

Pengaruh Desain Cerobong Boiler Terhadap Sebaran Emisi Partikulat Menggunakan Perangkat Pemodelan Aermod

¹Ira Galih Prabasari, ²Winny Laura Christina Hutagalung, ³Fetty Febriasti Bahar, ⁴Dyah Kumalasari

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi Jalan Raya Jambi – Ma. Bulian KM 15 Mendalo Indah, Jambi, 36361

²Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi Jalan Raya Jambi – Ma. Bulian KM 15 Mendalo Indah, Jambi, 36361

³Pusat Unggulan IPTEKS Bio-Geo Material dan Energi Universitas Jambi, Jalan Raya Jambi – Ma. Bulian KM 15 Mendalo Indah, Jambi, 36361.
e-mail: ira.galih.prabasari@unja.ac.id

Abstrak

Dalam pengoperasiannya, pembangkit listrik tenaga uap merupakan salah satu penghasil emisi partikulat. Emisi partikulat sendiri diketahui cukup memberi dampak negatif bagi kesehatan, seperti dapat menyebabkan gangguan pada pernafasan. Model penyebaran emisi partikulat yang dihasilkan dari cerobong sebuah boiler dapat diketahui dengan menggunakan perangkat pemodelan aermod, melalui pemodelan ini konsentrasi emisi partikulat yang diterima oleh lingkungan sekitar kegiatan dapat dipelajari. Desain cerobong boiler diketahui juga cukup mempengaruhi konsentrasi partikulat yang tersebar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh desain cerobong terhadap sebaran emisi partikulat yang dihasilkan dari boiler pada kegiatan pembangkit listrik tenaga uap. Model sebaran partikulat dilakukan dengan menggunakan perangkat pemodelan aermod dengan beberapa variabel tetap yaitu kondisi iklim, lokasi cerobong, lokasi reseptor, dan emisi partikulat yang keluar dari cerobong boiler, sementara variabel bebas adalah variasi diameter cerobong 1,5 meter dan 2 meter serta ketinggian cerobong 21 meter, 25 meter dan 28 meter. Hasil pemodelan sebaran emisi partikulat menunjukkan bahwa cerobong dengan diameter 2 meter dan ketinggian 28 meter memiliki sebaran yang lebih luas yaitu 93,96 meter dari sumber emisi dengan konsentrasi maksimal sebesar 29,41 $\mu\text{m}/\text{Nm}^3$. Sementara konsentrasi terendah yang diterima reseptor sebesar 2,51 $\mu\text{m}/\text{Nm}^3$ juga berasal dari cerobong dengan diameter yang lebih besar dan cerobong yang lebih tinggi.

Kata kunci: partikulat, cerobong, pemodelan aermod

Abstract

Particulate emissions from boiler activities are known has a negative impact on health, such as causing respiratory problems. The particulate emission dispersion model generated from the chimney of a boiler can be known using the aermod modeling tool, through this model, the concentration of particulate emissions received by the environment around the activity can be studied. The design of the boiler chimney is also known to affect the concentration of particulate matter that is dispersed. This study aims to determine the effect of chimney design on the distribution of particulate emissions from boilers activities. The particulate dispersion model was carried out using the aermod modeling tool with several fixed variables, namely climatic conditions, the location of chimney and reseptor, and particulate emissions coming out from boiler, while the independent variables were variations in chimney diameter and heights. The results of particulate distribution model show that chimneys with a diameter of 2 meters and a height of 28 meters have a wider distribution of 93.96 meters from the emission source with a maximum concentration of 29.41 $\mu\text{m}/\text{Nm}^3$. While the lowest concentration received by the receptor of 2.51 $\mu\text{m}/\text{Nm}^3$ came from the chimney with a larger diameter and higher chimney.

