

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

Simulasi Potensi Dispersi dan Persentase Fatality oleh Gas Buang SO₂ dan CO₂ Hasil Pembakaran Batu Bara di PLTU Jeranjang Lombok Barat Menggunakan Gaussian Model

Shafwan Amrullah^{a,1,*}, Cyrilla Oktaviananda^{b,2}

^aJurusan Teknologi Industri Pertanian Universitas Teknologi Sumbawa, Jalan Olat Maras, Batu Alang, Moyo Hulu, Sumbawa, 84371, Indonesia

^bJurusan D3 Teknik Kimia Politeknik Katolik Mangunwijaya, Jalan Kusumanegara (Sriwijaya) No 104, Semarang, 50242, Indonesia

¹ shafwan.amrullah@uts.ac.id *; ² cyrillaoktaviananda.28@gmail.com

* corresponding author

ARTICLE INFO

Article history

Received July 26, 2020

Revised November 18, 2020

Accepted January 20, 2021

Keywords

Air pollution

Coal-Fired

Dispersion potential

Fatality percentage

Gauss Model

ABSTRACT

Combustion of coal in coal-fired power plants produces air pollution such as SO₂, NO_x, CO₂, and Particulates. The Jeranjang power plant in West Lombok Regency uses 300,000 tons/year of coal to generate 75 MW of electricity. It can be a large potential for environmental pollution. This research aims to simulate the potential of SO₂ and CO₂ exhaust gas dispersion to the environment and the fatality percentage caused by burning the Jeranjang coal power plant using the Gauss Model. The research was conducted by a literature study and direct observation of PLTU Jeranjang. After that, in this research, the SO₂ and CO₂ concentration were calculated. At the end of the study, estimating the potential dispersion and fatality percentage by SO₂ and CO₂ gas was also calculated around the Jeranjang power plant. The results are SO₂ dispersion with a dispersion mass of 0.145 kg/sec from a distance of 2,000 to 46,000 m increased from 1x10⁻⁴⁵ to 1.9x10⁻³ ppm and decreased to 0 ppm. The fatality percentage y generated is 0%. The CO₂ dispersion potential into the environment without a mass of 12.378 kg/sec increases at a distance of 2,000 to 58,000 m, from a concentration of 2.7x10⁻⁶⁵ to 0.00184 ppm. The CO₂ concentration decreases to 0 ppm. The fatality percentage generated is 0%. The calculation of settlement dispersion around the PLTU Jeranjang can be safe from SO₂ and CO₂ dispersion, and the fatality percentage generated is 0%.

This is an open access article under the CC-BY-SA license.



1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batu bara merupakan penyumbang terbesar emisi udara terhadap kelangsungan lingkungan dan dapat mengancam keberadaan makhluk hidup didalamnya. Pembakaran batu bara menghasilkan gas buang yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup, dimana dari pembakarannya dihasilkan gas buang berupa CO₂, NO_x, SO_x, dan impuritis yang notabene merupakan gas yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Hal ini semakin diperparah dengan kebijakan pemerintah Indonesia tentang ketahanan energi. Namun di lain pihak Pemerintah telah berkomitmen untuk merealisasikan penyediaan listrik sebesar 35 ribu Megawatt (MW) dalam jangka waktu 5 tahun (2014-2019), walaupun sampai sekarang masih berjalan. Sepanjang 5 tahun tersebut, pemerintah

bersama PLN dan swasta berencana membangun 109 pembangkit; masing-masing terdiri 35 proyek oleh PLN dengan total kapasitas 10.681 MW dan 74 proyek oleh swasta/*Independent Power Producer* (IPP) dengan total kapasitas 25.904 MW. Untuk mewujudkan rencana tersebut, sejak 2015 sampai sekarang, pemerintah telah merealisasikan proyek listrik paling banyak menggunakan PLTU berbahan baku batu bara muda sebagai pembangkit utamanya. Hal ini disebabkan karena, cadangan batu bara yang dimiliki Indonesia sangat berlimpah, terutama batu bara jenis *low rank coal* yang notabene merupakan kualitas terendah [1]. Sehingga dengan begitu, mengakibatkan potensi pencemaran lingkungan oleh hasil pembakaran batu bara akan semakin meningkat.

