



PEMODELAN DISPERSI EMISI UDARA SO₂ DAN NO₂ DENGAN MENGGUNAKAN PERSAMAAN GAUSSIAN PADA CEROBONG PLTU MUARA JAWA, KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA

Edhi Sarwono*, Fahrizal Adnan, Muhammad Muadz Rafi

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman
Jalan Sambaliung No. 9 Kampus Gunung Kelua Samarinda 75119

*Korespondensi penulis: edhirafi@gmail.com

ABSTRAK

Setiap hari, pencemaran udara terjadi secara terus-menerus dilepaskan ke udara dari aktifitas manusia, industri dan kendaraan bermotor, salah satunya ialah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Salah satu jenis PLTU adalah PLTU berbahan bakar batu bara. Hasil dari pembakaran tersebut dapat menghasilkan emisi seperti Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Dioksida (NO₂). Tujuan penelitian ini adalah melakukan pemodelan dispersi emisi udara dari cerobong PLTU Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara. Persamaan pemodelan dispersi yang digunakan adalah persamaan *Gaussian* dan pemetaan penyebarannya menggunakan software *Aermod* dengan membandingkan *plume rise* berdasarkan persamaan *Briggs* dan persamaan *Holland*. Kemudian dilakukan perhitungan *plume rise* berdasarkan persamaan *Briggs* dan *Holland* serta *wind rose*. Hasil yang didapatkan ialah berdasarkan persamaan *Briggs*, nilai konsentrasi tertinggi terjadi pada jarak reseptor ke 1000 m dengan nilai 7,782 µg/m³ pada parameter SO₂ dan 70,537 µg/m³ pada parameter NO₂, serta berdasarkan persamaan *Holland* nilai konsentrasi tertinggi terjadi pada jarak reseptor ke 1000 m dengan nilai 33,195 µg/m³ pada parameter SO₂ dan 184,92 µg/m³ pada parameter NO₂. Arah angin dari bulan Januari sampai April dan bulan Desember 2019 dominan ke arah barat, barat daya dan tenggara sehingga emisi SO₂ dan NO₂ dominan ke daerah hutan dan pertambangan, jalan tol Balikpapan – Samarinda dan Kelurahan Muara Jawa Ulu. Sedangkan arah angin dari Mei sampai November 2019 dominan ke arah utara dan timur laut sehingga emisi SO₂ dan NO₂ dominan ke daerah hutan dan pertambangan.

Kata Kunci: *Aermod*, Emisi, *Gaussian*

1. Pendahuluan

Pencemaran udara adalah perubahan atmosfer karena masuknya bahan kontaminan alami atau buatan ke dalam atmosfer tersebut yang dapat menurunkan kualitas udara. Salah satu pencemaran udara adalah dari sektor industri. Emisi pencemaran udara oleh industri sangat tergantung dari jenis industri dan prosesnya, peralatan industri dan utilitasnya.

Salah satu industri yang menimbulkan polutan udara adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTU merupakan suatu pembangkit listrik dimana energi listrik dihasilkan oleh generator yang diputar oleh turbin uap yang memanfaatkan tekanan uap hasil dari penguapan air yang dipanaskan oleh bahan bakar di dalam ruang bakar (*boiler*).

Salah satu dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Indonesia adalah PLTU Muara Jawa. PLTU Muara Jawa merupakan pembangkit listrik yang berada di Tanjung Kubur, Kecamatan Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. PLTU Muara Jawa beroperasi pada Bulan Oktober 2018 dengan daya terpasang sebanyak 2 x 27,5 MW. Bahan bakar yang digunakan PLTU Muara Jawa adalah batu bara. Hasil dari pembakaran tersebut dapat menghasilkan emisi seperti Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Dioksida (NO₂).

Pencemaran udara yang dikeluarkan dari cerobong akan tersebar ke atmosfer dan terdispersi sehingga menurunkan kualitas udara ambien. Dispersi pencemaran udara dipengaruhi oleh kondisi meteorologis dan kondisi wilayah sekitar. Model dispersi pencemaran udara dapat memberikan gambaran jumlah polutan



tersebar yang akan diteliti. Salah satu persamaan model dispersi adalah *Gaussian*. Untuk mengetahui penyebaran dispersi polutan, diperlukan software yang membantu pemetaan penyebaran dispersi polutan, salah satu software yang digunakan adalah model aermod. Dengan mengetahui konsentrasi dan pola penyebaran emisi, maka sebaran polutan dapat diprediksi guna memantau dan mengevaluasi polutan buangan yang berbahaya

Penelitian ini dilakukan untuk analisis dispersi emisi udara SO₂ dan NO₂ dengan menggunakan persamaan *Gaussian* pada cerobong PLTU Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara dan membandingkan dengan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, serta mengetahui peta penyebaran dispersi udara hasil dari konsentrasi SO₂ dan NO₂ pada cerobong PLTU Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara.

2. Metode Penelitian

Penelitian pengumpulan data dilakukan di PLTU Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Samarinda sedangkan pengolahan data dilakukan di Laboratorium Komputasi dan Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda. Pada penelitian ini menggunakan *Software WRPLOT* versi 8.9.0; *Software Aermot* versi 8.9.0; *Software Aermod* versi 8.9.0; *Software ArcGIS* 10.4.1;

Sedangkan data yang diperoleh dari PLTU Muara Jawa adalah data emisi SO₂ dan NO₂ selama 2 semester pada tahun 2019, data tinggi cerobong, data diameter cerobong, data titik koordinat cerobong, data luas penampang cerobong, data suhu gas buang, data kecepatan gas buang. Data yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Samarinda adalah data temperatur udara, curah hujan, arah dan kecepatan angin dan penyinaran matahari pada pada 5 tahun terakhir (2015-2019).

Tahap pengolahan data yang dilakukan adalah:

1. Pembuatan mawar angin (*wind rose*) untuk mengetahui arah dan kecepatan angin dengan menggunakan *Software WRPLOT*
2. Menentukan kelas stabilitas atmosfer berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1. Penentuan Kelas Stabilitas Atmosfer

Kecepatan Angin Permukaan ^a (m/det)	Pancaran Sinar Matahari Siang Hari			Kondisi Awan Malam Hari	
	Kuat ^b	Sedang ^c	Lemah ^d	Berawan (4/8)	Cerah (3/8)
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

(Sumber: Nauli, 2002 [1])

Catatan:

- a. Kecepatan angin diukur 10 meter dari tanah;
- b. Kondisi siang hari cerah pada musim panas dengan matahari >60° di atas horizon;
- c. Kondisi siang hari musim panas dengan sedikit awan atau siang hari cerah dengan matahari 35° – 36° di atas horizon;
- d. Kondisi sore hari atau siang hari berawan musim panas atau siang hari cerah musim panas dengan matahari antara 15° – 35°;
- e. Kondisi awan didefinisikan sebagai fraksi langit tertutup awan;
- f. Kondisi A-B, B-C, atau C-D rata-rata nilai berlaku untuk masing-masing:
A = sangat tidak stabil
C = lemah tidak stabil



D = Netral
E = lemah stabil
F = stabil

3. Menghitung laju emisi menggunakan data konsentrasi polutan, kecepatan gas buang, dan diameter cerobong dengan Persamaan 1 [2].:

$$Q = v \times C \times A \quad (1)$$

dimana Q adalah kecepatan emisi ($\mu\text{g/s}$), v adalah laju gas yang keluar dari cerobong (m/s), A adalah luas penampang cerobong (m^2), C adalah konsentrasi polutan yang keluar dari cerobong (mg/m^3).

4. Menghitung kecepatan angin pada ketinggian z (U_s) dengan menggunakan Persamaan 2 [3]:

$$U_s = U_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^P \quad (2)$$

dimana U_s adalah kecepatan angin pada ketinggian z (m/s), U_0 adalah kecepatan angin rata-rata (m/s), Z adalah tinggi lokasi z (m), z_0 adalah tinggi lokasi pengambilan data kecepatan angin dari permukaan tanah (m) dan P eksponen yang nilainya bervariasi bergantung pada stabilitas atmosfer. Penentu nilai P merujuk pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Eksponen P pada Stabilitas Atmosfer

Kestabilan	Eksponen, P	
	Tidak Rata	Datar
A	0.15	0.09
B	0.15	0.09
C	0.20	0.12
D	0.25	0.15
E	0.40	0.24
F	0.60	0.36

(Sumber: Nauli, 2002 [1])

5. Menghitung nilai tinggi semburan yang disebabkan oleh *bouyancy* dengan persamaan *Briggs* yang ditulis dalam Persamaan 3 [4]:

$$F = g \left(\frac{D^2}{4} \right) V \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \quad (3)$$

dimana F adalah tinggi semburan (m), g adalah gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$), D diameter cerobong (m), V adalah kecepatan linear gas buang dalam cerobong (m/s), T_s adalah temperatur gas pada cerobong ($^{\circ}\text{K}$) dan T_a temperatur udara ambien ($^{\circ}\text{K}$).

