

Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnal.dampak.ft.unand.ac.id/>

## Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129|



Artikel Penelitian

### Simulasi Dispersi dan %Fatality Gas Buang SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> Hasil Pembakaran *Low Rank Coal* PLTU *Independent Power Producer* (IPP) Lombok Timur (50 MW) Menggunakan *Gaussian Model*

Haryandi<sup>1,2</sup>, Shafwan Amrullah<sup>1,2,3</sup>, Nurkholis<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Universitas Teknologi Sumbawa, Jalan Olat Mardas, Batu Alang, Moyo Hulu, Sumbawa, 84371, Indonesia<sup>2</sup>Pusat Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja dan Lingkungan, Universitas Teknologi Sumbawa, Jalan Olat Mardas, Batu Alang, Moyo Hulu, Sumbawa, 84371, Indonesia<sup>3</sup>Rinjani Institute, Selong, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat\*Koresponden: [shafwan.amrullah@uts.ac.id](mailto:shafwan.amrullah@uts.ac.id)

Diterima: 19 Juni 2020

Diperbaiki: 24 Agustus 2020

Disetujui: 28 Oktober 2020

#### A B S T R A C T

The combustion of coal in coal-fired power plants produces air pollution such as SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, and particulates. The Sembelia Coal-Fired Power Plant, located on Sambelia Road, Padak Guar, East Lombok, West Nusa Tenggara, managed by PT. Lombok Energy Dynamic, utilizes 200,000 tons/year of young coal to generate 50 MW of electricity. This poses a significant potential for environmental pollution. This research aims to simulate the potential dispersion of SO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> emissions into the environment and the % fatality resulting from the combustion of coal at the Sembelia Coal-Fired Power Plant using the Gaussian Model. The research was conducted through literature review and direct observations at the Sembelia Coal-Fired Power Plant. Subsequently, the study calculated the simulation potential of SO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations for varying distances. At the end of the study, the potential dispersion and % fatality due to SO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> emissions were also calculated at four points around the power plant. The research findings indicate that the dispersion of SO<sub>2</sub>, with a dispersion mass of 0.096 kg/second, increases from 2,000 to 46,000 meters, ranging from  $6.876 \times 10^{-46}$  ppm to a concentration of  $1.276 \times 10^{-5}$  ppm. Afterward, it decreases to 0 ppm, resulting in a % fatality of 0%. The potential dispersion of CO<sub>2</sub> into the environment, with an exit mass of 8.252 kg/second, increases from 2,000 to 58,000 meters, from a concentration of  $62.47 \times 10^{-63}$  ppm to a concentration of  $7.9 \times 10^{-4}$  ppm. Subsequently, the CO<sub>2</sub> concentration decreases to 0 ppm, with a % fatality of 0%. The dispersion calculations at four points around the Sembelia Coal-Fired Power Plant indicate that it is safe from SO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> dispersion, resulting in a % fatality of 0%.

**Keywords:** Air Pollution, Coal youth, Gaussian Model, Dispersion Potential, %Fatality

#### A B S T R A K

Pembakaran batubara pembangkit listrik tenaga batubara menghasilkan polusi udara seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> dan juga Partikulat. PLTU Sembelia yang berada di Jalan Raya Sambelia, Padak Guar, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat Sambelia yang dikelola oleh PT. Lombok Energy Dinamic menggunakan 200.000 ton/tahun batubara muda untuk menghasilkan 50 MW listrik. Ini bisa menjadi potensi besar pencemaran lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan potensi dispersi gas buang SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> ke lingkungan serta %fatality akibat pembakaran batubara PLTU Sembelia menggunakan *Gaussian-Model*. Penelitian ini dilakukan dengan studi literatur dan observasi langsung ke PLTU Sembelia. Setelah itu, penelitian ini dilakukan dengan menghitung potensi simulasi konsentrasi SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> untuk variabel jarak. Pada akhir penelitian, perhitungan potensi dispersi dan %fatality oleh gas SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> juga dihitung pada empat titik di sekitar pembangkit listrik. Hasil penelitian ini adalah dispersi SO<sub>2</sub> dengan massa dispersi 0,096 kg/detik dari jarak 2.000 hingga 46.000 m meningkat dari  $6,876 \times 10^{-46}$  ppm hingga konsentrasi  $1,276 \times 10^{-5}$  ppm. Setelah itu turun menjadi 0 ppm. % Fatality yang dihasilkan adalah 0%. Dan potensi dispersi CO<sub>2</sub> ke lingkungan dengan massa keluar 8,252 kg/detik meningkat pada jarak 2.000 hingga 58.000 m, dari konsentrasi  $62,47 \times 10^{-63}$  ppm hingga konsentrasi  $7,9 \times 10^{-4}$  ppm. Selanjutnya konsentrasi CO<sub>2</sub> berkurang menjadi 0 ppm. %Fatality yang dihasilkan adalah 0%. Untuk perhitungan dispersi di empat titik di sekitar PLTU Sembelia dapat dikatakan aman dari dispersi SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>, dan %fatality yang dihasilkan adalah 0%.