Di Nusa Tenggara Barat (NTB) sendiri pada tahun 2020 ini telah memiliki beberapa lokasi pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara. Yang terbesar adalah di daerah Dusun Jeranjang, Kecamatan Gerung, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat. Kapasitas pembangkitan listrik yang sudah berjalan saat ini 75 MW yang terbagi dalam 3 unit pembangkit. Masing-masing pembangkit memiliki kapasitas 25 MW [2, 3]. Sedangkan kualitas batu bara yang digunakan juga merupakan *low rank coal* [4, 5]. Dari hasil penelitian mengatakan bahwa hasil uji *proximate* batu bara jenis *low rank coal* di Indonesia adalah 18,29% untuk *moisture content*, *volatile matter* 38,40%, *ash content* 12,544%, *fixed carbon* 30,76%, dan nilai kalor sebesar 4.739,24 kkal/kg [6]. Selain itu, batu bara jenis *low rank coal* merupakan batu bara dalam kelas batu bara *sub-bituminous* [7]. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa, dengan kandungan batu bara seperti yang telah disebutkan, maka pembakaran batu bara jenis ini dapat menghasilkan limbah udara yang cukup besar. Dari indikasi pencemaran lingkungan tersebut menyebabkan perlu adanya antisipasi berupa perhitungan pola persebaran gas buang hasil pembakaran batu bara, sehingga masyarakat dan pemerintah dapat memutuskan langkah yang tepat untuk mengantisipasi keracunan gas buang. Salah satunya dengan modifikasi cerobong gas buang ataupun jarak pemukiman yang aman untuk masyarakat. Selain itu juga, dengan adanya antisipasi tersebut, masyarakat selain aman juga terpenuhi dalam hal energi dan ekonomi dari pembangkitan listrik PLTU batu bara tersebut [8]. Ada beberapa metode yang digunakan untuk mengetahui pola persebaran gas buang hasil dari pembakaran batu bara. Salah satunya adalah dengan menggunakan *Gaussian Model*, dan dengan pendekatan model *Plume* dan *Puff* [9]. Model ini dapat memprediksi persebaran polutan (X_{max}) pada jarak tertentu sehingga kita dapat mengetahui konsentrasi polutan di permukaan tanah (*Ground Level Concentration Maximum*) [10]. Selain itu, telah banyak penelitian tentang gas buang hasil pembakaran batu bara. Salah satu penelitian menyatakan tentang simulasi persebaran gas buang dan partikulat dari cerobong asap pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Jepara yang menggunakan bahan bakar batu bara [8]. Dia menggunakan model *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan memvariasikan kecepatan udara. Dari hasil penelitiannya menyatakan bahwa, dari kontur penyebaran gas buang yang diperoleh pada proses simulasi tanpa menggunakan cerobong pembuangan menghasilkan dengan kecepatan udara yang rendah, gas buang lebih pekat dan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kecepatan udara, namun nilai maksimum konsentrasi gas buang sama di setiap variasi kecepatan udara. Selain itu, penelitian lain juga menggunakan model dispersi Gauss untuk memprediksi jarak pada arah penyebaran polutan yang diberi simbol X_{max} dalam mengetahui kadar konsentrasi polutan maksimum di permukaan tanah (*Ground Level Maximum Concentration*) [11].

Sehingga, pada penelitian ini akan dilakukan simulasi perhitungan terhadap potensi persebaran gas buang SO_2 dan CO_2 serta kemungkinan persen jumlah kematian yang disebabkan (*Fatality Percentage*) PLTU batu bara Jeranjang di Dusun Jeranjang, Kecamatan Gerung, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat, dengan kapasitas pembangkitan listrik sebesar 75 MW. Perhitungan dilakukan menggunakan pendekatan *Gaussian Model* yaitu dengan *puff dispersion model*. Batu bara yang digunakan adalah batu bara dengan jenis *low rank coal*. Penelitian dilakukan dengan melakukan variasi jarak dispersi terhadap konsentrasi gas dan *fatality percentage* setiap detik.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan cara studi pustaka serta peninjauan langsung ke lokasi. Setelah didapatkan data dilakukan proses perhitungan simulasi untuk mengetahui jumlah dispersi gas SO_2 dan CO_2 serta jumlah kemungkinan *fatality percentage* yang dihasilkan pada variasi jarak dispersi.

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan selama Juli-Desember 2019. Lokasi penelitian adalah di PLTU Jeranjang, Dusun Jeranjang, Kecamatan Gerung, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat, Indonesia.

Lokasi dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian ini dilakukan pada malam hari, dengan dispersi terjadi pada keadaan cuaca sedikit mendung. Malam hari diambil sebab konsentrasi persebaran gas buang pada malam hari jauh lebih besar daripada siang hari [12]. Hal ini disebabkan karena tidak ada pengaruh sinar ultraviolet matahari [13].



Gambar 1. Lokasi PLTU Jeranjang, Dusun Jeranjang, Lombok Barat, NTB

2.2. Prosedur

Penelitian diawali dengan pengecekan langsung terhadap jumlah batu bara yang digunakan per tahunnya serta tinggi cerobong asap PLTU Jeranjang. Selain itu dilakukan studi pustaka terhadap kandungan *ultimate* dan *proximate* batu bara yang digunakan sebagai bahan bakar di PLTU Jeranjang. Hasil uji *ultimate* dan *proximate* dapat dilihat pada Tabel 1 [6]. Sedangkan kecepatan angin dapat dilihat di data yang telah dirilis selama tahun 2019 di *website* BMKG, yaitu rata-rata kecepatan angin terendah dan tertinggi yang dihasilkan selama tahun 2019.

Tabel 1. Hasil Uji *Ultimate* dan *Proximate* Batu Bara *Low Rank Coal* PLTU Batu bara Indonesia

<i>Proximate Analysis</i>	Persen Berat (%)	<i>Ultimate Analysis</i>	Persen 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

1) Metode Perhitungan Konsentrasi Dispersi Gas Buang PLTU Batu Bara (CO_2 dan SO_2)

Setelah didapatkan data-data di atas, dilakukan perhitungan konsentrasi dispersi gas SO_2 dan CO_2 yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada PLTU. Konsentrasi dispersi dihitung berdasarkan perbedaan jarak yang ditempuh setelah keluar dari cerobong asap pembuangan gas PLTU. Persamaan yang digunakan untuk menghitungnya adalah persamaan jenis *Puff Dispersion* pada *Gaussian Model* [10]. Persamaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 1.