6. Hasil dari persamaan *Briggs* dihitung ketinggian maksimum semburannya (xf) dengan Persamaan 4 dan 5. Serta nilai xf dibandingkan dengan nilai jarak pemaparan x untuk mendapatkan nilai ketinggian *plume rise* (Δh) dengan Persamaan 6 dan 7:

$$\begin{aligned} &\text{Untuk } F \geq 55 \text{ m}^4/\text{s}^3 \\ Xf &: 119 F^{0.40} \end{aligned} \quad (4)$$



$$\text{Untuk } F \leq 55 \text{ m}^4/\text{s}^3 \\ X_f : 49 F^{0,625} \quad (5)$$

$$\text{Untuk } X \geq X_f \\ \Delta h : 1,6 F^{1/3} X_f^{2/3} u^{-1} \quad (6)$$

$$\text{Untuk } X \leq X_f \\ \Delta h : 1,6 F^{1/3} X^{2/3} u^{-1} \quad (7)$$

7. Sebagai perbandingan persamaan *Briggs*, dihitung nilai ketinggian *plume rise* dengan menggunakan persamaan *Holland* dengan Persamaan 8:

$$\Delta h = \frac{DV}{u_s} \left(1,5 + 2,68 \times 10^{-3} P D \frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \quad (8)$$

dimana Δh adalah *plume rise*/ ketinggian semburan (m), D adalah diameter cerobong asap (m), V adalah kecepatan polutan keluar dari cerobong (m/s), P adalah tekanan atmosfer (milibar atau mbar), D adalah diameter cerobong asap (m), T_s adalah suhu gas keluar dari cerobong ($^{\circ}\text{K}$), T_a adalah suhu lingkungan ($^{\circ}\text{K}$), dan U_s adalah kecepatan angin pada ketinggian z

8. Menghitung tinggi efektif (H) pada cerobong dengan Persamaan 9:

$$H = h + \Delta H \quad (9)$$

dimana nilai H adalah tinggi efektif (m), h adalah tinggi fisik cerobong (m), ΔH adalah *plume rise* (m)

9. Mencari tetapan dispersi horizontal dan vertikal berdasarkan kelas kestabilan atmosfer
10. Menghitung konsentrasi polutan dan penyebarannya menggunakan persamaan *Gaussian* dengan Persamaan 10 [2]:

$$C_{(x, y, z; H)} = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right] \left[\exp \left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right] \quad (10)$$

dimana $C_{(x, y, z)}$ adalah konsentrasi polutan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Q adalah kecepatan konsentrasi emisi polutan (g/s), u adalah kecepatan angin rata-rata cerobong (m/s), σ_y adalah koefisien dispersi horizontal (m), σ_z adalah koefisien dispersi vertikal (m), x adalah arah penyebaran polutan (m), y adalah jarak horizontal dari titik tengah cerobong (m), z adalah tinggi reseptor dari dasar cerobong (m), dan H adalah tinggi efektif cerobong (m).

11. Membuat peta dispersi konsentrasi SO_2 dan NO_2 menggunakan *software Aermod*.

3. Hasil dan Pembahasan

Kondisi Wilayah PLTU Muara Jawa

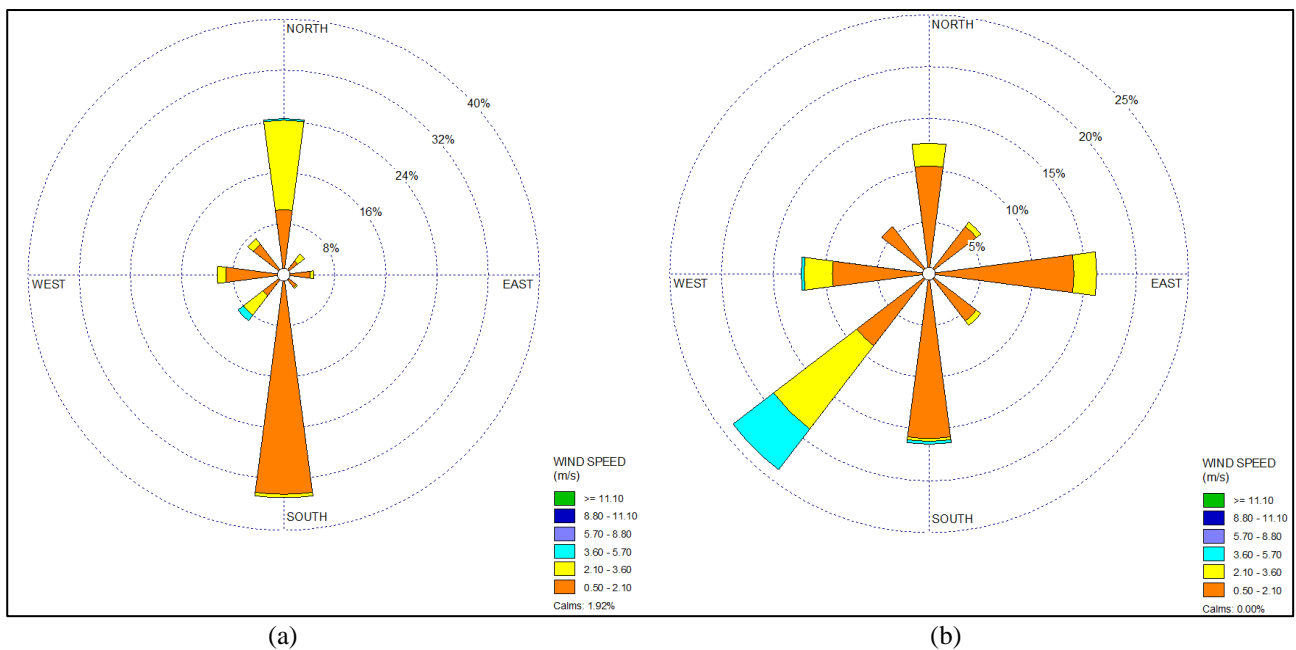
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Muara Jawa merupakan salah satu PLTU yang berlokasi di Kecamatan Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. PLTU Muara Jawa berbatasan dengan sungai mahakam, hutan dan tambang di utara dan barat, pada bagian selatan berbatasan dengan sungai mahakam dan Kelurahan Teluk Dalam serta pada bagian timur berbatasan dengan Kelurahan

Dondang. PLTU Muara Jawa memiliki elevasi yang berbeda-beda dengan ketinggian antara 0 – 50 meter. Di sekitar daerah PLTU Muara Jawa masih banyak perdesaan dan hutan sehingga dimasukkan dalam daerah *rural*.

Kondisi Meteorologi Wilayah Studi

Penyinaran matahari rata-rata dari tahun 2015 – 2019 adalah pada tahun 2015 sebesar 35% (31.2°), tahun 2016 sebesar 34% (30.3°), tahun 2017 sebesar 29% (26.3°), tahun 2018 sebesar 32% (29.2°), dan tahun 2019 sebesar 37% (32.9°). Hal ini menyebabkan penyinaran matahari pada tahun 2015 sampai tahun 2019 berdasarkan Tabel 1 berada di tingkat lemah, yaitu kondisi sore hari atau siang hari berawan musim panas atau siang hari cerah musim panas dengan matahari antara $15^\circ - 35^\circ\text{C}$.

Arah dan kecepatan angin pada tahun 2015 dominan berhembus ke arah utara dan selatan. Kecepatan angin dominan yaitu sebesar 0.5 – 2.10 m/s dengan presentase 72.9% dan 23% untuk kecepatan angin sebesar 2.10 – 3.60 m/s. Sedangkan rata-rata kecepatannya sebesar 1.85 m/s (Gambar 1a). Arah dan kecepatan angin pada tahun 2016 dominan berhembus ke arah timur dan timur laut. Kecepatan dominan yaitu 0.5 – 2.10 m/s dan presentasenya 75.4% serta 18.6% untuk kecepatan 2.10 – 3.60 m/s. Untuk rata-rata kecepatannya 2.14 m/s (Gambar 1b).



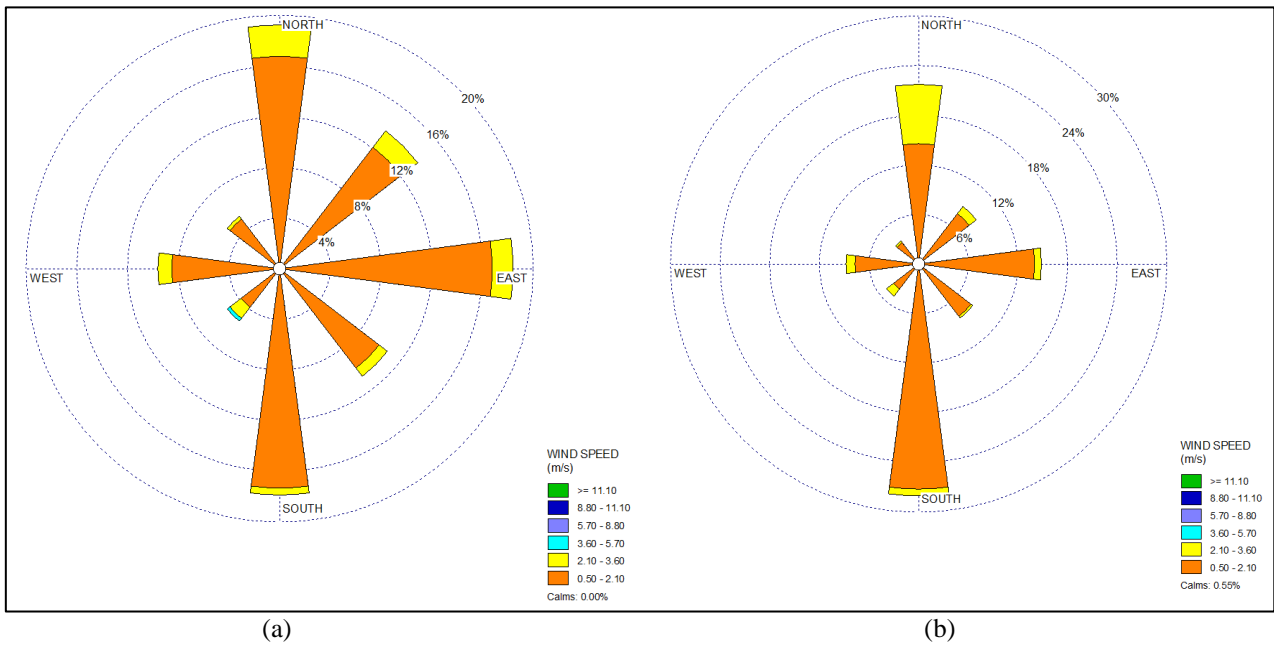
Gambar 1. (a) Windrose Tahun 2015, (b) Windrose Tahun 2016

