

Model Dispersi Emisi SO₂ dari Cerobong Sub-Pabrik Asam Sulfat Industri Asam Fosfat Menggunakan Metode *Gaussian*

Inayatul Wulandari¹, Ahmad Erlan Afiuddin^{1*}, Ulvi Pri Astuti¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail : erlan.ahmad@ppns.ac.id

Abstrak

Kegiatan operasional sub-pabrik asam sulfat industri asam fosfat menghasilkan emisi dominan SO₂. Pada sub-pabrik asam sulfat terdapat unit SO₂ Conversion yang berfungsi mengkonversi SO₂ menjadi SO₃ dengan bantuan katalis V₂O₅. Pada kondisi lapangan katalis dapat mengalami yang menyebabkan penurunan kualitas produk serta emisi gas buang SO₂. Apabila kadar SO₂ yang dihasilkan oleh industri asam fosfat melebihi baku mutu maka akan menyebabkan ISPA. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisa pola sebaran emisi SO₂. Pemodelan emisi SO₂ menggunakan metode *Gaussian* dilakukan dengan *software Surfer*. Dispersi emisi SO₂ pada musim hujan tersebar ke arah barat dari sumber emisi, sedangkan pada musim kemarau emisi SO₂ tersebar ke arah timur dari sumber emisi. Konsentrasi emisi SO₂ maksimum pada musim hujan sebesar 126,597 µg/m³ yang terletak pada koordinat 680768,19 E; 9210461,95 S. Pada musim kemarau konsentrasi emisi SO₂ maksimum sebesar 32,331 µg/m³ yang terletak pada koordinat 680768,19 E; 9210461,95 S.

Keywords : Metode *Gaussian*, Model Dispersi Emisi SO₂, Sulfur Dioksida.

1. PENDAHULUAN

Proses produksi asam fosfat memerlukan bahan baku berupa asam sulfat, hal tersebut menjadikan industri asam fosfat memproduksi asam sulfat sendiri dalam sub-pabrik asam sulfat (Adisetnya, 2017). Pada sub-pabrik asam sulfat terdapat unit SO₂ Conversion yang berfungsi mengkonversi SO₂ menjadi SO₃ dengan menggunakan sistem *double contact*. Dalam proses konversi SO₂ menjadi SO₃ digunakan katalis V₂O₅ (*Vanadium Pentaoxida*) untuk mempercepat reaksi serta mencegah konversi SO₂ menjadi SO₃ berlangsung secara bolak-balik (P. A. Fosfat, 2017). Pada umumnya katalis V₂O₅ akan dilakukan *make up* setiap tahun sekali pada saat *shut down* produksi untuk menghindari penurunan performa katalis, namun kenyataannya pada kondisi lapangan katalis dapat mengalami kejenuhan sebelum tiba waktu *make up*. Salah satu penyebab kejenuhan katalis yaitu selisih tekanan pada masing-masing *bed* kurang dari standar. Kejenuhan tersebut akan menyebabkan penurunan kualitas produk serta emisi gas buang SO₂ yang tinggi karena gas SO₂ tidak terkonversi menjadi SO₃ secara sempurna (Rokhim, 2015).

Apabila kadar SO₂ yang dihasilkan oleh industri asam fosfat melebihi baku mutu maka akan menyebabkan dampak buruk bagi kesehatan manusia. Pada sebuah penelitian yang dilakukan oleh Putra (2016), menyatakan bahwa semakin tinggi kadar SO₂ maka kejadian ISPA semakin meningkat. SO₂ akan mempengaruhi ketahanan lapisan mukosa, peningkatan sekresi mucus dan mengganggu gerak silia, sehingga memudahkan mikroba menginfeksi saluran pernapasan. Oleh karena itu diperlukan tindakan pemantauan kualitas SO₂ di sekitar industri asam fosfat. Pemantauan kualitas udara dapat dilakukan dengan alat pengukur baku mutu udara yang menyajikan data *real time* terkait Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU), namun saat ini Kabupaten Gresik masih belum memiliki alat pengukur baku mutu udara tersebut (Kabar Jawa Timur, 2020). Salah satu alternatif pemantauan kualitas udara yang efektif yaitu dengan menggunakan pemodelan sebaran emisi dengan metode *Gaussian*. Metode *Gaussian* cocok untuk mengidentifikasi hubungan *input* dan *output* dari data yang diuji, serta juga merupakan model matematika yang digunakan untuk mempresentasikan proses dispersi polutan di udara terutama dari sumber titik seperti cerobong (Ramadhani, 2017).