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

Pada Persamaan 1, C (kg/m^3) merupakan konsentrasi yang terdispersi terhadap jarak dan waktu. Q_m (kg) merupakan jumlah gas yang keluar dari cerobong asap persatuan waktu (dalam detik). Nilai Q_m untuk gas SO_2 maupun CO_2 pada PLTU Jeranjang dengan kapasitas 75 MW dapat dicari dengan menggunakan persamaan reaksi pembakaran. Reaksi pembakaran dapat dilihat pada Persamaan 2 untuk SO_2 dan Persamaan 3 untuk CO_2 [14, 15]. u (m/s) sendiri merupakan kecepatan angin pada lokasi PLTU. t (detik) merupakan waktu persebaran gas. Sedangkan untuk σ_x , σ_y , dan σ_z (m) adalah parameter dispersi. Parameter dispersi didapatkan melalui kecepatan angin rata-rata di lokasi pengambilan sampel serta keadaan cuaca saat pengambilan sampel. Sedangkan H_r adalah tinggi cerobong asap pembuangan gas SO_2 dan CO_2 . Tinggi cerobong untuk PLTU Jeranjang adalah ± 200 meter.



Dari data BMKG, kecepatan angin di sekitar lokasi PLTU Jeranjang selama tahun 2019 adalah rata-rata sebesar 2,1 m/s. Asumsi pada penelitian ini adalah kecepatan angin rata-rata dianggap konstan secara terus-menerus dan terus mengarah pada titik uji. Sedangkan keadaan cuaca yang digunakan adalah sedikit mendung dan diasumsikan cenderung tetap. Selain itu diasumsikan bahwa cuaca dianggap konstan pada saat perhitungan simulasi. Sehingga dengan data tersebut didapatkan kelas stabilitas Pasquill-Gifford pada nilai E sehingga didapatkan Persamaan σ_x dan σ_y yang dijabarkan pada Persamaan 4, sedangkan σ_z dapat dilihat pada Persamaan 5.

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

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

X adalah jarak dispersi gas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dihitung dari mulut cerobong asap dengan satuan meter (m).

2) Metode Perhitungan Fatality Percentage oleh Gas Buang PLTU Batu Bara (CO_2 dan SO_2)

Setelah ditemukan konsentrasi dispersi, dilakukan perhitungan kemungkinan jumlah *fatality percentage*. *Fatality Percentage* merupakan jumlah persentase penduduk yang meninggal dalam satu populasi tersebut yang disebabkan karena konsentrasi gas buang yang dihasilkan. *Fatality Percentage* dirumuskan dengan Persamaan 6.

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

Dimana P adalah *fatality percentage* (%) setiap jarak dispersi gas buang PLTU batu bara. Sedangkan Y merupakan *Probit variabel* yang merupakan fungsi dari konsentrasi gas buang dan waktu pemaparan. Persamaan Y dijabarkan pada Persamaan 7.

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

Dimana C_{ppm} merupakan konsentrasi yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan Persamaan 1 yang telah dirubah dari satuan kg/m^3 menjadi satuan ppm dengan menggunakan Persamaan 8. Sedangkan t adalah waktu dispersi (dalam detik). Waktu dispersi gas buang didapatkan dari perkalian antara kecepatan angin rata-rata dan jarak dispersi.

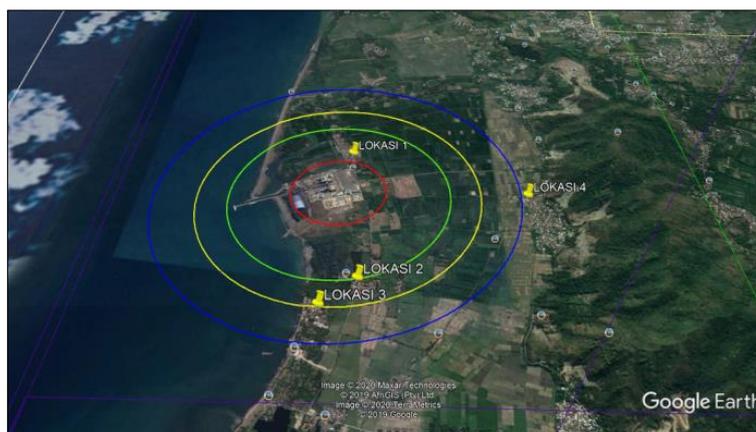
$$C_{ppm} = nRT/p \quad (8)$$

Dimana pada Persamaan 8, n merupakan molekul dari gas buang dengan satuan mol, R adalah tetapan gas ideal dengan satuan L.atm/mol.K, T adalah suhu dalam satuan kelvin, dan P adalah tekanan pada satuan atm. Asumsi yang diambil pada Persamaan ini adalah gas SO_2 dan CO_2 dalam keadaan ideal (1 atm, 25 °C).

