

### Simulasi Sebaran Emisi Udara CO dan NH<sub>3</sub> Menggunakan AERMOD di TPA Jawa Timur

Rania Ichdatunnisa\*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Email Korespondensi : [ranaihdatur@gmail.com](mailto:ranaihdatur@gmail.com)

#### Kata Kunci:

AERMOD, Dispersi Udara, Emisi, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM, Nikel

#### ABSTRAK

TPA yang berlokasi di Jawa Timur menghasilkan emisi udara berupa parameter TSP, Hg, CO, NO<sub>x</sub>, dan NH<sub>3</sub> dari cerobong insenerator. Penelitian ini bertujuan untuk menguji model *Aermod* dalam memprediksi sebaran parameter CO dan NH<sub>3</sub> di TPA Jawa Timur. 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. Dengan menggunakan *Software Aermod View* maka dapat dihitung simulasi dispersi. Data yang digunakan dalam melakukan permodelan sebaran emisi TPA 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* di Kabupaten Sidoarjo dari Tahun 2013 – 2022, dan *Upper Air Met Data* di Kabupaten Sidoarjo dari Tahun 2013 – 2022. Maka hasil yang didapatkan yaitu parameter CO sebesar 12,9 µg/m<sup>3</sup>, dan parameter NH<sub>3</sub> sebesar 0,024 µg/m<sup>3</sup>.

#### Keyword:

AERMOD, Dispersi Udara, Emisi, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM, Nikel

#### ABSTRACT

The landfill located in East Java produces air emissions in the form of TSP, Hg, CO, NO<sub>x</sub> and NH<sub>3</sub> parameters from the incinerator chimney. This study aims to test the *Aermod* model in predicting the distribution of CO and NH<sub>3</sub> parameters at landfill in East Java. The quality standards used are listed in Government Regulation no. 22 of 2021 concerning Implementation of Environmental Protection and Management Attachment VII Ambient Air Quality Standards. By using *Aermod View Software*, dispersion simulation can be calculated. The data used in modeling the distribution of landfill in East Java 2013 – 2022, and *Upper Air Met Data* in Sidoarjo Regency from 2013 – 2022. So the results obtained are the CO parameter of 12.9 µg/m<sup>3</sup>, and the NH<sub>3</sub> parameter of 0.024 µg/m<sup>3</sup>.

## 1. PENDAHULUAN

TPA merupakan fasilitas tempat sampah diolah dan dikembalikan ke media lingkungan secara aman dan merupakan bagian penting dari sistem manajemen pengelolaan sampah. TPA dapat mempunyai dampak yang signifikan terhadap kualitas udara, terutama melalui pelepasan berbagai polutan udara dan gas. Hubungan antara tempat pembuangan sampah dan kualitas udara sangatlah kompleks dan dapat menjadi sumber permasalahan lingkungan. Perubahan iklim global merupakan tantangan terbesar yang dihadapi oleh umat manusia pada abad ke-21. Salah satu penyebab utama dari perubahan iklim ini adalah pemanasan global yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer bumi. Dua gas rumah kaca yang berperan penting dalam fenomena ini adalah karbon dioksida

(CO<sub>2</sub>) dan amonia (NH<sub>3</sub>). Kedua gas ini memiliki dampak yang signifikan terhadap perubahan iklim. Menurut Williams dkk (2014), *The Environment Protection Agency* (EPA) telah mengidentifikasi 6 (enam) "kriteria polutan" sebagai suatu polutan karena dampaknya terhadap kesehatan dan lingkungan. Ke-enam polutan tersebut adalah ozon (O<sub>3</sub>), partikulat (PM), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan timbal (Pb). Pencemar udara juga dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu berdasarkan kondisi fisik dan reaksi yang terjadi. TPA sangatlah penting untuk lingkungan, namun penggunaan insenerator memiliki dampak lingkungan yang serius, terutama terkait dengan emisi CO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub>.

Siburian (2020) menjelaskan bahwa pencemaran udara adalah suatu keadaan di mana terdapat substansi fisik, biologi, atau kimia di lapisan udara bumi (atmosfer) yang jumlahnya membahayakan kesehatan tubuh manusia dan makhluk hidup

lainnya. Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dari karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon Monoksida adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak mempunyai rasa, titik didih -192° C, tidak larut dalam air, dan beratnya 96,5% dari berat udara (Wichayo, 2010 dalam Mallongi, 2019).

