

# Pemodelan Sebaran Emisi SO<sub>2</sub> dari Cerobong Boiler Bahan Bakar Batubara di Industri Pengolahan Susu Menggunakan Software Screen View™

Intan Zanjabila<sup>1</sup>, Nora Amelia Novitrie<sup>1</sup>, Ahmad Erlan Afuiddin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [noranovitrie@student.ppns.ac.id](mailto:noranovitrie@student.ppns.ac.id)

## Abstrak

Industri pengolahan susu merupakan salah satu sektor industri yang turut menyumbang emisi di udara. Sumber pencemar udara berasal dari cerobong boiler pada industri pengolahan susu. Jenis emisi dari proses pembakaran batubara jenis *subbituminous* yang dikeluarkan melalui cerobong boiler salah satunya adalah Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi pola sebaran dan konsentrasi emisi SO<sub>2</sub> menggunakan *Software Screen View™*. Hasil pemodelan menunjukkan nilai konsentrasi maksimum SO<sub>2</sub> pada musim hujan sebesar 1,94 µg/m<sup>3</sup> pada jarak 568 meter dan pada musim kemarau nilai konsentrasi emisi sebesar 1,69 µg/m<sup>3</sup> pada jarak 431 meter. Berdasarkan hasil pemodelan nilai konsentrasi SO<sub>2</sub> tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jatim No. 10 Tahun 2009. Visualisasi pola sebaran hasil pemodelan menggunakan software Arcmap 10.8.

**Keywords:** SO<sub>2</sub>, SCREEN View™, Boiler, Pengolahan Susu

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia pada zaman sekarang terus meningkat terutama pada industri manufaktur pangan. Bertambahnya industri manufaktur pangan turut menyumbang pencemaran udara, salah satunya adalah industri pengolahan susu. Proses produksi pada industri ini menggunakan boiler dengan bahan bakar utama yaitu batubara. Hasil pembakaran bahan bakar batubara menghasilkan emisi SO<sub>2</sub> (Sulfur Dioksida), NO<sub>2</sub> (Nitrogen Dioksida), dan TSP (Total Partikulat) yang dikeluarkan melalui cerobong. Peraturan yang membahas tentang Baku Mutu Udara Ambien Dan Emisi Tidak Bergerak yaitu Pergub Jatim No. 10 Tahun 2009.

Emisi yang dikeluarkan dari cerobong boiler dapat menyebar ke kawasan disekitar perusahaan. Oleh sebab itu, perlu adanya analisis pola sebaran emisi dari sumber untuk pola sebaran emisi yang dikeluarkan dari cerobong. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pemodelan dengan *software SCREEN View™*. Goletic dan Inamovic., (2013) mengatakan bahwa pemodelan menggunakan *software SCREEN View™* mampu merespon secara tepat waktu untuk mengambil langkah darurat dalam mengurangi emisi. Selain itu, pemodelan dengan *software SCREEN View™* dapat menggantikan pemodelan yang lebih rumit, sehingga menghemat waktu dan sumber daya. Data yang diperlukan untuk *software SCREEN View™* yaitu data meteorologi, karakteristik emisi, beban emisi, kecepatan angin pada ketinggian cerobong.

Berdasarkan latar belakang, penelitian ini disusun untuk pemantauan kualitas udara yang disebabkan oleh sebaran emisi cerobong boiler berbahan bakar batubara. Parameter yang akan diteliti yaitu SO<sub>2</sub> (Sulfur Dioksida) dikarenakan, nilai konsentrasi SO<sub>2</sub> pada industri susu lebih besar dari nilai konsentrasi parameter NO<sub>2</sub> (Nitrogen Dioksida), dan TSP (Total Partikulat) berdasarkan data perusahaan (sumber data perusahaan). Visualisasi pola sebaran emisi SO<sub>2</sub> menggunakan aplikasi ArcGis.

