

PEMODELAN PENCEMARAN UDARA DI INDUSTRI PETROKIMIA

Asih Wijayanti*, Hamzah Husni Al Hakim, Hernani Yulinawati

Jurusan Teknik Lingkungan, FALTL, Universitas Trisakti

*Koresponden email: asihwijayanti@trisakti.ac.id

Abstract

Alongside the growth of cities, industrial centers, and increased transportation activities, the air quality undergoes changes in the modern era. Air pollution is one of these changes, where the composition of the air deviates from its normal condition. This pollution occurs when pollutants, consisting of gases and small particles or aerosols, enter the air in large quantities and persist there for an extended period. It can pose risks to human, animal, and plant life. Air pollution involves the introduction or mixture of harmful substances into the air, leading to environmental damage and a decrease in quality. Consequently, human health disturbances may occur. Air pollution originates from two types of sources. The first is natural sources, such as volcanic eruptions. The second is human-made or anthropogenic sources, including emissions from transportation, factories, and other human activities. This study considers the concentration of pollutant emissions in ambient air from gas turbine units based on the Gaussian model to analyze the emission rates of CO, SO₂, and NO₂ originating from gas turbines in the petrochemical industry area.

Keywords: gas turbine, air pollution, gaussian model, petrochemical industry

Abstrak

Seiring dengan pertumbuhan kota, pusat industri, dan peningkatan aktivitas transportasi, kualitas udara mengalami perubahan di era modern. Pencemaran udara adalah salah satu dari perubahan tersebut, di mana komposisi udara berubah dari kondisi normalnya. Polusi ini terjadi ketika zat pencemar, yang terdiri dari gas-gas dan partikel kecil atau aerosol, masuk ke udara dalam jumlah besar dan bertahan di sana dalam jangka waktu yang lama. Bisa membahayakan kehidupan manusia, hewan, dan tanaman. Pencemaran udara adalah masuknya atau tercampurnya zat berbahaya ke dalam udara, yang dapat menyebabkan kerusakan dan penurunan kualitas lingkungan. Oleh karena itu, gangguan kesehatan manusia akan terjadi. Pencemaran udara berasal dari dua jenis sumber. Yang pertama berasal dari sumber alamiah (*natural sources*), seperti letusan gunung berapi. Yang kedua berasal dari sumber manusia (*anthropogenic sources*), seperti emisi dari transportasi, pabrik, dan lain-lain. Penelitian ini memperhitungkan konsentrasi emisi pencemar di udara ambien dari unit gas turbin berdasarkan model Gaussian untuk melakukan analisis terhadap laju emisi CO, SO₂, NO₂ yang bersumber dari gas turbin di kawasan industri petrokimia.

Kata Kunci: gas turbin, industri petrokimia, model gaussian, pencemaran udara

1. Pendahuluan

Industri petrokimia dalam penelitian ini bergerak dalam industri *Polyester Filament Yarn* (PFY) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET). Produk yang dihasilkan berupa benang filament polyester dan PET resin, dimana untuk PFY 70% digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan sisanya 30% di ekspor. Sedangkan produk PET resin yang dihasilkan 60% digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan sisanya 40% diekspor, dengan negara tujuan yaitu Amerika Serikat, Vietnam, Afrika Selatan, Mesir, Korea, dan negara lainnya.

Kualitas udara, sebagai elemen krusial bagi kehidupan manusia, mengalami transformasi dalam era modern ini seiring dengan pertumbuhan pembangunan kota, pusat industri, dan meningkatnya aktivitas transportasi. Perubahan tersebut mencakup pencemaran udara, di mana komposisi udara mengalami modifikasi dari kondisi normalnya. Pencemaran ini terjadi ketika zat pencemar, berupa gas-gas dan partikel kecil atau aerosol, masuk ke udara dalam jumlah yang signifikan dan bertahan dalam jangka waktu yang cukup lama. Dampaknya dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan tanaman (Badan Pengelola Lingkungan Hidup DKI Jakarta, 2013).

