

Pemodelan Emisi NO₂ Dari Cerobong Batubara Industri Pengolahan Susu Menggunakan *Software* SCREEN View™

Devis Reflinda Maulidivianti R¹, Ahmad Erlan Afiuddin^{2*}, Alma Vita Sophia³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

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

Abstrak

Industri pengolahan susu sebagai salah satu industri manufaktur yang ada di Kabupaten Pasuruan yang menghasilkan emisi gas buang salah satunya gas NO₂ dari proses *utility* unit *boiler*/ketel uap berbahan bakar batubara. Gas NO₂ ini dikeluarkan melalui cerobong dan nantinya akan menyebar menuju daerah di sekitarnya, sehingga perlu adanya penelitian mengenai sebaran gas NO₂ tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pola sebaran emisi NO₂ pada cerobong menggunakan *software* SCREEN View™ untuk musim hujan dan kemarau. Hasil *running software* SCREEN View™ menunjukkan nilai konsentrasi maksimum NO₂ saat musim hujan berada pada jarak 434 meter dengan konsentrasi maksimum 7,21 µg/m³. Sedangkan nilai konsentrasi maksimum NO₂ saat musim kemarau berada pada jarak 411 meter dengan konsentrasi maksimum 4,94 µg/m³. Hasil konsentrasi tersebut berdasarkan nilai baku mutu udara ambien dan emisi sumber tidak bergerak bagi *boiler*/ketel uap berbahan bakar batubara oleh Pergub Jatim Nomor 10 Tahun 2009 masih tergolong aman karena tidak melebihi nilai ambang batas.

Keywords: pemodelan, screen view, cerobong, NO₂, industri

1. PENDAHULUAN

Industri merupakan salah satu sektor yang melepaskan polutan ke udara ambien. Kabupaten Pasuruan merupakan salah satu wilayah dengan industri terbanyak di Indonesia. Berdasarkan data Pemerintah Kabupaten Pasuruan tahun 2020, Kabupaten Pasuruan mendapatkan ranking ketujuh dengan skala industri terbesar di Indonesia. Berdasarkan dengan banyaknya industri yang menggunakan cerobong sebagai bahan pembakaran maka semakin besar pula pencemaran udara yang dihasilkan (Sunaryanto & Prasetyo, 2017). Industri pengolahan susu merupakan salah satu industri yang menjadi penyumbang pencemaran udara di wilayah Kabupaten Pasuruan.

Polutan yang keluar dari cerobong unit *boiler* industri pengolahan susu salah satunya adalah gas NO₂. Sesuai dengan Pergub Jatim No. 10 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak untuk emisi yang dihasilkan dari *boiler* atau ketel uap berbahan bakar batubara, salah satunya yaitu emisi NO₂. Nilai konsentrasi emisi NO₂ terbesar yang keluar dari cerobong *boiler* industri pengolahan susu dari tahun 2018-2022 yaitu 86,8 mg/Nm³. Nilai konsentrasi emisi yang besar akan berdampak buruk bagi kualitas udara, lingkungan, dan manusia. Pencegahan terjadinya pencemaran udara dan pengendalian terhadap kualitas udara di lingkungan industri, pada penelitian ini dilakukan analisis pola sebaran emisi yang keluar dari cerobong batubara industri pengolahan susu.

Pemilihan *software* SCREEN View™ sebagai pola penyebaran emisi pada penelitian ini karena dapat memprediksi konsentrasi polutan udara yang dikeluarkan oleh cerobong dengan keunggulannya memiliki skenario yang *simple* atau *complex terrain*, dengan atau tanpa pengaruh dari ketinggian gedung, dan memberikan pilihan hasil jarak secara manual ataupun otomatis. Sehingga penggunaan pemodelan dari *software* SCREEN View™ dapat menghemat waktu, tenaga, dan biaya ketika hendak dilakukan pengambilan sampel udara di cerobong industri.

2. METODE

A. Penentuan Musim Berdasarkan Curah Hujan

Penentuan musim diperoleh dari data *online* Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang memiliki rata-rata nilai curah hujan bulanan <150 mm/bulan untuk musim kemarau, sedangkan musim hujan memiliki rata-rata nilai curah hujan bulanan ≥ 150 mm/bulan.

B. Stabilitas Atmosfer

Stabilisasi atmosfer merupakan metode yang digunakan untuk mengklasifikasi kemampuan atmosfer dalam mengencerkan dan mencampurkan polutan ke udara. Penentuan klasifikasi stabilitas yang sering digunakan yaitu klasifikasi yang dikembangkan oleh Pasquill dan Gifford. Kategori dari penentuan stabilitas menurut Pasquill dan Gifford disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Klasifikasi Kelas Stabilisasi Atmosfer Pasquill dan Gifford

| Kecepatan angin permukaan (m/det) | Radiasi matahari siang hari | | | Keawanan malam hari | |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------|------------------------|----------------------|
| | Kuat (>600) | Sedang (300-600) | Rendah (<300) | 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 : (Koehn et al., 2013)