## 2. METODE

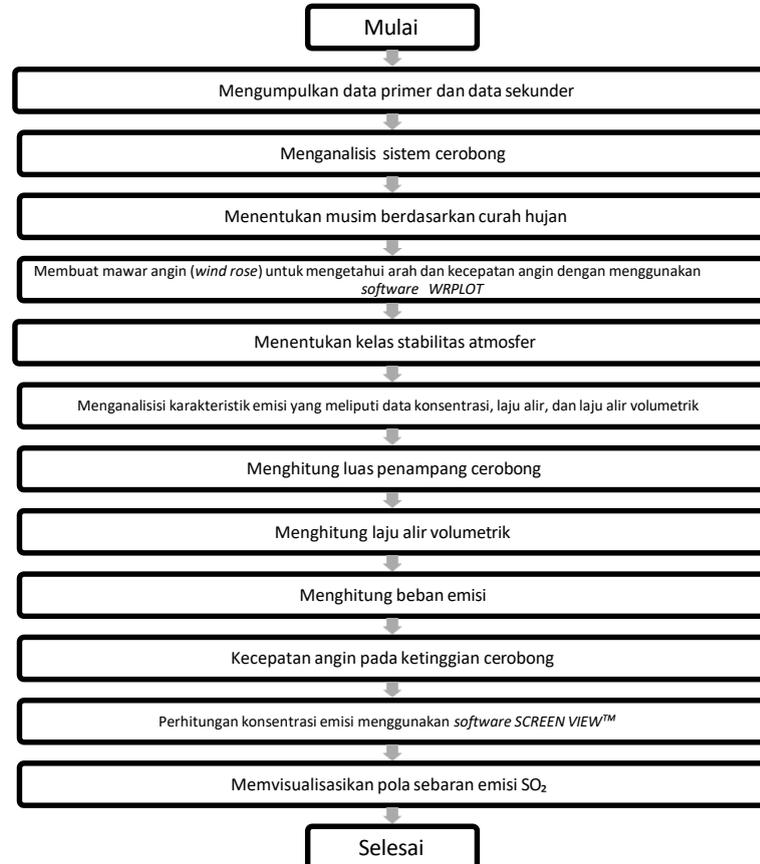
Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan di industri pengolahan susu, Kabupaten Pasuruan dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Pasuruan. *Software* yang digunakan untuk mengolah data yaitu *Microsoft Excel*, *WRPLOT*, dan *software SCREEN View™*. Visualisasi pola sebaran emisi SO<sub>2</sub> (Sulfur Dioksida) menggunakan aplikasi *ArcGis*.

Data yang diperoleh dari industri pengolahan susu adalah data emisi SO<sub>2</sub> selama 2 semester pada tahun 2018-2022, data tinggi cerobong, data diameter cerobong, data titik koordinat cerobong, data luas penampang cerobong, data suhu gas buang, data kecepatan gas buang. Data yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Pasuruan adalah data temperatur udara,

curah hujan, arah dan kecepatan angin dan penyinaran matahari pada pada 5 tahun terakhir (2018-2022).

**Pelaksanaan Penelitian**

Pemodelan emisi SO<sub>2</sub> melalui beberapa tahap dan proses, berikut adalah langkah-langkah proses pemodelan yang dilakukan :



1. Menghitung luas penampang cerobong

$$\text{Luas Penampang Cerobong} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

2. Menghitung laju alir volumetrik

$$Q = V \times A \dots\dots\dots(2.2)$$

V = Laju alir/Velocity (m/s)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

3. Menghitung beban emisi (BE)

$$BE = C \times Q \times 0,0036 \times \text{OP hours} \dots\dots\dots(2.3)$$

C = Konsentrasi SO<sub>2</sub> (mg/Nm<sup>3</sup>)

Q = Laju Alir Volumetrik (m<sup>3</sup>/s)

4. Kecepatan Angin pada Ketinggian Cerobong

$$U_2 = U_1 \times \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^p \dots\dots\dots(2.4)$$

U<sub>1</sub> = Kecepatan Angin (m/s)

Z<sub>2</sub> = Tinggi Cerobong (m)

Z<sub>1</sub> = Tinggi Anemometer (m)

p = Nilai Eksponen

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Analisis Data Meteorologi**

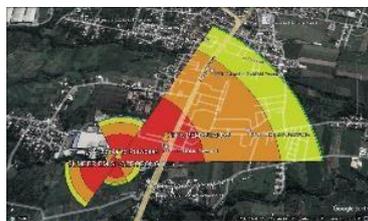
**3.1.1. Penentuan Musim Berdasarkan Curah Hujan**

