

Simulasi Penyebaran dan Persentase Fatalitas Oleh Gas SO₂ dan CO₂ Hasil Pembakaran PLTU *Independent Power Producer* (IPP) Lombok Timur (50 MW) Dengan *Low Rank Coal* Menggunakan Model *Gaussian*

Simulation of Dispersion and Fatality Percentage of Exhaust SO₂ and CO₂ Combustion Result of Low Rank Coal PLTU Independent Power Producer (IPP) East Lombok (50 MW) Using Gaussian Model

Shafwan Amrullah^{1*}, Sopyan Ali Rohman², Lalu Heri Rizaldi³

^{1,3}Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Teknologi Sumbawa

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Teknologi Sumbawa

Email: ¹shafwan.amrullah@uts.ac.id, ²sopyan.ali.r@uts.ac.id, ³rizaldi@uts.ac.id

*Penulis korespondensi: shafwan.amrullah@uts.ac.id

Direview: Februari 2022

Diterima: Maret 2022

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sembelia berada di Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat dan dikelola oleh PT. Lombok Energy Dinamic menggunakan 200.000 ton/tahun batubara muda. Hasil konversi batu bara ini berupa 50 MW listrik. Ini bisa menjadi potensi besar pencemaran lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan potensi pembuangan SO₂ dan CO₂ PLTU Sembelia ke lingkungan serta kemungkinan kematian yang disebabkan persentase fatalitas akibat pembakaran batubara PLTU Sembelia menggunakan *Gaussian-Model*. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sumber kedua serta langsung ke lapangan untuk mengecek secara langsung. Setelah itu, penelitian ini dilakukan dengan menghitung potensi simulasi konsentrasi SO₂ dan CO₂ untuk variabel jarak. Pada akhir penelitian, perhitungan potensi penyebaran serta persen fatalitas yang disebabkan SO₂ dan CO₂ sebagai gas buang yang dihitung pada empat titik di sekitarnya. Hasil penelitian ini adalah dispersi SO₂ dengan massa dispersi 0,096 kg/detik dari jarak 2.000 hingga 46.000 m meningkat dari 6,876x10⁻⁴⁶ ppm hingga konsentrasi 1,276x10⁻⁵ ppm, lalu turun menjadi 0 ppm. Persentase fatalitas yang dihasilkan adalah 0 persen. Potensi dispersi CO₂ ke lingkungan dengan massa keluar 8,252 kg/detik meningkat pada jarak 2.000 hingga 58.000 m, dari konsentrasi 62,47x10⁻⁶³ ppm hingga konsentrasi 7,9x10⁻⁴ppm. Selanjutnya konsentrasi CO₂ berkurang menjadi 0 ppm. Persentase fatalitas yang dihasilkan adalah 0 persen. Untuk perhitungan dispersi di empat titik di sekitar PLTU Sembelia dapat dikatakan aman dari dispersi SO₂ dan CO₂.

Kata kunci: *Polusi udara, batubara muda, Gaussian-Model, potensi dispersi, persentase fatalitas*

ABSTRACT

The Sembelia Steam Power Plant is located in East Lombok, West Nusa Tenggara and is managed by PT. Lombok Energy Dynamic uses the light coal until 200,000 tons per year. This case can be the environmental pollution. This study aims to calculate the SO₂ and CO₂ exhaust gases into the environment by the simulation as well as included the %fatality due to coal combustion of the The Sembelia Steam Power Plant with the model of Gaussian. This research was carried out by calculating the SO₂ and CO₂ concentrations released concentration. At the end of these project, we calculated the SO₂ and CO₂ released by the dispersion potential and %fatality at four points around it. The result of this research showed that the dispersion mass of SO₂ dispersion was 0.096 kg per second (with distance of 2,000 to 46,000 m). This result showed that the increases (6.876x10⁻⁴⁶ ppm to 1.276x10⁻⁵ ppm), and then showed that the decreases to 0 ppm. % Fatality in this study is 0%. The potential of CO₂ dispersion with an outgoing mass of 8,252 kg/second increased (2,000-58,000 m) with a concentration of 62.47x10⁻⁶³ ppm to 7.9x10⁻⁴ppm. In the other hand, the concentration of CO₂ was reduced to 0 ppm. In the end of this study showed that %fatality by the CO₂ released is 0%, and the calculation of dispersion at four points around the The Sembelia Steam Power Plant is safe from the SO₂ and CO₂ dispersion.

Keywords: Air pollution, low rank coal, Gaussian Model, potential of dispersion, fatality percentage