Pada penelitian ini metode *Gaussian* digunakan untuk menganalisa pola sebaran emisi SO₂ pada musim hujan dan kemarau. Konsentrasi dari berbagai titik akan disajikan sebagai kontur melalui pemetaan menggunakan *software surfer*. Pemilihan aplikasi *surfer* dikarenakan proses aplikasinya relatif mudah untuk membuat peta kontur sebagai model dari sebaran emisi. Dilain sisi aplikasi *surfer* merupakan aplikasi canggih yang tidak banyak menuntut sistem operasi maupun perangkat keras (Hariyati, 2015).

2. METODOLOGI

Metode penelitian terkait pembuatan model dispersi emisi SO₂ terdiri dari beberapa langkah kerja, yaitu menentukan musim, menganalisa data meteorologi, menentukan titik penerima, menentukan koefisien dispersi, menghitung kecepatan angin di ketinggian cerobong, menghitung *plume rise* dan tinggi efektif cerobong, menghitung konsentrasi dispersi emisi, dan menggambarkan pola dispersi emisi SO₂.

A. Penentuan Musim

Penentuan musim hujan dan kemarau mengacu pada pendapat Schmidt-ferguson (1951) dalam Manik (2017), dimana musim hujan memiliki curah hujan rata-rata bulanan ≥ 150 mm/bulan, sedangkan musim kemarau memiliki nilai curah hujan rata-rata bulanan < 150 mm/bulan.

B. Analisis Data Meteorologi

Tahap analisis data meteorologi terdiri dari menentukan arah dan kecepatan angin, serta menentukan kelas stabilitas atmosfer. Dalam menentukan arah dan kecepatan angin dilakukan dengan *software* WRPLOT, dimana hasil yang diperoleh adalah data kecepatan angin dan arah angin dominan. Penentuan kelas stabilitas atmosfer didasarkan pada tabel klasifikasi stabilitas atmosfer Pasquill-Gifford yang terdapat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Klasifikasi Stabilitas Atmosfer Pasquill-Gifford

Kecepatan Angin (m/s)	Siang			Malam	
	Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)			Tutupan Awan	
	Kuat (>600)	Sedang (300-600)	Rendah (300)	Berawan	Cerah
<2	A	B	B	E	F
2-3	B	B	C	E	F
3-5	C	C	C	D	E
5-6	D	C	D	D	D
>6	E	D	D	D	D

Sumber : Koehn, 2013

C. Penentuan Titik Penerima Dan Perhitungan Koefisien Dispersi

Penentuan titik penerima dilakukan menggunakan *software Google Earth*. Koordinat titik sumber perlu diubah satuannya dari *Degrees-Minute-Second* ke *Universal Transverse Mercator* (UTM) untuk mempermudah pembuatan grid titik penerima. Titik penerima disusun dalam grid berjarak 50 meter dari sumber emisi. Berdasarkan koordinat titik penerima yang telah diperoleh maka akan dapat ditentukan nilai koefisien dispersi setiap titik penerima. Koefisien dispersi emisi diperoleh dari persamaan Mc Erroy-Pooler untuk daerah kota yang terdapat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Koefisien Dispersi Untuk Daerah Kota

Kelas Stabilitas	Σy (m)	σz (m)
A-B	$0.32x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.24x(1+0.0001x)^{-0.5}$
C	$0.22x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.2x$
D	$0.16x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.14x(1+0.0003x)^{-0.5}$
E-F	$0.11x(1+0.0004x)^{-0.5}$	$0.08x(1+0.0015x)^{-0.5}$

