil simulasi pemodelan tersebut apa bila dibandingkan dengan baku mutu udara ambien masih berada di bawah baku mutu. Dimana baku mutu udara ambien untuk SO₂ adalah 150 µg/Nm³, dan NO_x adalah 200 µg/Nm³.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian simulasi dispersi udara pada industri rumah potong ayam, peternakan ayam ras pedaging, industri pengolahan daging ayam, dan cold storage yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa:

- Beban emisi yang diperoleh selama satu tahun yaitu SO₂ sebesar 11.197,2 Ton/tahun, dan NO_x sebesar 111.974,4 Ton/tahun
- Berdasarkan gambar simulasi dispersi gas SO₂ dan NO_x, tersebar ke arah barat laut dari sumber emisi/cerobong mengikuti arah angin.
- Kedua hasil simulasi pemodelan tersebut apa bila dibandingkan dengan baku mutu udara ambien masih berada di bawah baku mutu. Dimana baku mutu udara ambien untuk SO₂ adalah 150 µg/Nm³, dan NO_x adalah 200 µg/Nm³.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian ini. Penelitian ini dapat selesai tepat waktu, tentunya tidak lepas dari peran serta berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Praditya S. Arditya Sitogasa, ST., MT. selaku pembimbing penelitian yang telah membantu untuk mengarahkan, maupun membimbing saya dalam melaksanakan penelitian ini sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. dengan baik. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan penelitian ini masih terdapat kekurangan, baik dalam metode penulisan maupun pembahasan materi. Hal ini dikarenakan penulis masih dalam tahap belajar, sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun, semoga kedepannya dapat memperbaiki segala kekurangannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. H., Ali, M. I. Bin, & Kong, N. S. (2016). Analysis For Wind Characteristic in Teluk Kalung, Kemaman, Terengganu. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5(6), 3827–3833. Booklet-Nikel FA, 2020, Peluang Investasi Nikel Indonesia, Kementerian ESDM, Jakarta.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2023 Produksi Daging Ayam Ras Pedaging Menurut Provinsi. Jakarta: Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.
- Cimorelli, Alan J., et al. "AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization." *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 44.5 (2005): 682-693.
- Deqing, Z., Tang, S., Ci, R., & Qiong, D. (2021). *Analysis of the Air Pollution Index and Meteorological Factors and Risk Assessment for Tibet*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1838(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1838/1/012047>
- Fikeraddis, M., & Endeshaw, L. (2020). *Influence of Temperature and Relative Humidity on Air Pollution in Addis Ababa, Ethiopia*. *Journal of Environmental and Earth Sciences*, 2(2), 19–25. <https://doi.org/10.30564/jees.v2i2.2286>
- Franek, W., & DeRose, L. (2003). *Principles and Practices of Air Pollution Control and Analysis*. United States: Environmental Protection Agency.
- Godish, T. (1997). *Air Quality*. New York: Academic Press.
- Istantinova, D. B., Hadiwidodo, M., & Handayani, D. S. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin, Kelembaban dan Suhu Udara terhadap Konsentrasi Gas Pencemar Sulfur Dioksida (SO₂) dalam Udara Ambien di Sekitar PT. Inti General Yaja Steel Semarang. *Tentang Konsentrasi Gas Sulfur*, 2(1), 1–10. Retrieved from <https://media.neliti.com/media/publications/145543-ID-pengaruh-kecepatan-angin-kelembaban-dan.pdf>
- Kwak, H., Ko, J., Lee, S., & Joh, C. (2017). *Identifying the Correlation Between Rainfall, Traffic Flow Performance and Air Pollution Concentration in Seoul Using a Path Analysis*. *Transportation Research Procedia*, 25, 3552–3563. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.288>
- Li, Y. L., Chuang, T. W., Chang, P. ya, Lin, L. Y., Su, C. T., Chien, L. N., & Chiou, 108 H. Y. (2021). Long-term Exposure to Ozone and Sulfur Dioxide Increases the Incidence of Type 2 Diabetes Mellitus Among Aged 30 to 50 Adult Population. *Environmental Research*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110624>
- Prabowo dan Muslim. (2018). *Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan: Penyehatan Udara*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan Badan Pengembangan Dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan
- Sasmita, A., Andrio, D., & Hasibuan, P. (2019). Pemetaan Sebaran Partikulat dari Pembakaran Limbah Padat Industri Pengolahan Sawit di Kabupaten Kampar, Riau. *Sains Dan Teknologi*, 18(2), 57–67.
- Sharma, R., & Singh, D. (2018). *A Review of Wind Speed and Wind Power Forecasting Techniques*. *Journal of Engineering Research and Application*, 8(7), 1–9. <https://doi.org/10.9790/9622-0807030109>
- Skunca D, Tomasevic I, Nastasijevic I, Tomovic V, Djekic I. 2018. Life cycle assessment of the chicken meat chain. *Journal Cleaner Production*. 184: 440–450.