

Pola Sebaran Emisi SO₂, NO₂, dan Partikulat dari Cerobong Batu Bara Industri Kecap Menggunakan *Software Screen View*

Ananda Augista Firstanti¹, Ahmad Erlan Afiuddin¹, Tarikh Azis Ramadani^{1*}

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

*E-mail: tarikh@ppns.ac.id

Abstrak

Indeks kualitas udara Pasuruan pada tanggal 12 Februari 2021 berada di angka 83 yang termasuk dalam kategori paling tinggi di Indonesia. Industri kecap merupakan salah satu penyumbang pencemaran udara yang ada di Kabupaten Pasuruan. Beberapa parameter emisi dominan dari industri kecap yang menggunakan ketel uap berbahan bakar batu bara yaitu SO₂, NO₂, dan partikulat. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola sebaran SO₂, NO₂ dan partikulat menggunakan *software screen view*. Hasil *software screen view* menunjukkan nilai konsentrasi maksimum SO₂, NO₂, dan partikulat saat musim hujan berada pada jarak 315 meter dari sumber pencemar (cerobong) dengan nilai konsentrasi sebesar 2076 µg/m³, 2614 µg/m³, dan 525,2 µg/m³. Konsentrasi maksimum SO₂, NO₂ dan partikulat saat musim kemarau berada pada jarak 321 meter dari sumber pencemar (cerobong) dengan nilai konsentrasi sebesar 149,6 µg/m³, 2543 µg/m³, dan 543,9 µg/m³.

Keywords: Pola Sebaran Emisi, *Screen View*.

1. PENDAHULUAN

Indeks kualitas udara Pasuruan berada di angka 83 termasuk dalam kategori paling tinggi di Indonesia yang sesuai dengan permodelan AirVisual pada Jumat, 12 Februari 2021. Pencemaran udara dari berbagai macam sektor dapat menyebabkan penurunan kualitas udara, salah satunya adalah sektor industri. Berdasarkan data sektor industri Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Pasuruan, pada tahun 2020 Kabupaten Pasuruan memiliki jumlah industri sebanyak 3.416 industri. Hal tersebut mengindikasikan bahwa semakin banyak industri maka akan semakin banyak pula pencemaran udara. Industri kecap merupakan salah satu penyumbang pencemaran udara yang ada di Kabupaten Pasuruan.

Industri kecap memiliki kapasitas produksi yang besar yaitu sebanyak 38.746 m³/tahun dan kapasitas tersebut dapat terus meningkat setiap tahunnya (Nuriyyah, 2021). Besarnya kapasitas produksi kecap berbanding lurus dengan energi yang dibutuhkan dalam proses memasak kedelai menggunakan ketel uap atau steam boiler berbahan bakar batu bara. Proses pembakaran batu bara dari ketel uap atau steam boiler akan menghasilkan emisi yang dikeluarkan melalui cerobong. Berdasarkan Pergub Jatim No 10 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak terdapat beberapa parameter emisi dominan dari industri kecap yang menggunakan ketel uap berbahan bakar batu bara yaitu SO₂, NO₂, dan partikulat.

Pola sebaran emisi yang keluar dari cerobong batu bara industri kecap perlu diidentifikasi guna proyeksi pencegahan serta pengendalian terhadap kualitas udara akibat sebaran emisi. Salah satu cara dengan digunakannya permodelan sebaran emisi dengan menggunakan *software screen view*. Penggunaan *software screen view* secara tidak langsung dapat menghemat biaya, waktu, dan memudahkan industri kecap untuk mengetahui pola sebaran emisi yang dikeluarkan oleh cerobong tanpa harus menghitung secara manual.

2. METODE

A. Penentuan Musim Berdasarkan Curah Hujan

Penentuan musim berdasarkan curah hujan merujuk pada Badan Meteorologi dan Geofisika (2014) bahwa jumlah curah hujan dalam satu dasarian atau dalam rentang waktu 10 hari sebesar 50 mm/dasarian atau 150 mm/bulan ditetapkan sebagai musim hujan. Apabila jumlah curah hujan dalam satu dasarian atau dalam rentang waktu 10 hari sebesar kurang dari 50 mm/dasarian atau kurang dari 150 mm/bulan ditetapkan sebagai musim kemarau.