Keywords: particulate, chimney, aermod modelling

Diterima : Februari 2025
Disetujui : Mei 2025
Dipublikasi : Juni 2025

©2025 Ira Galih Prabasari, Winny Laura Christina Hutagalung,
Fetty Febriasti Bahar, Dyah Kumalasari
Under the license CC BY-SA 4.0

Pendahuluan

Salah satu unit utama pada pembangkit listrik tenaga uap adalah boiler, boiler adalah sebuah bejana tertutup bertekanan tinggi yang berfungsi untuk mengubah air menjadi steam (Siriwardena M.B.D.K., 2020; Sunaryanto, 2023). Steam yang terbentuk pada boiler kemudian dialirkan ke turbin untuk menggerakkan turbin, tenaga gerak ini selanjutnya diubah menjadi tenaga listrik. Untuk mengubah air menjadi steam dibutuhkan panas yang berasal dari proses pembakaran pada bagian *furnace* boiler (Tawil, 2016). Bahan bakar yang digunakan pada proses pembakaran bisa berupa bahan bakar fosil maupun non fosil. Proses pembakaran tersebut akan menghasilkan *flue gas* berupa gas SO₂ dan NO₂ yang dikeluarkan sebagai emisi melalui cerobong boiler. Selain gas-gas hasil pembakaran, emisi yang dihasilkan dari boiler berupa partikulat yang berasal dari *ash* (debu) yang terbawa oleh bahan bakar. *Ash* (debu) tersebut sebagian besar akan keluar sebagai *bottom ash*, sementara *ash* (debu) yang ringan akan terikut dengan *flue gas* dan masuk ke sistem pengendali emisi yang terpasang di boiler, dimana pada alat pengendali emisi *ash* (debu) yang tertangkap akan keluar sebagai *fly ash* sementara sebagian kecil akan keluar melalui cerobong sebagai emisi gas buang (Xu et al., 2000; Firstanti et al., 2022; Suleman & Paputungan, 2019; Thad Godish, 2004). Kadar emisi gas buang dari boiler diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 7 Tahun 2007 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 7 Tahun 2007 Tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap No Title, 2007).

Emisi gas buang yang dihasilkan boiler akan membentuk pola sebaran yang akan mempengaruhi kualitas udara di sekitarnya. Sebaran emisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain faktor iklim seperti arah angin, kecepatan angin, curah hujan, kelembabapan, suhu udara dan lain-lain sebagai faktor eksternal. Selain itu sebaran emisi gas buang boiler juga dipengaruhi oleh faktor internal berupa desain cerobong meliputi ketinggian dan diameter cerobong (Thad Godish, 2004). Pola sebaran ini dapat dipelajari menggunakan perangkat pemodelan Aermody yang diperkenalkan oleh *American Meteorological Society (AMS) and U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Regulatory Model* (Matacchiera et al., 2019). Sistem pemodelan ini merupakan sistem pemodelan dispersi dalam kondisi steady state dan merupakan pengembangan dari sistem *Gaussian Plume Model* (Cimorelli et al., 2005; Prabasari & Pusparani, 2022; Gibson et al., 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pola sebaran emisi partikulat dipengaruhi desain cerobong boiler yaitu ketinggian dan diameter cerobong. Emisi partikulat sendiri diketahui memberi dampak negatif bagi kesehatan seperti

menimbulkan gangguan pada pernafasan.

Metode

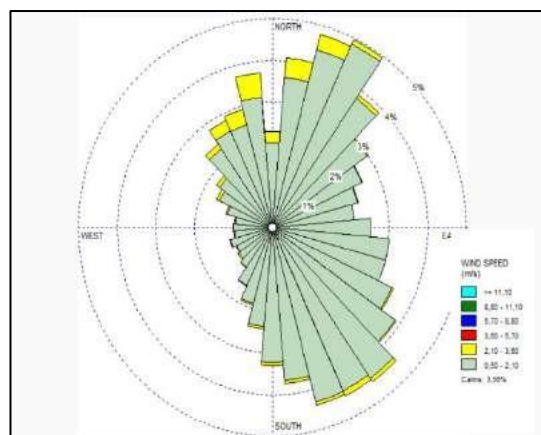
Identifikasi Sumber Energi

Sumber emisi berasal dari proses pembakaran di unit boiler pembangkit listrik tenaga uap. Boiler merupakan boiler berbahan bakar biomassa dengan kapasitas 25 ton/jam dan berada pada koordinat 1° 44' 53,00" S dan 103° 53' 53,00" E. Disekitar boiler terdapat pemukiman penduduk pada jarak 586 meter arah timur laut dan 572 meter arah utara. Selain itu sekeliling boiler adalah perkebunan kelapa sawit.

Basis data emisi yang akan digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder berupa parameter partikulat yang berasal dari perhitungan menggunakan neraca massa dengan konsentrasi yang dihasilkan sebesar 4,08 mg/Nm³.