**Kata Kunci:** Polusi udara, batubara muda, Gaussian-Model, Potensi dispersi, % fatality

## 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 untuk membangun 109 pembangkit listrik, dimana masing-masing terbagi dalam 35 proyek PLN sendiri dengan total listrik mencapai 10.681 MW. Selebihnya digarap oleh pihak swasta dengan 74 proyek dengan proyeksi listrik 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) yang paling banyak berbahan bakar batubara. 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  $SO_2$  yang sangat berbahaya bagi lingkungan dan manusia (Haryadi, 2017). Alasan utama penggunaan batubara jenis ini adalah faktor dari ketersediaan yang sangat berlimpah di Indonesia.

Provinsi Nusa Tenggara Barat sendiri pada tahun 2020 ini juga telah memiliki beberapa pembangkit listrik bertenaga uap (PLTU) dengan bahan bakar batubara muda (*low rank coal*) (Kabarbisnis, 2019). Diantaranya adalah PLTU Jeranjang yang berlokasi di 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 (Suara NTB, 2019; Fisru, 2018). 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. PLTU ini dikelola oleh PT. Lombok Energy Dinamic.

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 *anthracite*, *bituminous*, *sub-bituminous* dan *lignite* (Yalcin Erik, 2010). Untuk batubara muda sendiri tergolong batubara *sub-bituminous*. Jenis inilah yang tergolong jenis batubara yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Dari penelitian Baaqy dkk. (2013) menghasilkan hasil uji *proximate* batubara jenis *low rank coal* di Indonesia, dimana dihasilkan komposisi berupa 18,29% *moisture content*, 38,40% *volatile matter*, 12,544% *ash content*, 30,76% *fixed carbon*, dan nilai kalor sebesar 4.739,24 kkal/kg. Dengan kandungan tersebut dapat dikatakan bahwa, batubara jenis ini berpotensi sangat besar terhadap perusakan lingkungan dan ekosistem serta kematian bagi makhluk hidup

Dari beberapa referensi sebelumnya jugatelah diketahui bahwa, pembakaran batubara menghasilkan banyak gas buang yang notabene dapat dikatakan beracun. Gas yang dihasilkan antara lain adalah gas  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$  dan juga terdapat pengotor. Dari semua gas tersebut, dapat dikategorikan sebagai gas yang sangat berbahaya dan beracun bagi lingkungan (Kusman dkk., 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.

Telah banyak metode yang digunakan dalam memprediksi pola persebaran gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran batubara, namun yang paling banyak digunakan adalah model yang dikeluarkan oleh Zhu dkk. (2019). Dimana model yang digunakan dikenal dengan *Gasussian-Model*. Model ini dilakuka dengan pendekatan model *Plume* dan *Puff*. Model tersebut secara detail dikeluarkan oleh Ceowel dan Luchar (2013) yang mengacu pada prediksi persebaran polutan yang diberi symbol  $X_{max}$  pada jarak tertentu sehingga dapat diprediski seberapa besar konsentarsi polutan di atas permukaan tanah

(*Ground Level Concentration Maximum*) atau pemukiman.

Sebelumnya telah banyak penelitian yang menganalisis tentang gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara, misalkan penelitian yang dilakukan oleh Kusuman dkk. (2017) yang melakukan simulasi terhadap persebaran gas buang dan juga partikulat dari hasil pembakaran batubara muda dari cerobong asap PLTU batubara di Jepara, Jawa Tengah, Indonesia. Pada penelitiannya, ia menggunakan model *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan melihat fenomena persebaran pada variasi 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. Akan tetapi nilai maksimum konsentrasi gas buang adalah sama di setiap variasi kecepatan udara. Selain itu, Apiratikul (2015) juga menggunakan model dispersi Gauss untuk memprediksi jarak pada arah penyebaran polutan yang diberi simbol  $X_{max}$ . Hal ini dilakukan untuk mengetahui kadar konsentrasi polutan maksimum yang berada di permukaan tanah (*Ground Level Maximum Concentration*).

Dari pemaparan di atas, penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi proses dispersi gas buang  $SO_2$  dan  $CO_2$  serta kemungkinan 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 Sambelia. 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. Perhitungan dilakukan menggunakan pendekatan *Gaussian Model* yaitu dengan *puff dispersion model*. Batubara yang digunakan adalah batubara dengan jenis *low rank coal*. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan jarak dispersi terhadap konsentrasi gas dan *%fatality* setiap detiknya.