Sumber : Visscher, 2014

D. Perhitungan Kecepatan Angin di Ketinggian Cerobong

Kecepatan angin di ketinggian cerobong dilakukan untuk mengetahui tinggi kepulan asap atau *plume rise*. Nilai kecepatan angin di ketinggian cerobong dapat diperoleh dengan Persamaan 1 (Visscher, 2014):

$$u_2 = u_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^p \quad (1)$$

E. Perhitungan *Plume Rise* dan Tinggi Efektif Cerobong

Plume rise merupakan tinggi polutan sesaat setelah keluar dari stack. *Plume Rise* terjadi dikarenakan dua hal yaitu gaya *buoyancy* dan gaya momentum. *Plume Rise* dan tinggi efektif cerobong dapat diperoleh dengan Persamaan 2 dan Persamaan 3 (Bhargava, 2016).

$$\Delta h = \frac{V_s D_s}{u} \left[1,5 + 2,68(10^{-3}) P a \frac{T_s - T_a}{T_s} \right] \quad (2)$$

$$h = h_s + \Delta h \quad (3)$$

F. Perhitungan Konsentrasi Dispersi Emisi

Konsentrasi emisi pada penelitian ini diperoleh dari persamaan *Gaussian*. Persamaan *Gaussian* terdapat pada Persamaan 4 (Visscher, 2014).

$$C(x, y, z; h) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(z-h)^2}{\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(z+h)^2}{\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan Musim

Penentuan musim hujan dan kemarau dianalisa dari data hujan 10 tahun terakhir, yaitu periode pemantauan 2011-2021. Hasil analisa penentuan musim terdapat pada **Tabel 3**.

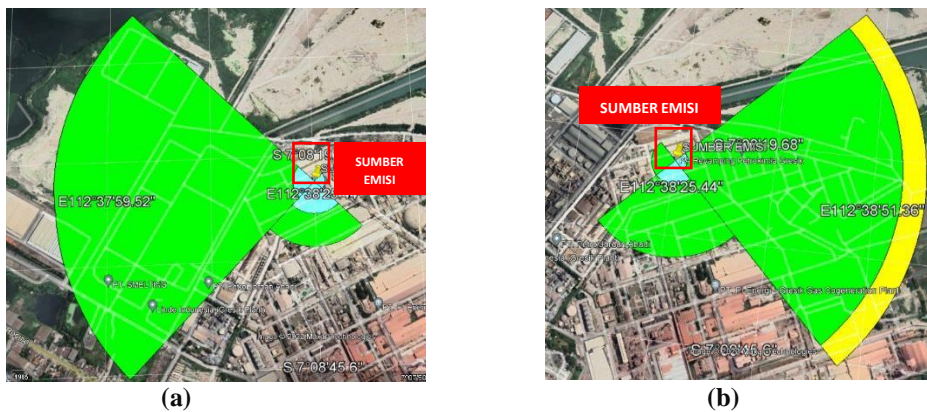
Tabel 3. Hasil Penentuan Musim

Bulan	Curah Hujan Kabupaten Gresik (mm)											Rata-rata	Musim
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
Januari	344.1	394.6	472.7	275.4	444.8	337	442.2	429.1	802.2	522.2	732.7	472.5	Hujan
Februari	167.1	282.8	324.4	51.6	229.6	655.4	419.8	270.5	300.4	437.5	114.5	295.8	Hujan
Maret	288.3	338.3	229.6	128	106.9	381.1	178.4	288.2	504.2	114.3	93.7	241.0	Hujan
April	249	116.9	335.9	201.1	336.5	347	95.2	82	124.1	235.6	117.4	203.7	Hujan
Mei	112.7	103.1	154.1	108.2	93.1	157.6	209.5	117.9	86	298.8	99.9	140.1	Kemarau
Juni	63.9	50.9	337.7	34.6	29.8	264	75.5	29.4	46.5	115.4	112	105.4	Kemarau
Juli	3.8	72.1	131	41.3	4	74.1	65.9	11.7	0	51.8	9.8	42.3	Kemarau
Agustus	0	1.1	9.7	4.1	0	0	2	2.5	0	19.7	8.3	4.3	Kemarau
September	0	0	0	0	0	67	24.4	20.5	0	2	213.8	29.8	Kemarau
Oktober	60.3	7	1.2	0	0	358.4	14.1	51.5	0	83.6	260.3	76.0	Kemarau
November	298.6	21	177.6	32.6	0	207.1	389.9	311.3	37.1	239.7	475.7	199.1	Hujan
Desember	631.3	28	826.5	646.3	341.5	504.2	498.7	481.4	275.6	543.1	255.8	457.5	Hujan