Data Meteorologi

Analisis meteorologi yang digunakan sebagai input perangkat Aermet berasal dari website cds.climate.copernicus.eu/ERA5 selama tahun 2020 hingga 2022 per jam setiap hari meliputi data tutupan awan, suhu, kelembapan, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, *ceiling height*, curah hujan, dan radiasi matahari. Dari hasil analisis meteorologi tersebut diperoleh arah angin dominan seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Dimana arah angin dari sumber emisi condong ke arah Tenggara dan Timur Laut.



Gambar 1. Arah dan Kecepatan Angin

Analisis Simulasi Dispersi Menggunakan Perangkat Aermod

Simulasi dispersi emisi menggunakan perangkat pemodelan udara Aermod yang dikeluarkan oleh *American Meteorological Society (AMS) and U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Regulatory Model* dimana parameter sumber yang digunakan: base elevation 19 meter, gas exit temperature 200 °C, gas exit velocity 12 m/s. Terdapat 3 buah reseptor yang ditentukan berdasarkan arah angin dan lokasi penduduk terdekat

dengan koordinat sebagai berikut:

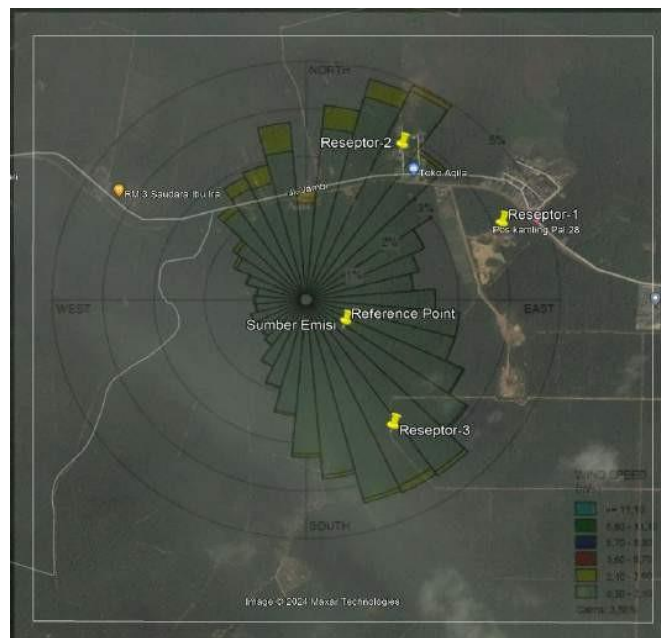
Tabel 1. Koordinat Reseptor

No.	Nama Bagian	S	E
1.	Reseptor 1	1° 44' 42.19"	103° 54' 09.29"
2.	Reseptor 2	1° 44' 33.48"	103° 53' 58.86"
3.	Reseptor 3	1° 45' 04.69"	103° 53' 57.93"