Pada bagian akhir dilakukan simulasi perhitungan konsentrasi dispersi gas SO_2 dan CO_2 pada setiap perbedaan jarak dispersi. Setelah itu dilakukan juga perhitungan *fatality percentage* yang disebabkan oleh konsentrasi dispersi gas SO_2 dan CO_2 pada setiap jarak dispersi gas. Dilakukan juga prediksi secara nyata terhadap konsentrasi dispersi dan *fatality percentage* untuk empat titik lokasi pemukiman yang terdekat dengan PLTU Jeranjang. Lokasi yang ditargetkan dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa ada empat lokasi terdekat. Dimana lokasi yang terdekat ditandai dengan jarak ukuran menggunakan lingkaran warna merah. Jarak lokasi 1 adalah 2.031 meter. Jarak untuk lokasi 2 ditandai dengan lingkaran berwarna hijau dengan jarak dari PLTU sejauh 4.714 meter. Untuk lokasi 3 ditandai dengan lingkaran kuning. Jarak lokasi 3 dengan PLTU Jeranjang adalah 6.030 meter. Dan yang terakhir adalah lokasi 4 yang ditandai dengan pengukuran jarak menggunakan lingkaran berwarna biru. Jarak lokasi 4 dengan PLTU Jeranjang adalah 7.813 meter. Selain itu dilakukan pengecekan konsentrasi CO_2 dan SO_2 menggunakan *gas test* jenis Portable Combustion Gas Analyzer IMR-1400/14195 pada jarak terjauh dari cerobong asap (50.000 meter) dan juga pada

jarak yang telah ditentukan seperti yang telah dijelaskan di atas. Hal ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan dari hasil simulasi.



Gambar 2. Lokasi Pemukiman dengan Jarak Terdekat dari PLTU Jeranjang

3. Hasil dan Pembahasan

Pada Tabel 2, kecepatan angin rata-rata didapatkan dari data BMKG diambil dari pusat data BMKG yang terdekat dengan lokasi PLTU Jeranjang, Lombok Barat. Stasiun terdekat dengan lokasi PLTU Jeranjang adalah BMKG stasiun Lombok Barat. Sedangkan untuk mengetahui massa SO_2 yang terbentuk dari hasil pembakaran batu bara PLTU Jeranjang dapat dihitung dengan menggunakan reaksi pembakaran sulfur pada batu bara yang dijabarkan pada Persamaan 2. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui massa CO_2 diketahui dengan menggunakan reaksi pembakaran karbon pada batu bara yang dapat menghasilkan gas CO_2 . Dan dijabarkan pada Persamaan 3. Untuk menghitung nilai konsentrasi dengan satuan ppm dapat digunakan Persamaan 8 yaitu persamaan *Boyle-Gaylussac*. Sedangkan dari Tabel 3 terlihat hasil uji gas menggunakan gas test memperlihatkan tidak ada penambahan signifikan terhadap kadar CO_2 maupun SO_2 di udara. Hal ini dapat diasumsikan bahwa tidak ada penambahan signifikan dari hasil cerobong asap PLTU batu bara terhadap kadar CO_2 dan SO_2 di udara bebas. Hal ini dikuatkan dengan perbandingan konsentrasi gas pada jarak 50.000 meter dari cerobong dengan nilai yang hampir sama dengan jarak yang telah ditentukan dari titik cerobong. Di lain pihak, diketahui ambang batas CO_2 di udara adalah 300-600 ppm. Sedangkan kadar normal SO_2 di udara bersih adalah 0,03 ppm.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Data Awal Konsentrasi Dispersi SO_2 dan CO_2

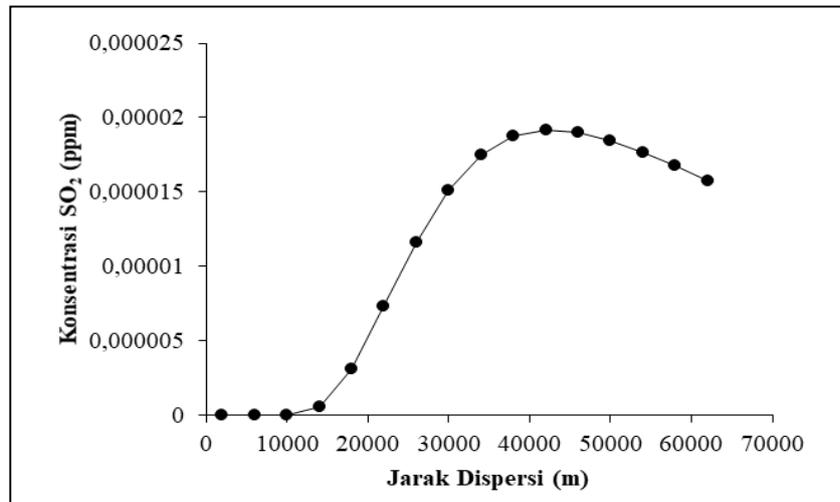
Item Perhitungan	Hasil
Jumlah batu bara yang dibakar untuk menghasilkan 75 MW listrik, ton/tahun	300.000
Kecepatan angin rata-rata selama 2019, u (m/detik)	2,1
Tinggi cerobong asap pembuangan PLTU, Hr (m)	200
Mr C (g/mol)	12
Mr S (g/mol)	32
Mr CO_2 (g/mol)	44
Mr SO_2 (g/mol)	64
Suhu, T (Kelvin)	298
Tekanan, P (atm)	1
Tetapan Gas, R (L.atm/mol.K)	0,08205
Qm SO_2 , massa SO_2 yang terbentuk dari pembakaran (kg/detik)	0,145
Qm CO_2 , massa CO_2 yang terbentuk dari pembakaran (kg/detik)	12,378