## 2. METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan dengan proses peninjauan langsung ke lokasi serta studi pustaka yang

memanfaatkan data dari BMKG tentang kecepatan angin dan sebagainya. Dari hasil penelitian ini kemudian dilakukan proses perhitungan simulasi sehingga didapatkan simulasi dispersi gas buang  $SO_2$  serta  $CO_2$  dari hasil pembakaran gas buang. Setelah itu dilakukan perhitungan kemungkinan *%fatality* yang terjadi akibat dari pembuangan gas  $SO_2$  dan  $CO_2$  terhadap setiap perbedaan jarak dispersi gas buang tersebut.

### 2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Juli-Desember 2019, dengan lokasi pengambilan data di PLTU dengan kapasitas 50 MW yang terletak di Desa Sembelia yang beralamat di Jalan Raya Sembelia, Padak Guar, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat Sambelia. PLTU ini dikelola oleh PT. Lombok Energy Dinamic. 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 (Dwi dkk., 2018). Hal ini disebabkan karena tidak ada pengaruh sinar ultraviolet matahari (Zhu dkk., 2019).



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

### 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 dapat dilihat dari hasil uji coba yang dilakukan oleh Baqqy dkk. (2013), yaitu yang disajikan pada Tabel 1. Untuk mengetahui kecepatan angin rata-rata dapat diketahui

dari data yang telah dirilis selama tahun 2019 di website BMKG.

**Tabel 1.** Hasil Uji *Ultimate* dan *Proximate* Batubara *Low Rank Coal* PLTU Batubara 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              |

Dari Tabel 1 terlihat data *proximate* dan *ultimate* dari batubara jenis *low rank coal*. Dari data tersebut, dilakukan proses perhitungan konsentrasi dispersi gas SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> yang merupakan gas buang dari hasil pembakaran batubara dari PLTU Sembelia. Sedangkan simulasi konsentrasi dispersi gas buang tersebut dihitung berdasarkan jarak dari sumber pengeluaran gas, sehingga dapat diprediksi konsentrasi yang terdapat pada jarak tertentu. Persamaan yang digunakan untuk menghitung konsentrasi dispersi adalah persamaan jenis *Puff Dispersion* pada *Gaussian Model* (Crowl and Louvar 2002). Persamaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 1.

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

Pada Persamaan 1, C (kg/m<sup>3</sup>) merupakan konsentrasi yang terdispersi terhadap jarak dan waktu. Q<sub>m</sub> (kg) merupakan jumlah gas yang keluar dari cerobong asap persatuan waktu (dalam detik). Nilai Q<sub>m</sub> untuk gas SO<sub>2</sub> maupun CO<sub>2</sub> pada PLTU Sembelia dengan kapasitas 50 MW dapat dicari dengan menggunakan persamaan reaksi pembakaran. Reaksi pembakaran dapat dilihat pada Persamaan 2 untuk SO<sub>2</sub> dan Persamaan 3 untuk CO<sub>2</sub>. u (m/s) sendiri merupakan kecepatan angin pada lokasi PLTU. t (detik) merupakan waktu persebaran gas. Sedangkan untuk σ<sub>x</sub>, σ<sub>y</sub>, dan σ<sub>z</sub> (m) adalah parameter dispersi. Parameter disperi didapatkan melalui kecepatan angin rata-rata di lokasi pengambilan sampel serta keadaan cuaca saat pengambilan sampel. Sedangkan H<sub>r</sub> adalah tinggi cerobong asap pembuangan gas SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Tinggi cerobong untuk PLTU Sembelia adalah ±200 meter.



(Ostrycharczyk dkk., 2019)



(Amrullah dkk., 2017)

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 pada nilai E. Dengan kelas pada kriteria E didapatkan Persamaan σ<sub>x</sub> dan σ<sub>y</sub> yang dijabarkan pada Persamaan 4. Sedangkan σ<sub>z</sub> dapat dilihat pada Persamaan 5.

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

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

Dimana X merupakan symbol dari jarak dispersi gas yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Nilai X dihitung dari mulut cerobong asaphingga titik tertentu dengan satuan meter (m).

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

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

Pada Persamaan 6, P merupakan %*fatality* (%) pada jarak dispersi gas buang PLTU batubara. Sedangkan Y merupakan *Probit variabel* yang merupakan fungsi dari konsentrasi gas buang dan waktu pemaparan. Persamaan Y dijabarkan pada Persamaan 7.