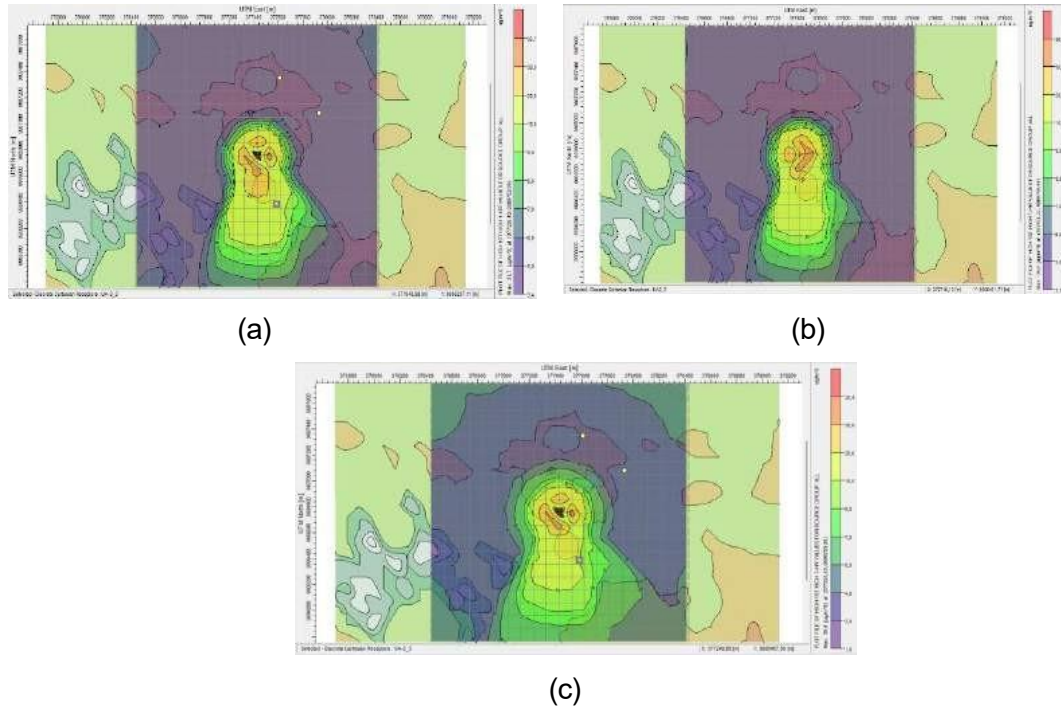
Variabel bebas yang digunakan adalah dimensi cerobong meliputi ketinggian dan diameter dengan variasi: 1) Tinggi cerobong 21 meter dan diameter cerobong 1,5 meter, 2) Tinggi cerobong 25 meter dan diameter cerobong 1,5 meter, 3) Tinggi cerobong 28 meter dan diameter cerobong 1,5 meter, 4) Tinggi cerobong 21 meter dan diameter cerobong 2 meter, 5) Tinggi cerobong 25 meter dan diameter cerobong 2 meter, dan 6) Tinggi cerobong 28 meter dan diameter cerobong 2 meter. Pengambilan variabel tinggi cerobong sudah memperhitungkan ketentuan ketinggian cerobong 2 – 2,5 meter dari bangunan tertinggi di sekitar sumber emisi (Keputusan Kepala Bapedal No. 205 Tahun 1996 Tentang : Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak, 1996).

Hasil dan Pembahasan

Posisi sumber emisi dan reseptor sesuai dengan koordinat yang disampaikan diatas overlay dengan arah angin ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah.

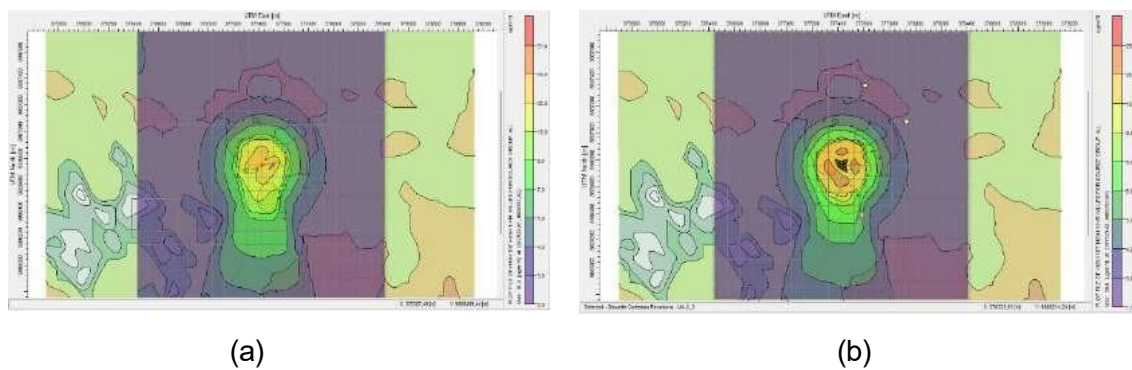


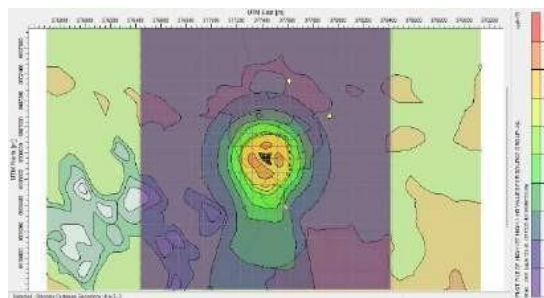
Pola sebaran emisi partikulat pada diameter cerobong 1,5 meter dengan variasi ketinggian digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sebaran Emisi Partikulat Pada Berbagai Dimensi Cerobong (a) Ketinggian 21 meter dan diameter 1,5 meter; (b) Ketinggian 25 meter dan diameter 1,5 meter; (c) Ketinggian 28 meter dan diameter 1,5 meter;

Pola sebaran emisi partikulat pada diameter cerobong 2 meter dengan variasi ketinggian digambarkan pada Gambar 4.