Arah dan kecepatan angin pada tahun 2017 dominan berhembus ke arah selatan, timur dan utara. Kecepatan dominan yaitu sebesar 0.5 – 2.10 m/s dengan presentase 89.9% dan 9.6% untuk kecepatan 2.10 – 3.60 m/s. Untuk rata-rata kecepatannya sebesar 1.96 m/s (Gambar 2a). Arah dan kecepatan angin pada tahun 2018 dominan berhembus dari arah utara dan selatan dengan kecepatan dominan yaitu sebesar 0.5 – 2.10 m/s dengan presentase 86% dan kecepatan 2.10 – 3.60 m/s dengan presentase 12.6%. Untuk rata-rata kecepatannya sebesar 1.92 m/s (Gambar 2b).

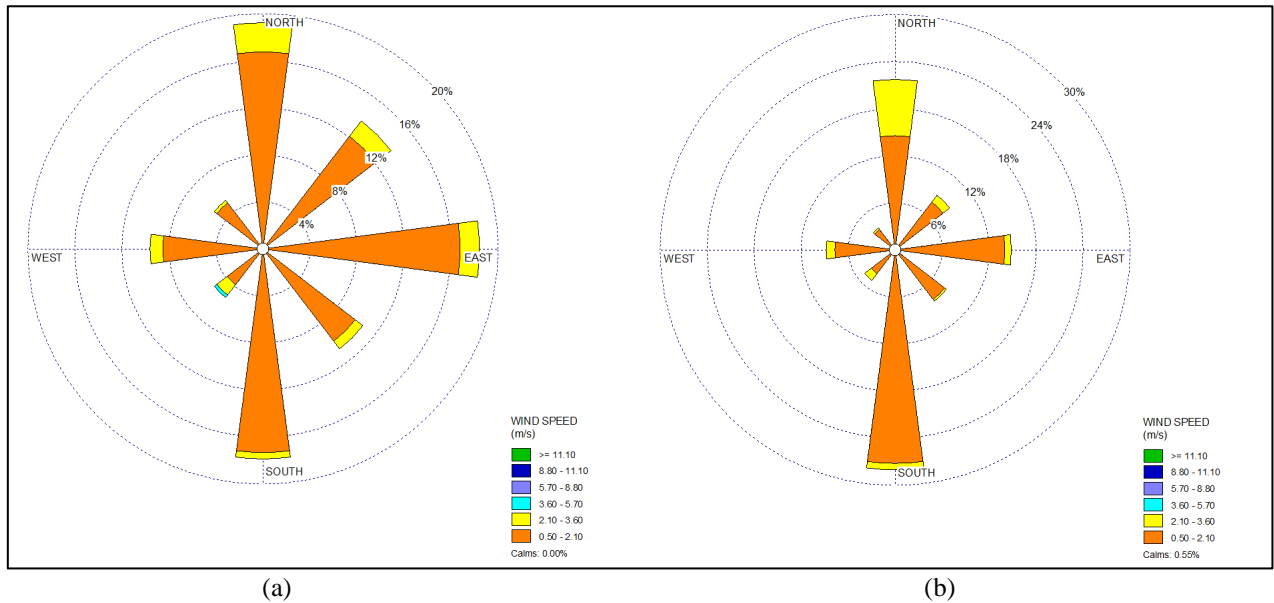
Arah dan kecepatan angin pada tahun 2019 dominan berhembus ke arah utara, timur dan selatan dengan presentase 25%. Kecepatan dominan yaitu sebesar 0.5 – 2.10 m/s dengan presentase 68.8%. Rata-rata kecepatannya sebesar 2.02 m/s (Gambar 3a). Arah dan kecepatan angin dari tahun 2015 sampai tahun 2019 dominan berhembus ke arah utara dan selatan. Kecepatan dominan yaitu sebesar 0.5 – 2.10 dengan presentase 78.6 % dan 2.10 – 3.60 m/s dengan presentase 16.2 %. Rata-rata kecepatannya sebesar 1.98 m/s. Berdasarkan



Tabel 1, kecepatan angin permukaan berada di bawah 2 m/s. Sehingga penentuan kelas stabilitas atmosfer yang didapat menunjukkan kondisi stabilitas atmosfer berada di kelas B, yaitu kondisi sedang tidak stabil.



Gambar 2. (a) Windrose Tahun 2017, (b) Windrose Tahun 2018



Gambar 3. (a) Windrose Tahun 2019, (b) Windrose Tahun 2015 - 2019

Temperatur udara rata-rata dari tahun 2015 – 2019 adalah pada tahun 2015 sebesar 27.90°C (301.05°K), tahun 2016 sebesar 28.18°C (301.40°K), tahun 2017 sebesar 27.76°C (300.91°K), tahun 2018 sebesar 27.89°C



(301.04 °K) dan tahun 2019 sebesar 28.11°C (301.26°K), sehingga temperatur udara pada tahun 2015 sampai tahun 2019 cenderung fluktuatif.

Hasil Pengolahan Data Emisi PLTU

Berdasarkan data hasil pemantauan emisi pada cerobong 1 PLTU Muara Jawa tahun 2019, hasil emisi konsentrasi SO₂ pada semester 1 sebesar 6 mg/m³ dan semester 2 sebesar 31 mg/m³. Sedangkan hasil emisi konsentrasi NO₂ pada semester 1 sebesar 70 mg/m³ dan semester 2 sebesar 281 mg/m³. Untuk pemantauan suhu gas buang, hasil pada semester 1 sebesar 118.38 °C, sedangkan untuk semester 2 sebesar 108.5 °C. Untuk deskripsi data cerobong, tinggi cerobong PLTU Muara Jawa adalah sebesar 59.8 m dengan diameter cerobong sebesar 5.28 m dan luas penampang sebesar 21.9 m². Semester 1 dihitung dari periode bulan Januari sampai bulan Juni 2019, sedangkan untuk semester 2 dihitung dari periode bulan Juli sampai bulan Desember 2019.

Tabel 3. Data Hasil Pemantauan Cerobong 1 PLTU Muara Jawa Tahun 2019

Keterangan	Konsentrasi SO ₂		Konsentrasi NO ₂	
	Semester 1	Semester 2	Semester 1	Semester 2
Hasil emisi (mg/Nm ³)	6	31	70	281
Suhu Gas Buang (°C)	118.38	108.5	118.38	108.5
Kecepatan Gas Buang (m/s)	14.22	10.18	14.22	10.18
Tinggi cerobong (m)	59.8			
Diameter cerobong (m)	5.28			
Luas Penampang (m ²)	21.9			

Tabel 4. Laju Emisi Cerobong 1 PLTU Muara Jawa Tahun 2019

Keterangan	Konsentrasi SO ₂ (µg/ m ³)		Konsentrasi NO ₂ (µg/ m ³)	
	Semester 1 (Januari - Juni 2019)	Semester 2 (Juli - Desember 2019)	Semester 1 (Januari - Juni 2019)	Semester 2 (Juli - Desember 2019)
(v) Kecepatan gas buang (m/s)	14.22	10.18	14.22	10.18
(C) Konsentrasi polutan (µg/ m ³)	6.000	31.000	70.000	281.000
(A) Luas penampang (m ²)	21.9	21.9	21.9	21.9
(Q) Laju Emisi (µg/s)	1.868.508	6.911.202	21.799.260	62.646.702

Nilai dari kecepatan gas buang (v), konsentrasi polutan (C), dan luas penampang (A) didapatkan dari hasil pemantauan yang dilakukan pihak ke 3. Berdasarkan Tabel 4, nilai laju emisi konsentrasi SO₂ tertinggi terjadi pada periode Juli – Desember 2019 yaitu sebesar 6.911.202 µg/s. sedangkan untuk nilai laju emisi konsentrasi NO₂ tertinggi terjadi pada periode Juli – Desember 2019 yaitu sebesar 62.646.702 µg/s.