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

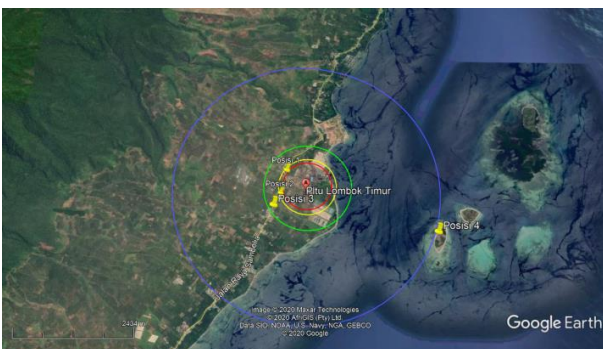
Dimana C<sub>ppm</sub> merupakan konsentrasi yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan Persamaan 1 yang telah dirubah dari satuan kg/m<sup>3</sup> menjadi satuan ppm dengan menggunakan Persamaan 8. Sedangkan t adalah waktu dispersi (dalam detik). Waktu dispersi gas buang didapatkan dari perkalian 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.

Pada bagian akhir dari simulasi ini, dilakukan proses perhitungan konsentrasi dispersi gas buang SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> untuk perbedaan jarak tertentu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui dispersi gas pada tempat-tempat tertentu yang strategis di sekitar PLTU Sembelia. Selain itu juga dilakukan perhitungan %fatality dari hasil dispersi gas buang SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> pada setiap jarak dispersi gas. 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 pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Lokasi Pemukiman dengan Jarak Terdekat dari PLTU Sembelia

Pada Gambar 2 terlihat ada 4 titik lokasi khusus yang dihitung konsentrasi dispersi gas SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> nya. Dimana Lokasi Pertama berjarak 0,55173km dari cerobong asap pembuangan gas PLTU Sembelia. Lokasi Kedua berjarak 0,62412 km dari cerobong asap pembuangan gas PLTU Sembelia. Lokasi Ketiga berjarak 0,99113 km dari cerobong asap pembuangan gas PLTU Sembelia. Sedangkan Lokasi keempat berjarak 3,013 km dari cerobong asap pembuangan gas PLTU Sembelia. Lokasi pertama sampai ke tiga merupakan pemukiman terdekat, sedangkan lokasi keempat merupakan Timpat Wisata Gili Lampu.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil perhitungan awal yang telah didapatkan dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa, jumlah batubara yang digunakan oleh PLTU Sembelia adalah 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. ini didapatkan dari BMKG selama 2019 sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya.

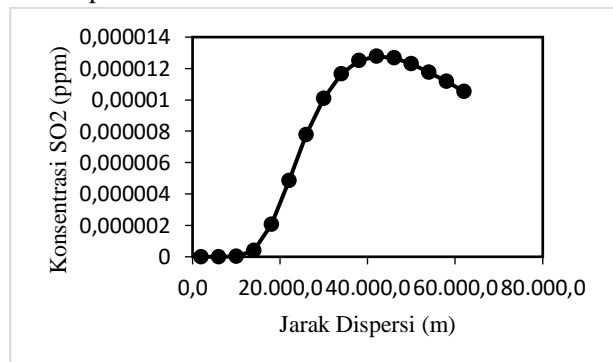
Sedangkan untuk konsentrasi massa SO<sub>2</sub> yang dikeluarkan oleh PLTU Sembelia didapatkan sebanyak 0,096 kg/detik. Sedangkan CO<sub>2</sub> yang didapatkan adalah sebanyak 8,252 kg/detk. Konsentrasi massa yang didapatkan ini dihasilkan dari perhitungan menggunakan persamaan *Boyle-gaylussac*. Dimana 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.

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Data Awal Konsentrasi Dispersi SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>

| Item Perhitungan   | Hasil   |
|--|---------|
| Jumlah batubara yang dibakar untuk menghasilkan 50 MW listrik, ton/tahun                         | 200.000 |
| Kecepatan angin rata-rata selama 2019, u (m/detik)   | 2,5     |
| Tinggi cerobong asap pembuangan PLTU, H <sub>r</sub> (m)   | 200     |
| Mr C (g/mol)   | 12      |
| Mr S (g/mol)   | 32      |
| Mr CO <sub>2</sub> (g/mol)   | 44      |
| Mr SO <sub>2</sub> (g/mol)   | 64      |
| Suhu, T (Kelvin)   | 298     |
| Tekanan, P (atm)   | 1       |
| Tetapan Gas, R (L.atm/mol.K)   | 0,08205 |
| Q <sub>m</sub> SO <sub>2</sub> , massa SO <sub>2</sub> yang terbentuk dari pembakaran (kg/detik) | 0,096   |
| Q <sub>m</sub> CO <sub>2</sub> , massa CO <sub>2</sub> yang terbentuk dari pembakaran (kg/detik) | 8,252   |

**3.1 Hasil Simulasi Perhitungan Konsentrasi Dispersi dan %Fatality dari Gas SO<sub>2</sub> Terhadap Perbedaan Jarak Dispersi PLTU Sembelia**