Bahkan karbon monoksida dengan kadar yang berlebihan dapat memberi dampak kepada hewan dengan hampir menyerupai dampak yang terjadi pada manusia, seperti menyebabkan kematian (Mallongi, 2019). Bila terhirup, CO akan berikatan haemoglobin (Hb) dalam darah membentuk karboksihaemoglobin sehingga oksigen tidak dapat dibawa. Ini disebabkan karbon monoksida dapat mengikat 250 kali lebih cepat dari oksigen. Gas ini juga dapat mengganggu aktivitas seluler lainnya yaitu dengan mengganggu fungsi organ yang menggunakan sejumlah besar oksigen seperti otak dan jantung. Efek paling serius adalah terjadi keracunan secara langsung terhadap sel-sel otot jantung, juga menyebabkan gangguan pada sistem saraf (Mallongi, 2019). Selain itu, amonia (NH<sub>3</sub>) adalah gas yang kurang dikenal namun penting dalam konteks perubahan iklim. Amonia dapat berkontribusi terhadap masalah pencemaran udara, air, dan tanah. Ketika mencampur dengan partikel debu dalam udara, NH<sub>3</sub> dapat membentuk partikel kecil yang berperan dalam pembentukan hujan asam dan dapat merusak ekosistem perairan dan tanah.

Pengurangan emisi CO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub> dari udara sekitar TPA menjadi suatu kebutuhan mendesak dalam upaya mengatasi perubahan iklim dan menjaga kualitas lingkungan. Dalam konteks ini, penelitian dan pengembangan teknologi hijau serta praktik produksi yang berkelanjutan menjadi sangat penting. Selain itu, kolaborasi antara TPA, pemerintah, dan masyarakat sipil diperlukan untuk mengidentifikasi solusi terbaik yang dapat mengurangi dampak negatif terhadap perubahan iklim dan lingkungan.

Dengan menyadari dampak TPA terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub>, kita dapat memahami betapa pentingnya mengambil tindakan konkret untuk mengurangi dampak negatif ini. Dengan upaya bersama, kita dapat melindungi planet kita dari perubahan iklim yang semakin buruk dan mewariskannya kepada generasi mendatang dengan lingkungan yang lebih bersih dan sehat. Kualitas udara di lingkungan TPA sangat ditentukan oleh emisi yang dikeluarkan dari cerobong (Sugiarto et al., 2019). Gas yang dikeluarkan melalui cerobong insenerator akan mengalami dispersi ke udara ambien menuju area sekitar TPA sehingga kualitas udara harus terus dilakukan pemantauan.. Dikarenakan TPA menghasilkan emisi udara, khususnya CO dan NH<sub>3</sub> maka diperlukan untuk menganalisa luas sebaran emisi tersebut sehingga pihak perusahaan dapat mengatasi pencemaran emisi yang dihasilkan pada saat proses insenerasi. Untuk menganalisa sebaran emisi tersebut dapat menggunakan *software* AERMOD.

AERMOD merupakan salah satu *software* pemodelan untuk menganalisa sebaran dispersi atmosferik yang memiliki tiga modul, yaitu modul dispersi, prapengolah data meteorology, dan pra pengolah 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. 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. Semakin stabil atmosfer maka pencemar akan tersebar semakin jauh, sebaliknya jika atmosfer semakin tidak stabil maka pencemar akan tersebar semakin dekat dengan sumber pencemar.

#### 2. Arah Angin dan Kecepatan Angin

Arah angin adalah faktor penting penentuan konsentrasi pencemar udara (Abdullah *et al.*, 2016). Arah angin berpotensi menyebabkan bahan-bahan pencemar yang dikeluarkan dari sumber pencemaran udara menyebar ke atmosfer dan kemudian berkumpul pada satu lokasi, sehingga mengakibatkan tingginya tingkat pencemaran tidak hanya di sekitar sumber pencemaran tetapi juga di sekitar sumber pencemaran. Kecepatan angin mempercepat penyebaran polutan dan mengurangi konsentrasi polutan. Arah angin dan kecepatan angin bergantung pada jenis lokasi dan kondisi atmosfer (Sharma & Singh, 2018).