B. Stabilitas Atmosfer

Stabilitas atmosfer digunakan untuk menentukan nilai koefisien dispersi. Menurut Assegaf (2018) klasifikasi stabilitas atmosfer yang paling sering digunakan adalah kelas stabilitas Pasquill-Gifford yang memiliki enam kategori. Stabilitas atmosfer berdasarkan Pasquill-Gifford terdapat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Stabilitas Atmosfer Berdasarkan Pasquill-Gifford

u (m/s)	Siang			Malam	
	Radiasi Matahari			Sifat Awan	
	Kuat	Sedang	Kecil	Berawan ($\geq 4/8$)	Cerah ($\leq 3/8$)
< 2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Sumber : Assegaf, 2018

C. Beban Emisi

Beban emisi merupakan batas kadar emisi yang boleh dilepaskan oleh suatu kegiatan ke udara ambien yang dinyatakan dalam satuan berat per waktu operasi. Nilai beban emisi dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2 (Garibaldi, 2014).

$$BE = C \times Q \times 0,0036 \times Op \text{ hours} \quad (1)$$

$$Q = V \times A \quad (2)$$

D. Kecepatan Angin pada Ketinggian Cerobong

Kecepatan angin pada ketinggian cerobong dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kelas stabilitas, kecepatan angin, tinggi cerobong, tinggi anemometer, dan nilai eksponen. Nilai kecepatan angin pada ketinggian cerobong dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3 (Visscher, 2014). Penentuan nilai fungsi stabilitas atmosfer (p) mengacu pada Visscher (2014) seperti yang disajikan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Fungsi Stabilitas Atmosfer Untuk Persamaan Perkiraan Kecepatan Angin

Kelas Stabilitas	P (Kota)	P (Desa)
A	0,11	0,15
B	0,12	0,15
C	0,12	0,20
D	0,17	0,25
E	0,29	0,04
F	0,45	0,60

Sumber : Visscher, 2014

E. Perhitungan Konsentrasi Emisi Menggunakan Software Screen View

Pengoperasian *software screen view* tidak membutuhkan banyak data. Data-data yang dibutuhkan antara lain : jenis cerobong, koefisien dispersi, tinggi penerima reseptor, beban emisi, tinggi cerobong, diameter cerobong, laju emisi gas buang, suhu cerobong, temperatur udara ambien, kelas stabilitas atmosfer, dan data kecepatan angin pada ketinggian cerobong. Output hasil pengolahan data menggunakan *software screen view* berupa jarak dan konsentrasi yang dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan yaitu dalam bentuk grafik atau dalam bentuk *notes*. Langkah pengoperasian *software screen view* adalah sebagai berikut :

- Menginput nilai pada halaman pertama sesuai dengan data dan satuan yang telah ditentukan seperti *sourcetype, dispersion coefficient, flagpole receptor, point source parameters, emission rate, stack height, stack inside diameter, stack gas exit, stack gas exit temperature, ambient air temperature*, kemudian klik *next* untuk melanjutkan pada halaman selanjutnya.
- Menginput nilai pada halaman kedua sesuai dengan data dan satuan yang telah ditentukan seperti *terrain option, simple terrain, choose at least on point, single stability class and wind speed, automated distance*
- Klik *next and run* untuk mengolah semua data yang telah di *input*, kemudian akan keluar hasil output file.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan Musim Berdasarkan Curah Hujan

Data yang digunakan untuk penentuan musim yaitu data curah hujan dari BMKG Pasuruan pada tahun 2017-2021. Penentuan musim berdasarkan curah hujan terdapat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Penentuan Musim Berdasarkan Curah Hujan

Bulan/Tahun	Curah Hujan (mm)					Rata-Rata (mm)	Musim
	2017	2018	2019	2020	2021		
Januari	0	424	530,2	387	748	417,84	Hujan
Februari	600	648,8	529,3	762,3	681,9	644,46	Hujan
Maret	437,4	373,7	449,6	638,3	685,5	516,9	Hujan
April	399,8	123,2	706,6	369,7	222,3	364,32	Hujan
Mei	50,2	48	148,5	352	154,7	150,68	Hujan
Juni	217,4	53,5	0	16,9	285	114,56	Kemarau
Juli	20,9	0	7,6	35,9	119,8	36,84	Kemarau
Agustus	5,2	0	6,6	72,7	100	36,9	Kemarau
September	23,4	55,5	1	0	44,4	24,86	Kemarau
Oktober	107,9	30,2	6	67,3	182,4	78,76	Kemarau
November	481,4	131,2	110	363,7	442,8	305,82	Hujan
Desember	484,4	364,2	278,5	619,8	366,1	422,6	Hujan

Tabel 3. menunjukkan bahwa pada bulan April tergolong musim hujan dan bulan Oktober tergolong musim kemarau, sehingga penelitian ini menggunakan data emisi dari hasil pemantauan pada bulan April dan Oktober tahun 2017-2021.