Kecepatan Angin pada Ketinggian Cerobong (Z)

Nilai dari kecepatan angin (U₀) diambil dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kelas III Temindung, Samarinda dengan ketinggian 10 m dari permukaan tanah serta nilai z adalah tinggi dari cerobong di PLTU Muara Jawa. Berdasarkan Tabel 5, nilai kecepatan angin pada ketinggian z (U_s) tertinggi



berada pada bulan Februari yaitu sebesar 3.54 m/s sedangkan nilai kecepatan angin pada ketinggian z (Us) terendah berada pada bulan Desember yaitu sebesar 2.16 m/s

Tabel 5. Hasil Kecepatan Angin pada Tinggi Cerobong (Z)

Bulan	U ₀ (Kecepatan angin) (m/s)	U _s (Kecepatan angin pada ketinggian z) (m/s)
Januari	2	2.62
Februari	2.71	3.54
Maret	2.1	2.75
April	1.93	2.52
Mei	1.77	2.31
Juni	1.83	2.39
Juli	2	2.62
Agustus	2.45	3.2
September	2.37	3.1
Oktober	1.68	2.2
November	1.8	2.35
Desember	1.65	2.16

Nilai Plume Rise Berdasarkan persamaan Briggs dan Holland

Perhitungan Plume Rise dilakukan dengan menggunakan persamaan Briggs dan Holland agar dapat dibandingkan hasil dispersi pencemaran udara setelah dilakukan perhitungan dengan persamaan Gaussian. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Plume Rise

Bulan	Persamaan Briggs		Persamaan Holland	Bulan	Persamaan Briggs		Persamaan Holland
	X (Jarak Pemaparan) (m)	Plume Rise (m)	Plume Rise (m)		X (Jarak Pemaparan) (m)	Plume Rise (m)	Plume Rise (m)
Januari	$X \leq X_f$	371.31	138.07	Juli	$X \leq X_f$	322.37	93
	$X \geq X_f$	380.68			$X \geq X_f$	295.18	
Februari	$X \leq X_f$	274.09	101.64	Agustus	$X \leq X_f$	263.74	76.03
	$X \geq X_f$	280.42			$X \geq X_f$	241.35	
Maret	$X \leq X_f$	352.87	130.87	September	$X \leq X_f$	271.61	78.11
	$X \geq X_f$	361.06			$X \geq X_f$	248.08	
April	$X \leq X_f$	384.81	142.6	Oktober	$X \leq X_f$	383.53	110.54
	$X \geq X_f$	393.51			$X \geq X_f$	350.9	
Mei	$X \leq X_f$	420.35	156	November	$X \leq X_f$	358.81	103.34
	$X \geq X_f$	430.31			$X \geq X_f$	328.11	
Juni	$X \leq X_f$	407.1	151.41	Desember	$X \leq X_f$	390.93	112.75
	$X \geq X_f$	417.42			$X \geq X_f$	357.88	



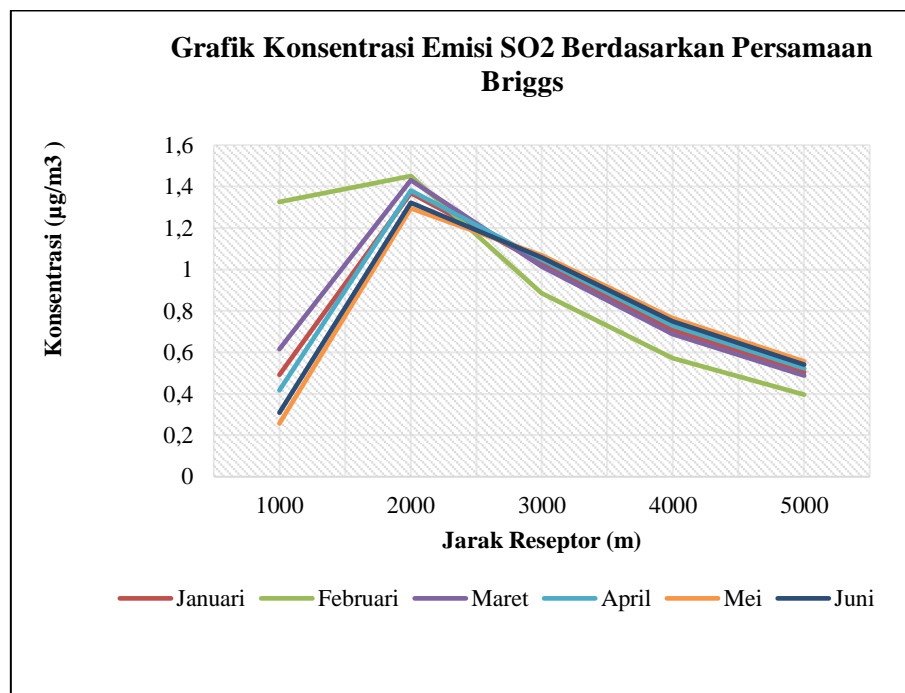
Nilai ketinggian *plume rise* tertinggi berdasarkan persamaan *Briggs* terjadi pada bulan Mei sebesar 430.31 m dengan nilai tinggi efektif cerobong sebesar 490.11 m. Untuk nilai ketinggian *plume rise* tertinggi berdasarkan persamaan *Holland* terjadi pada bulan Mei sebesar 156 m dengan nilai tinggi efektif cerobong sebesar 215,8 m. Sedangkan untuk nilai ketinggian *plume rise* terendah berdasarkan persamaan *Briggs* terjadi pada bulan Agustus sebesar 241.35 m dengan nilai tinggi efektif cerobong sebesar 301.15 m. Untuk nilai ketinggian *plume rise* terendah berdasarkan persamaan *Holland* terjadi pada bulan Agustus sebesar 76.03 m dengan nilai tinggi efektif cerobong sebesar 135.83 m. Berdasarkan hasil perhitungan *plume rise* dihitung nilai tetapan dispersi horizontal dan vertikal .

Tabel 7. Hasil Perhitungan σ_y dan σ_z

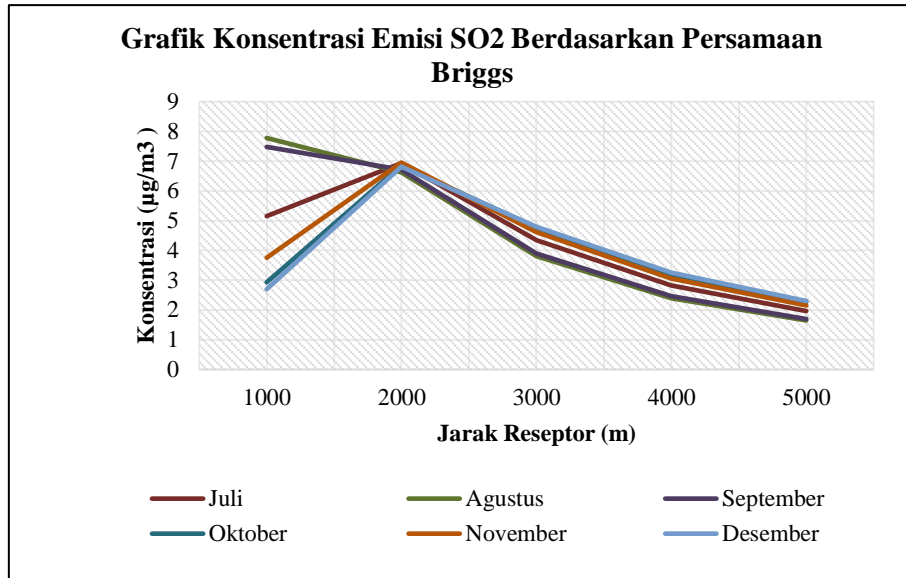
Jarak Pemaparan X (km)	σ_y (Horizontal)	σ_z (Vertikal)
1	156.0	110.2
2	289.9	233.6
3	416.6	363.5
4	538.7	497.8
5	657.7	635.4

Hasil Perhitungan Konsentrasi SO₂ dan NO₂ berdasarkan persamaan *Holland*

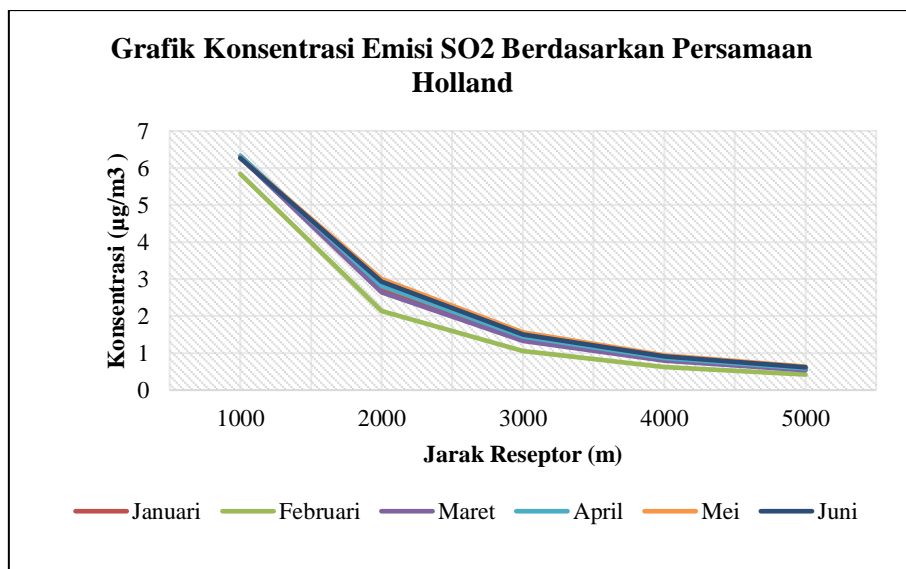
Perhitungan konsentrasi SO₂ menggunakan Persamaan *Gaussian* dengan nilai *plume rise* menggunakan persamaan *Briggs* dan *Holland*, dengan asumsi nilai tinggi reseptor dari dasar cerobong adalah nol ($z=0$) dan jarak horizontal dari titik tengah cerobong nol ($y=0$). Jarak reseptor yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi SO₂ dan NO₂ adalah 1000 m, 2000 m, 3000 m, 4000 m, dan 5000 m.