#### 3. Suhu Udara

Suhu udara yang tinggi menyebabkan konsentrasi gas CO cenderung menurun dan sebaliknya. Hal tersebut disebabkan pada suhu udara yang tinggi, udara lebih mudah memuai sehingga dispersi udara akan terjadi lebih cepat akibatnya konsentrasi gas pencemar menjadi rendah.

#### 4. Kelembaban Relatif

Konsentrasi polutan dapat dipengaruhi oleh kelembaban udara. Tingkat kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan kontaminan udara bereaksi dengan uap air sehingga membentuk senyawa berbahaya lainnya yang disebut polutan sekunder. Peningkatan konsentrasi dari polutan NO<sub>x</sub> bergantung pada kelembaban relatif selama musim hujan menyebabkan konsentrasi NO<sub>x</sub> meningkat dua kali lipat (Fikeraddis & Endeshaw, 2020).

#### 5. Tekanan Udara

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

#### 6. Presipitasi / Curah Hujan

Curah hujan ringan dapat mengurangi konsentrasi SO<sub>2</sub> melalui efek pencucian langsung dari hujan. Pengaruh langsung dari adanya hujan sebagian besar menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi polutan udara (Kwak et al., 2017).

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan pemodelan lingkungan AERMOD dengan titik sampling cerobong insenerator. Pada

permodelan simulasi dispersi cerobong, parameter yang dimodelkan adalah Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>), Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), dan Total Partikulat.

### 2.1 Mengetahui Rona Lingkungan Lokasi Penelitian

Rona lingkungan awal merupakan kondisi lingkungan hidup yang berupa keadaan alam atau komponen lingkungan hidup awal sebelum perencanaan dan pembangunan fisik dimulai. Adapun parameter rona lingkungan yang dikumpulkan meliputi curah hujan, hari hujan, temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan dan arah angin serta tekanan udara.

### 2.2 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:

$$Q = V \times A \tag{1}$$

$$BE = C \times Q \times 0,0036 \times Op \text{ hours} \tag{2}$$

Keterangan ;

BE : Laju emisi pencemar (ton/tahun)

C : Konsentrasi terkoreksi (mg/Nm<sup>3</sup>)

Q : Laju alir (gas buang) volumetric (m<sup>3</sup>/detik)

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

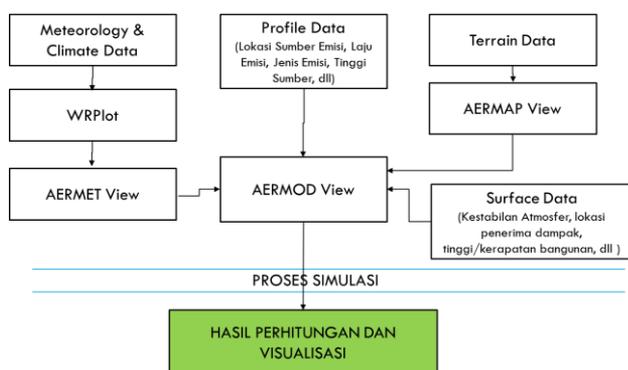
Op hours : Jam operasi selama 1 tahun

V : Laju alir (m/detik)

A : Luas penampang cerobong (m<sup>2</sup>)

### 2.3 Perhitungan Simulasi Dispersi, untuk Menetapkan Kadar Maksimum

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



**Gambar 1.** Diagram Alir Simulasi dan permodelan AERMOD View

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

- a) WRPlot, berfungsi untuk mengolah data meteorologi, sehingga dapat diolah pada modul AERMET View

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

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

### 3.1 Rona Awal Lingkungan

- Data Cuah Hujan Dan Hujan Harian

Berdasarkan data curah hujan rata-rata selama tahun 2020 – 2022 dari Stasiun Meteorologi lokasi penelitian menunjukkan bahwa curah hujan rata-rata terendah berada pada bulan Agustus dengan curah hujan rata-rata 0,44 mm/bulan dan curah hujan tertinggi berada di bulan Februari dengan curah hujan rata-rata 33,49 mm/bulan.