Tabel 3. Hasil Uji lapangan Dispersi SO_2 dan CO_2

Lokasi dari Cerobong (meter)	Kadar Gas (ppm)	
	SO_2	CO_2
50.000	0,000052	300
2.031	0,000053	310
4.714	0,000047	309
6.030	0,000059	311
7.813	0,000054	309

3.1 Hasil Simulasi Perhitungan Konsentrasi Dispersi dan *Fatality Percentage* dari Gas SO₂ Terhadap Perbedaan Jarak Dispersi PLTU Jeranjang

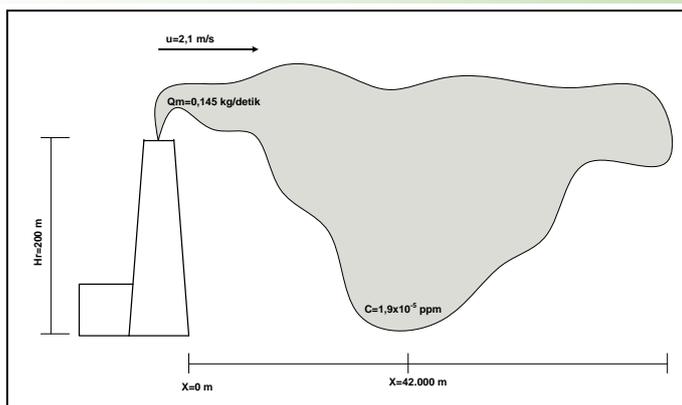
Simulasi perhitungan terhadap konsentrasi dispersi gas SO₂ terhadap perbedaan jarak dispersi dapat dilihat pada Gambar 3.



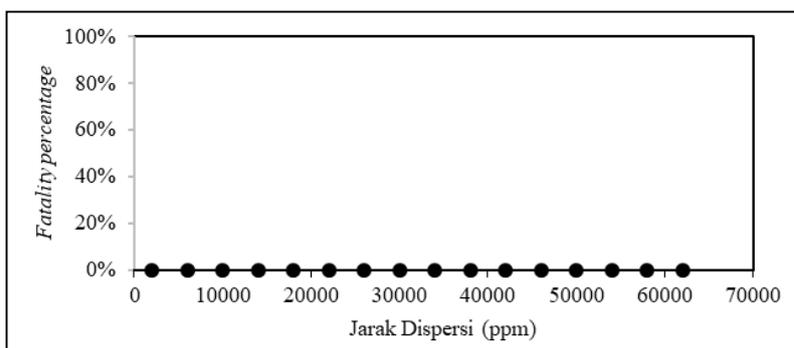
Gambar 3. Hasil Simulasi Konsentrasi Dispersi Gas SO₂ Terhadap Jarak Dispersi Setiap Detiknya

Dengan massa SO₂ yang keluar dari cerobong asap PLTU batu bara Jeranjang sebesar 0,145 kg/detik, hasil persebaran gas dapat dilihat pada Gambar 3. Dari hasil dapat dilihat bahwa dari jarak 2.000 hingga 42.000 meter, konsentrasi gas SO₂ yang dapat mengenai permukaan tanah meningkat dari 1×10^{-45} ppm hingga $1,9 \times 10^{-5}$ ppm. Hal ini disebabkan karena sumber pelepasan SO₂ berada di ketinggian (Hr) 200 meter di atas permukaan tanah. Sehingga, dengan adanya kecepatan angin sebesar 2,1 m/s mengakibatkan gas SO₂ terbawa angin dan tidak banyak SO₂ yang berhasil menyentuh tanah pada jarak terdekat dari cerobong. Sedangkan pada jarak 46.000 meter hingga seterusnya, konsentrasi gas SO₂ mengalami penurunan konsentrasi hingga mencapai 0 ppm pada jarak tertentu. Hal ini disebabkan karena dengan terdispersinya gas SO₂ di lingkungan secara terus-menerus, menyebabkan konsentrasi dari gas SO₂ akan terus berkurang bahkan habis dengan bertambahnya jarak dispersi. Gambar visual dari hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4. Hal ini sejalan dengan yang dihasilkan oleh [12]. Pada perhitungan dispersi gas SO₂ pada pabrik semen. Semakin besar jarak dispersi SO₂, konsentrasi SO₂ terdispersi semakin besar, dan menurun setelah konsentrasi maksimum tercapai, hingga konsentrasi SO₂ menunjukkan angka 0 ppm atau habis terdispersi. Sedangkan untuk hasil perhitungan *fatality percentage* yang disebabkan dispersi gas SO₂ PLTU Jeranjang dapat dilihat pada Gambar 5.

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa *fatality percentage* atau warga yang meninggal karena persebaran SO₂ dari jarak 2.000 meter hingga 62.000 menggunakan perhitungan *Gaussian Model* adalah 0%. Hal ini disebabkan karena faktor jumlah gas SO₂ yang tersipersi ke lingkungan. Dimana jumlah dari gas SO₂ yang terdispersi setiap detiknya sangat sedikit, sehingga perhitungan *fatality percentage* memberikan angka 0%. Sedangkan nilai TLV dari SO₂ yang diambil dari data MSDS adalah 2 ppm. Dimana TLV didalam ACGIH didefinisikan sebagai Nilai Ambang Batas yaitu konsentrasi di udara bahan kimia yang merepresentasikan kondisi dimana hampir seluruh pekerja dapat terpajan berulang kali, hari demi hari pada keseluruhan waktu kerja dalam kehidupannya, tanpa timbulnya efek kesehatan yang merugikan. Sehingga dengan konsentrasi paparan per detiknya seperti hasil perhitungan, manusia masih dapat bertahan, sebab tidak melebihi dari ambang batas nilai TLV untuk gas SO₂, atau bahkan tergolong sangat sedikit.