Berdasarkan **Tabel 3**, diketahui bahwa periode pemantauan emisi cerobong SA *Plant* semester 1 bulan Maret tergolong musim hujan, dan pemantauan emisi cerobong SA *Plant* semester 2 bulan Oktober tergolong musim kemarau.

B. Analisis Data Meteorologi

Hasil pengolahan data kecepatan angin dengan *software* WRPLOT menghasilkan arah angin dominan pada musim hujan berhembus ke arah barat, sedangkan pada musim kemarau berhembus ke arah timur. Kecepatan angin rata-rata pada musim hujan sebesar 3,32 m/s, sedangkan pada musim kemarau sebesar 3,97 m/s. Grafik *Windrose* musim hujan dan kemarau disajikan pada **Gambar 1 (a)** dan **Gambar 1 (b)**.



Gambar 1. *Windrose* (a). Musim Hujan (b). Musim Kemarau

Penentuan kelas stabilitas atmosfer dengan mengacu pada **Tabel 1** maka diperoleh kelas stabilitas atmosfer pada musim hujan dan kemarau adalah kelas C.

C. Penentuan Titik Penerima dan Perhitungan Koefisien Dispersi

Setiap titik penerima yang telah ditentukan dengan *google earth* memiliki nilai *downwind* (jarak titik dari sumber emisi searah angin) yang berbeda-beda. Nilai *downwind* pada musim hujan sebesar 387m dan pada musim kemarau sebesar 363 m. Perhitungan koefisien dispersi dilakukan dengan persamaan yang terdapat pada **Tabel 2**, dimana

koefisien dispersi pada setiap titik penerima terdiri dari koefisien dispersi horizontal (σ_y) dan koefisien dispersi vertikal (σ_z). Pada musim hujan koefisien dispersi σ_y sebesar 62,421 m dan koefisien dispersi σ_z sebesar 97,448 m, sedangkan pada musim kemarau koefisien dispersi σ_y sebesar 45,861 m dan koefisien dispersi σ_z sebesar 62,551 m.

D. Perhitungan Kecepatan Angin di Ketinggian Cerobong

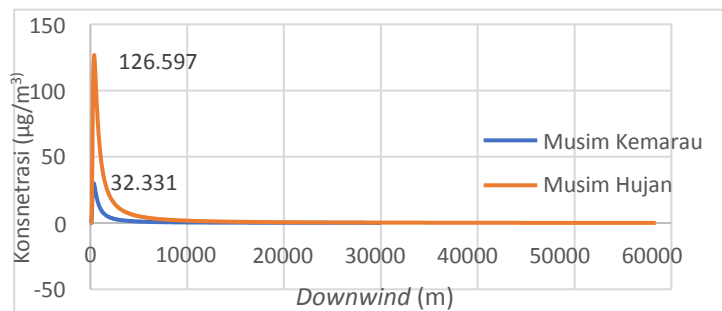
Berdasarkan Persamaan 1 kecepatan angin di ketinggian cerobong pada musim hujan sebesar 4,261 m/s, sedangkan pada musim kemarau sebesar 5,095 m/s. Kecepatan angin di ketinggian cerobong dipengaruhi oleh, kelas stabilitas atmosfer, ketinggian cerobong dan nilai kecepatan angin yang diukur dengan anemometer.

