

Analisis Sebaran Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas di Kota Batam Menggunakan *Software* Aermod

Riko Ferdinand Abdillah

Program Studi Teknik Lingkungan,
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
Korespondensi penulis: 21034010092@student.upnjatim.ac.id

Yayok Suryo Purnomo

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

Alamat: Jalan Rungkut Madya No.1, Gn. Anyar, Kec. Gunung Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur
60294

Abstract. *Currently, the government is increasingly building PLTMG to fulfill the electricity needs of the society. Beside for fulfill the electricity needs of the Indonesian people, PLTMG also has a negative impact on the society, especially for the community around the PLTMG in the city of Batam. So companies need to conduct studies on environmental impacts, one of which is the impact of the air produced on the surrounding area. The PLTMG industry does not use air pollution control devices, but uses a leanox combustion control system on each gas engine with a chimney outlet that emits SO₂ and particulate emissions. The model simulation was carried out using Aermod view software with meteorological data from the affected locations. The results of AERMOD modeling show that the PLTMG industry will have an impact on particulate emissions in the ambient air around the activity location which will spread to the northwest, north, south and east of the activity location. The Aermod Model also shows that current conditions have resulted in dispersion with concentrations below the maximum limit stated in the 2021 Government Regulation. The addition of an emission monitoring system such as CEMS can be used to help monitor the concentration of dispersed emissions. Apart from that, emission control devices such as incinerators or combustion can also be used to reduce the concentration of the emissions used.*

Keywords: *Aermod, PLTMG, Air Pollution*

Abstrak. Pada masa sekarang, pembangunan PLTMG semakin masif dilakukan oleh pemerintah untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Selain untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Indonesia, PLTMG juga berdampak kurang baik bagi masyarakat, khususnya untuk masyarakat di sekitar PLTMG di kota Batam ini. Sehingga perusahaan perlu melakukan studi mengenai dampak lingkungan, salah satunya dampak udara yang dihasilkan bagi sekitar. Industri PLTMG tidak menggunakan alat pengendali pencemaran udara, namun menggunakan alat kontrol pembakaran *leanox system* pada masing masing mesin gas dengan outlet cerobong yang mengeluarkan emisi SO₂ dan Partikulat. Simulasi model dilakukan dengan software Aermod view dengan data meteorologi lokasi terdampak. Hasil pemodelan AERMOD menunjukkan industri PLTMG akan memberikan dampak emisi partikulat kepada udara ambien sekitar lokasi kegiatan yang menyebar ke arah barat laut, utara, selatan, timur dari lokasi kegiatan. Pemodelan Aermod juga menunjukkan bahwa dengan kondisi saat ini sudah menghasilkan dispersi dengan konsentrasi di bawah batas maksimum yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah Tahun 2021. Penambahan sistem pemantauan emisi seperti CEMS dapat digunakan untuk membantu memantau konsentrasi emisi yang tersebar. Selain itu dapat juga digunakan alat pengendali emisi seperti incinerator atau combustion untuk dapat mengurangi konsentrasi sebaran emisi yang digunakan.

Kata kunci: Aermod, PLTMG, Pencemaran Udara

LATAR BELAKANG

Pada masa sekarang, peningkatan jumlah penduduk yang ada di Indonesia semakin bertambah seiring berjalannya waktu. Pesatnya penduduk yang ada di Indonesia juga berdampak besar terhadap peningkatan penggunaan listrik yang ada di Indonesia. Berdasarkan Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik tahun 2021 – 2030 di Indonesia sebesar 18,6 GW, dan juga berdasarkan kondisi eksisting yang sudah terpasang saat ini, PLTMG atau Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas menghasilkan cadangan listrik sebesar 1,73 GW yang tersebar di beberapa tempat di Indonesia. (PLN, 2021). Di kota Batam, saat ini sudah terdapat beberapa Pembangkit listrik yang tersebar di beberapa tempat di kota Batam yang dibangun dan dioperasikan baik oleh pemerintah dan juga oleh swasta guna memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Indonesia maupun kota Batam.

Selain guna memenuhi kebutuhan listrik dan membantu perekonomian negara, PLTMG juga memberi dampak yang kurang baik bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Permasalahan tersebut bersumber dari kegiatan pengoperasian PLTMG dimana dari kegiatan tersebut akan menghasilkan berbagai macam emisi yang berbahaya, seperti partikulat, dan juga Sulfurdioxide (SO₂). Polusi udara yang berasal dari emisi industri seperti PLTMG sangat berbahaya bagi masyarakat apabila paparan secara besar dan cepat. Dalam waktu paparan yang singkat dapat mempengaruhi kesehatan pada masyarakat seperti radang paru – paru, infeksi saluran pernapasan atas (ISPA), gangguan pada kardiovaskuler, bahkan apabila kandungan yang terpapar sudah besar dapat menyebabkan kematian.