Gambar 4. Bentuk Visual dari Simulasi Perhitungan Gas SO₂ yang Terdispersi Setiap Detiknya ke Lingkungan



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

Dengan mengacu pada hasil perhitungan simulasi di atas, potensi konsentrasi dispersi dan potensi *fatality percentage* yang disebabkan karena gas SO₂ terhadap penduduk di sekitar PLTU Jeranjang dapat dilihat pada Tabel 4. Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa, pada 4 titik lokasi jarak terdekat pemukiman dari PLTU Jeranjang, dengan mengacu pada perhitungan simulasi dan nilai ambang batas TLV dari MSDS menunjukkan bahwa, penduduk di sekitar PLTU Jeranjang aman dari gas SO₂.

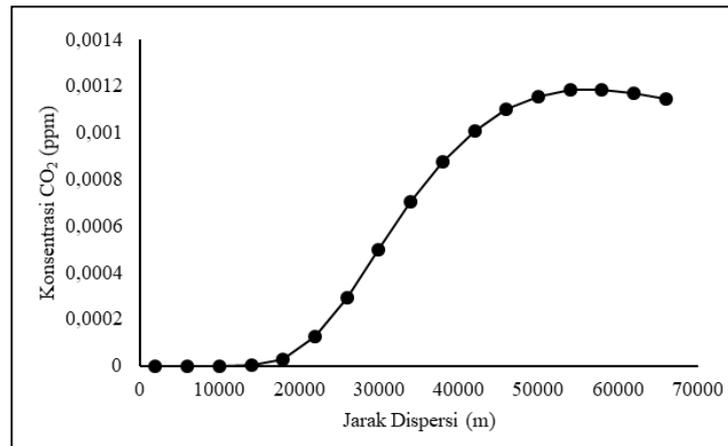
Tabel 4. Data Dispersi Gas SO₂ dan *Fatality Percentage* dari PLTU Jeranjang ke Pemukiman Warga Sekitar

Lokasi	Jarak Lokasi ke PLTU	Konsentrasi SO ₂ Terdispersi	<i>Fatality Percentage</i> (%)
Lokasi 1	2.031	$7,516 \times 10^{-45}$	0
Lokasi 2	4.714	$8,462 \times 10^{-17}$	0
Lokasi 3	6.030	$4,483 \times 10^{-13}$	0
Lokasi 4	7.813	$2,488 \times 10^{-10}$	0

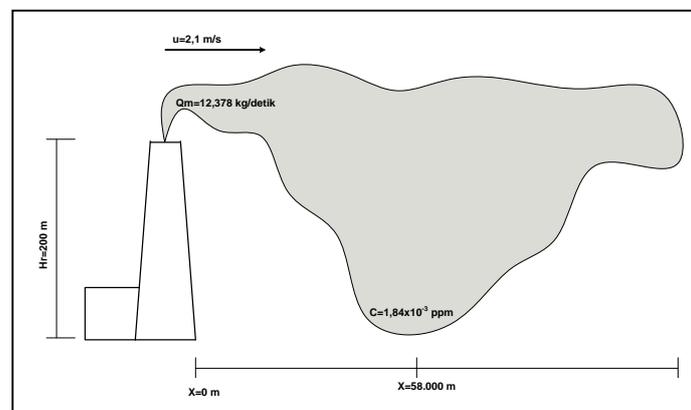
2.3. Hasil Simulasi Perhitungan Konsentrasi Dispersi dan *Fatality Percentage* dari Gas CO₂ Terhadap Perbedaan Jarak Dispersi PLTU Jeranjang

Hasil simulasi perhitungan terhadap potensi konsentrasi dispersi gas CO₂ terhadap perbedaan jarak dispersi setiap detiknya dapat dilihat pada Gambar 6. Dengan massa CO₂ yang keluar dari cerobong asap PLTU batu bara Jeranjang sebesar 12,378 kg/detik, menghasilkan persebaran seperti pada Gambar 6. Dari hasil dapat dilihat bahwa, dari jarak 2.000 meter hingga 58.000 meter, konsentrasi gas CO₂ yang dapat mengenai permukaan tanah meningkat dari $2,7 \times 10^{-65}$ ppm hingga 0,00184 ppm. Hal ini disebabkan karena, sumber pelepasan CO₂ berada di ketinggian (Hr) 200 meter di atas permukaan tanah. Sehingga, dengan adanya kecepatan angin sebesar 2,1 m/s mengakibatkan gas CO₂ terbawa angin dan tidak banyak CO₂ yang berhasil menyentuh tanah pada jarak terdekat dari cerobong. Sedangkan pada jarak 62.000 meter hingga seterusnya, konsentrasi gas CO₂ mengalami penurunan konsentrasi hingga mencapai 0 ppm. Hal ini disebabkan karena dengan terdispersinya gas CO₂ di lingkungan secara terus menerus, menyebabkan konsentrasi dari gas CO₂ akan terus berkurang bahkan habis dengan bertambahnya jarak dispersi. Gambaran visual dari hasil perhitungan dispersi CO₂ ke lingkungan dapat dilihat pada Gambar 7. Hal ini sejalan dengan apa yang dihasilkan oleh [16]. Pada perhitungan dispersi gas CO₂ menggunakan *Gaussian Model* dengan pendekatan *plume air dispersion*