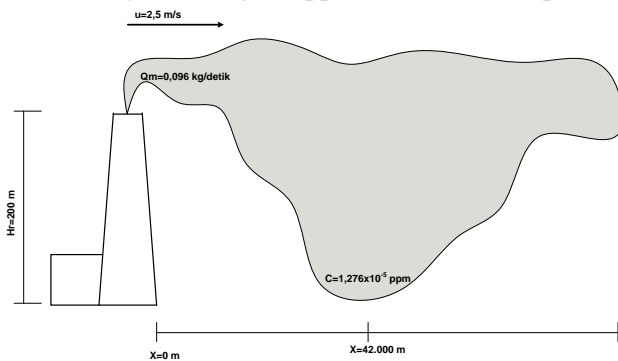
Simulasi perhitungan terhadap konsentrasi dispersi gas SO<sub>2</sub> terhadap perbedaan jarak dispersi dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Hasil Simulasi Konsentrasi Dispersi Gas SO<sub>2</sub> Terhadap Jarak Dispersi Setiap Detiknya

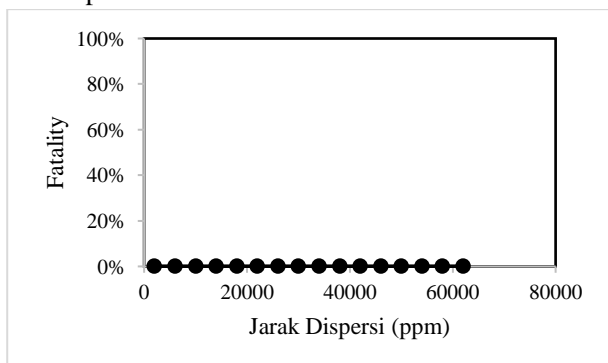
Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa dengan kecepatan pelepasan gas SO<sub>2</sub> dari ceobong pembuangan PLTU

Sembelia sebesar 0,096 kg/detik, kemungkinan terjadinya peningkatan gas SO<sub>2</sub> dari jarak 2.000 hingga 42.000 meter, yaitu dari 6,876x10<sup>-46</sup> ppm hingga konsentrasi 1,276x10<sup>-5</sup> ppm. Hal ini terjadi karena pelepasan gas SO<sub>2</sub> terjadi melalui cerobong asap dengan ketinggian (Hr) 200 meter dari permukaan tanah yang didukung dengan adanya kecepatan angin saat itu adalah 2,5 m/s. Sehingga dengan kondisi seperti itu menyebabkan gas SO<sub>2</sub> tidak akan menyentuh tanah pada jarak terdekat dari cerobong. Namun pada jarak tertentu gas SO<sub>2</sub> terus turun mendekati tanah, yaitu pada jarak 42.000 meter. Setelah itu, gas SO<sub>2</sub> mengalami penurunan konsentrasi dari jarak 42.000 hingga seterusnya hingga mencapai konsentrasi 0 ppm. Hal ini disebabkan karena dengan terdispersinya gas SO<sub>2</sub> di lingkungan secara terus menerus, dan menyebabkan konsentrasi dari gas SO<sub>2</sub> 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 Dwi dkk. (2018). Pada perhitungan dispersi gas SO<sub>2</sub> pada pabrik semen. Semakin besar jarak dispersi SO<sub>2</sub>, konsentrasi SO<sub>2</sub> terdispersi semakin besar, dan menurun setelah konsentrasi maksimum tercapai, hingga konsentrasi SO<sub>2</sub> menunjukkan angka 0 ppm atau habis terdispersi.



**Gambar 4.** Bentuk Visual dari Simulasi Perhitungan Gas SO<sub>2</sub> yang Terdispersi Stiap Detiknya Ke Lingkungan

Sedangkan untuk hasil perhitungan %fatality yang disebabkan dispersi gas SO<sub>2</sub> PLTU Sembelia dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Hasil Perhitungan %Fatality pada Setiap Jarak Dispersi Setiap Detiknya oleh Gas SO<sub>2</sub>

Berdasarkan hasil perhitungan %fatality pada Gambar 5, didapatkan bahwa dari jarak 0 hingga 62.000 meter dari cerobong tidak terjadi kematian, atau %fatality yang didapatkan adalah 0%. Hal ini terjadi karena konsentrasi gas SO<sub>2</sub> yang terbuang ke lingkungan sangat kecil. Jika dilihat berdasarkan nilai TLV dari SO<sub>2</sub> sendiri, ambang batas gas SO<sub>2</sub> yang dapat terpapar oleh manusia adalah 2 ppm, data ini diambil dari data di MSDS gas SO<sub>2</sub> sendiri. Sehingga dengan begitu, dengan konsentrasi seperti pada Gambar 3 menghasilkan %fatality bernilai 0, atau tanpa ada kematian. TLV sendiri pada ACGIH merupakan Nilai Ambang batas dimana konsentrasi di udara untuk bahan kimia tertentu 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. Lebih jelasnya bahwa TLV di dalam ACGIH

TLV didalam ACGIH didefinisikan sebagai Nilai Ambang Batas yaitu konsentrasi di udara bahan kimia Sehingga dengan konsentrasi paparan per detiknya seperti hasil perhitungan, manusia masih dapat bertahan, sebab tidak melebihi dari ambang batas nilai TLV untuk gas SO<sub>2</sub>, atau bahkan tergolong sangat sedikit.