Dalam mengantisipasi hal – hal buruk yang dapat disebabkan oleh aktivitas PLTMG, maka diperlukan pengertian dalam pengetahuan dini untuk memodelkan distribusi dari sebaran emisi gas dan partikulat yang dihasilkan dari hasil kegiatan oleh kegiatan pembangkit listrik tenaga mesin gas. Pemodelan menjadi salah satu aspek paling penting dalam menentukan kualitas udara dan sikap dalam menentukan bagaimana cara yang tepat agar kualitas sebaran emisi yang disebarkan dapat terkontrol oleh pemegang kekuasaan atau industri terkait. Hasil dari analisis pemodelan ini dapat menghubungkan antara emisi dengan analisis resiko kesehatan masyarakat terdampak. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) menghitung atau memprediksi resiko kesehatan dari parameter cemaran. (Junarto, 2016)

Sesuai dari hal – hal yang dijelaskan, maka diperlukan realisasi yang dapat dilakukan dalam aplikasi AERMOD. Pemodelan aermod yang pada dasarnya menggunakan prinsip distribusi konsentrasidispersi gaussian yang akan digambarkan nilai konsentrasi dengan rancangan jarak hingga beberapa kilometer dari sumber emisi dan dipengaruhi oleh kondisi klimatologi wilayah terdampak.

KAJIAN TEORITIS

Pencemaran udara merupakan masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dari komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga mutu udara turun sampai pada tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (PP No. 41 Tahun 1999). Sumber emisi yang berasal dari pembangkit listrik memiliki dampak yang besar dan signifikan pada wilayah pemukiman di sekitar pembangkit. Sebaran emisi atau limbah hasil pembangkit ini juga dipengaruhi oleh faktor meteorologi. Meteorologi adalah ilmu yang mempelajari tentang bumi dan gejala – gejalanya, yang terkait dengan komponen bumi yang berupa gas atau biasa disebut udara. Fungsi dari faktor meteorologi ini adalah untuk menentukan kejadian yang terjadi pada polutan yang dilepaskan pada suatu wilayah. (Kurniawati, 2019). Model Dispersi Gaussian dapat membantu menganalisis difusi sebaran yang dikeluarkan oleh sumber emisi. Secara prinsip Gaussian adalah sebuah model matematis dispersi atmosferik yang berfungsi untuk mensimulasikan perilaku kepulan yang dihasilkan dari sumber di permukaan atau ketinggian. (Abdus et al., 2022). Model gaussian tidak sepenuhnya dapat diaplikasikan pada kondisi dengan kondisi permukaan yang kompleks, dimana kondisi ini dapat memicu gesekan angin yang tinggi serta inversi yang kuat. (Ramadhani, 2020)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di sebuah industri pembangkit listrik tenaga mesin gas di Kota Batam, dimana disekitar lokasi kegiatan terdapat beberapa pemukiman yang terdampak akibat kegiatan PLTMG. Gambaran lokasi kegiatan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Kegiatan PLTMG

Untuk keperluan data awal atau untuk pembuatan wind rose, diperlukan data meteorologi yang diperoleh melalui BMKG guna membentuk Windrose dan data *Surface dan Profile*. Data Meteorologi Kepulauan Riau disajikan pada tabel1.