B. Arah dan Kecepatan Angin Menggunakan Windrose

Berdasarkan hasil analisis *windrose* menunjukkan arah angin yang sama antara periode musim hujan dan musim kemarau yaitu berhembus dari arah barat ke arah timur. Kecepatan angin rata-rata pada musim kemarau lebih besar jika dibandingkan dengan musim hujan. Pada musim kemarau kecepatan angin rata-rata sebesar 3,12m/s, sedangkan pada musim hujan sebesar 2,59 m/s. Hasil analisis *windrose* musim hujan dan musim kemarau disajikan pada **Gambar 1 (a)** dan **Gambar 1 (b)**.



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

C. Stabilitas Atmosfer

Klasifikasi kelas stabilitas atmosfer dipengaruhi oleh kecepatan arah angin permukaan yang dihitung dari 10 m di atas permukaan bumi. Berdasarkan hasil analisis *windrose* untuk nilai kecepatan angin rata-rata sebesar 2,59 m/s pada musim hujan dan sebesar 3,12 m/s pada musim kemarau diklasifikasikan ke dalam kelas stabilitas atmosfer kategori B (tidak stabil menengah) dengan *range* kecepatan sebesar 2-3 m/s dan 3-5 m/s.

D. Karakteristik Emisi

Data karakteristik emisi yang digunakan yaitu data emisi yang terbesar pada setiap musimnya terdapat pada **Tabel 4**. Data emisi yang terbesar berasal dari data hasil pemantauan konsentrasi, kecepatan alir, dan laju alir SO₂, NO₂, dan partikulat pada bulan April dan Oktober Tahun 2017-2021.

Tabel 4. Data Konsentrasi Emisi, Kecepatan Alir, dan Laju Alir

Musim	Parameter	Satuan	SO ₂	NO ₂	Partikulat
Hujan	Konsentrasi	mg/Nm ³	166	209	42
	Kecepatan Alir	m/s	8,4	8,4	8,4
	Laju Alir	m ³ /s	506	506	506
	Konsentrasi	mg/Nm ³	11	187	40

Musim	Parameter	Satuan	SO ₂	NO ₂	Partikulat
Kemarau	Kecepatan Alir	m/s	11,4	11,4	11,4
	Laju Alir	m ³ /s	687	687	687

E. Beban Emisi

Perhitungan beban emisi merujuk pada Persamaan 2, sehingga didapatkan nilai beban emisi SO₂, NO₂, dan partikulat pada musim hujan sebesar dan kemarau pada **Tabel 5**. Contoh salah satu perhitungan beban emisi SO₂ pada musim hujan, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 BE &= C \times Q \times 0,0036 \times Op \text{ hours} \\
 &= 166 \text{ mg/Nm}^3 \times 506 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,0036 \times 24 \text{ jam} \\
 &= 7257,2544 \text{ kg/hari} \\
 &= 83,996 \text{ g/s}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Beban Emisi

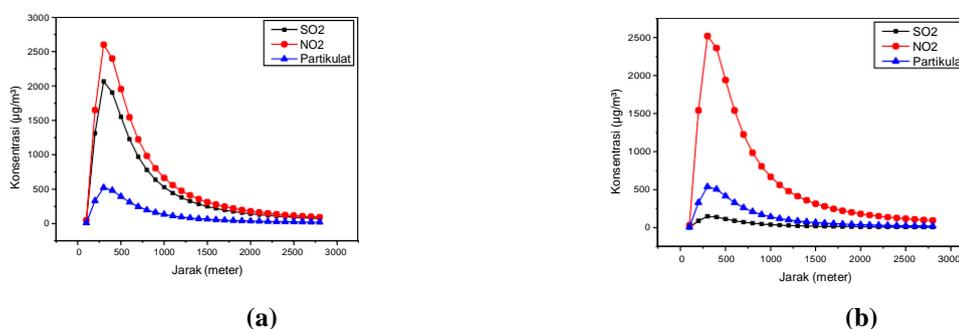
Parameter	Beban Emisi (g/s)	
	Musim Hujan	Musim Kemarau
SO ₂	83,996	7,557
NO ₂	105,754	128,469
Partikulat	21,252	27,48

F. Kecepatan Angin pada Ketinggian Cerobong

Perhitungan kecepatan angin pada ketinggian cerobong merujuk pada Persamaan 3, sehingga didapatkan nilai kecepatan angin pada musim hujan sebesar 2,953 m/s dan kecepatan angin pada musim kemarau sebesar 3,557 m/s.