Untuk perhitungan hasil simulasi terhadap potensi konsentrasi dispersi dan potensi %fatality oleh gas buang SO<sub>2</sub> PLTU Sembelia dari empat posisi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

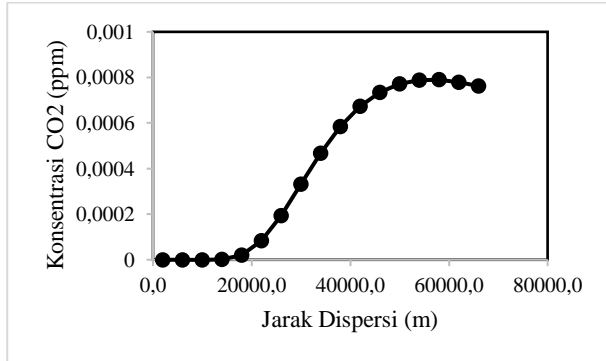
**Tabel 3.** Data Dispersi Gas SO<sub>2</sub> dan %Fatality dari PLTU Sembelia ke Pemukiman Warga Sekitar

| Lokasi   | Jarak lokasi ke PLTU (meter) | Konsentrasi SO <sub>2</sub> terdispersi (ppm) | %Fatality (%) |
|----------|------------------------------|---|---------------|
| Lokasi 1 | 551,73                       | 0   | 0             |
| Lokasi 2 | 624,12                       | 0   | 0             |
| Lokasi 3 | 991,13                       | 0   | 0             |
| Lokasi 4 | 3.013                        | 5,435x10 <sup>-28</sup>                       | 0             |

Berdasarkan Tabel 3, keempat titik lokasi simulasi di sekitar PLTU Sembelia aman dari gas SO<sub>2</sub>. Hal ini didasarkan pada nilai ambang batas TLV dari MSD SO<sub>2</sub>, diaman keempat lokasi tersebut tidak terpapar dengan konsentrasi gas yang besar sehingga manusia juga aman dari paparan, dengan nilai %fatality bernilai 0%.

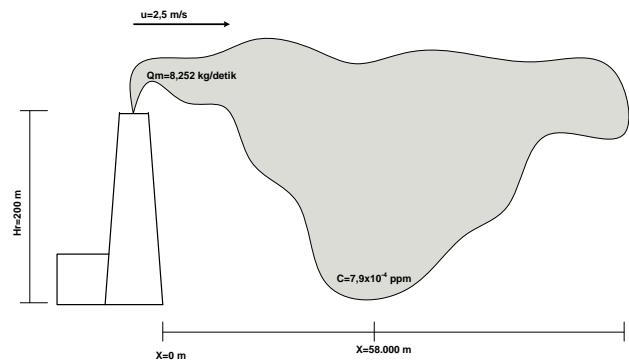
### 3.2 Hasil Simulasi Perhitungan Konsentrasi Dispersi dan %Fatality dari Gas CO<sub>2</sub> Terhadap Perbedaan Jarak Dispersi PLTU Sembelia

Simulasi perhitungan terhadap konsentrasi dispersi gas CO<sub>2</sub> terhadap perbedaan jarak dispersi dapat dilihat pada Gambar 6.



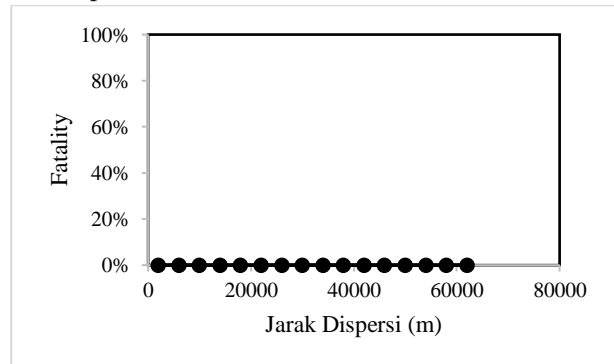
**Gambar 6.** Hasil Simulasi Konsentrasi Dispersi Gas CO<sub>2</sub> terhadap Jarak Dispersi Setiap Detiknya