Tabel 1. Kondisi Meteorologi Kota Batam

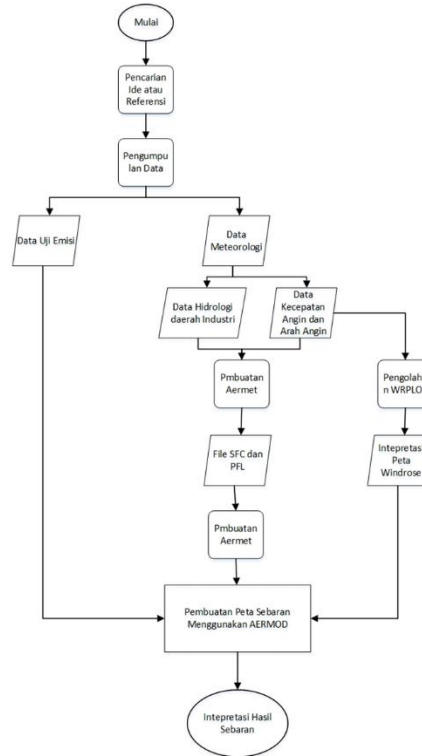
| | | |
|--------------------|---|---|
| Arah Angin Dominan | : | Selatan pada periode Januari-Juni Utara pada periode Juli-Desember |
| Kecepatan Angin | : | 3 – 9 m/s |
| Suhu Udara | : | 27,89 °C |
| Radiasi Matahari | : | 159,09 - 470 Wh/m ² |
| Kelembaban Udara | : | 32,58 - 76,09 % |
| Tekanan Udara | : | 32,58 - 76,09 % |
| Curah Hujan | : | 70,6 – 328,1 |

Sumber: Data Meteorologi BMKG, Copernicus, dan Power Larc Nasa, 2024

Data meteorologi Kota Batam digunakan sebagai data awal kondisi iklim dan cuaca yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik Kota Batam pada satu tahun terakhir dengan rentang bulan Januari hingga Juni untuk analagi musim penghujan, dan bulan Juli hingga Desember untuk analogi musim penghujan.

Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif, dimana penelitian ini digunakan untuk mengevaluasi yang nantinya dapat digunakan lagi untuk menentukan sikap terhadap bagaimana menanggulangi suatu pencemaran yang ada pada suatu kondisi dan penyelenggaraan suatu program perbaikan terhadap pencemaran lingkungan tersebut. Hingga saat ini juga, untuk industri yang menggunakan gas sebagai bahan dasar operasional belum memiliki alat pengendali emisi, namun PLTMG terkait memiliki sebuah teknologi. Teknologi yang digunakan adalah teknologi pembakaran *Leanox System* dimana *Leanox* adalah kontrol pembakaran lean mixture yang dimana sudah dikembangkan. Sistem ini memastikan rasio udara terhadap gas dalam kondisi pengoperasian dan meminimalkan gas buang dan mempertahankan pengoperasian yang stabil. Sehingga sistem pemantauan emisi saat ini dikontrol melalui pengambilan sampling yang dilakukan selama beberapa periode sekali dan belum memiliki pemantauan yang terkontrol secara otomatis.

Metode pelaksanaan penelitian terdiri dari studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, analisis hasil yang ada pada tahap selesai yaitu kesimpulan penelitian. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang berasal dari pengukuran emisi pada lokasi kegiatan sejenis dengan kriteria mesin yang sama yang diperoleh melalui perusahaan yang sama. Berikut gambar 2 yang akan menjelaskan tentang desain penelitian yang akan digunakan.



Gambar 2. Kerangka Penelitian

Pencemaran pada industri PLTMG ini bersumber dari beberapa buah mesin reaktor, namun saat ini dilakukan simulasi dengan menggunakan 2 mesin pembangkit yang digunakan selama 24 jam yaitu dengan nama cerobong reaktor 1, dan reaktor 2 dengan buangan emisi rata rata pada masing masing cerobong yaitu sebagaimana dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 2. Spesifikasi Cerobong 1

| Komponen | Nilai |
|-----------------------------|--------------------------|
| Tinggi Cerobong | 13,5 m |
| Diameter Cerobong | 0,6 m |
| Kecepatan aliran | 21,2 m/s |
| Laju Alir | 5,9715 m ³ /s |
| Beban Emisi SO ₂ | 0,0156 g/s |
| Beban Emisi Partikulat | 0,075 g/s |