Penentuan musim kemarau atau musim hujan dapat ditentukan berdasarkan curah hujan. Menurut BMKG (Badan Meteorologi dan Geofisika) (2019) awal musim hujan ditentukan berdasarkan jumlah curah

hujan pada suatu dasarian lebih besar sama dengan 50 mm/dasarian yang kemudian diikuti pada 2 dasarian berikutnya atau, jumlah curah hujan selama 3 dasarian berturut-turut tersebut lebih besar atau sama dengan 150 mm/bulan. Adapun awal musim kemarau adalah dasarian di mana musim kemarau telah dimulai. Awal musim kemarau ditentukan berdasarkan jumlah curah hujan pada suatu dasarian kurang dari 50 mm/dsarian yang kemudian diikuti pada 2 dasarian berikutnya atau jumlah curah hujan selama 3 dasarian berturut-turut tersebut kurang dari dengan 150 mm/bulan. Berdasarkan hasil perhitungan curah hujan musim hujan terjadi pada bulan november – mei. Sedangkan pada musim kemarau terjadi pada bulan juni-oktober.

**3.1.3. Arah dan Kecepatan Angin Menggunakan Windrose**

Arah dan kecepatan angin berpengaruh dalam menentukan sebaran emisi yang dikeluarkan oleh cerobong boiler. Arah dan kecepatan sebaran emisi pada tahun 2018-2022 dapat dianalisis menggunakan software WRPLOT sehingga membentuk Windrose setiap musim. Hasil analisis arah dan kecepatan angin disajikan dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Windrose Musim Hujan



Gambar 2. Windrose Musim Kamarau

Berdasarkan hasil analisis windrose pada Kabupaten Pasuruan menunjukkan arah angin dominan yang sama antara musim hujan dengan musim kemarau. Arah angin pada musim hujan dan musim kemarau dominan mengarah kearah timur, hal ini disebabkan oleh angin muson barat atau angin yang bertiup dari arah barat ke timur. Angin muson barat biasanya terjadi pada bulan oktober hingga bulan april. Kecepatan rata-rata angin selama 5 tahun terakhir pada musim hujan yaitu 2,49 m/s, sedangkan pada musim kemarau sebesar 2,89 m/s.

**3.1.2. Stabilitas Atmosfer**

Stabilitas atmosfer yang paling sering digunakan adalah kelas Pasquill yang terbagi menjadi 6 kelas yang disajikan dalam Tabel 1 (Koehn, 2013).

Tabel 1. Penentuan Kelas Stabilitas Atmosfer

U (m/s)	Siang			Malam	
	Radiasi Matahari (W/m <sup>2</sup> )			Sifat Awan	
	Kuat (>600)	Sedang (300-600)	Kecil (<300)	Berawan (≥4/8)	Cerah (≤3/8)
< 2	A	B	B	E	F
2-3	B	B	C	E	F
3-5	B	C	C	D	E
5-6	C	C	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Berdasarkan tabel terdapat enam kategorinya yaitu A = sangat tidak stabil, B = tidak stabil menengah, C = sedikit tidak stabil, D = netral, E = agak stabil, dan F = stabil. Klasifikasi kelas stabilitas atmosfer dipengaruhi oleh kecepatan arah angin permukaan yang dihitung dari 10 m di atas permukaan bumi. Kelas stabilitas atmosfer dapat ditentukan berdasarkan nilai dari intensitas penyinaran matahari pada musim hujan dan musim kemarau. Perhitungan intensitas penyinaran matahari dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$S = (0,117 + 0,239 \frac{n}{n_0} + 0,0019 \times DTR \times 0,004 \times RH) \times S_0$$

Tabel 2. Intensitas Radiasi Matahari

INTENSITAS MATAHARI 5 TAHUN TERAKHIR Watt/m <sup>2</sup>					
2018	2019	2020	2021	2022	AVERAGE
MUSIM HUJAN					
262.87	333.12	325.75	302.22	316.50	308.09
MUSIM KEMARAU					
396.85	418.26	410.61	397.61	367.39	398.14

Hasil perhitungan di input kedalam *software WRPLOT* sehingga mendapatkan nilai pada musim hujan kecepatan angin rata-rata sebesar 2,49 m/s sedangkan pada musim kemarau sebesar 2,89 m/s, jika dilihat pada Tabel 2 tentang penentuan kelas stabilitas atmosfer nilai kecepatan angin rata-rata musim hujan dan kemarau masuk ke dalam range 2-3 m/s. Nilai intensitas radiasi matahari pada musim hujan sebesar 308,09 Watt/ m<sup>2</sup> dan pada musim kemarau sebesar 398,14 Watt/m<sup>2</sup>. Berdasarkan perhitungan nilai intensitas radiasi matahari berada pada range 300-600 (sedang). Sehingga berdasarkan hasil perhitungan kecepatan angin rata-rata dan intensitas radiasi matahari maka, kelas stabilitas atmosfer Kabupaten Pasuruan termasuk dalam kategori kelas B (tidak stabil menengah).