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa, dengan kecepatan pelepasan gas CO<sub>2</sub> dari cerobong pembuangan PLTU Sembelia sebesar 8,252 kg/detik. Hasil dari simulasi dispersi menghasilkan kemungkinan terjadinya peningkatan gas CO<sub>2</sub> dari jarak 2.000 hingga 58.000 meter, yaitu dari konsentrasi  $62,47 \times 10^{-63}$  ppm hingga  $7,9 \times 10^{-4}$  ppm. Hal ini terjadi karena pelepasan gas CO<sub>2</sub> terjadi melalui cerobong asap dengan ketinggian (Hr) 200 meter dari permukaan tanah yang didukung dengan adanya kecepatan angin adalah 2,5 m/s. Sehingga dengan kondisi seperti itu menyebabkan gas CO<sub>2</sub> tidak akan menyentuh tanah pada jarak terdekat dari cerobong. Namun pada jarak tertentu gas CO<sub>2</sub> terus turun mendekati tanah, yaitu pada jarak 58.000 meter. Setelah itu, gas CO<sub>2</sub> mengalami penurunan konsentrasi dari jarak 58.000 hingga seterusnya hingga mencapai konsentrasi 0 ppm. Hal ini disebabkan karena dengan terdispersinya gas CO<sub>2</sub> di lingkungan secara terus menerus, menyebabkan konsentrasi dari gas CO<sub>2</sub> akan terus berkurang bahkan habis dengan bertambahnya jarak dispersi. Gambar visual dari hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 7. Hal ini sejalan dengan apa yang dihasilkan oleh Gibson dkk. (2013). Pada perhitungan dispersi gas CO<sub>2</sub> menggunakan *Gaussian Model* dengan pendekatan *plume air dispersion model* pada pembakaran batubara untuk PLTU di daerah Nova Scotia, Canada, dimana semakin besar jarak dispersi CO<sub>2</sub>, konsentrasi CO<sub>2</sub> terdispersi semakin besar, dan menurun setelah konsentrasi maksimum tercapai, hingga konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan angka 0 ppm atau habis terdispersi.



**Gambar 7.** Bentuk Visual dari Simulasi Perhitungan Gas CO<sub>2</sub> yang Terdispersi Setiap Detiknya ke Lingkungan

Sedangkan untuk hasil perhitungan %fatality yang disebabkan dispersi gas CO<sub>2</sub> PLTU Sembelia dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Hasil Perhitungan %Fatality pada Setiap Jarak Dispersi Gas CO<sub>2</sub>

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa, %fatality yang disebabkan oleh persebaran gas CO<sub>2</sub> dari jarak 0 hingga 66.000 meter bernilai 0%. Artinya bahwa, tidak terjadi kematian satupun yang disebabkan oleh gas CO<sub>2</sub> yang keluar dari PLTU Sembelia yang merupakan hasil dari pembakaran batubara. Secara spesifik, hal ini terjadi karena jumlah gas CO<sub>2</sub> yang terdispersi ke lingkungan masih dalam ambang batas aman, dan juga dapat dikatakan dispersi gas CO<sub>2</sub> juga sangat sedikit. Dari kajian tersebut, dengan mengacu pada nilai TLV gas CO<sub>2</sub> yang diambil dari MSDS sebesar 5.000 ppm, dimana nilai ini sangat jauh dari hasil perhitungan simulasi pada penelitian ini.

Dengan mengacu pada hasil perhitungan simulasi di atas, potensi konsentrasi dispersi dan potensi %fatality yang disebabkan karena gas CO<sub>2</sub> pada empat titik yang telah ditentukan untuk daerah sekitar PLTU Sembelia dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Data Dispersi Gas CO<sub>2</sub> dan %Fatality dari PLTU Sembelia Ke Pemukiman Warga Sekitar

| Lokasi   | Jarak Lokasi ke PLTU (meter) | Konsentrasi CO <sub>2</sub> terdispersi (ppm) | %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 <sup>-36</sup>                        | 0             |

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa, pada 4 titik lokasi jarak terdekat pemukiman dari PLTU Sembelia, dengan mengacu pada perhitungan dan nilai ambang batas TLV dari MSDS, penduduk di sekitar PLTU aman dari gas CO<sub>2</sub>.

#### 4. KESIMPULAN

Dengan menggunakan model dispersi Gasussian-Model, dengan metode puff, dapat disimpulkan bahwa, terjadi trend peningkatan konsentrasi dispersi SO<sub>2</sub> oleh pembakara batubara muda PLTU Sembelia setiap detiknya ketika jarak dispersi ditambahkan. Setelah itu berkurang secara terus menerus hingga konsentrasi mencapai 0 ppm pada jarak tertentu. Konsentrasi SO<sub>2</sub> yang dihasilkan meningkat dari jarak 2.000 hingga 42.000 meter, yaitu dari konsentrasi 6,876x10<sup>-46</sup> ppm hingga konsentrasi 1,276x10<sup>-5</sup> ppm. Setelah itu terjadi penurunan hingga konsentrasi bernilai 0 ppm. Sedangkan %fatality yang dihasilkan dari jarak 2.000 hingga 62.000 meter bernilai 0%. Sehingga, pada lokasi 1 sampai 4 dapat dikatakan tidak terpengaruh oleh gas SO<sub>2</sub> serta nilai %fatality menunjukkan nilai 0%.