1. PENDAHULUAN

Pemerintah sejak tahun 2014 telah berkomitmen dalam membangun kemandirian sumber daya listrik, baik dengan memanfaatkan peran PLN maupun dengan menggadeng swasta. Sejak tahun 2014, pemerintah sudah mencanangkan pendirian pembangkit listrik di seluruh Indonesia, yaitu dengan menargetkan produksi listrik mencapai 35 ribu megawatt (MW), walaupun saat ini pembangunan masih berjalan. Dalam rangka mewujudkan hal tersebut, PLN maupun Swasta yang bergerak di bidang energi listrik merencanakan proses pembuatan 109 pembangkit listrik. Pembangkit ini ditargetkan dilakukan oleh pihak PLN sebanyak 35 buah dengan kemungkinan listrik yang dibangkitkan sebesar 10.681 MW, sedangkan sebanyak 74 proyek dilakukan oleh swasta yang memproyeksikan listrik sebesar 25.904 MW. Proyek swasta ini juga dikenal dengan istilah *Independent Power Producer* (IPP). Sebagian besar megaprojek tersebut diwujudkan dengan memanfaatkan pembangkitan listrik jenis bertenaga uap, atau dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagian besar menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya. Sedangkan batubara yang digunakan adalah batubara jenis batubara muda. Sehingga dengan begitu, terjadi degradasi lingkungan yang nyata, dimana pembakaran batubara muda ini menghasilkan cukup banyak *fly ash* sampai gas SO₂ yang sangat berbahaya bagi lingkungan dan manusia (Haryadi, 2017). Alasan utama penggunaan batubara jenis ini adalah faktor dari ketersediaan yang sangat berlimpah di Indonesia.

Pada tahun 2020 saja, NTB diketahui telah mempunyai pembangkit listrik yang disuplai dari jenis PLTU berbahan bakar batubara muda (*low rank coal*) (Kabarbisnis, 2019). Diantaranya adalah PLTU Jeranjang yang berada di Lombok Barat. Saat ini, PLTU tersebut diketahui telah membangkitkan tenaga sebesar 75 MW dengan 3 unit pembangkitan yang ada (25 MW per unit). Masing-masing pembangkit memiliki kapasitas 25 MW (Fisu, 2018) (Suara-NTB, 2019). Selain itu terdapat juga PLTU dengan kapasitas 50 MW yang terletak di Desa Sembelia yang beralamat di Jalan Raya Sembelia, Padak Guar, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat Sembelia. PLTU ini dikelola oleh PT. Lombok Energy Dynamic.

Batubara muda sebagai bahan bakar PLTU di Indonesia sangat berlimpah, yaitu dengan cadangan hingga 86% dari cadangan batubara Nasional. Oleh sebab itu batubara inilah satu-satunya pilihan utama dalam pengembangan sektor pembangkitan listrik di Indonesia. Saat ini, diketahui bahwa, batubara sendiri terbagi menjadi beberapa kelas utama, diantaranya adalah jenis sub-bituminus, bituminous, antrasit, dan lignit (Erik & Sancar, 2010). Untuk batubara muda sendiri tergolong batubara *sub-bituminous*. Jenis inilah yang tergolong jenis batubara yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Dari penelitian (Baaqy et al., 2013) batu bara yang digunakan sebagai pembangkitan listrik di Indonesia merupakan jenis *low rank* yang memiliki kadar kimia yang tidak terlalu bagus, dimana moisture contentny sebesar 18,29%, 38,40% volatile matter, 12,544% jumlah ash, 30,76% total karbon, dan kadar kalor yang tidak terlalu besar, yaitu sebesar 4.739,24 kkal setiap kilogramnya. Berdasarkan kandungan tersebut dapat dikatakan bahwa, batubara jenis ini berpotensi sangat besar terhadap perusakan lingkungan dan ekosistem serta kematian bagi makhluk hidup.

Beberapa penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa pembakaran batubara menghasilkan banyak gas buang yang notabene dapat dikatakan beracun. Gas yang dihasilkan antara lain adalah gas CO, CO₂, NO_x, SO_x dan juga terdapat pengotor. Dari semua gas tersebut, dapat dikategorikan sebagai gas yang sangat berbahaya dan beracun bagi lingkungan (Kusman & Utomo, 2017). Saat ini, diketahui pula bahwa PLTU batubara merupakan penyumbang terbesar emisi gas-gas tersebut. Untuk mengatasi pembuangan emisi gas di atas, PLTU batubara telah melakukan proses pengendalian pencemaran udara, akan tetapi selalu terjadi kebocoran gas buang hampir di setiap PLTU berbahan bakar batubara tersebut. Oleh sebab itu, perlu adanya kajian yang dapat memprediksi dan mensimulasi bagaimana gas buang tersebut keluar dari sumbernya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jarak aman serta keadaan yang tepat sehingga tidak terjadi kerusakan lingkungan hingga kematian jikalau terjadi proses kebocoran gas buang.

Sebelumnya banyak cara untuk menghitung kadar gas buang yang dihasilkan oleh sebuah PLTU dari hasil pembakaran batubara, namun yang paling banyak digunakan adalah model yang dikeluarkan oleh (Zhu et al., 2019). Model tersebut dikenal dengan *Gaussian-Model*, yaitu dengan pendekatan model yang disebut dengan *Puff* dan *plume*. Model tersebut secara detail dikeluarkan oleh (Crowl, D & Lauvar, J, 2002) yang mengacu pada prediksi persebaran polutan yang diberi symbol X_{max} . X_{max} merupakan jarak tertentu sehingga dapat diprediski seberapa besar konsentrasi polutan yang ada di atas permukaan tanah lokasi uji coba (*Ground Level Concentration Maximum*) atau pemukiman. Pada penelitian sebelumnya diketahui bahwa gas buang dari proses pembakaran batubara telah dilakukan sebelumnya. Lokasi uji adalah gas buang dan juga partikulat dari hasil