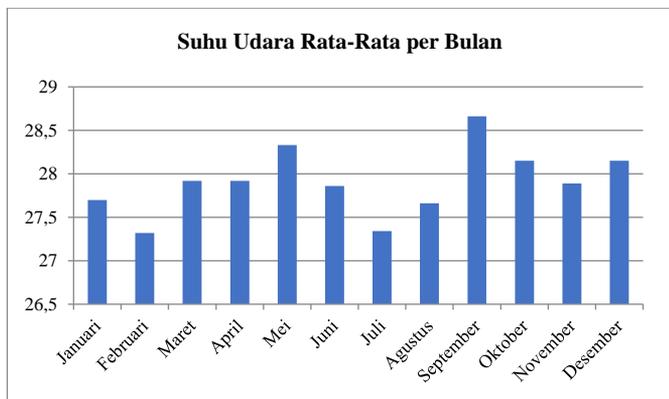
Curah hujan digunakan untuk menentukan klasifikasi iklim/kategori iklim suatu daerah berdasarkan klasifikasi Schmidt dan Ferguson. Klasifikasi ini banyak digunakan untuk daerah tropis (daerah dengan musim hujan dan kemarau), terutama ketika menghitung perbandingan rata-rata jumlah bulan kering (curah hujan 100 mm) dalam suatu periode. Rasio ini sering disebut dengan simbol “Q”. Berdasarkan nilai “Q” tersebut maka kelas-kelas iklim dapat dibagi seperti terlihat pada tabel berikut.

**Tabel 1.** Kriteria Iklim Schmidt-Ferguson

Kelas	Kriteria Q	Keterangan
A	0 < Q < 0,143	Sangat Basah
B	0,143 < Q < 0,333	Basah
C	0,333 < Q < 0,600	Agak Basah
D	0,600 < Q < 1,000	Sedang
E	1,000 < Q < 1,670	Agak Kering
F	1,670 < Q < 3,000	Kering
G	3,000 < Q < 7,000	Sangat Kering
H	7,000 < Q	Ekstrim Kering

- Temperatur Udara

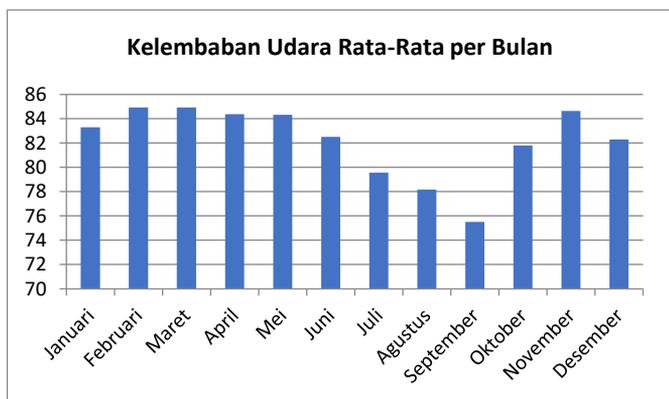
Berdasarkan data Stasiun Meteorologi lokasi penelitian, suhu udara rata-rata di sekitar lokasi rencana kegiatan berkisar antara 27,32°C hingga 28,66°C. Suhu terendah umumnya terjadi pada bulan Februari, sedangkan suhu tertinggi umumnya terjadi pada bulan September.



Gambar 2. Suhu Udara Rata-Rata Per Bulan

- Kelembapan Udara Relative

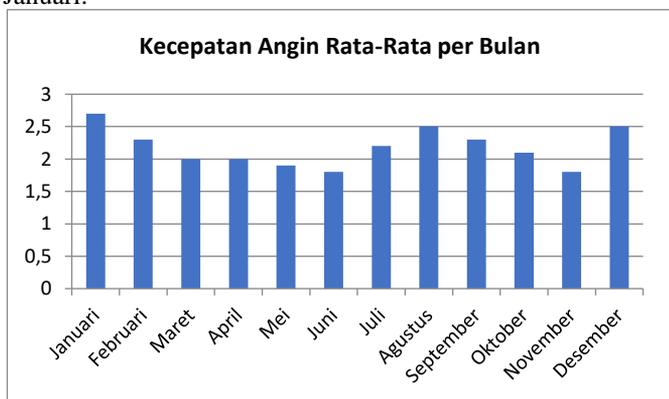
Kelembapan udara pada lokasi pekerjaan yang tercatat di Stasiun Meteorologi lokasi penelitian berkisar antara 75,5% hingga 84,939%. Kelembapan udara terendah terjadi pada bulan September, sedangkan kelembapan udara tertinggi terjadi pada bulan Maret.