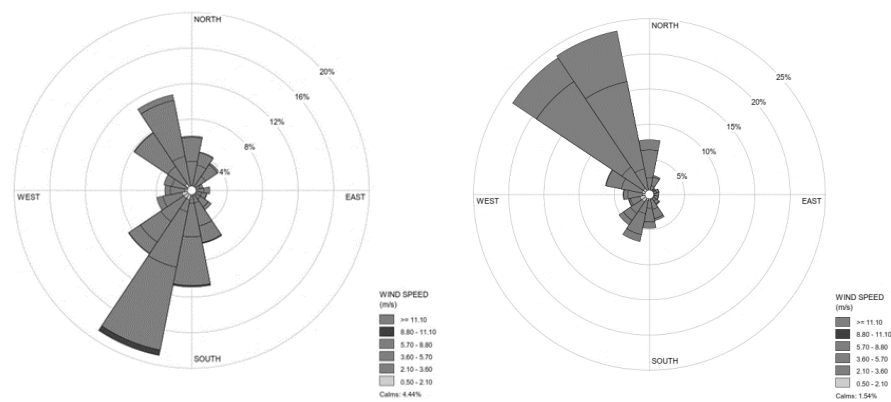
Tabel 3. Spesifikasi Cerobong 2

| Komponen | Nilai |
|-----------------------------|--------------------------|
| Tinggi Cerobong | 13,5 m |
| Diameter Cerobong | 0,6 m |
| Kecepatan aliran | 21,03 m/s |
| Laju Alir | 5,9461 m ³ /s |
| Beban Emisi SO ₂ | 0,0158 g/s |
| Beban Emisi Partikulat | 0,050 g/s |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Windrose di Lokasi Kegiatan

Pemodelan data awal merupakan pemodelan sebaran arah angin yang terdistribusi berdasarkan data klimatologis yang didapatkan dari data Badan Pusat Statistik dan data sekunder yang diperoleh melalui POWERLARC NASA yang dimana menunjukkan kecenderungan angin dalam secara tahunan pada periode musim kemarau menunjukkan arah dominan Persebaran angin pada lokasi kegiatan terdampak bergerak dengan dominan arah mengarah ke barat daya dengan kecepatan angin rata rata sebesar 5,70 – 8,80 m/s dengan persentase kejadian mencapai 11%. Arah dan kecepatan angin pada periode Januari – Juni dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Model Kecepatan dan Arah Angin di Kota Batam.

(Sumber: Hasil Pemodelan, 2023)

Sedangkan pada bulan Juli – Desember sebagai representatif musim penghujan menunjukkan pada periode ini arah angin dominan pada lokasi dominan mengarah ke barat laut dengan kecepatan angin sebesar 3,60 – 5,70 m/s dengan jumlah persentase kejadian mencapai 24%.

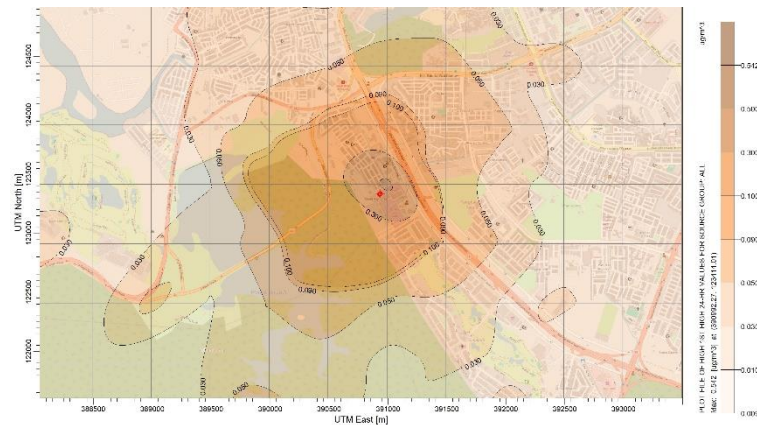
Selanjutnya dalam pemodelan sebaran emisi dilakukan dari sumber emisi yaitu cerobong 1 dan 2. Kondisi topografi daerah penelitian relatif datar dan memiliki 2 cerobong asap. Jenis hasil pemodelan sebaran emisi ini termasuk bentuk peta isopleth konsentrasi di atas permukaan tanah. Klasifikasi atau pembagian konsentrasi emisi partikulat berdasarkan yang paling dekat dengan sumber emisi hingga yang paling jauh dengan sumber emisi. Hasil pemodelan sebaran emisi partikulat disajikan dalam sub bab berikut.

Kajian Dispersi Emisi SO₂

Proses running pemodelan dilakukan pada waktu periode waktu 24 jam, dan 1 tahun yang kemudian pengujian 1 tahun dibagi menjadi 2 periode. Periode bulan Januari – Juni sebagai

representasi bulan kemarau, Kemudian untuk bulan Juli – Desember sebagai representasi bulan penghujan. Hasil sebaran pada periode tersebut dapat diketahui dari gambar dibawah ini dimana menunjukkan persebaran emisi dalam bentuk emisi SO₂ akibat adanya kegiatan pembuangan emisi kegiatan PLTMG. Konsentrasi pada hasil penyebaran ditentukan dengan warna yang dihasilkan.