pembakaran batubara muda dari cerobong asap PLTU batubara di Jepara, Jawa Tengah, Indonesia. pada penelitian tersebut, peneliti menggunakan sebuah model lain yang diberi nama *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Penelitian ini menitik beratkan pada variasi kecepatan udara. Hasil dari penelitiannya menyatakan bahwa terjadi fenomena dimana semakin cepat angin berhembus di atas cerobong asap, maka semakin kecil konsentrasi polutan gas buang yang dihasilkan. Akan tetapi, dari hasil tersebut juga terlihat bahwa persebaran konsentrasi di setiap titik uji sama (Apiratikul, 2015), sehingga penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi terhadap penyebaran (disperse) oleh gas buang berupa SO₂ dan CO₂ hasil pembuangan limbah oleh pembakaran PLTU batu bara. Selain itu ingin diketahui juga persen jumlah kematian (%*Fatality*) yang disebabkan oleh PLTU Sembelia dengan kapasitas 50 MW yang terletak di Desa Sembelia yang beralamat di Jalan Raya Sembelia, Padak Guar, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat Sembelia. PLTU ini dikelola oleh PT. Lombok Energy Dinamic. Lokasi ini sangat penting untuk dilakukan simulasi sebab lokasinya yang berdekatan dengan wisata pantai pulo lampu serta Gili Lampu. Pada proses perhitungan simulasi tersebut menitik beratkan pada pemodelan menggunakan model Gaussian dengan keadaan dispersi *puff*. Pada penelitian ini, batu bara yang dianalisis sesuai dengan batu bara yang digunakan di PLTU Lombok Timur tersebut, yaitu jenis *low rank*. Pada bagian akhir kegiatan, dilakukan variasi jarak persebaran gas buang sekaligus menghitung %*fatality* yang terjadi setiap detiknya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara langsung dilakukan dengan proses peninjauan ke lokasi serta studi pustaka yang memanfaatkan data dari BMKG tentang kecepatan angin dan sebagainya. Dari hasil penelitian ini kemudian dilanjutkan dengan simulasi sehingga didapatkan simulasi penyebaran gas SO₂ serta CO₂ sebagai imbas dari gas buang PLTU Lombok Timur. Selanjutnya adalah dilakukannya perhitungan prediksi jumlah kematian atau yang dilambangkan dengan %*fatality* akibat dari pembuangan SO₂ dan CO₂ yang dihitung di berbagai jarak penyebaran.

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.

Penelitian dilakukan pada Juni sampai November 2019. Pengambilan data pada penelitian ini adalah di PLTU dengan kapasitas 50 MW yang terletak di Desa Sembelia yang beralamat di Jalan Raya Sembelia, Padak Guar, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat Sembelia. PLTU ini dikelola oleh PT. Lombok Energy Dinamic. Lokasi penelitian dituangkan oleh Gambar 1. Penelitian ini secara khusus dilakukan pada saat malam hari, yaitu pada cuaca yang tidak terlalu mendung, hal ini dilakukan dengan alasan bahwa malam hari merupakan keadaan ketika penyebaran gas buang sangat besar terhadap daerah sekitarnya. Penyebaran besar pada malam hari juga disebabkan karena tidak adanya sinar ultraviolet (Dewi et al., 2018) (Zhu et al., 2019).



Gambar-1. Lokasi PLTU Sembelia, Jalan Raya Sembelia, Padak Guar, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat Sembelia

2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian diawali dengan menghitung tinggi cerobong asap PLTU Sembelia yang menjadi sumber pengeluaran gas buang. Selain itu juga dilakukan pengambilan data tentang jumlah batubara yang digunakan oleh PLTU Sembelia setiap tahunnya, sehingga dapat diprediksi berapa jumlah gas buang yang akan dihasilkannya. Untuk mendapatkan data *ultimate* dan *proximate* batubara PLTU Sembelia, dapat diketahui dari melihat referensi yang ada, dimana hasil uji *ultimate* dan *proximate* telah dilakukan oleh (Baaqy et al.,

2013), yaitu yang disajikan pada Tabel 1. Sedangkan kecepatan angin digunakan data dari Badan Meteorologi dan Geofisika provinsi NTB yang diambil pada tahun 2019

Berdasarkan data pada Tabel 1 terlihat data *proximate* dan *ultimate* dari batubara jenis *low rank coal*. Sedangkan persamaan yang digunakan dalam penelitian ini dijabarkan pada Persamaan 1 (Crowl, D & Lauvar, J, 2002).