Gambar 3. Kelembapan Rata-Rata Per Bulan

- Arah kecepatan angin

Kecepatan angin rata-rata per bulan pada lokasi rencana kegiatan yang tercatat di Stasiun Meteorologi Lokasi penelitian berkisar antara 1,8 m/detik hingga 2,7 m/detik. Kecepatan angin terendah tercatat terjadi pada bulan Juni, sedangkan Kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan Januari.



Gambar 4. Kecepatan Angin Rata-Rata Per Bulan

### 3.2 Perhitungan Beban Emisi

Diketahui:

C(CO) :250 mg/Nm<sup>3</sup> (\*)

C(NO<sub>x</sub>) : 200 mg/Nm<sup>3</sup>(\*)

(\*: 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 : 6,1 m<sup>2</sup>

Jadi:

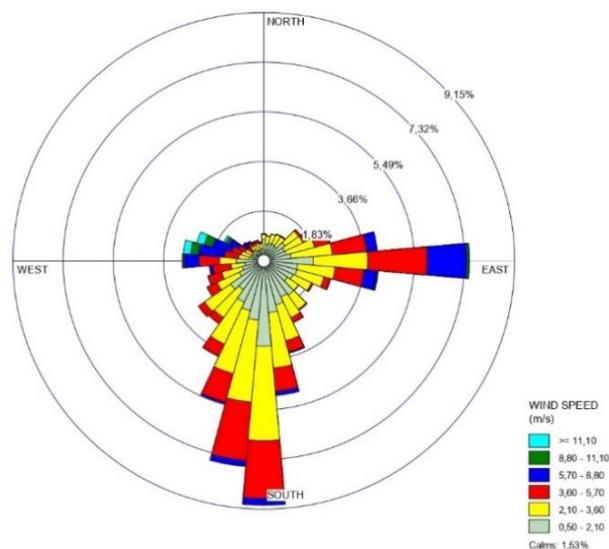
Q = 20 m/detik x 6,1m<sup>2</sup> = 122 m<sup>3</sup>/detik

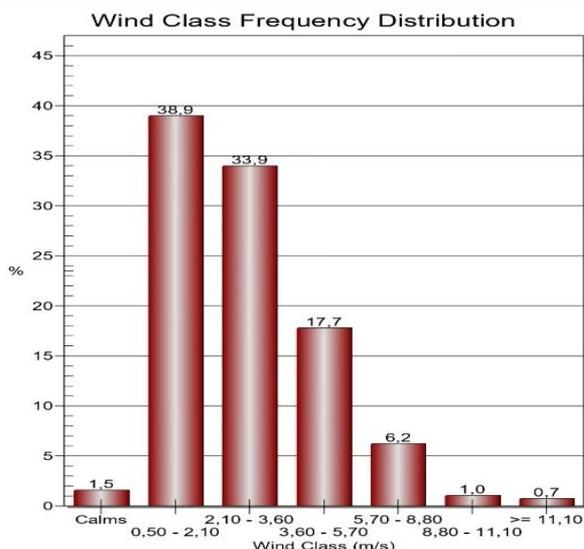
- BE (CO) = 250 x 122 x 0,0036 x 8640 = 948.672 Ton/tahun

- BE (NH<sub>x</sub>) = 200 x 122 x 0,0036 x 8640 = 758.937 Ton/tahun

### 3.3 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. Berdasarkan analisis meteorology diketahui mawar angin di lokasi penelitian bahwa angin dari arah selatan dengan kecepatan dominan 0,5 - 2,1 m/s. Grafik windrose dapat di lihat pada gambar berikut.