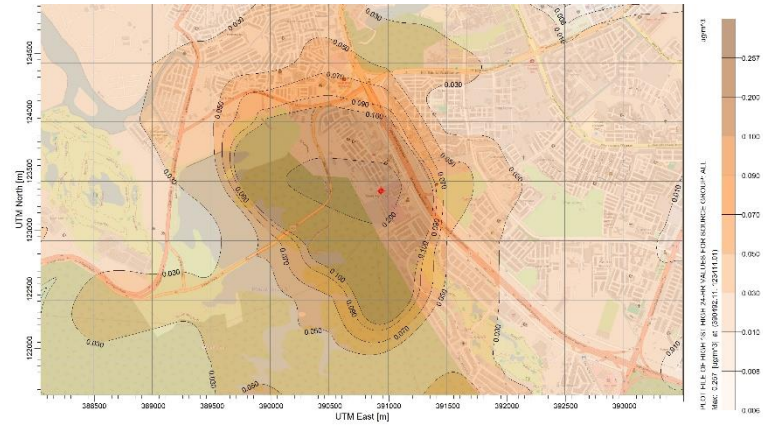
1. Model Sebaran Dengan Waktu 24 Jam



Gambar 4. Model Sebaran Emisi SO₂ Dengan Waktu 24 Jam
Pada Bulan Januari – Juni

Sebaran emisi SO₂ dengan waktu pemantauan selama 24 jam pada bulan Januari – Juni dari mesin gas menunjukkan bahwa konsentrasi yang terukur sudah sangat rendah yaitu pada angka 0,542 µg/m³ pada 500 meter pertama hingga 1 kilometer dari sumber emisi. Kemudian pada kilometer kedua, kualitas sebaran menunjukkan angka yang sudah sangat kecil atau dapat dikatakan tidak memberikan efek buruk pada lingkungan sekitar.

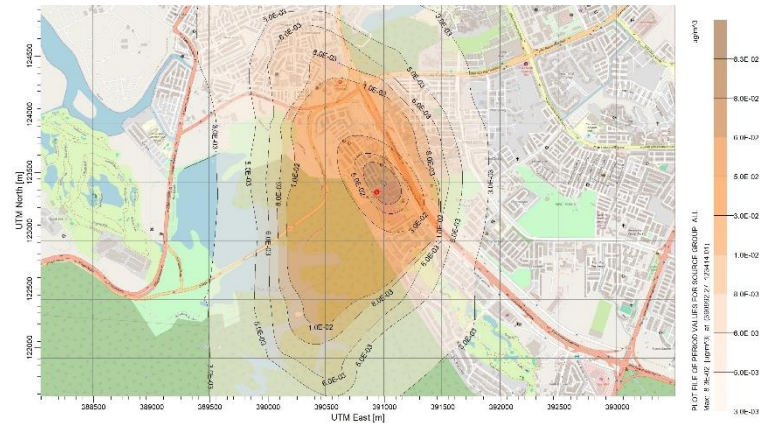
Pada periode bulan Juli – Desember, sebaran emisi SO₂ juga menunjukkan sebaran emisi memiliki angka yang sangat kecil yaitu sebesar 0,257 µg/m³ yang tersebar di dalam lokasi kegiatan. Pada beberapa kilometer selanjutnya, sebaran emisi SO₂ yang menyebar ke arah pemukiman penduduk berada di angka 0,100 µg/m³ dan akan terus menurun hingga beberapa kilometer selanjutnya.



Gambar 5. Model Sebaran Emisi SO₂ Dengan Waktu 24 Jam Pada Bulan Juli – Desember

Nilai tertinggi emisi jika mengacu pada Lampiran VII Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang baku mutu udara ambien, tertera bahwa kadar maksimal sebaran SO₂ pada waktu pengukuran 24 jam sebesar 75 µg/Nm³. Berdasarkan angka diatas, nilai sebaran emisi SO₂ masih memenuhi baku mutu yang berlaku.