Tabel-1. Kandungan *Proximat* dan *Ultimate* Batubara *Low Rank Coal* PLTU Batubara Indonesia (Crowl, D & Lauvar, J, 2002)

Jenis Analisis <i>Proximate</i>	Berat (%)	Jenis Analisis <i>Ultimate</i>	Berat (%)
<i>Moisture content</i>	18,29	C	70
<i>Volatile matter</i>	38,40	H	6
<i>Ash content</i>	12,54	O	21
<i>Fixed carbon</i>	30,76	N	1,5
		S	1,5

$$(C) (ut, 0, 0, t) = \frac{Q_m}{\sqrt{2\pi}^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Keterangan:

- C (kg/m³) : Konsentrasi gas buang berdasarkan lama dan jauhnya penyebaran
- Q_m (kg) : Berat SO₂ dan CO₂ setiap detik (didapatkan dari jumlah kapasitas pembangkitannya yaitu 50 MW dengan persamaan reaksi pembakaran pada Persamaan 2 dan 3)
- u (m/s) : kecepatan angin rata-rata di sekitar penyebaran gas.
- t (detik) : lama penyebaran gas buang.
- σ_x, σ_y, dan σ_z (m) : Parameter dispersi (didapatkan dengan tabel berdasarkan kecepatan angin rata-rata, lokasi pengambilan sampel, dan keadaan cuaca saat pengambilan).
- H_r : tinggi cerobong pembuangan gas buang (PLTU Sembelia adalah ±200 meter)



(Hou et al., 2020)



(Amrullah & Evila, 2021)

Untuk data kecepatan angin, data yang digunakan adalah data BMKG untuk wilayah di sekitar PLTU Sembelia. Kecepatan angin rata-rata yang didapatkan sebesar 2,5 m/s pada sepanjang tahun 2019. Pada keadaan ini dianggap cuaca pada saat itu di sekitar PLTU Sembelia adalah sedikit mendung. Dari keadaan tersebut, dengan menggunakan tabel yang telah disiapkan pada persamaan *Gasussian-Model* didapatkan kelas stabilitas untuk Pasquill-Gifford dengan kondisi pada keadaan E. Adanya keadaan ini menyebabkan nilai σ_x dan σ_y mengikuti persamaan yang ada yaitu pada Persamaan 4. Di lain pihak, nilai σ_z mengikuti Persamaan 5.

$$\sigma_x \text{ dan } \sigma_y = 0,04x^{0,92} \quad (4)$$

$$\sigma_z = 0,1x^{0,65} \quad (5)$$

Persamaan 4 dan 5 memperlihatkan symbol X merupakan jarak penyebaran gas hasil pembakaran. X didapatkan dengan cara perhitungan jarak perhitungan dampak hingga posisi cerobong dalam meter. Pada tahap selanjutnya adalah dengan melanjutkan ke perhitungan kemungkinan kematian yang disebabkan karena penyebaran gas (%*fatality*), dan dirumuskan dengan Persamaan 6.

$$P \langle \text{Fatality} \rangle = 50 \left(1 + \frac{Y-5}{Y-5} \right) \text{ERF} \left(\frac{Y-5}{\sqrt{2}} \right) \quad (6)$$

P merupakan simbol yang digunakan untuk prediksi jumlah kematian (%*fatality*) dengan mengacu jarak dispersi dari gas buang tersebut. Selain itu simbol Y disubstitusikan bahwa *Probit Variabel* sebagai sebuah fungsi

konsentrasi dari gas buang selama pembuangan gas dilakukan. Y dapat dirumuskan dengan melihat Persamaan 7.

$$Y(\text{Probit Variabel}) = -17,1[1,69 \ln C_{ppm}^{2,75} x t] \quad (7)$$

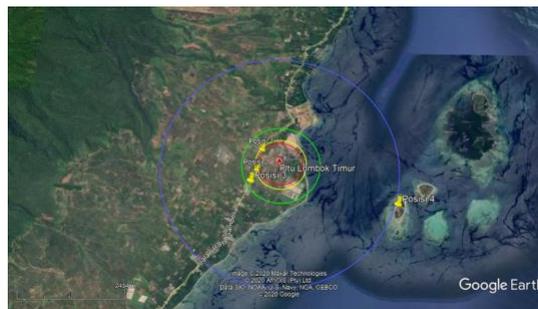
C_{ppm} pada persamaan merupakan simbol yang melambangkan konsentrasi gas buang dalam satuan ppm. Selain itu lambang t memperlihatkan waktu atau lama penyebaran gas buang. C_{ppm} dapat dihitung dengan Persamaan 8.

$$C_{ppm} = nRT/p \quad (8)$$

Keterangan Persamaan:

- n : molekul gas (mol)
- R : tetapan gas ideal (L.atm/mol.K)
- T : suhu gas buang (K)
- P : tekanan gas (atm).

Pada bagian akhir dari simulasi ini, dilakukan proses simulasi terhadap beberapa titik di dekat PLTU yang strategis, seperti pemukiman dan tempat wisata. Selain itu juga dilakukan perhitungan %*fatality* dari hasil dispersi gas buang tersebut. Secara spesifik, dari penelitian ini juga dihitung konsentrasi dispersi serta %*fatality* pada 4 titik lokasi strategis yang mungkin terkena dampak pembuangan gas PLTU Sembelia. Dimana 4 lokasi tersebut digambarkan pada Gambar 2.