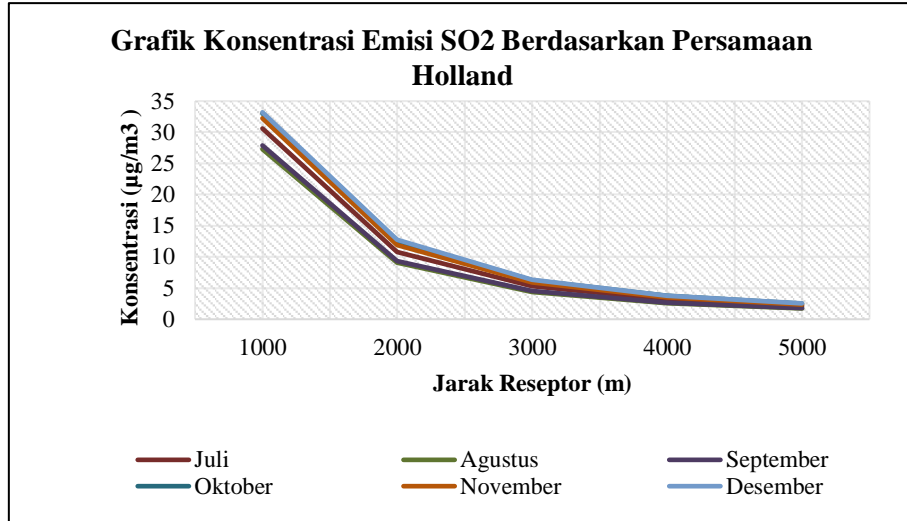
Gambar 4. Hasil Perhitungan Konsentrasi SO₂ Bulan Januari – Juni 2019 Berdasarkan *plume rise* Persamaan *Briggs*



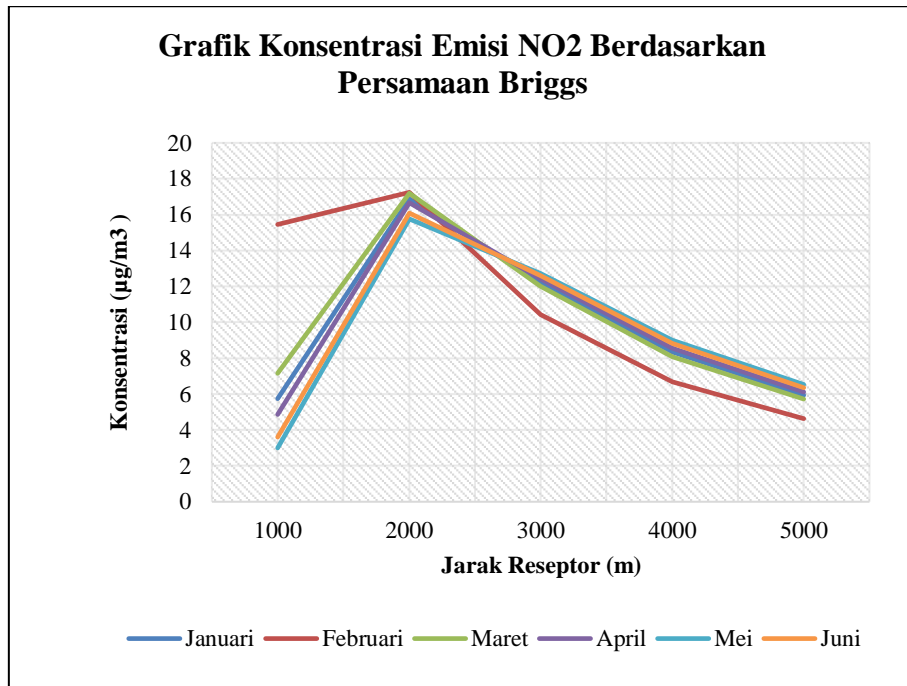
Gambar 5. Hasil Perhitungan Konsentrasi SO₂ Bulan Juli - Desember 2019 Berdasarkan *plume rise* Persamaan Briggs



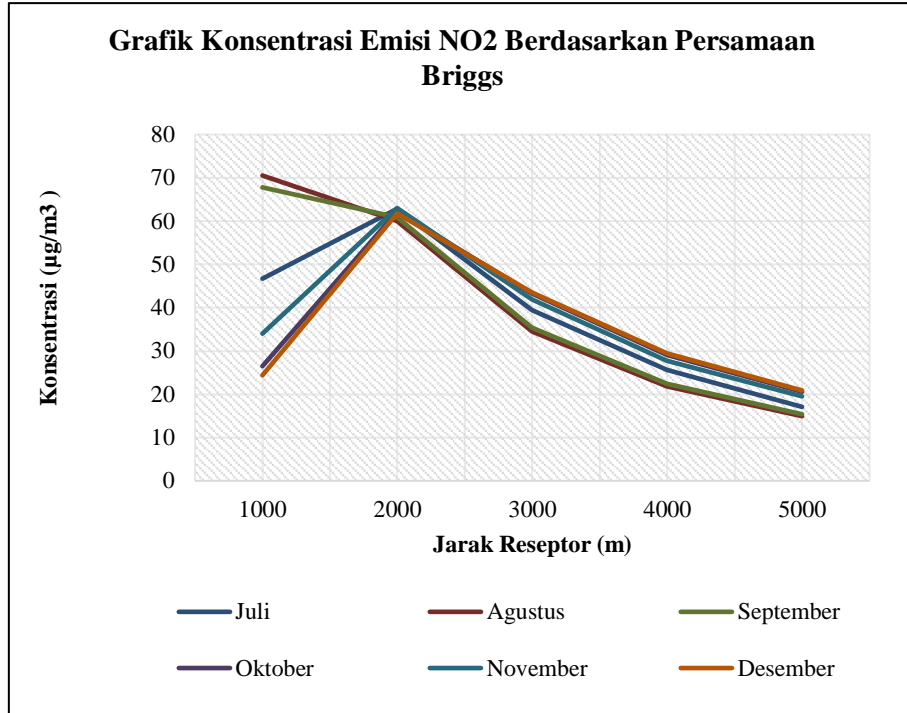
Gambar 6. Hasil Perhitungan Konsentrasi SO₂ Bulan Januari – Juni 2019 Berdasarkan *plume rise* Persamaan Holland



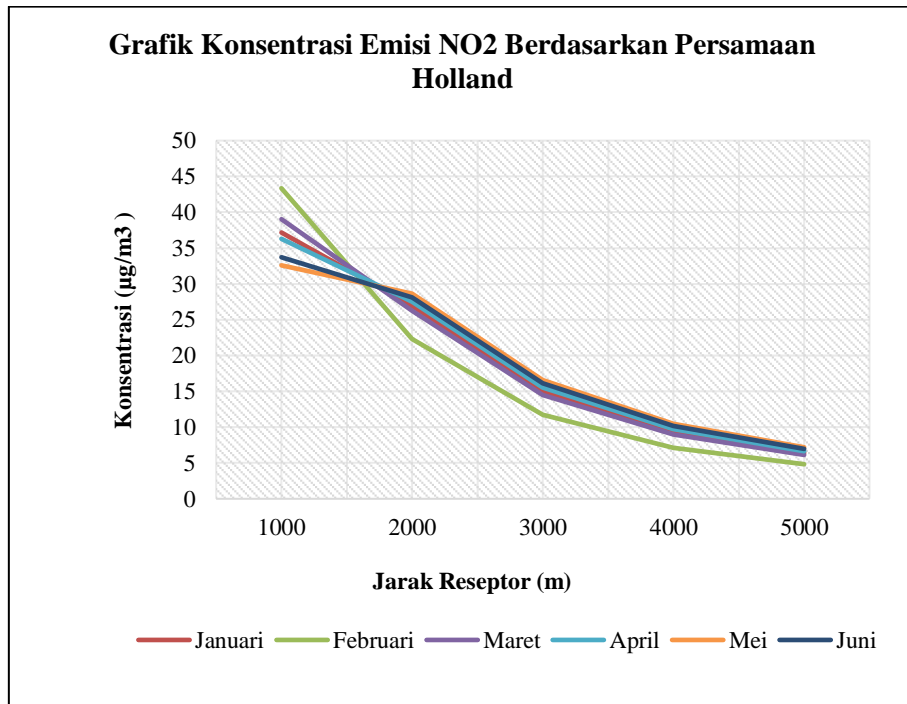
Gambar 7. Hasil Perhitungan Konsentrasi SO₂ Bulan Juli - Desember 2019 Berdasarkan *plume rise* Persamaan Holland