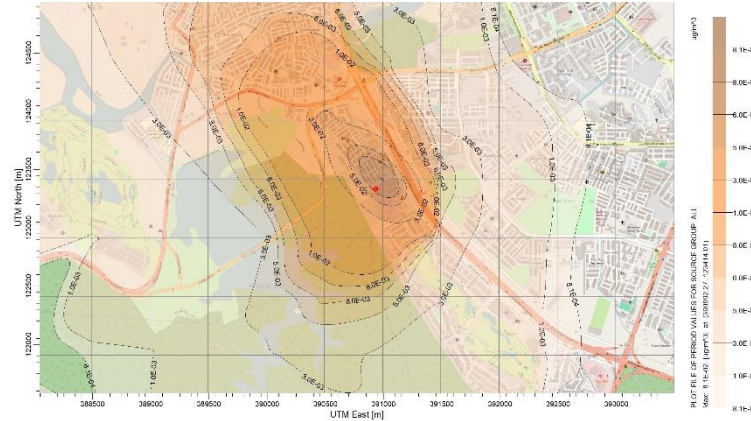
2. Model Sebaran 1 Tahun



Gambar 6. Model Sebaran Emisi SO₂ Dengan Waktu 1 Tahun Pada Bulan Januari – Juni

Pemodelan SO₂ dengan waktu pemantauan selama 1 tahun yang dibagi menjadi 2 periode yaitu bulan Januari – Juni dan Juli – Desember. Sebaran emisi SO₂ pada bulan Januari – Juni menunjukkan bahwa angka sebaran sudah menunjukkan angka yang sangat kecil, yaitu sebesar 0,083 µg/m³ yang menyebar di areal industri PLTMG. Konsentrasi yang menyebar pada kilometer selanjutnya juga mengalami penurunan hingga sebesar 0,03 µg/m³ yang terus menurun hingga beberapa kilometer selanjutnya hingga menghilang.

Pada bulan Juli – Desember, sebaran emisi menunjukkan angka yang hampir sama dengan semester sebelumnya yaitu sebesar $0,081 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan menyebar di dalam area industri. Pada jarak 500m dari sumber emisi, sebaran menunjukkan angka sebaran sudah menurun menjadi sebesar $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan akan menurun hingga kilometer selanjutnya.



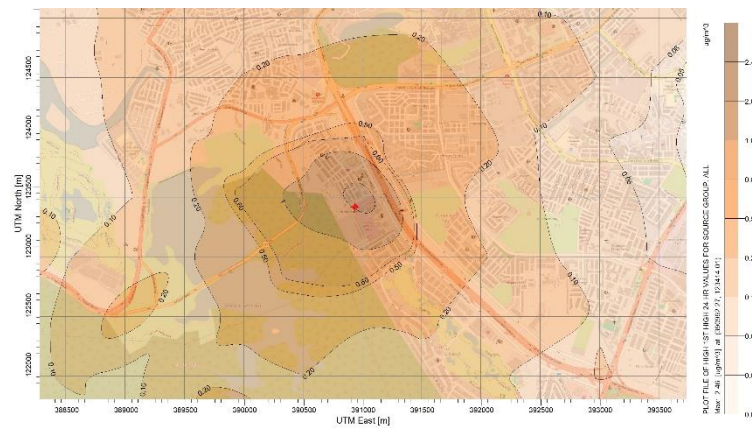
Gambar 7. Model Sebaran Emisi SO₂ Dengan Waktu 24 Jam
Pada Bulan Juli – Desember

Sesuai yang sudah ditentukan sebagaimana yang tertuang di dalam Peraturan Pemerintahan No. 22 Tahun 2021 lampiran VII, bahwa kadar maksimal sebaran pada waktu pengukuran selama 1 tahun sebesar $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan angka hasil pemodelan, nilai sebaran emisi SO₂ masih memenuhi baku mutu yang berlaku.

Kajian Emisi Partikulat

Pada kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas di kota Batam ini, emisi yang dihasilkan bukan hanya SO₂, tetapi juga menimbulkan emisi Partikulat yang dipaparkan ke udara bebas. pemantauan dilakukan pada waktu periode 24 jam dan juga selama 1 tahun dengan sistem pembagian yang masih sama seperti pemodelan SO₂ yaitu dibagi menjadi 2 periode. Hasil sebaran pada periode tersebut dapat diketahui dari gambar dibawah ini.

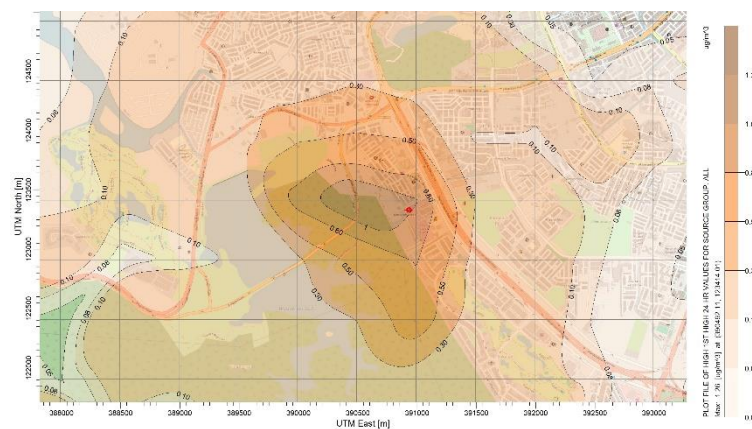
1. Model Sebaran dengan waktu 24 Jam



Gambar 8. Model Sebaran Partikulat Dengan Waktu 24 Jam Pada Bulan Januari – Juni.