Gambar-2. Radius PLTU Sembelia dengan Pemukiman pada Jarak Terdekat

Pada Gambar 2 terlihat ada 4 titik lokasi hitung dari sumber pelepasan terhadap konsentrasi pembuangan gas SO₂ dan CO₂ nya. Lokasi Pertama berjarak 0,55173 km. Lokasi Kedua berjarak 0,62412 km. Lokasi Ketiga berjarak 0,99113 km. Sedangkan Lokasi keempat berjarak 3,013 km. Lokasi pertama sampai ke tiga merupakan pemukiman terdekat, sedangkan lokasi keempat merupakan Tempat Wisata Gili Lampu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan awal beberapa factor perhitungan diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel-2. Data Awal Konsentrasi Dispersi SO₂ dan CO₂

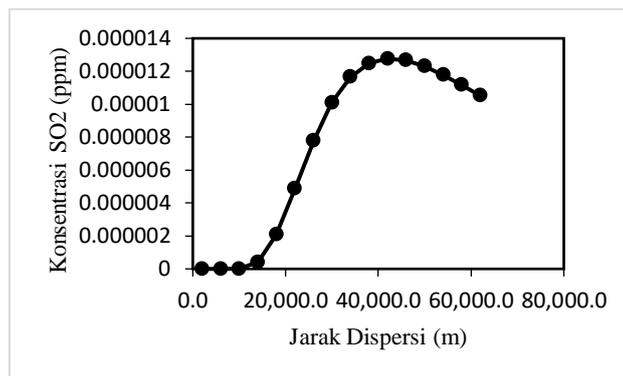
Item Perhitungan	Hasil
Jumlah batubara yang digunakan, ton/tahun	200.000
U, m/detik	2,5
H _r , m	200
T, Kelvin	298
P, atm	1
R, L.atm/mol.K	0,08205
Q _m SO ₂ , kg/detik	0,096
Q _m CO ₂ , kg/detik	8,252

Pada Tabel 2 batu bara yang digunakan adalah sebesar 200.000 ton/tahun, hasil ini didapatkan dari konversi produksi listrik tahunan PLTU Sembelia serta data primer PLTU Sembelia. Untuk kecepatan angin,

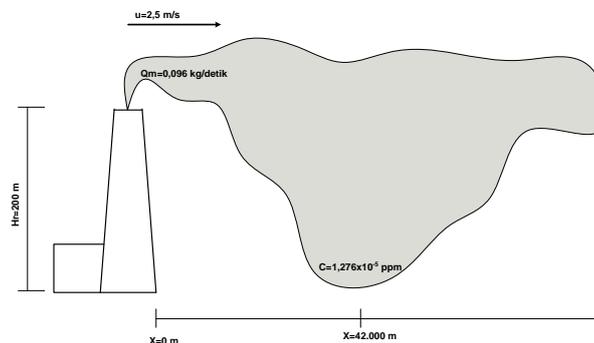
didapatkan nilai 2,5 m/s. Hal ini didapatkan dari BMKG selama 2019 sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya. Sedangkan untuk konsentrasi massa SO₂ yang dikeluarkan oleh PLTU Sembelia didapatkan dari Hasil perhitungan konsentrasi secara stoikiometri. Perhitungan yang digunakan adalah Persamaan 1 dan 2. sebanyak 0,096 kg/detik. Sedangkan CO₂ yang didapatkan adalah sebanyak 8,252 kg/detik. Konsentrasi massa yang didapatkan ini dihasilkan dari perhitungan menggunakan persamaan *Boyle-gaylussac*. Dimana keadaan yang digunakan adalah gas pada tekanan 1 atm dan suhu 25°C. Sedangkan tinggi cerobong pelepasan gas buang PLTU Sembelia adalah 200 m. Data ini didapatkan dari PLTU Sembelia sendiri.

3.1 Hasil Simulasi Perhitungan Konsentrasi Dispersi dan %Fatality dari Gas SO₂ Terhadap Perbedaan Jarak Dispersi PLTU Sembelia

Hasil visualisasi kadar konsentrasi gas buang SO₂ pada setiap jarak perhitungan dijabarkan dalam Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, dengan mengacu persamaan 1 dan 2, kecepatan pelepasan gas SO₂ dari ceobong pembuangan PLTU Sembelia mengacu pada Persamaan 8 sebesar 0,096 kg/detik, kemungkinan terjadinya peningkatan gas SO₂ pada 2.000 hingga 42.000 meter, yaitu dari 6,876x10⁻⁴⁶ ppm hingga konsentrasi 1,276x10⁻⁵ ppm. Fenomena ini terjadi sebab gas buang SO₂ terjadi melalui cerobong asap yang memiliki tinggi 200 meter. Selain itu, hasil ini didukung dengan keadaan angin pada kecepatan 2,5 m/s. Sehingga dengan kondisi seperti itu menyebabkan gas SO₂ tidak akan mengenai permukaan tanah untuk jarak cerobong terdekat dari perhitungan. Namun pada jarak tertentu gas SO₂ terus turun mendekati tanah, yaitu pada jarak 42.000 meter. Setelah itu, gas SO₂ mengalami penurunan konsentrasi dari jarak 42.000 hingga seterusnya hingga mencapai konsentrasi 0 ppm. Hal ini terjadi pengurangan secara terus menerus terhadap gas SO₂ yang keluar dari cerobong dengan semakin jauhnya jarak perhitungan. Perhitungan dan simulasi yang dapat menggambarkan fenomena ini adalah dapat dilihat pada Gambar 4.