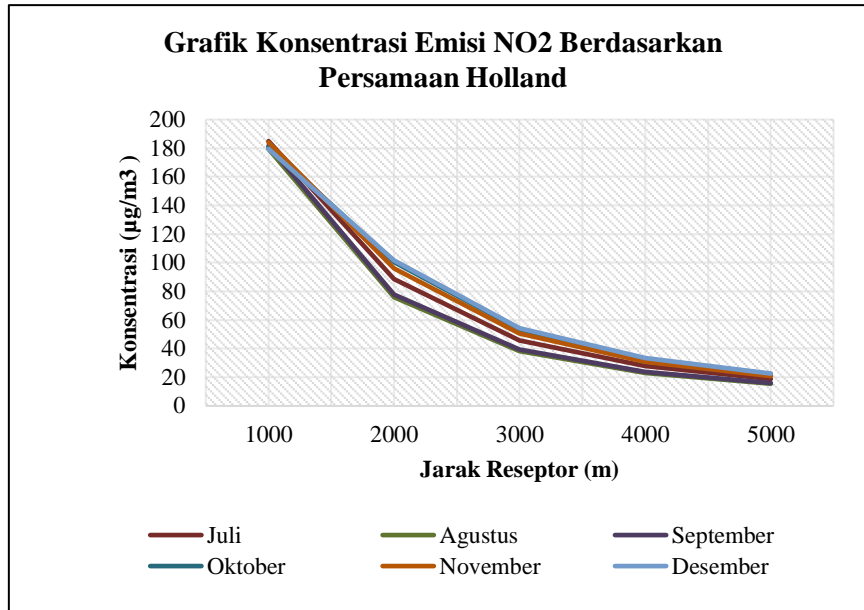
Gambar 8. Hasil Perhitungan Konsentrasi NO₂ Bulan Januari – Juni 2019 Berdasarkan *plume rise* Persamaan Briggs



Gambar 9. Hasil Perhitungan Konsentrasi NO₂ Juli - Desember 2019 Berdasarkan *plume rise* Persamaan Briggs



Gambar 10. Hasil Perhitungan Konsentrasi NO₂ Bulan Januari – Juni 2019 Berdasarkan *plume rise* Persamaan Holland



Gambar 11. Hasil Perhitungan Konsentrasi NO₂ Bulan Juli - Desember 2019 Berdasarkan *plume rise* Persamaan Holland

Kenaikan konsentrasi Emisi SO₂ dan NO₂ di persamaan *Briggs* pada jarak reseptor 1000 m ke 2000 m terjadi karena pengaruh dari kecepatan angin dan nilai dari ketinggian *plume rise* (Δh). Menurut Assegaf [4], menyebutkan bahwa pertambahan kecepatan angin akan menurunkan konsentrasi, tetapi persamaan tinggi semburan (Δh) menunjukkan hal sebaliknya. Oleh karena itu, terdapat suatu kecepatan angin tertentu yang menghasilkan konsentrasi maksimum, kecepatan ini biasa disebut kecepatan kritis. Konsep ini penting dalam *screening* karena mewakili skenario *worst – case* dari emisi cerobong.

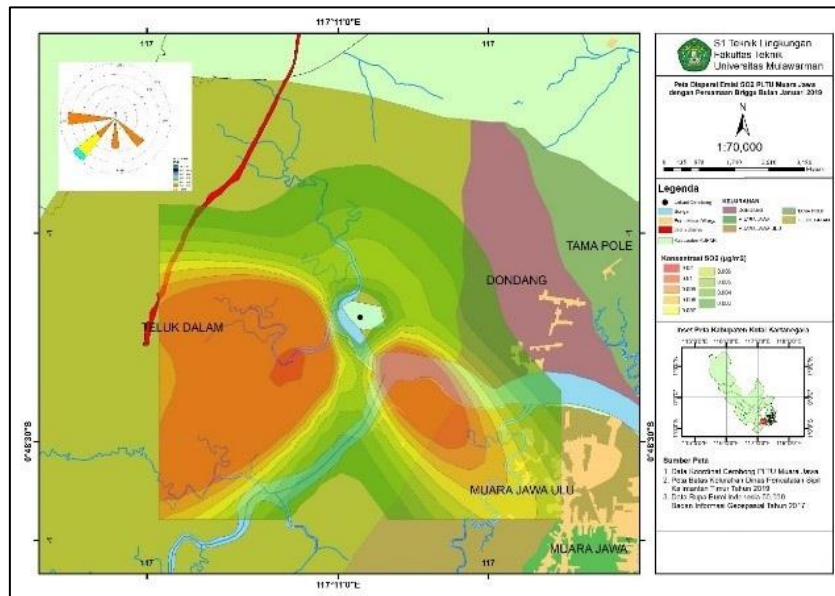
Perbedaan hasil nilai konsentrasi pada persamaan *Briggs* dan *Holland* terjadi pada nilai dari ketinggian *plume rise* (Δh). Pada persamaan *Briggs* mempertimbangkan nilai ketinggian semburan oleh *bouyancy* dan ketinggian maksimum semburan (x_f) yang kemudian dibandingkan dengan nilai jarak paparan. Sehingga ada pengaruh jarak reseptor pada persamaan *Briggs*. Serta perbedaannya terletak pada hasil dari ketinggian semburan (Δh) sehingga nilai *plume rise* pada persamaan *Briggs* yang dihasilkan lebih besar daripada persamaan *Holland* dan mengakibatkan nilai konsentrasi pada persamaan *Briggs* lebih kecil daripada konsentrasi pada persamaan *Holland*.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup [5], dengan waktu pengukuran 24 jam, hasil konsentrasi SO₂ berada di bawah baku mutu udara ambien nasional, sedangkan untuk hasil konsentrasi NO₂ berada di bawah baku mutu dengan persamaan *Holland*. Untuk persamaan *Briggs* terdapat di atas baku mutu pada jarak 1000 m dan 2000 m. Untuk hasil konsentrasi SO₂ dan NO₂ berdasarkan *software aermol* berada di bawah baku mutu. Dengan baku mutu konsentrasi SO₂ sebesar 75 µg/m³ dengan waktu pengukuran 24 jam dan baku mutu konsentrasi NO₂ sebesar 65 µg/m³ dengan waktu pengukuran 24 jam.

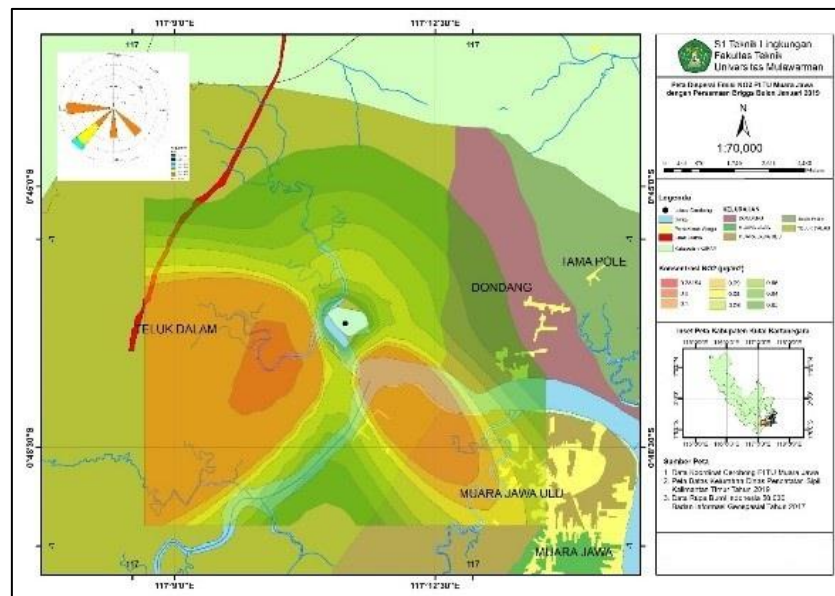
Peta Sebaran Emisi SO₂ dan NO₂

Berdasarkan Gambar 12 dan 13, arah angin dominan bertiup dari arah barat, barat daya, selatan dan tenggara. Warna merah menunjukkan daerah yang terpapar konsentrasi SO₂ dan NO₂ yang cukup tinggi dan warna hijau menunjukkan daerah yang terpapar konsentrasi SO₂ dan NO₂ yang cukup rendah. Nilai minimal konsentrasi yang dihasilkan pada dan SO₂ yaitu sebesar 0,003 µg/m³ serta nilai konsentrasi maksimal yang

dihasilkan yaitu sebesar $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk Hasil dari NO_2 yaitu sebesar $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ serta nilai konsentrasi maksimal yang dihasilkan yaitu sebesar $0,252 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