Sebaran emisi partikulat dengan waktu pemantauan selama 24 jam pada bulan Januari – Juni dari mesin gas menunjukkan bahwa konsentrasi yang terukur sudah sangat rendah, yaitu sebesar $2,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yang tersebar di area industri PLTMG. Pada kilometer ke 1 yang menyebar keluar dari lokasi kegiatan dan mengarah ke selatan lokasi kegiatan, sebaran sudah menurun di angka $0,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Angka tersebut sudah menunjukkan angka yang sangat kecil dan akan menurun hingga beberapa kilometer selanjutnya.

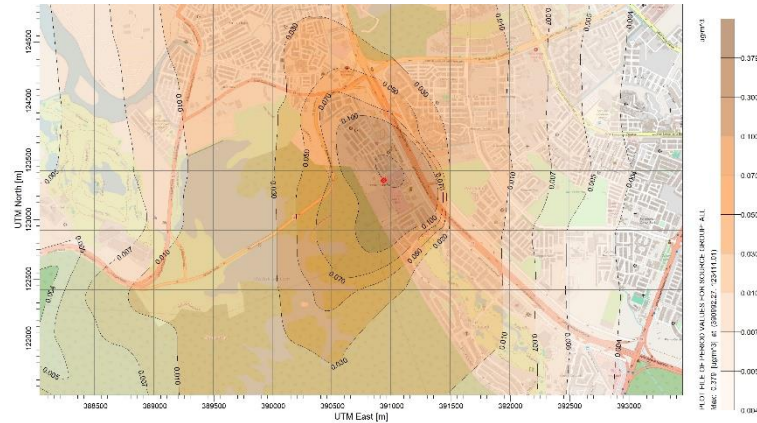
Lalu untuk pemantauan 24 jam pada periode bulan Juli – Desember, sebaran Partikulat menunjukkan bahwa nilai tertinggi dari sebaran sumber emisi adalah sebesar $1,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yang menyebar di dalam area lokasi kegiatan. Pada satu kilo meter selanjutnya setelah lokasi kegiatan, sebaran dominan menyebar ke arah barat mengarah ke lahan penghijau dari lokasi kegiatan dengan konsentrasi $1,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Gambar 9. Model Sebaran Partikulat dengan waktu 24 Jam pada Bulan Juli – Desember

Nilai tertinggi emisi jika mengacu pada Lampiran VII Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang baku mutu udara ambien, tertera bahwa kadar maksimal sebaran TSP pada waktu pengukuran 24 jam sebesar $230 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Berdasarkan angka diatas, nilai sebaran emisi SO_2 masih memenuhi baku mutu yang berlaku.

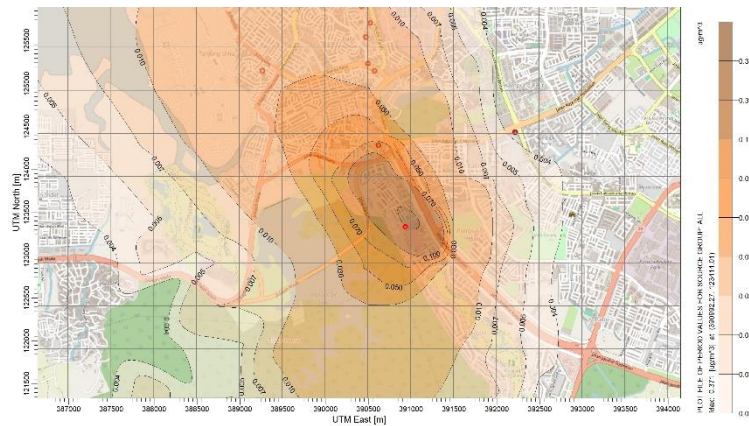
2. Model Sebaran dengan waktu 1 Tahun



Gambar 10. Model Sebaran Emisi Partikulat Dengan Waktu 1 Tahun
Pada Bulan Januari - Juni

Pemodelan Partikulat menunjukkan bahwa emisi menyebar dominan ke arah selatan dengan angka sebaran sudah menunjukkan bahwa sebaran sudah tergolong rendah dengan nilai maksimum berdasarkan model adalah sebesar $0,379 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ yang masih tersebar di dalam area industri. Kemudian pada 1 kilometer setelah sumber emisi, sebaran sudah menurun di angka $0,100 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dimana angka tersebut sudah sangat rendah dan terus menurun pada kilometer selanjutnya hingga $0,004 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada kilometer ke 9.