Pencemaran udara adalah masuknya atau tercampurnya zat berbahaya ke dalam udara, yang dapat menyebabkan kerusakan dan penurunan kualitas lingkungan. Oleh karena itu, gangguan kesehatan manusia akan terjadi. Pencemaran udara berasal dari dua jenis sumber. Yang pertama berasal dari sumber alamiah (*natural sources*), seperti letusan gunung berapi. Yang kedua berasal dari sumber manusia (*anthropogenic sources*), seperti emisi dari transportasi, pabrik, dll. Polusi udara dapat terjadi di mana-mana, seperti di rumah, sekolah, dan kantor. Pencemaran dalam ruangan biasanya disebut sebagai pencemaran dalam ruangan. Pencemaran di luar ruangan berasal dari industri, perkapalan, kendaraan bermotor, dan proses alami oleh makhluk hidup. Ada dua jenis sumber pencemar udara: yang diam dan yang bergerak. Sumber diam terdiri dari pembangkit listrik, industri dan rumah tangga. Sedangkan sumber bergerak adalah aktifitas lalu lintas kendaraan bermotor di darat dan transportasi laut.

Pencemaran udara terjadi ketika zat, energi, atau bahan lain masuk ke dalam udara karena kegiatan manusia melampaui standar mutu udara. Sumber pencemar udara industri besar terutama berasal dari titik, tetapi juga dari area dan garis, seperti jalan penghubung. Produksi industri dapat diklasifikasikan sebagai normal, abnormal, sementara, atau aksidental (Jainal, 2019).

Gas karbon monoksida (CO), yang tidak memiliki warna dan bau, dapat berbahaya jika terhirup dalam jumlah besar. Aktifitas pembakaran melepaskan gas karbon dioksida. Mobil, truk, dan kendaraan lainnya serta mesin yang menggunakan bahan bakar fosil adalah penyebab emisi gas karbon dioksida di udara. Selain itu, beberapa barang di rumah, seperti cerobong asap, tungku yang bocor, pemanas ruangan dengan minyak tanah, dan kompos gas, dapat melepaskan gas karbon dioksida di dalam ruangan. Selain menghirup udara yang tercemar karbon monoksida, manusia dapat terpapar asap tembakau dari perokok aktif atau pasif, menggunakan peralatan gas atau tungku pembakara, dan merokok. Tempat dan waktu dalam sehari dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi menghasilkan tingkat karbon monoksida yang lebih tinggi daripada tempat dan waktu dengan kepadatan lalu lintas yang rendah. (Wirosoedarmo R, 2020).

Sulfur dioksida atau SO₂ adalah gas beracun yang tidak berwarna yang tidak mudah meledak dan tidak mudah terbakar. Jika konsentrasinya lebih dari 0,5 ppm, itu memiliki bau yang tajam dan sangat larut dalam air, dan jika konsentrasinya 0,3 ppm, itu menimbulkan rasa (Ukpebor 2010).

Gangguan sistem pernapasan seperti asma, kanker paru-paru, emfisema, dan risiko kelahiran prematur adalah efek utama polutan SO₂ terhadap manusia. Indera manusia dapat mengidentifikasi konsentrasi gas SO₂ di udara dengan menciumi baunya saat konsentrasinya berkisar antara 0,3 dan 1 ppm. Pada konsentrasi 5 ppm, paparan SO₂ dapat menyebabkan iritasi tenggorokan (Fardiaz, 1992).

Nitrogen dioksida (NO₂) adalah atmosfer yang terdiri dari sejumlah besar senyawa gas, nitrogen oksida (NO_x), yang terdiri dari nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂), serta sejumlah kecil jenis oksida lainnya. Sifat-sifat yang sangat berbeda dari gas-gas ini sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Sifat negatif NO₂ pada kesehatan manusia dapat menyebabkan penurunan fungsi paru-paru serta peningkatan risiko kanker (Hamra., 2015).

Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan salah satu polutan yang sangat reaktif yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar fosil. Konsentrasi NO₂ yang melebihi nilai Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) 100 dapat mengakibatkan dampak negatif, termasuk munculnya hujan asam, kesulitan bernafas bagi individu yang menderita asma, batuk pada anak-anak dan lansia, penurunan visibilitas, serta berbagai masalah pernapasan lainnya, bahkan dapat berpotensi menyebabkan kematian (Agustan, 2020).

2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan pencemaran udara CO, SO₂, dan NO₂ yang dihasilkan dari industri petrokimia dengan menggunakan model sebaran emisi Gaussian untuk menganalisis konsentrasi maksimum emisi yang terjadi.

3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat sampling *Gas Analyzer* dan melakukan perbandingan dengan data yang dimiliki perusahaan industri petrokimia dari September 2023 hingga Januari 2024 yang berdekatan dengan perumahan penduduk, tempat perniagaan lainnya, dan secara territorial masih dekat dengan wilayah Kota Tangerang Selatan. Industri ini terletak di Provinsi Banten. Di sekeliling area pabrik adalah kawasan pemukiman, ruko perkantoran, dan ruang komunal terbuka hijau.