model pada pembakaran batu bara untuk PLTU di daerah Nova Scotia, Canada, dimana semakin besar jarak dispersi CO₂, konsentrasi CO₂ terdispersi semakin besar, dan menurun setelah konsentrasi maksimum tercapai, hingga konsentrasi CO₂ menunjukkan angka 0 ppm atau habis terdispersi.



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

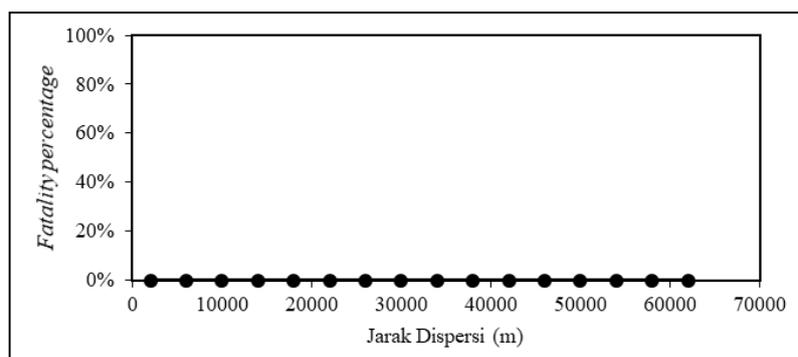


Gambar 7. Bentuk Visual dari Simulasi Perhitungan Gas CO₂ yang Terdispersi Setiap Detiknya ke Lingkungan

Sedangkan untuk hasil perhitungan *fatalty percentage* yang disebabkan dispersi gas CO₂ PLTU Jeranjang dapat dilihat pada Gambar 8. Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa, kemungkinan jumlah persentase masyarakat yang meninggal karena persebaran CO₂ dari jarak 2.000 meter hingga 66.000 meter dengan mengacu pada *Gaussian Model* adalah 0%. Hal ini disebabkan karena pengaruh jumlah gas CO₂ yang terdispersi ke lingkungan. Dimana jumlah dari gas CO₂ yang terdispersi setiap detiknya sangat sedikit, sehingga perhitungan *fatalty percentage* memberikan angka 0%. Sedangkan nilai TLV dari CO₂ yang diambil dari data MSDS adalah 5.000 ppm. Dengan mengacu pada hasil perhitungan simulasi di atas, potensi konsentrasi dispersi dan potensi *fatalty percentage* yang disebabkan karena gas CO₂ terhadap penduduk di sekitar PLTU Jeranjang dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa, pada 4 titik lokasi jarak terdekat pemukiman dari PLTU Jeranjang, dengan mengacu pada perhitungan dan nilai ambang batas TLV dari MSDS, penduduk di sekitar PLTU aman dari gas CO₂.

Tabel 5. Data Dispersi Gas CO₂ dan *Fatalty Percentage* dari PLTU Jeranjang ke Pemukiman Warga Sekitar

Lokasi	Jarak Lokasi ke PLTU	Konsentrasi CO ₂ Terdispersi	%Fatalty (%)
Lokasi 1	2.031	$6,572 \times 10^{-62}$	0
Lokasi 2	4.714	$4,095 \times 10^{-21}$	0
Lokasi 3	6.030	$1,236 \times 10^{-15}$	0
Lokasi 4	7.813	$1,469 \times 10^{-11}$	0



Gambar 8. Hasil Perhitungan *Fatality Percentage* pada Setiap Jarak Dispersi Gas CO₂

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dengan menggunakan *Gaussian Model* dengan metode *puff* didapatkan kesimpulan bahwa terjadi peningkatan konsentrasi dispersi gas SO₂ hasil pembakaran PLTU batu bara Jeranjang setiap detiknya dengan peningkatan jarak, dan berkurang hingga konsentrasi SO₂ habis terdispersi setelah menempuh jarak tertentu. Konsentrasi SO₂ meningkat dari 1×10^{-45} ppm hingga $1,9 \times 10^{-5}$ ppm dari jarak 2.000 hingga 42.000 meter, kemudian menurun hingga konsentrasi bernilai 0 ppm. Sedangkan *fatality percentage* yang dihasilkan dari jarak 2.000 hingga 62.000 meter bernilai 0%. Sehingga, pada lokasi 1 sampai 4 dapat dikatakan tidak terdampak oleh gas SO₂ serta nilai *fatality percentage* menunjukkan nilai 0%. Untuk konsentrasi dispersi gas CO₂ hasil pembakaran PLTU batu bara Jeranjang setiap detiknya meningkat dengan meningkatnya jarak dispersi. Dimana, konsentrasi CO₂ meningkat dari 2.000 hingga 58.000 meter, yaitu dari $2,7 \times 10^{-65}$ ppm hingga 0,00184 ppm, lalu menurun hingga mencapai angka 0 ppm. Sedangkan *fatality percentage* yang dihasilkan dari penambahan jarak adalah 0%. Sehingga, pada lokasi 1 sampai 4 dapat dikatakan tidak terdampak oleh gas CO₂ serta nilai *fatality percentage* menunjukkan nilai 0%.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT Indonesia Power yang telah mengizinkan dalam hal pengujian dan simulasi *fatality percentage* oleh pembuangan gas SO₂ dan CO₂ di PLTU Batu bara Jeranjang, NTB. Ucapan terimakasih juga untuk PT Indonesia Power yang telah memberikan bantuan penggunaan alat pengecekan gas buang sehingga dapat diketahui pembuangan gas buang SO₂ dan CO₂ di titik uji simulasi secara nyata.