Pada periode bulan Juli – Desember, sebaran emisi Partikulat menunjukkan angka yang hampir sama dengan periode Januari – Juni yaitu sebesar $0,371 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ yang juga menyebar di dalam area industri PLTMG dan sebaran dominan mengarah ke Barat Laut. Pada kilometer 1, konsentrasi sebaran menurun menjadi $0,100 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan sebaran yang lebih meluas dan akan terus menurun hingga beberapa kilometer selanjutnya hingga konsentrasi terendah menjadi $0,004 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.



Gambar 11. Model Sebaran Partikulat Dengan Waktu 1 Tahun Pada Bulan Juli – Desember

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pemodelan AERMOD, industri PLTMG yang berada di Kota Batam ini akan memberi dampak sebaran emisi SO_2 dan TSP yang menyebar kepada beberapa pemukiman dan sarana umum di sebelah timur, selatan, barat, dan utara lokasi kegiatan, sebagaimana arah angin dominan hasil pemodelan melalui software Aermot. Selain itu, didapatkan bahwa sebaran emisi pada masing masing jenis emisi SO_2 dan TSP (partikulat) menunjukkan bahwa masing masing kriteria baik pengukuran pada waktu 1 jam, 24 jam dan 1 tahun untuk emisi SO_2 dan pengukuran 24 jam, dan 1 tahun untuk TSP masih dalam kondisi yang sangat rendah, dimana angka tersebut masih menunjukkan bahwa PLTMG PT. X menghasilkan dispersi emisi yang lebih rendah atau standar yang diijinkan sebagaimana yang sudah diatur dalam lampiran VII Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Udara Ambien. Dapat diartikan juga bahwa sebaran baik SO_2 dan TSP masih tergolong aman jika disebarkan ke lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi pembakaran *Leanox System* yang merupakan cara kontrol pembakaran pada alat mesin gas yang digunakan pada PT. X berjalan dengan maksimal. Penambahan alat teknologi pengendali emisi atau pemantauan alat juga dapat dilakukan apabila terjadi hal hal yang bersifat *force majeure* seperti misalnya penambahan teknologi pemantauan seperti CEMS atau *Continuous Emission Monitoring System* atau juga alat pengendali emisi gas seperti Incinerator/Combustion, Absorpsi, Adsorpsi, dan juga FGD (*Flue Gas Desulfurization*) yang dapat digunakan apabila jika mesin gas mengalami error atau trouble selama operasional berlangsung.

DAFTAR REFERENSI

Artikel Jurnal

- Abdus, M., Jawwad, S., Hikmah, R., Murti, A., & Novembrianto, R. (2022). Pemodelan Pencemaran Udara untuk Industri Kayu Lapis di Kabupaten Blitar. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(1), 2549–1652. <http://jurnalsaintek.uinsby.ac.id/index.php/alard/index>
- Kurniawati, H. (2019). *Pemodelan Pola Penyebaran Pencemar Udara Pltu Pt . Kaltim Prima Coal Menggunakan Aermod*.
- Ramadhani, I. S. (2020). *Pemantauan Kualitas Udara Ambien Dan Pemodelan Gauss Dispersion Gas Nitrogen Dioksida (No2) Dari Emisi Industri Kayu Lapis Di Dusun Kalimati, Tirtomartani, Kalasan, Sleman, D.I.Yogyakarta*. 2(1), 41–49.

Desertasi/Tesis/Praktik Kerja

- Junarto, gatot eko. (2016). *penerapan model aermod untuk emisi gas buangan PLTU dan analisis risiko lingkungan (studi : PLTU Tonasa,kec.bungoro,kabupaten pangkep)*. 01, 1–23.

Buku Teks

- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Sekretariat Negara Republik Indonesia*, 1(078487A), 483. <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/>
- PLN. (2021). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2021-2030*, 2019–2028.