Dalam perhitungan laju emisi berdasarkan faktor emisi mengacu pada literatur "*Compilation of Air Pollutant Emission Factors*" dimana "S" merupakan persentase kandungan sulfur yang dilihat pada spesifikasi bahan bakar yang digunakan. Spesifikasi bahan bakar gas alam atau *Natural Gas* terdapat senyawa sulfur organik (H₂S) sebesar 0,0003%. (A) adalah rata-rata jumlah harian penggunaan bahan bakar (dalam satuan Ton). Polutan SO₂ = 157S, Polutan NO₂ = 72, Polutan CO = 2. Perhitungan Laju Emisi (Q) dengan Faktor Emisi (EF) yaitu:

$$Q = EF \times A \times (1-ER/100)$$

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Industri petrokimia ini secara rutin melakukan pengujian kualitas emisi dari unit gas turbin sebagai salah satu sumber energi penggerak mesin produksi. Bahan bakar turbin yang digunakan berupa *Natural Gas Liquid* (NGL). Dalam 12 bulan, *natural gas* diisi sebanyak 2 semester yaitu pada bulan Januari-Juni (semester pertama), dan bulan Juli-Desember (semester kedua).

4.1 Perhitungan Laju Emisi dengan Faktor Emisi

Contoh perhitungan CO:

$$Q = 2 \times 18132 \times (1 - 0,0003/100)$$

$$Q = 36,265 \text{ mg/det}$$

Tabel 1 Hasil Perhitungan Laju Emisi Berdasarkan Faktor Emisi

Unit	Emisi	Hasil Hitungan	Satuan
Gas Turbin 1	CO	36265	mg/det
	SO ₂	854	mg/det
	NO ₂	1305526	mg/det
Gas Turbin 2	CO	33141	mg/det
	SO ₂	780	mg/det
	NO ₂	1193066	mg/det

4.2 Kecepatan Angin dan Kelas Stabilitas Atmosfer

Alat pengukur kecepatan angin BMKG memiliki tinggi 10 m (U_{10}). Kecepatan angin adalah 3,7 m/s, 3,8 m/s, dan 3,6 m/s, masing-masing, menurut mawar angin selama 10 tahun. Kecepatan angin dominan ini diperlukan untuk mengukur kecepatan angin pada ketinggian cerobong 18 m (U_{18}). Antara tahun 2007 dan 2016, angin dominan memiliki kecepatan angin permukaan 3-5 m/s.

Kelas stabilitas atmosfer, yaitu: (A) : Sangat tidak stabil, (B) : Tidak Stabil, (C) : Sedikit Tidak Stabil, (D) : Netral, (E) : Agak sedikit stabil, (F) : Stabil.

Kecepatan angin dominan pada 3-5 m/s tidak termasuk dalam stabilitas atmosfer kelas A. Namun, selama musim hujan, kecepatan angin dengan kondisi mendung di siang atau malam harus memilih kelas stabilitas D. Kelas stabilitas atmosfer lainnya adalah B, B-C, D, E, dan F.

Kondisi pedesaan digunakan untuk memprediksi kecepatan angin pada elevasi 18 m karena lokasi penelitian dikelilingi oleh pemukiman penduduk atau pedesaan yang permukaannya relatif datar. Koefisien p kelas stabilitas B, C, D, E, dan F adalah 0,09, 0,12, 0,15, 0,24, dan 0,36. Perhitungan kecepatan angin pada elevasi 18 m (U_{18}) didasarkan pada analisis mawar angin selama sepuluh tahun, termasuk musim hujan dan musim kemarau.

- a. Kecepatan angin pada elevasi ketinggian 18 m dengan kelas stabilitas atmosfer B (mawar angin selama 10 tahun):

$$U_{18} = 3,7 \text{ m/s} \times \left(\frac{18 \text{ m}}{10 \text{ m}}\right)^{0,9} = 6,28 \text{ m/s}$$

- b. Kecepatan angin pada elevasi ketinggian 18 m dengan kelas stabilitas atmosfer F (mawar angin selama musim kemarau):

$$U_{18} = 3,6 \text{ m/s} \times \left(\frac{18 \text{ m}}{10 \text{ m}}\right)^{0,36} = 4,45 \text{ m/s}$$