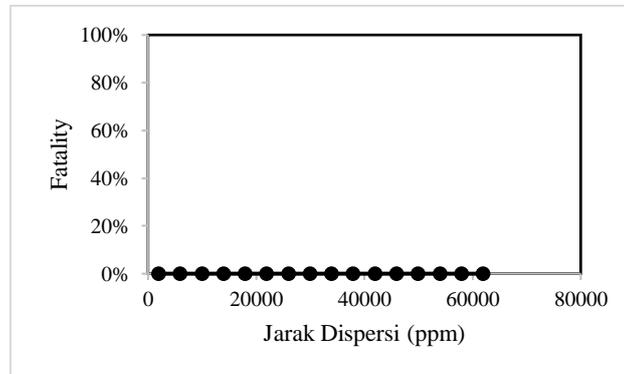
Gambar-3. Kemungkinan Besaran Konsentrasi Gas SO₂ pada setiap pembuangan per detiknya



Gambar-4. Hasil Gambar Simulasi Secara Nyata Terhadap Hasil Perhitungan Gas SO₂ yang Terdispersi Setiap Detiknya Ke Lingkungan

Selain penjelasan sebelumnya, fenomena ini dikuatkan dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa semakin jauh jarak perjalanan gas buang SO₂ pada pabrik semen menyebabkan semakin berkurangnya konsentrasi gas tersebut, bahkan akan memperlihatkan konsentrasi 0 ppm (Dewi et al., 2018). Selain itu, persen simulasi kemungkinan kematian (%fatality) pada jarak yang sama disajikan dengan Gambar 5. Pada gambar

5 perhitungan *%fatality* yang didapatkan bahwa tidak terjadi kematian sama sekali dengan jarak penyebaran 0 hingga 62.000 meter dari cerobong, atau *%fatality* yang didapatkan adalah 0%. Hal ini kemungkinan terjadi terjadi karena konsentrasi gas SO₂ yang terbuang ke lingkungan sangat kecil. Jika dilihat berdasarkan nilai TLV dari SO₂ sendiri, ambang batas gas SO₂ yang dapat terpapar oleh manusia adalah 2 ppm, data ini diambil dari data di MSDS gas SO₂ sendiri. Sehingga dengan begitu, dengan konsentrasi seperti pada Gambar 3 menghasilkan *%fatality* bernilai 0, atau tanpa ada kematian.



Gambar-5. Hasil Perhitungan *%Fatality* pada Setiap Jarak Dispersi Setiap Detiknya oleh Gas SO₂

Untuk perhitungan hasil simulasi terhadap potensi konsentrasi dispersi dan potensi *%fatality* oleh gas buang SO₂ PLTU Sembelia dari empat posisi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

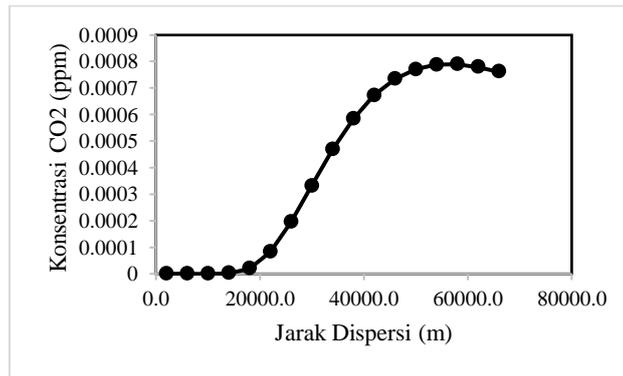
Tabel-3. Hasil Perhitungan Penyebaran Gas SO₂ dan Kemungkinan *%Fatality* Pada Berbagai Lokasi Strategis

Lokasi	Jarak ke lokasi target pengukuran (meter)	Konsentrasi SO ₂ terdispersi (ppm)	<i>%Fatality</i> (%)
Lokasi 1	551,73	0	0
Lokasi 2	624,12	0	0
Lokasi 3	991,13	0	0
Lokasi 4	3.013	5,435x10 ⁻²⁸	0

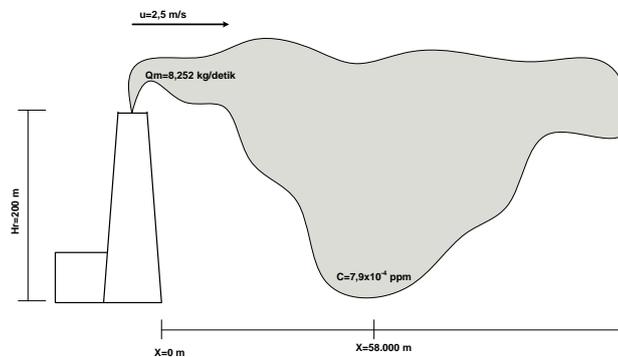
Berdasarkan Tabel 3, keempat titik lokasi simulasi di sekitar PLTU Sembelia berdasarkan Persamaan 8 dapat dikatakan aman. Hal ini didasarkan pada nilai ambang batas berdasarkan nilai TLV dengan mengacu pada data MSDS SO₂, dimana keempat lokasi tersebut tidak terpapar dengan konsentrasi gas yang besar sehingga manusia juga aman dari paparan, dengan nilai *%fatality* bernilai 0%.