(c)

Gambar 4. Sebaran Emisi Partikulat Pada Berbagai Dimensi Cerobong (a) Ketinggian 21 meter dan diameter 2 meter; (b) Ketinggian 25 meter dan diameter 2 meter; (c) Ketinggian 28 meter dan diameter 2 meter;

Hasil sebaran dispersi pada berbagai variasi ketinggian dan diameter cerobong meliputi konsentrasi maksimum, jarak dari sumber emisi dan arah angin pada konsentrasi partikulat maksimum diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Sebaran Dispersi pada Berbagai Variasi Dimensi Cerobong

No.	Diameter Cerobong (meter)	Ketinggian Cerobong (meter)	Konsentrasi Maksimum (mg/Nm ³)	Jarak Dari Sumber Emisi (meter)	Arah Angin Konsentrasi Maksimum
1.	1,5	21	88,36	36,25	Barat Laut
2.	1,5	25	74,75	36,25	Barat Laut
3.	1,5	28	36,26	85,76	Timur
4.	2,0	21	31,37	83,06	Tenggara
5.	2,0	25	30,28	89,85	Tenggara
6.	2,0	28	29,41	93,96	Tenggara

Dari hasil sebaran partikulat yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 dapat dilihat bahwa secara rata-rata konsentrasi maksimum pada cerobong dengan diameter 2 meter lebih kecil dibandingkan dengan diameter 1,5 meter dan jarak jatuhnya partikulat dengan konsentrasi maksimal dari sumber emisi lebih jauh pada diameter cerobong yang lebih besar. Sementara jika dibandingkan berdasarkan ketinggian cerobong, maka semakin tinggi cerobong konsentrasi partikulat maksimal lebih kecil dan sebarannya lebih jauh dari sumber emisi. Hal ini disebabkan dengan semakin tinggi cerobong, maka *plume rise* atau tinggi kepulan gas buang akan semakin terdispersi ketika meninggalkan cerobong (Thad Godish, 2004; Hadlocon et al., 2015). Selain itu cerobong yang tinggi akan mendispersikan polutan dengan lebih baik sebab polutan akan berada pada ketinggian diatas atmosfer sebelum mencapai tanah (Ilabaya et al., 2011). Dengan demikian menambah tinggi cerobong akan mengurangi polutan yang diemisikan (Anaam A. Sabri, 2011; Sharma et al., 2005). Sama halnya dengan ketinggian, pada diameter yang lebih besar, *plume rise* akan semakin tinggi sehingga ketika jatuh ke tanah sebagai polutan konsentrasi partikulat telah berkurang (Aggarwal & Haritash, 2018). Arah sebaran polutan dominan ke barat laut, timur dan

tenggara, sehingga pemukiman terdekat yang berada di sebelah utara dan timur laut sumber emisi tidak mendapatkan polutan partikulat pada konsentrasi maksimal.

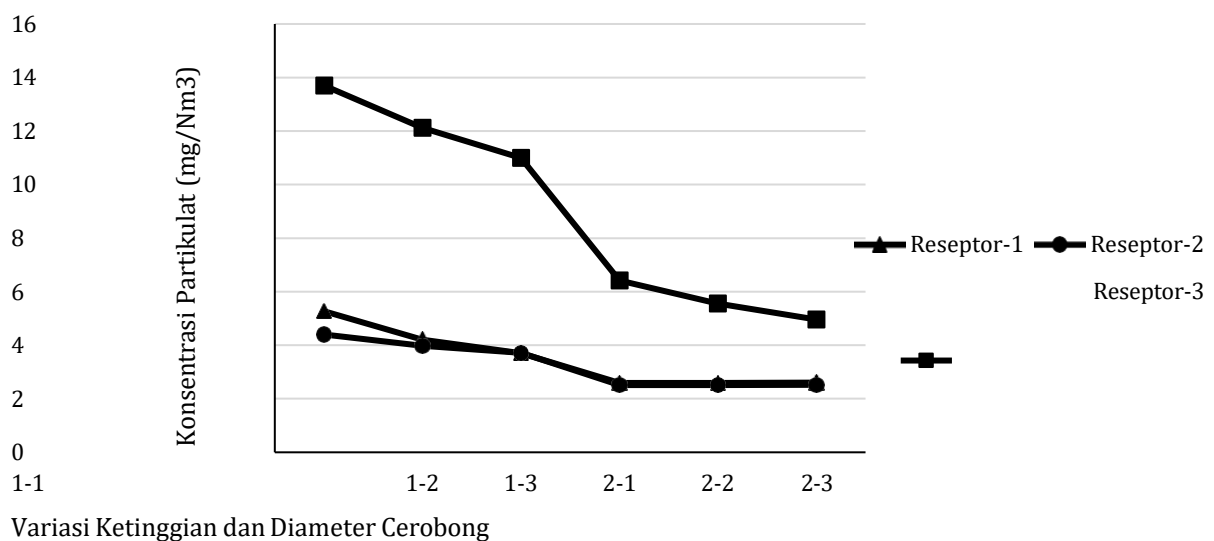
Besarnya konsentrasi partikulat yang diterima oleh setiap reseptor pada berbagai variasi diameter dan ketinggian cerobong diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi Partikulat Pada Setiap Reseptor