Selain itu, terjadi trend peningkatan konsentrasi dispersi CO<sub>2</sub> oleh pembakara batubara muda PLTU Sembelia setiap detiknya ketika jarak dispersi ditambahkan. Namun berkurang secara terus menerus hingga konsentrasi mencapai 0 ppm pada jarak tertentu. Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan meningkat dari jarak 2.000 hingga 58.000 meter dengan peningkatan konsentrasi dari 62,47x10<sup>-63</sup> ppm hingga konsentrasi 7,9x10<sup>-4</sup>ppm, kemudian menurun hingga konsentrasi bernilai 0 ppm. Sedangkan %fatality yang dihasilkan dari jarak 2.000 hingga 62.000 meter bernilai 0%. Sehingga, pada lokasi 1 sampai 4 dapat dikatakan tidak terdampak oleh gas CO<sub>2</sub> serta nilai %fatality menunjukkan nilai 0%.

#### DAFTAR PUSTAKA

Amrullah, S., Perdan, I., & Budiman, A. (2017). Study on Performance and Environmental Impact of Sugarcane-Bagasse Gasification. In Joint

International Conference on Science and Technology in The Topic (pp. 121-127). Mataram, Indonesia: University of Mataram, University of Malaya, Indonesia.

- 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. *Jurnal Procedia Social and Behavioral Sciences*, 197, 1257-1262.
- Baqyy, L.A., Arias, G., Rachimoellah, M., & Nenu, T. (2013). Pengeringan low rank coal dengan menggunakan metode pemanasan tanpa kehadiran oksigen. *Jurnal Teknik POMITS*, 2, 2., F-228-F233.
- Crowl, D.A. & Louvar J.F. (2002). *Chemical process safety fundamentals with application: second edition*. New Jersey, Prentice Hall PTR, Inc.
- Dwi, N.W.S.P., June, T., Yani, M., & Mujito (2018). Estimasi pola dispersi debu, SO<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub> dari industri semen menggunakan model Gauss yang diintegrasikan dengan Screen3. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 8, 1, 109-119.
- Fisu, A.A. (2018). Analisis kebutuhan fasilitas sisi laut pelabuhan terminal khusus PLTGU Lombok. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik*, 3, 2, 197-206.
- Gibson, M.D., Kundu, S., Satish, M. (2013). Dispersion model evaluation of PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> from point and major line sources in Nova Scotia, Canada using AERMOD Gaussian plume air dispersion model. *Atmospheric Pollution Research*, 4, 157-167.
- 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.
- Kabarbisnis (2019). PLTU berbahan bakar batubara dibangun di Lombok, <https://www.kabarbisnis.com/>
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F. (1979). *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed., vol 15-20. The Inter Science Encyclopedia, Inc., New York
- Kusman, Utomo, M.S.K.T.S. (2017). Simulasi persebaran gas buang dan partikulat dari cerobong asap pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Jeparu menggunakan metode computational fluid dynamics dengan variasi



- kecepatan udara. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 5, 2, 106-114.
- Ostrycharczyk, M., Krochmalny, K., Czerep, M., & Kruczek, H.P. (2019). Examinations of the sulfur emission from pulverized lignite fuel, under pyrolysis and oxy-fuel combustion condition. *Fuel*, 241, 579-584.
- Suara NTB (2019). Pemprov NTB Desak Percepat Perbaikan PLTU Jeranjang, <https://www.suarantb.com/ntb>
- Yalçın, Erik, Sancar, S. (2013). 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, 48-59.
- Zhu, Y., Tong, Q.L., Yan, X.X., & Li, Y.X. (2019). 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*, 158, 3253-3258.
- Zhu, Y., Yan, X., Chen, C., Li, Y., Huang, G., & Li, Y. (2019). Analysis of industry-air quality control in ecologically fragile coaldependent cities by an uncertain Gaussian diffusion Hurwicz criterion model. *Energy Policy*, 132, 1191-1205.

## NOMENKLATUR

- C : Konsentrasi gas yang terdispersi ke lingkungan setiap detiknya ( $\text{Kg/m}^3$ )
- $Q_m$  : Massa gas buang yang keluar dari cerobong persatuan waktu (kg/detik)
- u : Kecepatan angin rata-rata (m/detik)
- $\sigma_x$  : Parameter dispersi pada arah persebaran gas (m)
- $\sigma_y$  : Parameter dispersi pada arah lateral (m)
- $\sigma_z$  : Parameter dispersi pada arah vertikal (m)
- P : Persen *fatality* (%)
- Y : Variabel probit
- $C_{ppm}$  : Konsentrasi gas yang terdispersi dalam satuan ppm (ppm)
- t : Waktu disperse 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)