- c. Kecepatan angin pada elevasi ketinggian 18 m dengan kelas atmosfer D (mawar angin selama musim hujan):

$$U_{18} = 3,8 \text{ m/s} \times \left(\frac{18 \text{ m}}{10 \text{ m}}\right)^{0,15} = 4,15 \text{ m/s}$$

Tabel 2 Kecepatan Angin Pada Elevasi 18 m

Kelas Stabilitas Atmosfer	Kecepatan Angin pada U_{18} (m/s)		
	Tahunan	Musim Kemarau	Musim Hujan
A	6,28	3,80	4,00
B	6,28	3,80	4,00
C	3,97	3,86	4,07
D	4,04	3,93	4,15
E	4,26	4,14	4,37
F	4,57	4,45	4,70

4.3 Tinggi Cerobong dan Tinggi Efektif Cerobong

Bryant-Davidson menyediakan persamaan untuk menghitung tinggi semburan (plume rise) pada cerobong dengan menggunakan data suhu udara pada ambien di titik yang telah ditentukan untuk pengujian di sekitar industri petrokimia. Temperatur udara ambien (T_a) di lokasi pengujian adalah 27°C atau 300K . Temperatur emisi cerobong Gas Turbin 1 adalah $176,7^{\circ}\text{C}$ atau $449,85\text{K}$ dan $186,3^{\circ}\text{C}$ atau $459,45\text{K}$ menurut hasil pengukuran alat *Gas Analyzer*. Contoh perhitungan tinggi semburan cerobong (Δh) Gas Turbin 1:

$$\Delta h = 1,6 \text{ m} \times \left(\frac{10,60 \text{ m/s}}{6,28 \text{ m/s}} \right)^{1/4} \times \left(1 + \left(\frac{449,85\text{K} - 300\text{K}}{449,85\text{K}} \right) \right) = 2,43 \text{ m}$$

Tabel 3 Hasil Perhitungan Tinggi Semburan Cerobong pada Gas Turbin 1

Kelas Stabilitas Atmosfer	Δh (m)		
	Tahunan	Musim Kemarau	Musim Hujan
A	2,43	2,76	2,72
B	2,43	2,76	2,72
C	2,73	2,74	2,71
D	2,71	2,73	2,70
E	2,68	2,70	2,66
F	2,63	2,65	2,61

Hasil dari perhitungan tinggi semburan cerobong digunakan untuk menghitung tinggi efektif cerobong (H_e). Berikut perhitungan tinggi efektif cerobong (H_e) pada setiap unit dengan kelas stabilitas angin B pada mawar angin tahunan.

- a. Gas Turbin 1 Kelas Stabilitas B Tahunan

$$H_e = 18 \text{ m} + 2,43 \text{ m} = 20,43 \text{ m}$$

- b. Gas Turbin 1 Kelas Stabilitas C Musim Kemarau

$$H_e = 18 \text{ m} + 2,74 \text{ m} = 20,74 \text{ m}$$

- c. Gas Turbin 1 Kelas Stabilitas E Musim Hujan

$$H_e = 18 \text{ m} + 2,66 \text{ m} = 20,66 \text{ m}$$

Tabel 4 Hasil Perhitungan Tinggi Efektif Cerobong pada Gas Turbin 1

Kelas Stabilitas Atmosfer	He (m)		
	Tahunan	Musim Kemarau	Musim Hujan
A	20,43	20,76	20,72
B	20,43	20,76	20,72
C	20,73	20,74	20,71
D	20,71	20,73	20,70
E	20,68	20,70	20,66
F	20,63	20,65	20,61

4.4 Koefisien Dispersi

Koefisien dispersi, mencakup koefisien dispersi horizontal (σ_y) dan koefisien dispersi vertikal (σ_z). Kedua koefisien ini memiliki hubungan matematis jarak dari sumber emisi (x). Jarak yang dipakai pada penelitian ini adalah rentang 100 – 500 m. Pendekatan model matematis digunakan untuk menggambarkan perubahan tersebut.

a. Koefisien Dispersi Horizontal (m)

$$\sigma_y = a \times (x)^b$$

Model ini untuk memahami bagaimana koefisien dispersi horizontal berubah seiring jarak dari sumber emisi. Nilai a dan b akan memberikan wawasan tentang karakteristik dispersi horizontal di lokasi penelitian

$$\sigma_y = a \times (x)^b = 213 \times (0,1)^{0,894} = 27 \text{ m}$$

Tabel 5 Hasil Perhitungan Koefisien Dispersi Horizontal (σ_y)