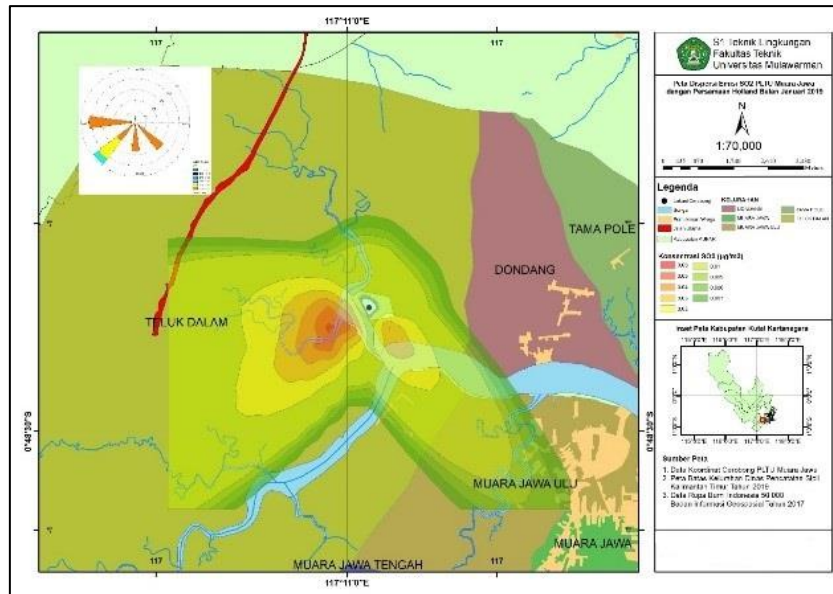


Gambar 12. Peta Sebaran Konsentrasi SO_2 Bulan Januari dengan Persamaan Briggs

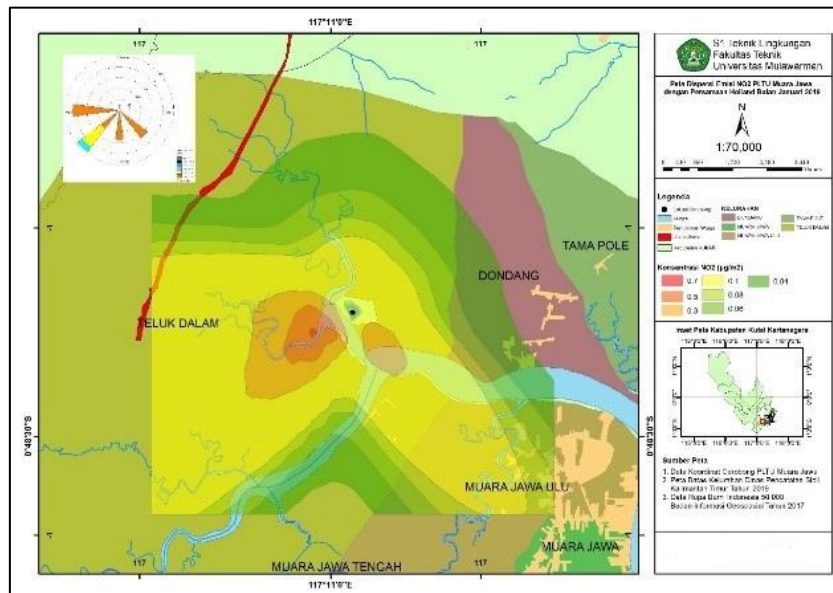


Gambar 13. Peta Sebaran Konsentrasi NO_2 Bulan Januari dengan Persamaan Briggs

Lokasi yang terpapar emisi SO_2 dan NO_2 pada arah barat dan barat daya meliputi daerah pertambangan, hutan serta jalan tol Balikpapan – Samarinda. Pada arah selatan meliputi Kelurahan Teluk Dalam yang mencakup Jalan Swadaya dan Jalan Pelita, Pada arah tenggara meliputi Jembatan Dondang, Kelurahan Dondang yang mencakup Jalan Diponegoro, Jalan Petai, Jalan Dr. Soetomo serta Kelurahan Muara Jawa Ulu yang mencakup hutan, Jl. Ir. Soekarno, dan sebagian daerah Handil 3.



Gambar 14. Peta Sebaran Konsentrasi SO_2 Bulan Januari dengan Persamaan Holland

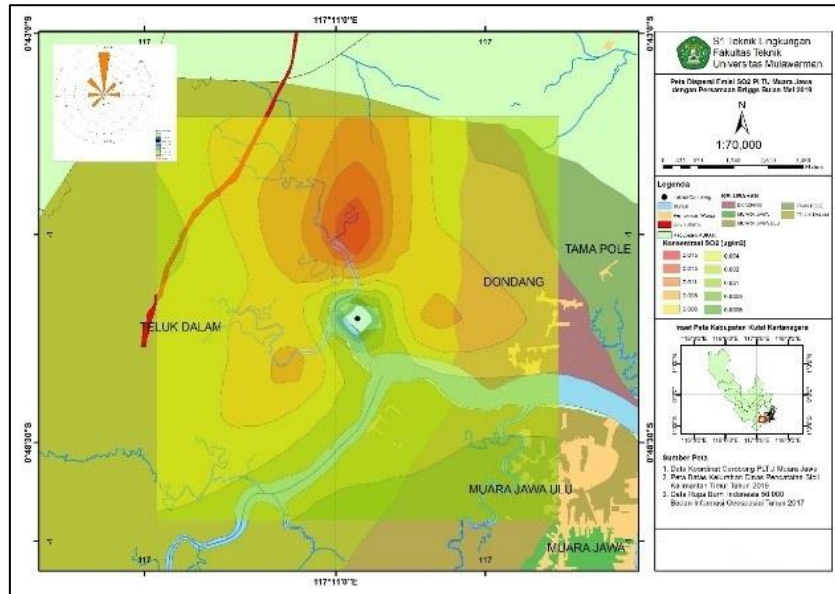


Gambar 15. Peta Sebaran Konsentrasi NO_2 Bulan Januari dengan Persamaan Holland

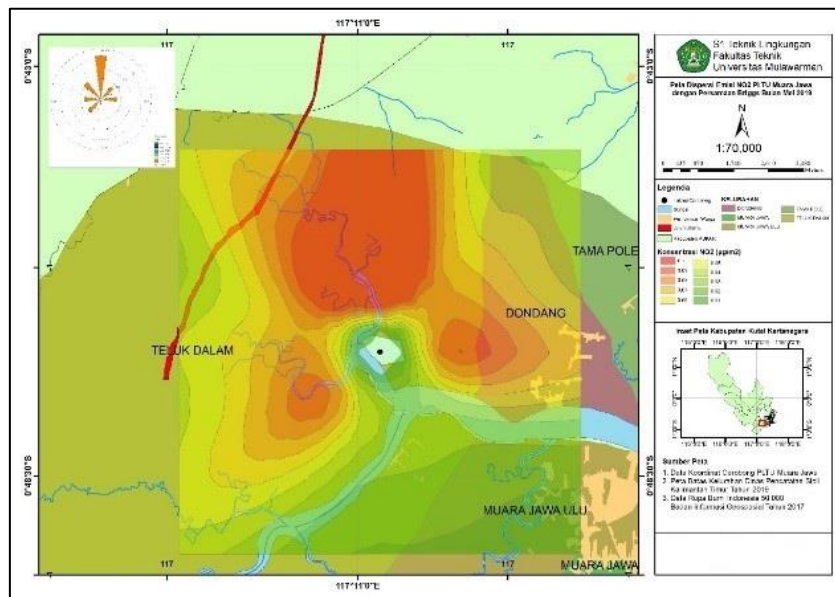
Berdasarkan Gambar 14 dan 15, arah angin dominan bertiup dari arah barat, barat daya, selatan dan tenggara. Nilai minimal konsentrasi SO_2 yang dihasilkan yaitu sebesar $0,007 \mu\text{g}/\text{m}^3$ serta nilai konsentrasi maksimal yang dihasilkan yaitu sebesar $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil dan NO_2 yaitu sebesar $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ serta nilai konsentrasi maksimal yang dihasilkan yaitu sebesar $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lokasi yang terpapar emisi SO_2 dan NO_2 pada arah barat dan barat daya meliputi daerah pertambangan, hutan serta jalan tol Balikpapan – Samarinda. Pada arah selatan meliputi Kelurahan Teluk Dalam yang mencakup Jalan Swadaya dan pada arah tenggara meliputi Kelurahan Muara Jawa Ulu meliputi hutan dan sebagian daerah Handil 3. Untuk peta sebaran emisi pada bulan Februari – April dan Desember arah sebaran dan lokasi terpaparnya kurang lebih sama saja.