Diameter	Ketinggian		Konsentrasi Partikulat ($\mu\text{m}/\text{Nm}^3$)		
	No. Cerobong (meter)	Cerobong (meter)	Reseptor-1	Reseptor-2	Reseptor-3
1.	1,5	21	5,27	4,40	13,70
2.	1,5	25	4,24	3,98	12,12
3.	1,5	28	3,70	3,72	11,00
4.	2,0	21	2,59	2,52	6,42
5.	2,0	25	2,59	2,51	5,55
6.	2,0	28	2,60	2,51	4,96

Tabel 3 menunjukkan konsentrasi partikulat secara rata-rata di yang diterima oleh setiap reseptor lebih kecil pada cerobong dengan diameter yang lebih besar. Sementara jika dibandingkan berdasarkan ketinggian cerobong, maka pada cerobong yang lebih tinggi konsentrasi partikulat yang diterima oleh setiap reseptor akan lebih kecil. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa semakin besar diameter maka *plume rise* yang terbentuk akan semakin tinggi, sehingga polutan yang sampai ke reseptor menjadi semakin kecil. Demikian juga, ketinggian cerobong mempengaruhi emisi partikulat yang diterima oleh reseptor, semakin tinggi cerobong maka konsentrasi partikulat yang sampai ke reseptor semakin kecil.

Perbandingan konsentrasi partikulat yang diterima masing-masing reseptor terlihat lebih jelas pada Gambar 5. Notasi pada aksis menunjukkan variasi diameter dan ketinggian (1-1) diameter cerobong 1,5 meter; ketinggian 21 meter, (1-2) diameter cerobong 1,5 meter; ketinggian 25 meter, (1-3) diameter cerobong 1,5 meter; ketinggian 28 meter, (2-1) diameter cerobong 2 meter; ketinggian 21 meter, (2-2) diameter cerobong 2 meter; ketinggian 25 meter, dan (2-3) diameter cerobong 2 meter; ketinggian 28 meter.



Gambar 5. Perbandingan Konsentrasi Partikulat pada Masing-Masing Reseptor

Gambar 5 menunjukkan kecenderungan yang sama pada masing-masing reseptor, dimana semakin besar diameter cerobong dan semakin tinggi cerobong, maka konsentrasi partikulat yang diterima oleh reseptor semakin kecil. Dalam hal ini pengaruh *plume rise* cukup mendominasi besarnya konsentrasi partikulat yang diterima oleh masing-masing reseptor.

Kesimpulan

Sebaran emisi partikulat dipengaruhi oleh desain cerobong, yaitu tinggi dan diameter cerobong. Secara keseluruhan konsentrasi partikulat terendah yang diterima oleh reseptor adalah $2,51 \mu\text{m}/\text{Nm}^3$ berasal dari cerobong dengan diameter 2 meter dan ketinggian 28 meter yaitu pada Reseptor-2, sementara pada Reseptor-1 konsentrasi partikulat terendah sebesar $2,59 \mu\text{m}/\text{Nm}^3$ dan pada reseptor-3 konsentrasi partikulat terendah sebesar $4,96 \mu\text{m}/\text{Nm}^3$.