3.2 Hasil Simulasi Perhitungan Konsentrasi Dispersi dan *%Fatality* dari Gas CO₂ Terhadap Perbedaan Jarak Dispersi PLTU Sembelia

Hasil visualisasi kadar konsentrasi gas buang CO₂ pada setiap jarak perhitungan disajikan dengan gambaran pada Gambar 6. Gambar 6 menjelaskan bahwa kecepatan pelepasan gas CO₂ dari cerobong pembuangan PLTU Sembelia dengan mengacu pada Persamaan 1 dan 2 sebesar 8,252 kg/detik. Hasil dari simulasi dispersi menghasilkan kemungkinan terjadinya peningkatan gas CO₂ (2.000-58.000 meter) dengan mengacu pada Persamaan 8 yaitu pada konsentrasi 62,47x10⁻⁶³ ppm hingga 7,9x10⁻⁴ppm. Hal ini terjadi karena pelepasan gas CO₂ terjadi melalui cerobong asap pada ketinggian cerobong asap (Hr) setinggi 200 meter pada kecepatan angin 2,5 m/s. Sehingga dengan kondisi seperti itu menyebabkan gas SO₂ tidak akan mengenai permukaan tanah untuk jarak cerobong terdekat dari perhitungan. Namun pada jarak tertentu gas CO₂ terus turun mendekati tanah, yaitu pada jarak 58.000 meter. Setelah itu, gas CO₂ mengalami penurunan konsentrasi dari jarak 58.000 hingga seterusnya hingga mencapai konsentrasi 0 ppm. Hal ini terjadi karena pelepasan gas CO₂ yang secara terus menerus, sehingga CO₂ akan lama kelamaan menjadi sedikit bahkan habis. Fenomena ini dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan penelitian sebelumnya, perhitungan pembuangan gas CO₂ dengan menggunakan model Gaussian pada proses pembakaran batu bara di PLTU Nova Scotia, di Canada. Hasil perhitungan memperlihatkan peningkatan CO₂ namun sebaliknya menurun hingga 0 ppm pada jarak dispersi semakin besar.

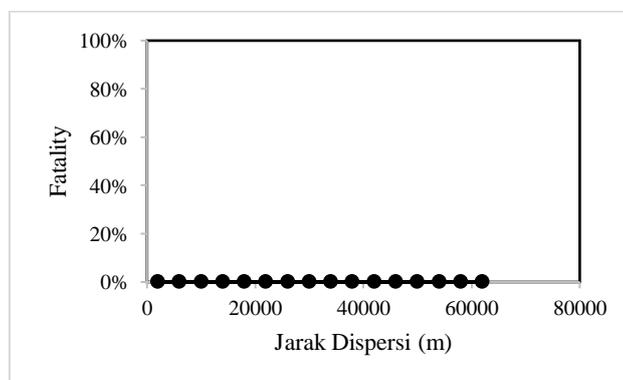


Gambar-6. Hasil Simulasi Konsentrasi Dispersi Gas CO₂ terhadap Jarak Dispersi Setiap Detiknya



Gambar-7. Bentuk Visual dari Simulasi Perhitungan Gas CO₂ yang Terdispersi Setiap Detiknya ke Lingkungan

Selain itu, persen simulasi kemungkinan kematian (%fatality) pada jarak yang sama disajikan oleh pemaparan pada Gambar 8. Gambar 8 menjelaskan %fatality yang disebabkan oleh persebaran gas CO₂ dari jarak 0 hingga 66.000 meter bernilai 0%. Artinya bahwa, tidak terjadi kematian satupun yang disebabkan oleh gas CO₂ yang keluar dari PLTU Sembelia yang merupakan hasil dari pembakaran batubara. Secara sepsifik, hal ini terjadi karena jumlah gas buang yaitu CO₂ yang menyebar ke lingkungan masih dalam ambang batas aman, dan juga dapat dikatakan dispersi gas CO₂ juga sangat sedikit. Dari kajian tersebut, dengan mengacu pada nilai berdasarkan nilai TLV gas CO₂ berdasarkan nilai ambang batas dari data yang didapatkan dari MSDS sebesar 5.000 ppm, dimana nilai ini sangat jauh dari hasil perhitungan simulasi pada penelitian ini (Amrullah & Oktaviananda, 2020).



Gambar-8. Kemungkinan Kematian yang Terjadi pada Jarak Dispersi Oleh Gas Buang CO₂ (%Fatality)

Untuk perhitungan terhadap 4 titik penyebaran gas CO₂ sehingga diketahui kemungkinan konsentrasi gas buang berdasarkan jarak dispersi dan juga kemungkinan %fatality yang akan terjadi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel-4. Jumlah Penyebaran Gas CO₂ dan Kemungkinan Kematian (%Fatality) yang Terjadi Pada Lokasi Pengukuran Spesifik

Lokasi	Jarak ke lokasi target pengukuran (meter)	Konsentrasi terdispersi (ppm)	CO ₂	%Fatality (%)
Lokasi 1	551,73	0		0
Lokasi 2	624,12	0		0
Lokasi 3	991,13	0		0
Lokasi 4	3.013	5,46x10 ⁻³⁶		0