Kelas Stabilitas Atmosfer	X (km)				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
A	27	51	73	94	115
B	20	37	53	69	84
C	13	25	35	46	56
D	9	16	23	30	37
E	6	12	17	22	27
F	4	8	12	15	18

b. Koefisien Dispersi Vertikal (m)

$$\sigma_z = (c \times (x^d)) + f$$

Diaproksimasi sebagai fungsi polinomial dari jarak, model ini memberikan gambaran perubahan koefisien dispersi vertikal seiring jarak dari sumber emisi. Penyesuaian parameter f akan bergantung pada karakteristik dispersi vertikal di lokasi penelitian.

$$\sigma_z = (c \times (x^d)) + f = (440,8 \times (0,1^{1,941})) + 9,27 = 14 \text{ m}$$

Tabel 6 Hasil Perhitungan Koefisien Dispersi Horizontal (σ_z)

X (km)					
Kelas Stabilitas Atmosfer	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
A	14	29	52	84	84
B	11	20	30	40	40
C	8	15	21	27	27
D	7	11	15	18	18
E	5	8	11	13	13
F	3	5	7	8	8

4.5 Model Dispersi Gaussian

Penerapan Model Dispersi Gaussian untuk menganalisis sebaran polutan Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO₂), dan Nitrogen Dioksida (NO₂) di Unit Gas Turbin industri petrokimia.

Data tinggi efektif cerobong dan tinggi semburan berdasarkan kecepatan angin rata-rata tahunan dan dengan menganggap nilai $y = 0$ (di permukaan tanah) agar dapat berfokus pada satu arah saja. Penelitian difokuskan pada Unit Gas Turbin 1 dengan emisi terbanyak.

Contoh perhitungan konsentrasi CO (mg/m³):

$$C(x, y, z; H) = \frac{63845}{2\pi \cdot 20 \cdot 11 \cdot 5,28} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{100}{0^2}\right)\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{0-20,43}{11^2}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{0+20,43}{11^2}\right)^2\right] \right\}$$

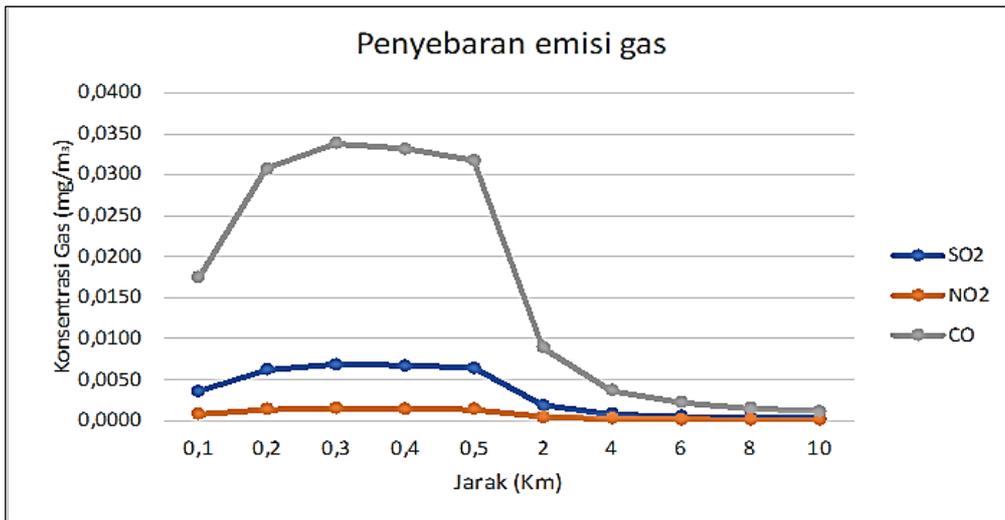
$$= 2,554 \text{ mg/m}^3$$

Tabel 7 Hasil Perhitungan Dispersi Model Gaussian

Unit Gas Turbin I	Pencemar Udara	Konsentrasi (mg/m ³)
	CO	2,554
	SO ₂	7,662
	NO ₂	91,095

Berdasarkan perhitungan model dispersi Gaussian, tingginya konsentrasi dari kedua cerobong gas turbin, yaitu pada konsentrasi NO₂. Pada Unit Gas Turbin 1 dispersi yang dihasilkan 91,096 mg/m³, dan Unit Gas Turbin 2 menghasilkan 117,568 mg/m³ sehingga dapat diamati kontributor terhadap udara ambien melalui pengukuran rutin yang dilakukan industri petrokimia. Data yang digunakan melibatkan tinggi efektif cerobong dan tinggi semburan. Untuk SO₂, tingkat yang lebih rendah daripada NO₂. CO juga menunjukkan nilai dispersi yang rendah.