Diameter dan ketinggian cerobong juga mempengaruhi jauhnya sebaran emisi partikulat yang diterima oleh lingkungan sekitar, sebaran terjauh partikulat terjadi pada diameter cerobong 2 meter dan ketinggian 28 meter dengan konsentrasi maksimal sebesar $29,41 \mu\text{m}/\text{Nm}^3$ pada jarak 93,96 meter dari sumber emisi.

Daftar Pustaka

- Aggarwal, A., & Haritash, A. K. (2018). Air Pollution Modelling-A Review AIR POLLUTION MODELLING – A REVIEW. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 2(6), 355–364.
- Anaam A. Sabri. (2011). Mathematical Model for the Study Effects of Meteorological

- Conditions on Dispersion of Pollutants in Air. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 4(2), 150–165. <https://doi.org/10.24237/djes.2011.04212>
- Cimorelli, A. J., Perry, S. G., Venkatram, A., Weil, J. C., Paine, R. J., Wilson, R. B., Lee, R. F., Peters, W. D., & Brode, R. W. (2005). AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5), 682–693. <https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>
- Firstanti, A. A., Afiuddin, A. E., & Ramadani, T. A. (2022). *Pola Sebaran Emisi SO₂, NO₂, dan Partikulat dari Cerobong Batu Bara Industri Kecap Menggunakan Software Screen View*. 5(2623), 78–82.
- Gibson, M. D., Kundu, S., & Satish, M. (2013). Dispersion model evaluation of PM_{2.5}, NO_x and SO₂ from point and major line sources in Nova Scotia, Canada using AERMOD Gaussian plume air dispersion model. *Atmospheric Pollution Research*, 4(2), 157–167. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.016>
- Hadlocon, L. S., Zhao, L. Y., Bohrer, G., Kenny, W., Garrity, S. R., Wang, J., Wyslouzil, B., & Upadhyay, J. (2015). Modeling of particulate matter dispersion from a poultry facility using AERMOD. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 65(2), 206–217. <https://doi.org/10.1080/10962247.2014.986306>
- Matacchiera, F., Manes, C., Beaven, R. P., Rees-White, T. C., Boano, F., Mønster, J., & Scheutz, C. (2019). AERMOD as a Gaussian dispersion model for planning tracer gas dispersion tests for landfill methane emission quantification. *Waste Management*, 87, 924–936. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.007>
- Ilaboya, I. R., Atikpo, E., Umukoro, L., Omofuma, F. E., & Ezugwu, M. O. (2011). Analysis of the Effects of Mixing Height and Other Associated Factors on the Effective Dispersion of Plume. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 2(2), 153–160.
- Keputusan Kepala Bapedal No. 205 Tahun 1996 Tentang: Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak, (1996).
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 7 Tahun 2007 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap No Title, (2007).
- Prabasari, I. G., & Pusparani, N. (2022). Model Persebaran Emisi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Berbahan Bakar Serat dan Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Perangkat Pemodelan Aermod. *Jurnal Daur Lingkungan*, 5(2), 75. <https://doi.org/10.33087/daurling.v5i2.158>
- Sharma, N., Chaudhry, K. K., & Chalapati Rao, C. V. (2005). Air pollution dispersion studies through environmental wind tunnel (EWT) investigations: A review. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 64(8), 549–559.

- Siriwardena M.B.D.K., S. N. T. S. (2020). Optimization of an Industrial Boiler Operation. *Journal of Research Technology and Engineering*, 1(3), 126–134.
- Suleman, N., & Paputungan, M. (2019). *Esterifikasi dan Transesterifikasi Stearin Sawit untuk Pembuatan Biodiesel*. 17(1), 66–77.
- Sunaryanto, R. (2023). Pengaruh Emisi Cerobong Boiler Batubara Terhadap Udara Ambien. *Jurnal Techlink*, 1(01), 18–28. <https://doi.org/10.59134/jtnk.v1i01.468>
- Tawil, E. (2016). Boiler Classification and Application Credit: 2 PDH. *Continuing Education and Development*, 877, 29.
- Thad Godish. (2004). *Air Quality* (4th ed.). A CRC Press Company Boca Raton London.
- Xu, M., Azevedo, J. L. T., & Carvalho, M. G. (2000). Modelling of the combustion process and Nox emission in a utility boiler. *Fuel*, 79(13), 1611–1619. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(00\)00019](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00019)