G. Perhitungan Konsentrasi Emisi Menggunakan Software Screen View

Hasil perhitungan konsentrasi emisi menggunakan *software screen view* pada musim hujan dan musim kemarau menunjukkan pola grafik yang berbeda seperti pada **Gambar 2**. Hasil analisis *software screen view* pada **Gambar 2(a)** menunjukkan bahwa konsentrasi maksimum SO₂, NO₂, dan partikulat berada pada jarak 315 meter dari sumber pencemar (cerobong) dengan nilai konsentrasi sebesar 2076 µg/m³, 2614 µg/m³, dan 525,2 µg/m³. Hasil analisis *software screen view* pada **Gambar 2(b)** menunjukkan bahwa konsentrasi maksimum SO₂, NO₂, dan partikulat berada pada jarak 321 meter dari sumber pencemar (cerobong) dengan nilai konsentrasi sebesar 149,6 µg/m³, 2543 µg/m³, dan 543,9 µg/m³.



Gambar 2. Hasil Analisis *Software Screen View* (a) Musim Hujan (b) Musim Kemarau

Pola grafik untuk parameter NO₂ dan partikulat pada kedua musim memiliki pola yang sama, namun untuk parameter SO₂ menunjukkan pola yang berbeda. Konsentrasi SO₂ pada musim hujan lebih tinggi daripada musim kemarau. Hal tersebut dapat terjadi karena suhu yang dingin ketika musim hujan menyebabkan keadaan udara semakin padat sehingga konsentrasi emisi SO₂ di udara semakin tinggi, sebaliknya suhu udara yang tinggi menyebabkan keadaan udara semakin renggang sehingga konsentrasi emisi SO₂ menjadi rendah (Prabowo dan Muslim, 2018). Konsentrasi emisi SO₂, NO₂, dan partikulat dapat dipengaruhi oleh jarak dari sumber pencemar (cerobong), apabila jarak sebaran emisi semakin dekat dengan sumber pencemar (cerobong) maka konsentrasi emisi akan semakin besar dan grafik akan naik sebaliknya apabila jarak sebaran emisi semakin jauh maka konsentrasi emisi akan semakin kecil dan grafik akan turun.

4. KESIMPULAN

Konsentrasi maksimum SO₂, NO₂, dan partikulat saat musim hujan berada pada jarak 315 meter dari sumber pencemar (cerobong) dengan nilai konsentrasi sebesar 2076 µg/m³, 2614 µg/m³, dan 525,2 µg/m³. Konsentrasi maksimum SO₂, NO₂, dan partikulat saat musim kemarau berada pada jarak 321 meter dari sumber pencemar (cerobong) dengan nilai konsentrasi sebesar 149,6 µg/m³, 2543 µg/m³, dan 543,9 µg/m³.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Indutsri Kecap dan BMKG – Stasiun Geofisika Pasuruan atas bantuannya dalam proses pengambilan data emisi dan meteorologi.

6. DAFTAR NOTASI

u	= Kecepatan angin permukaan dihitung dari 10 m di atas permukaan bumi (m/s)
BE	= Beban emisi pencemar (kg/waktu operasi)
C	= Konsentrasi zat terukur (mg/Nm ³)
Op hours	= Jam operasi selama satu hari (jam)
V	= Laju alir (m/s)
A	= Luas penampang cerobong (m ²)
u ₁	= Kecepatan angin pada ketinggian 1 (m/s)
u ₂	= Kecepatan angin pada ketinggian 2 (m/s)
z ₁	= Ketinggian 1 (m)
z ₂	= Ketinggian 2 (m)
p	= Fungsi stabilitas atmosfer

7. DAFTAR PUSTAKA

- Assegaf, Alimuddin Hamzah., 2018. Pemodelan Dispersi Gas Dari Cerobong Pltu Dengan Model Pasquill-Gaussian. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, Vol. 8 (3), pp.414-419
- Garibaldi., 2014. Evaluasi Pemantauan Emisi Sumber Tidak Bergerak (Cerobong) Boiler Industri Kimia Di Daerah Cilegon
- Nuriyyah, Ismatun., 2021. Evaluasi Dampak Lingkungan pada Proses Dissolving Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA) dan Analytical Hierarchy Process (AHP) (Studi Kasus: Industri kecap). Surabaya: National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology PPNS
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 10 Tahun 2009, Lamp I (Q) tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak di Jawa Timur
- Prabowo dan Muslim. (2018). Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan: Penyehatan Udara. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan Badan Pengembangan Dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan
- Stasiun Klimatologi Pondok Betung., 2014. Analisis Musim Hujan 2013/2014 dan Prakiraan Musim Kemarau 2014. Tangerang: BMKG
- Visscher, Alex. (2014). Air Dispersion Modelling: Foundations and Applications. Wiley, New Jersey