Perhitungan model Gaussian dapat diamati bahwa semakin jauh jarak dari gas turbin maka nilai sebaran emisi cenderung menurun, menunjukkan bahwa jarak menjadi faktor dalam menentukan tingkat konsentrasi emisi. Perhitungan model Gaussian memberikan gambaran penempatan yang lebih jauh dari sumber emisi dapat mengurangi dampak pencemaran udara. Melalui perhitungan ini dapat disimpulkan bahwa pengelolaan emisi dari Unit Gas Turbin 2 dan perencanaan penempatan yang memperhatikan jarak dapat menjadi langkah strategis untuk mengurangi dampak pencemaran udara di kawasan industri petrokimia. Perbedaan konsentrasi emisi antara musim kemarau dan musim hujan memberikan wawasan untuk mengembangkan kebijakan pengelolaan pencemaran udara yang adaptif terhadap perubahan musiman.



Gambar 1. Grafik Penyebaran Emisi Gas



Gambar 2. Peta Sebaran CO Tahunan



Gambar 3. Peta Sebaran SO₂ Tahunan



Gambar 4. Peta Sebaran NO₂ Tahunan



Gambar 5. Peta Sebaran CO Musim Kering



Gambar 6. Peta Sebaran SO₂ Musim Kering



Gambar 7. Peta Sebaran NO₂ Musim Kering



Gambar 8. Peta Sebaran CO Musim Basah



Gambar 9. Peta Sebaran SO₂ Musim Basah



Gambar 10. Peta Sebaran NO₂ Musim Basah

5. Kesimpulan

Hasil perhitungan emisi dan konsentrasi emisi CO, SO₂, dan NO₂ dari sumber pencemar gas turbin di kawasan industri petrokimia. Pada musim kemarau, konsentrasi emisi lebih tinggi dibandingkan musim hujan dikarenakan adanya pengaruh musim terhadap tingkat emisi. Pada musim kemarau cenderung memberikan kontribusi lebih tinggi terhadap pencemaran udara.

Berdasarkan perhitungan, sumber emisi yang berkontribusi paling tinggi terhadap CO, SO₂, dan NO₂ adalah Unit Gas Turbin 2 yaitu sebesar 2,400 mg/m³, 14,398 mg/m³ dan 117,586 mg/m³, sehingga Unit Gas Turbin 2 menjadi sumber utama yang memiliki potensi besar terhadap tingkat pencemaran udara di kawasan industri petrokimia maupun di sekitar kawasan pabrik.

6. Daftar Pustaka

Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Jakarta, 2013. *Zat-Zat Pencemar Udara*.

Environmental Protection Agency. Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution [Internet]. 2021. Tersedia pada: <https://www.epa.gov/co-pollution/basicinformation-about-carbon-monoxide-co-outdoorair-pollution#Effects>.

Ukpebor, E.E., Justina, E.U., Eromomene, F., Odiase, J.L., Okoro, Duke. 2013. Spatial and Diurnal Variations of Carbon Monoxide (CO) Pollution from Motor Vehicles in an Urban Centre. *Polish J. Environ. Stud*, 19, hal. 817-823.

Wirosoedarmo R, Suharto B, Proborini DE. Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan Bermotor dan Kecepatan Angin Terhadap Karbon Monoksida di Terminal Arjosari Analyze The Effects Of Wind Speed and Vehicles Number To Carbon Monoxide at Arjosari Terminal. *J Sumberd Alam dan Lingkung*. 2020;7(10):57– 64.

Lopulalan, Maria Carolina. (2015). “*Penentuan Faktor Emisi Spesifik Untuk Estimasi Dan Pemetaan Tapak Karbon Dari Sektor Transportasi Dan Industri di Kabupaten Banyuwangi. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*”.

Nur I. 2017. Analisis Risiko Paparan Nitrogen Dioksida Dari Polutan Ambien Terhadap Kesehatan Masyarakat Di Kabupaten Magelang Tahun 2015.

Jainal, A & Artauli, H. (2019). Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya Dari Polusi Udara.

Puspa Dewi, Ni Wayan, Tania June. (2018). “*Estimasi Pola Dispersi Debu, SO₂ dan NO_x Dari Industri Semen Menggunakan Model Gauss Yang Diintegrasikan Dengan Screen 3*”.