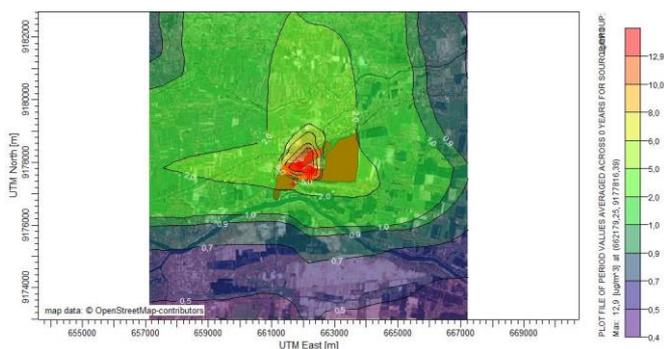




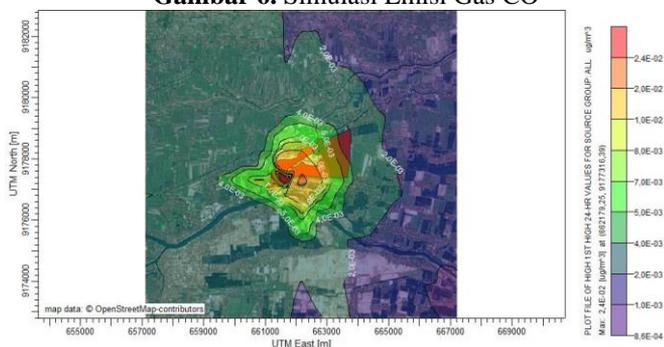
**Gambar 5.** Windrose Dominan dan Frekuensi Distribusi Kecepatan Angin di Lokasi Penelitian

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

Persebaran gas CO, dan NH<sub>3</sub>, dilakukan dengan mensimulasikan emisi yang berasal dari cerobong insenerator 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 6.** Simulasi Emisi Gas CO



**Gambar 7.** Simulasi Emisi Gas NH<sub>3</sub>

Berdasarkan gambar simulasi dispersi gas CO, dan NH<sub>3</sub> tersebar ke arah selatan dari sumber emisi/cerobong mengikuti

arah angin. Dispersi gas CO, dan NH<sub>3</sub> dominan menuju ke arah selatan sesuai dengan arah angin dominan. Konsentrasi CO tertinggi adalah sekitar 12,9 µg/m<sup>3</sup> yang terletak pada jarak kurang lebih 500-600 meter dari sumber emisi. Konsentrasi NH<sub>3</sub> tertinggi adalah 0,024 µg/m<sup>3</sup> yang terletak pada jarak kurang lebih 500-600 meter. 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 CO adalah 4.000 µg/m<sup>3</sup>.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian simulasi dispersi udara pada industry nikel yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa:

- Beban emisi yang diperoleh selama satu tahun yaitu CO sebesar 948.672 Ton/tahun, dan NH<sub>3</sub> sebesar 758.937 Ton/tahun.
- Berdasarkan gambar simulasi dispersi gas CO, dan NH<sub>3</sub> tersebar ke arah selatan 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. -

#### DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. H., Ali, M. I. Bin, & Kong, N. S. (2016). Analysis For WindCharacteristic 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.

Anwar, Fajar Septian, Anwar Mallongi, and M. Alimin Maidin. "Kualitas Udara Ambien Co Dan Tsp Di Permukiman Sekitar Kawasan Industri Pt. Semen Tonasa." *Jurnal Kesehatan Masyarakat Maritim* 2.2 (2019).

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>

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>

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>

Saidal Siburian, M. M., and M. Mar. *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca*. Kreasi Cendekia Pustaka, 2020.

Sugiarto, Sugiarto, Peppy Herawati, and Anggrika Riyanti. "Analisis Konsentrasi SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan Partikulat pada Sumber Emisi Tidak Bergerak (Cerobong) Berbahan Bakar Batubara dan Cangkang (Studi Kasus di Kabupaten Muaro Jambi)." *Jurnal Daur Lingkungan* 2.1 (2019): 21-28.

Wicahyo, Sigit, and I. Made Arsana. "Pengaruh Penggunaan Hydrogen Booster Electrolyzer Terhadap Performa

Mesin Dan Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Empat Langkah." *Jurnal teknik mesin* (2013): 121-128.