Berdasarkan Tabel 4, keempat titik lokasi simulasi di sekitar PLTU Sembelia dengan menggunakan persamaan 8 dapat dikatakan aman. Hal ini didasarkan pada nilai ambang batas berdasarkan nilai TLV dengan mengacu pada data MSDS CO₂, dimana keempat lokasi tersebut tidak terpapar dengan konsentrasi gas yang besar sehingga manusia juga aman dari paparan, dengan nilai %fatality bernilai 0% yang didasarkan pada Persamaan 6.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penggunaan model dispersi *Gasussian* menggunakan jenis *puff*, dapat disimpulkan bahwa terjadi trend peningkatan konsentrasi penyebaran SO₂ oleh pembakaran batubara muda PLTU Sembelia setiap detiknya ketika jarak dispersi ditambahkan, selanjutnya berkurang hingga 0 ppm. Konsentrasi SO₂ yang dihasilkan meningkat pada 2.000-42.000 meter dari 6,876x10⁻⁴⁶ ppm hingga 1,276x10⁻⁵ ppm. Setelah itu terjadi penurunan hingga konsentrasi bernilai 0 ppm. Untuk hasil simulasi kemungkinan kematian (%fatality) oleh SO₂ memperlihatkan nilai 0% pada semua jarak perhitungan, bahkan pada 4 titik yang telah ditentukan

Selain itu, terjadi trend peningkatan konsentrasi dispersi CO₂ pada proses pembakara batubara muda PLTU Sembelia setiap detiknya ketika jarak dispersi ditambahkan lalu menurun hingga 0 ppm. Konsentrasi CO₂ yang dihasilkan meningkat pada 2.000-58.000 meter dari 62,47x10⁻⁶³ ppm hingga 7,9x10⁻⁴ppm, yang selanjutnya menurun hingga 0 ppm. Untuk hasil simulasi kemungkinan kematian (%fatality) oleh CO₂ memperlihatkan angka 0% pada semua jarak perhitungan, bahkan pada 4 titik yang telah ditentukan

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, S., & Evila, T. (2021). Potensi Penerapan Energi Terbarukan Sebagai Upaya Mewujudkan Kemandirian Desa: Studi Kasus Desa Lendang Nangka Lombok Timur. *Energi & Kelistrikan*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868>
- Amrullah, S., & Oktaviananda, C. (2020). *Simulation of Dispersion Potential and Fatality Percentage of SO₂ and CO₂ Flue Gas from Combustion of Coal in West Lombok Power Plant using Gaussian Model*. 7(2), 117–126.
- Apiratikul, R. (2015). Approximation Formula for the Prediction of Downwind Distance that Found the Maximum Ground Level Concentration of air Pollution Based on the Gaussian Model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 197(February), 1257–1262. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.397>
- Baaqy, L. Al, Arias, G., Rachimoallah, M., & Nenu, R. K. T. (2013). Pengeringan Low Rank Coal dengan Menggunakan Metode Pemanasan tanpa Kehadiran Oksigen. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2), 228–233.
- Crowl, D, A., & Lauvar, J, F. (2002). Chemical process safety fundamentals with application. In *Fundamentals with Applications*. (2nd ed.). Prentice Hall PTR, Inc.
- Dewi, P., Srimani, N. W., June, T., Yani, M., & Mujito, M. (2018). Estimasi Pola Dispersi Debu, So₂ Dan Nox Dari Industri Semen Menggunakan Model Gauss Yang Diintegrasikan Dengan Screen3. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(1), 109–119. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.1.109-119>
- Erik, N. Y., & Sancar, S. (2010). Relationships between coal-quality and organic-geochemical parameters: A case study of the Hafik coal deposits (Sivas Basin, Turkey). *International Journal of Coal Geology*, 83(4), 396–414. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.05.007>
- Fisu, A. A. (2018). Analisis Kebutuhan Fasilitas Sisi Laut Pelabuhan Terminal Khusus Pltgu Lombok. *PENA*

- TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 3(2), 197. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v3i2.183
- Haryadi, H. (2017). Analisis SWOT dalam pengelolaan sumberdaya mineral dan batubara Indonesia serta prospeknya dalam menghadapi masyarakat ekonomi asean (MEA). *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 13(1), 73–90. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol13.no1.2017.141>
- Hou, S. S., Chiang, C. Y., & Lin, T. H. (2020). Oxy-fuel combustion characteristics of pulverized coal under O₂/recirculated flue gas atmospheres. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/app10041362>
- Kabarbisnis. (2019). *PLTU berbahan bakar batubara dibangun di Lombok*. <https://www.kabarbisnis.com/>
- Kusman, K., & Utomo, M. S. K. T. S. (2017). Simulasi Persebaran Gas Buang Dan Partikulat Dari Cerobong Asap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Di Jepara Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (Cfd) Dengan Variasi Kecepatan Udara. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 5(2), 106–114.
- Suara-NTB. (2019). *PLTU berbahan bakar batubara dibangun di Lombok*. <https://www.suarantb.com/ntb>
- Zhu, Y., Yan, X., Chen, C., Li, Y., Huang, G., & Li, Y. (2019). Analysis of industry-air quality control in ecologically fragile coal-dependent cities by an uncertain Gaussian diffusion-Hurwicz criterion model. *Energy Policy*, 132(March), 1191–1205. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.06.071>