E. Perhitungan Plume Rise dan Tinggi Efektif Cerobong

Perhitungan *plume rise* mengacu pada Persamaan 2, dimana nilai *plume rise* pada musim hujan sebesar 17,58 m dan pada musim kemarau sebesar 4,497 m. dari nilai *plume rise* tersebut dapat diperoleh nilai tinggi efektif cerobong dengan Persamaan 3. Tinggi efektif cerobong pada musim hujan sebesar 97,58 m dan pada musim kemarau sebesar 84,497 m.

F. Perhitungan Konsentrasi Dispersi Emisi

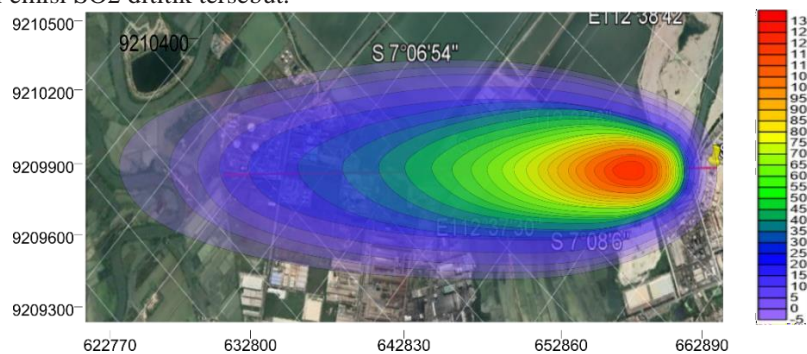
Perhitungan konsentrasi dispersi emisi menggunakan Persamaan 4, dimana perhitungan konsentrasi dilakukan pada setiap titik penerima. Berdasarkan hasil perhitungan dapat diketahui bahwa konsentrasitertinggi emisi SO_2 pada musim hujan sebesar 126,597 $\mu g/m^3$ dengan koordinat 680768,19 E; 9210461,95 S, sedangkan pada musim kemarau konsentrasi tertinggi emisi SO_2 sebesar 32,331 $\mu g/m^3$ dengan koordinat 680768,19 E; 9210461,95 S. Berdasarkan teori dari Varma *et al* (2014) konsentrasi emisi setelah mencapai titik maksimum konsentrasi emisi akan menurun seiring dengan bertambahnya jarak *downwind* dari cerobong. Perbedaan jarak titik maksimum konsentrasi emisi pada musim hujan dan kemarau dipengaruhi oleh *plume rise* cerobong dan kondisi meteorologi (De Visscher, 2014). Grafik konsentrasi emisi SO_2 terhadap *downwind* pada penelitian ini disajikan pada **Gambar 2**.



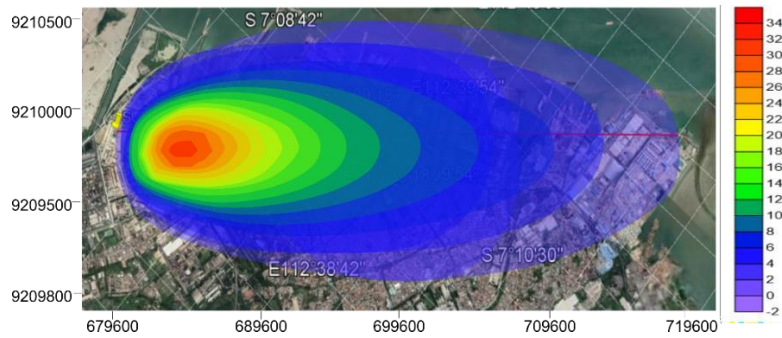
Gambar 2. Grafik Konsentrasi SO_2 terhadap *Downwind*

G. Penggambaran Pola Dispersi Emisi

Penggambaran pola dispersi emisi menggunakan bantuan *software* surfer dengan memasukkan data konsentrasi dispersi emisi dari tiap titik penerima. Selanjutnya dilakukan *overlay* gambar pola dispersi emisi ke dalam peta di *Google Earth*. Peta dispersi emisi SO_2 di musim hujan disajikan pada **Gambar 3** dan pada musim kemarau pada **Gambar 4**. Pada peta dispersi emisi terdapat beberapa warna yang merepresentasikan nilai konsentrasi emisi SO_2 dititik tersebut.