**3.2. Analisis Data Model Sebaran Emisi**

**3.2.1. Karakteristik Emisi**

Data karakteristik emisi diperoleh dari Sertifikat Hasil Uji pemantauan emisi Cerobong industri pengolahan susu. Pengujian emisi dilaksanakan dua kali dalam satu tahun yaitu pada bulan April (hujan) dan bulan Oktober(kemarau). Data pemantauan diambil dari 5 tahun terakhir yaitu pada tahun 2018-2022. Ringkasan data konsentrasi emisi, kecepatan alir, laju alir, dan temperatur cerbong dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Data Konsentrasi Emisi, Kecepatan Alir, Laju Alir, dan Temperatur Cerobong**

Parameter	Musim	
	Hujan	Kemarau
Konsentrasi SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	666	48,70
Laju Alir (m/s)	13,98	12,60
Laju Alir Volumetrik (m <sup>3</sup> /s)	13,28	11,97
Temperatur Cerobong (C°)	148	150

**3.2.2. Beban Emisi**

Data-data yang dibutuhkan untuk perhitungan beban emisi yaitu konsentrasi emisi, laju alir, dan operation hours. Berikut ini merupakan hasil perhitungan beban emisi SO<sub>2</sub>

**Tabel 4. Data Konsentrasi Emisi, Kecepatan Alir, Laju Alir, dan Temperatur Cerobong**

Musim	Luas Penampang Cerobong	Laju Alir Volumetrik	Beban Emisi
Hujan	0,94985 m <sup>2</sup>	13,28 m <sup>3</sup> /s	0,19 g/s
Kemarau	0,94985 m <sup>2</sup>	11,97 m <sup>3</sup> /s	0,15 g/s

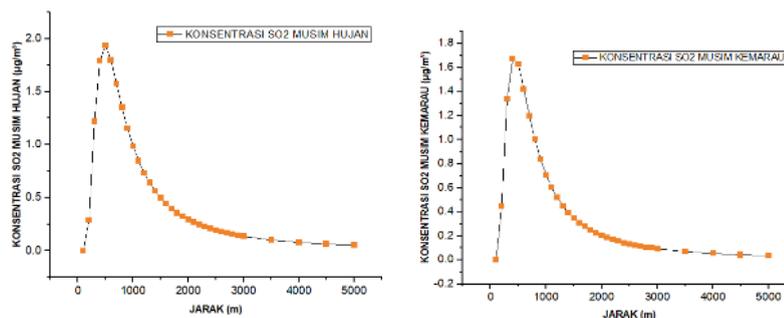
Berdasarkan hasil perhitungan dapat diketahui beban emisi yang dihasilkan oleh cerobong industri pengolahan susu pada setiap periode pemantauan memiliki nilai yang berbeda. Perbedaan nilai beban emisi disebabkan oleh perbedaan nilai konsentrasi SO<sub>2</sub> dan laju alir emisi SO<sub>2</sub> pada setiap musim. Hasil perhitungan beban emisi pada musim hujan sebesar 0,19 g/s sedangkan pada musim kemarau sebesar 0,15 g/s. Dapat dilihat beban emisi pada musim hujan lebih besar daripada beban pada musim kemarau, hal tersebut dikarenakan semakin besar nilai konsentrasi dan laju alir pada setiap musim maka semakin besar pula nilai beban emisi yang dihasilkan.

**3.2.3. Kecepatan Angin pada Ketinggian Cerobong**

Data yang diperlukan dalam menghitung kecepatan angin pada ketinggian cerobong yaitu kelas stabilitas, kecepatan angin, tinggi cerobong, tinggi anemometer dan nilai eksponen. Nilai eksponen (p) mengacu pada kelas stabilitas atmosfer B. Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai kecepatan angin dengan ketinggian cerobong 24 m yaitu 2,77 m/s pada musim hujan dan 3.21 m/s pada musim kemarau.