Berdasarkan Gambar 16 dan 17, Arah angin dominan bertiup dari arah barat daya, barat, barat laut, utara, timur laut dan timur. Nilai minimal konsentrasi SO_2 yang dihasilkan yaitu sebesar $0,0006 \mu\text{g}/\text{m}^3$ serta nilai

konsentrasi maksimal yang dihasilkan yaitu sebesar $0,015 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil dari NO_2 yaitu sebesar $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ serta nilai konsentrasi maksimal yang dihasilkan yaitu sebesar $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

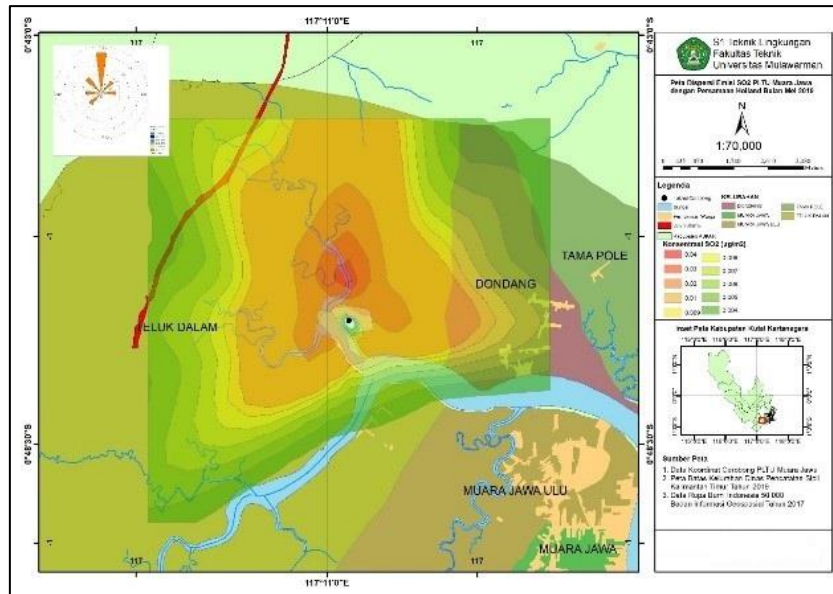


Gambar 16. Peta Sebaran Konsentrasi SO_2 Bulan Mei dengan Persamaan Briggs

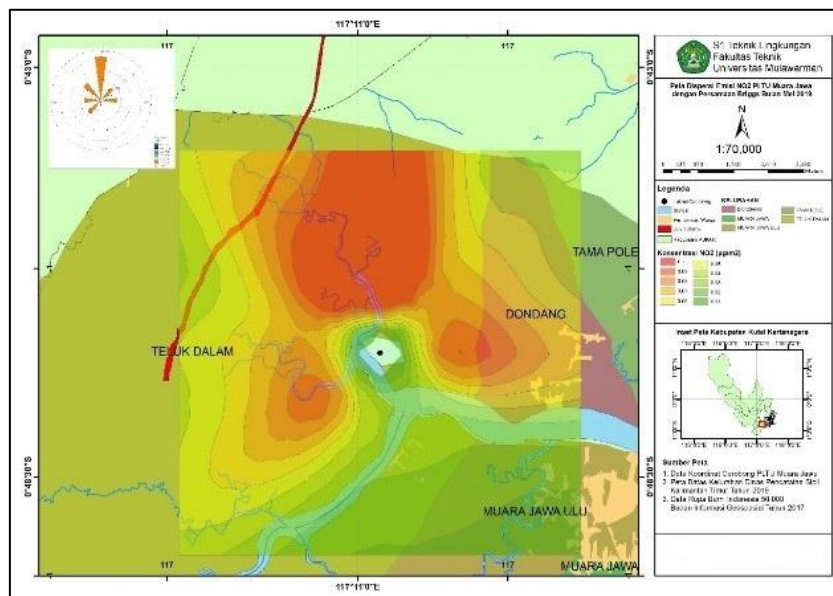


Gambar 17. Peta Sebaran Konsentrasi NO_2 Bulan Mei dengan Persamaan Briggs

Lokasi yang terpapar emisi SO_2 dan NO_2 pada arah barat daya, barat, dan barat laut meliputi daerah pertambangan, hutan serta jalan tol Balikpapan – Samarinda, Pada arah utara dan timur laut meliputi daerah hutan dan pertambangan. Pada arah timur meliputi Jembatan Dondang, Kelurahan Dondang yang mencakup Jalan Diponegoro, Jalan Petai, Jalan Dr. Soetomo, Jalan Pelita, Jalan Sulawesi dan Jalan Kawasan. Pada arah selatan meliputi hutan dan Kelurahan Teluk Dalam yang mencakup Jalan Swadaya dan Jalan Pelita. Pada arah tenggara meliputi Kelurahan Muara Jawa Ulu yang mencakup hutan, Jl. Ir. Soekarno, dan sebagian daerah Handil 3.



Gambar 18. Peta Sebaran Konsentrasi SO₂ Bulan Mei dengan Persamaan Holland



Gambar 19. Peta Sebaran Konsentrasi NO₂ Bulan Mei dengan Persamaan Holland

Berdasarkan Gambar 18 dan 19, arah angin dominan bertiup dari arah barat daya, barat, barat laut, utara, timur laut dan timur. Nilai minimal konsentrasi yang dihasilkan yaitu sebesar 0,004 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ serta nilai konsentrasi maksimal yang dihasilkan yaitu sebesar 0,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil dari NO₂ yaitu 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ serta nilai konsentrasi maksimal yang dihasilkan yaitu sebesar 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lokasi yang terpapar emisi SO₂ dan NO₂ pada arah barat daya, barat, dan barat laut meliputi daerah pertambangan, hutan serta jalan tol Balikpapan – Samarinda, Pada arah utara dan timur laut meliputi daerah hutan dan pertambangan. Pada arah timur meliputi Jembatan Dondang, Kelurahan Dondang yang mencakup Jalan Diponegoro, Jalan Petai, Jalan Dr. Soetomo, Jalan Pelita, Jalan Sulawesi dan Jalan Kawasan. Pada arah selatan meliputi hutan dan Kelurahan Teluk Dalam yang mencakup Jalan Swadaya.



4. Kesimpulan

1. Nilai konsentrasi SO₂ tertinggi berdasarkan persamaan *Briggs* terjadi pada bulan Agustus sebesar 7,782 µg/m³ dengan jarak reseptor 1000 m, 6,618 µg/m³ dengan jarak reseptor 2000 m, 3,810 µg/m³ dengan jarak reseptor 3000 m, 2,401 µg/m³ dengan jarak reseptor 4000 m dan 1,648 µg/m³ dengan jarak reseptor 5000 m. Sedangkan berdasarkan persamaan *Holland* terjadi pada bulan Desember sebesar 33,195 µg/m³ dengan jarak reseptor 1000 m, 12,773 µg/m³ dengan jarak reseptor 2000 m, 6,348 µg/m³ dengan jarak reseptor 3000 m, 3,800 µg/m³ dengan jarak reseptor 4000 m dan 2,547 µg/m³ dengan jarak reseptor 5000 m. Untuk Nilai konsentrasi NO₂ tertinggi berdasarkan persamaan *Briggs* terjadi pada bulan Agustus sebesar 70,537 µg/m³ dengan jarak reseptor 1000 m, 59,993 µg/m³ dengan jarak reseptor 2000 m, 34,536 µg/m³ dengan jarak reseptor 3000 m, 21,763 µg/m³ dengan jarak reseptor 4000 m dan 14,937 µg/m³ dengan jarak reseptor 5000 m. Sedangkan berdasarkan persamaan *Holland* terjadi pada bulan Juli sebesar 184,92 µg/m³ dengan jarak reseptor 1000 m, 88,691 µg/m³ dengan jarak reseptor 2000 m, 45,917 µg/m³ dengan jarak reseptor 3000 m, 27,881 µg/m³ dengan jarak reseptor 4000 m dan 18,810 µg/m³ dengan jarak reseptor 5000 m
2. Berdasarkan Baku Mutu Udara Ambien Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan waktu pengukuran 24 jam, hasil konsentrasi SO₂ dan NO₂ berdasarkan persamaan *Briggs* diatas baku mutu pada jarak tertentu. Hasil konsentrasi SO₂ dan NO₂ berdasarkan persamaan *Holland* terdapat di bawah baku mutu. Untuk hasil konsentrasi SO₂ dan NO₂ berdasarkan *software aermოდ* berada dibawah baku mutu
3. Berdasarkan peta sebaran emisi SO₂ dan NO₂ menggunakan *software aermოდ* menunjukkan bahwa arah angin dari bulan Januari sampai April dan bulan Desember 2019 dominan ke arah barat, barat daya dan tenggara sehingga emisi SO₂ dan NO₂ dominan ke daerah hutan dan pertambangan, jalan tol Balikpapan – Samarinda dan Kelurahan Muara Jawa Ulu. Sedangkan arah angin dari Bulan Mei sampai November 2019 dominan ke arah utara dan timur laut sehingga emisi SO₂ dan NO₂ dominan ke daerah hutan dan pertambangan.

Referensi

- [1] T. Nauli. "Pola Sebaran Polutan dari Cerobong Asap," dalam *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, P3TM-Batan, Yogyakarta, 27 Juni 2002, pp. 313-320.
- [2] E. Budyningrum, "Analisis Sebaran Emisi NO₂ dan SO₂ di Pabrik Petrokimia, Cilegon, Banten," Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia, 2020.
- [3] F. Hasibuan, Warsito, dan S. W. Suciati, "Simulasi Model Dispersi Polutan Gas dan Partikulat Molekul pada Pabrik Semen dengan Menggunakan Software Matlab 7.12," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 3, no. 2, pp. 142-150, 2015. [Online]. Tersedia: <https://jurnal.fmipa.unila.ac.id/jtaf/article/view/1299/1237>.
- [4] A. H. Assegaf, "Pemodelan Dispersi Gas Dari Cerobong PLTU Dengan Model Pasquill-Gaussian," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 8, no. 3, pp. 414-419, 2018. [Online]. Tersedia: <https://media.neliti.com/media/publications/272776-none-43ebb74a.pdf>
- [5] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*, 22/2021.
- [6] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2019 tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Termal*, 15/2019.