Gambar 3. Peta Dispersi Emisi SO_2 di Musim Hujan



Gambar 4. Peta Dispersi Emisi SO₂ di Musim Hujan

4. KESIMPULAN

Emisi SO₂ pada musim hujan terdispersi ke arah barat dari sumber emisi dengan stabilitas atmosfer kelas C. Konsentrasi tertinggi dispersi emisi SO₂ musim hujan sebesar 126,597 µg/m³ yang terletak di koordinat 680768,19 E; 9210461,95 S. Pada musim kemarau emisi SO₂ terdispersi ke arah timur dari sumber emisi dengan stabilitas atmosfer kelas C. Konsentrasi tertinggi dispersi emisi SO₂ musim kemarau sebesar 32,331 µg/m³ yang terletak di koordinat 680768,19 E; 9210461,95 S.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Industri Asam Fosfat Kabupaten Gresik dan Stasiun Meteorologi BMKG Sangkapura III atas bantuannya dalam proses pengambilan data emisi dan meteorologi.

6. DAFTAR NOTASI

- u_2 = kecepatan angin pada ketinggian Z_2 (m/s)
- u_1 = kecepatan angin yang diukur dengan anemometer (m/s)
- Z_2 = tinggi lokasi Z_2 (m)
- Z_1 = tinggi lokasi pengambilan data kecepatan angin dari permukaan tanah (m)
- P = Nilai eksponen berdasarkan stabilitas atmosfer
- C = Konsentrasi polutan di titik (x,y,z), (g/m³)
- Q = Laju emisi (x,y,z). (g/s)
- σ_y = Koefisien dispersi horizontal (y), (m)
- σ_z = Koefisien dispersi vertikal (z), dalam satuan meter
- u = Kecepatan angin pada ketinggian cerobong, satuan m/s
- h = Ketinggian efektif cerobong, dalam satuan meter
- x = Kepulan horizontal dari sumber pencemar searah arah angin atau *downwind* (m)
- y = Kepulan horizontal tegak lurus arah angin atau *crosswind* (m)
- z = Kepulan vertikal dari permukaan, dalam satuan meter.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Fosfat, P. A. (2017). Addendum ANDAL, RKL-RPL Pabrik Asam Sulfat, Asam Fosfat dan Granulated Gypsum (1sted.).
- Rokhim, M. R. (2015). *Hazard and Operability Study dan Safety Integrity Level dengan Metode Fault Tree Analysis Pada Reaktor Asam Sulfat di Integrity Level With Fault Tree Analysis Pada Reaktor Asam Sulfat di Pabrik III Pt Petrokimia Gresik*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ramadhani, A. (2017). *Pemodelan Dispersi Pencemaran Udara Sumber Majemuk Industri Semen di Kabupaten Tuban Jawa Timur*. Undergraduated Thesis of Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Siti Hariyati, I. B. K. (2015). *Tugas Pemodelan Lingkungan Software Pemodelan Aermod dan Surfer*.
- Koehn, A. (2013). *Comparison of Atmospheric Stability Method for Calculating Ammonia and Methane Emission Rates with Windtrax*. American Society of Agriculture and Biological Engineer Journal.

- Alex De Visscher. (2014). *Air Dispersion Modelling; Foundation and Applications*.
- Bhargava, A. (2016). *Effect of Wind Speed and Stack Height on Plume Rise using Different Equations*. *International Journal of Engineering Science and Computing*. Global Institute of Engineering and Technology, Hyderabad, India. 6(4).
- Varma, S. A. K., Srimurali, M., & Varma, S.V. K. (2014). Prediction of ground level concentrations of air pollutants using gaussian model, rayalaseema thermal power project, Kadapa, AP, India. *Energy and Environmental Engineering*, 2(4), 91- 97.