**3.2.4. Perhitungan Konsentrasi Emisi menggunakan Software SCREEN VIEW™**

Pengolahan data menggunakan *software SCREEN VIEW™* membutuhkan beberapa data seperti data profil cerobong batubara industri pengolahan susu, data konsentrasi emisi SO<sub>2</sub>, serta data meteorology. Berikut merupakan hasil analisis konsentrasi SO<sub>2</sub> menggunakan *software SCREEN VIEW™* yang disajikan berupa diagram pada Gambar 3



**Gambar 3. Konsentrasi Menggunakan SCREEN VIEW™ Pada Musim Hujan dan Musim Kemarau**

Konsentrasi maksimum SO<sub>2</sub> pada musim hujan berada pada jarak 586 meter dengan nilai konsentrasi sebesar 1,94 µg/m<sup>3</sup>. nilai konsentrasi SO<sub>2</sub> perlahan mengalami penurunan dengan bertambahnya jarak sebaran, pada jarak 5000 meter dari sumber pencemar nilai konsentrasi SO<sub>2</sub> sebesar 0,052 µg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi SO<sub>2</sub> pada musim kemarau berada pada jarak 431 meter dari sumber emisi dengan nilai konsentrasi emisi sebesar 1,69 µg/m<sup>3</sup>. Nilai konsentrasi SO<sub>2</sub> perlahan mengalami penurunan dengan bertambahnya jarak sebaran, pada jarak 5000 meter dari sumber pencemar nilai konsentrasi SO<sub>2</sub> sebesar 0,034 µg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan hasil dari perhitungan, nilai konsentrasi musim hujan lebih besar dari nilai konsentrasi pada musim kemarau. Hal tersebut diakibatkan karena konsentrasi SO<sub>2</sub> akan lebih tinggi saat suhu rendah, dibandingkan dengan saat suhu tinggi (Maharini, 2017).

**3.3. Analisa Data Model Sebaran Emisi**

Visualisasi pemodelan pola sebaran emisi Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) menggunakan *software ArcGis* ini didapatkan dari hasil tahapan pengumpulan data, pengolahan data meteorologi, pengolahan data menggunakan pemodelan *software SCREEN View™*. Berikut merupakan pola sebaran hasil perhitungan pemodelan.



**Gambar 4. Hasil Visualisasi Polas Sebaran Emisi SO<sub>2</sub> Musim Hujan dan Musim Kemarau**

Visualisasi pola sebaran emisi Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) berdasarkan model SCREEN View™ pada musim hujan dan musim kemarau memiliki pola yang berbeda. Emisi Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) cenderung mengarah ke arah barat ke arah timur. Perbedaan gradasi warna pada Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan perbedaan tingkat konsentrasi emisi Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>). Semakin pekat gradiasi maka semakin tinggi nilai konsentrasi, sedangkan gradiasi warna yang memudar mengartikan semakin jauh sebaran emisi Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) maka nilai konsentrasi semakin kecil.

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan SCREEN View™ nilai konsentrasi maksimal pada musim hujan berada pada jarak 586 meter dengan nilai konsentrasi 1,94 µg/m<sup>3</sup> dan konsentrasi maksimal pada musim kemarau berada pada jarak 431 meter dengan nilai konsentrasi 1,69 µg/m<sup>3</sup>. Penggunaan metode penambahan ketinggian cerobong terhadap penyebaran emisi Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) memiliki penurunan konsentrasi terbaik yang terjadi saat ketinggian cerobong (stack) diubah menjadi 30 meter dengan presentase penurunan mencapai 5%-16,6%.

**5. DAFTAR PUSTAKA**

BMKG, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Damayanti, R., Santoso, P., & Subhiyah, H. (2019). Analisis Perhitungan Ketinggian Cerobong pada Aeat 10 MeV dengan Kondisi tanpa Sistem Ventilasi. PRIMA-Aplikasi dan Rekayasa dalam Bidang Iptek Nuklir, 16(1), 11-16.

Goletic, S., & Imamovic, N. (2013). Modeling The Dispersion Of SO<sub>2</sub> in Zenica Valley. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering, 11(4).

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.

Maharini, G. A. K. S. (2017). Studi Reduksi SO<sub>2</sub> Udara Ambien Oleh Ruang Terbuka (RTH) Untuk Wilayah Permukiman Dan Transportasi Di Kota Surabaya (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Peraturan gubernur Nomor 10 tahun 2009 Tentang baku Mutu Udara Ambien Dan Emisi Sumber Tidak Bergerak DI Jawa Timur.