Notasi

C : Konsentrasi gas yang terdispersi ke lingkungan setiap detiknya (kg/m³)
 Q_m : Massa gas buang yang keluar dari cerobong persatuan waktu (kg/detik)
 u : Kecepatan angin rata-rata (m/detik)
 σ_x : Parameter dispersi pada arah persebaran gas (m)
 σ_y : Parameter dispersi pada arah lateral (m)
 σ_z : Parameter dispersi pada arah vertikal (m)
 P : Persen *fatality* (%)
 Y : Variabel probit
 C_{ppm} : Konsentrasi gas yang terdispersi dalam satuan ppm (ppm)
 t : Waktu dispersi berlangsung (detik)
 T : Suhu gas buang (Kelvin)
 n : Molekul gas buang (mol)
 R : Tetapan gas (0,0825 L.atm/mol/K)
 P : Tekanan gas buang (atm)

Daftar Pustaka

- [1] Haryadi, H. (2017). "Analisis swot dalam pengelolaan sumberdaya mineral dan batu bara indonesia serta prospeknya dalam menghadapi masyarakat ekonomi asean (mea)", *Jurnal Teknologi Mineral dan Batu bara*, 13, 1, 73-90J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.

- [2] Suara NTB (2019). Pemprov NTB Desak Percepat Perbaikan PLTU Jeranjang, <https://www.suarantb.com/ntb>
- [3] Fisru, A.A., "Analisis kebutuhan fasilitas sisi laut pelabuhan terminal khusus PLTGU Lombok", *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik*, 2018, 3, 2, 197-206.
- [4] Kabarbisnis (2019). PLTU berbahan bakar batu bara dibangun di Lombok, <https://www.kabarbisnis.com/>
- [5] Yalçın, Erik, Sancar, S., "Relationships between coal-quality and organic-geochemical parameters: A case study of the Hafik coal deposits (Sivas Basin, Turkey)". *International Journal Of Coal Geology*, 105, 2013, 48-59.
- [6] Baqqy, L.A., Arias, G., Rachimoallah, M., & Nenu, T., "Pengeringan low rank coal dengan menggunakan metode pemanasan tanpa kehadiran oksigen". *Jurnal Teknik POMITS*, 2, 2., 2013, F-228-F233.
- [7] Kirk, R.E. and Othmer, D.F., *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed., vol 15-20, The Inter Science Encyclopedia, Inc., New York, 1979.
- [8] Kusman, Utomo, M.S.K.T.S., "Simulasi persebaran gas buang dan partikulat dari cerobong asap pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Jepara menggunakan metode *computational fluid dynamics* dengan variasi kecepatan udara", *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 2017, 5, 2, 106-114.
- [9] Zhu, Y., Tong, Q.L., Yan, X.X., dan Li, Y.X., "Development of an uncertain Gaussian diffusion model with its application to production-emission system management in coal-dependent city-a case study of Yulin", *China. Energy Procedia*, 2019, 158, 3253-3258.
- [10] Crowl, D.A. dan Louvar J.F., "Chemical process safety fundamentals with application: second edition. New Jersey, Prentice Hall PTR, Inc., 2002.
- [11] Apiratikul, R., "Approximation formula for the prediction of downwind distance that found the maximum ground level concentration of air pollution based on the gaussian model", *Jurnal Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2015, 197, 1257-1262.
- [12] Dwi, N.W.S.P., June, T., Yani, M., dan Mujito, "Estimasi pola dispersi debu, SO₂, dan NO_x dari industri semen menggunakan model Gauss yang diintegrasikan dengan Screen3", *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 2018, 8, 1, 109-119.
- [13] Zhu, Y., Yan, X., Chen, C., Li, Y., Huang, G., dan Li, Y., "Analysis of industry-air quality control in ecologically fragile coal-dependent cities by an uncertain Gaussian diffusion Hurwicz criterion model", *Energy Policy*, 2019, 132, 1191-1205.
- [14] Ostrycharczyk, M., Krochmalny, K., Czerep, M., dan Kruczek, H.P., "Examinations of the sulfur emission from pulverized lignite fuel, under pyrolysis and oxy-fuel combustion condition", *Fuel*, 2019, 241, 579-584.
- [15] Amrullah, S., Perdan, I., dan Budiman, A., "Study on Performance and Environmental Impact of Sugarcane-Bagasse Gasification.", Mei 2017. [In Joint International Conference on Science and Technology in The Topic (pp. 121-127). Mataram, Indonesia: University of Mataram, University of Malaya, Indonesia].
- [16] Gibson, M.D., Kundu, S., Satish, M., "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*, 2013, 4, 157-167.