C. Beban Emisi

Beban emisi merupakan jumlah (massa) pencemar yang boleh dilepaskan dari kegiatan sumber emisi ke udara ambien yang dinyatakan dalam satuan berat per waktu operasi. Nilai beban emisi dapat diperoleh menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

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

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

D. Kecepatan Angin Pada 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 3 (Visscher, 2014) :

$$u_2 = u_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^p \quad (3)$$

E. Perhitungan Konsentrasi Emisi Menggunakan Software SCREEN View™

Pengoperasian *software* SCREEN View™ tidak membutuhkan banyak data. Data-data yang dibutuhkan antara lain : jenis cerobong, beban emisi, diameter cerobong, tinggi cerobong, laju emisi gas buang, temperatur cerobong, temperatur udara ambien, tinggi penerima reseptor, 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

Penentuan musim untuk tahun 2023 didasarkan pada data curah hujan untuk periode Januari 2018 hingga Desember 2022 atau kurun waktu 5 tahun yang diperoleh dari data *online* BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika). Penentuan musim berdasarkan curah hujan terdapat pada **Tabel 2**.

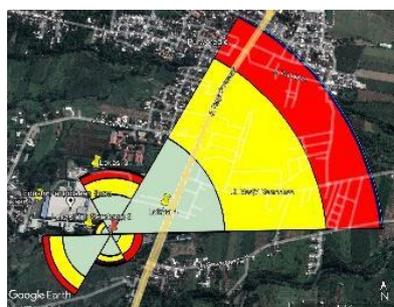
Tabel 2. Penentuan Musim Berdasarkan Curah Hujan

| Bulan/Tahun | Curah Hujan (mm) | | | | | Rata-rata CH/Tahun (mm) | Musim |
|-------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|---------|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | | |
| Januari | 424 | 530,2 | 387 | 748 | 683,1 | 554,46 | Hujan |
| Febuari | 643,6 | 529,3 | 762,3 | 681,9 | 266,4 | 576,70 | Hujan |
| Maret | 373,7 | 449,6 | 638,3 | 685,5 | 465 | 522,42 | Hujan |
| April | 123,2 | 706,6 | 369,7 | 222,3 | 389,4 | 362,24 | Hujan |
| Mei | 48 | 148,5 | 352 | 154,7 | 358,2 | 212,28 | Hujan |
| Juni | 53,5 | 0 | 16,9 | 285 | 155,5 | 102,18 | Kemarau |
| Juli | 0 | 7,6 | 35,9 | 119,8 | 28 | 38,26 | Kemarau |
| Agustus | 0 | 6,6 | 72,7 | 100 | 92,5 | 54,36 | Kemarau |
| September | 55,5 | 1 | 0 | 44,4 | 36 | 27,38 | Kemarau |
| Oktober | 30,2 | 6 | 67,3 | 182,4 | 307,4 | 118,66 | Kemarau |
| November | 131,2 | 110 | 363,7 | 442,8 | 395,8 | 288,7 | Hujan |
| Desember | 364,2 | 278,5 | 619,8 | 366,1 | 347,7 | 395,26 | Hujan |

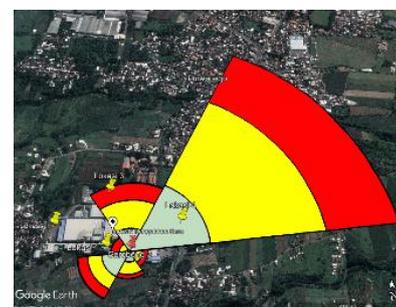
Berdasarkan **Tabel 2** dapat diketahui bahwa bulan April tergolong musim hujan dan bulan Oktober tergolong musim kemarau, sehingga penelitian ini menggunakan data emisi dari hasil pemantauan pada bulan April dan Oktober tahun 2018-2022.

B. Arah dan Kecepatan Angin Menggunakan *Windrose*

Berdasarkan hasil analisis data dengan menggunakan *software* WRPLOT, diketahui bahwa pada saat musim hujan dan musim kemarau menunjukkan arah angin dominan yang sama yaitu berhembus dari arah barat daya ke arah timur laut. Kecepatan angin rata-rata pada musim kemarau lebih besar jika dibandingkan dengan musim hujan. Pada musim hujan kecepatan angin rata-rata sebesar 2,49 m/s, sedangkan pada musim kemarau kecepatan angin rata-rata sebesar 2,90 m/s. Hasil analisis *windrose* musim hujan dan musim kemarau disajikan pada **Gambar 1 (a)** dan **Gambar 1 (b)**.



(a)



(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 dan intensitas penyinaran matahari. Berdasarkan hasil analisis *windrose* untuk nilai kecepatan angin rata-rata dan nilai intensitas penyinaran matahari untuk musim hujan sebesar 2,49 m/s dan 342,286 Watt/m², sedangkan untuk musim kemarau sebesar 2,90 m/s dan 438,817 Watt/m² maka kelas stabilitas atmosfer kategori kelas B atau tidak stabil menengah baik musim hujan dan musim kemarau.

D. Karakteristik Emisi NO₂

Data karakteristik emisi yang digunakan yaitu data emisi yang terbesar pada setiap musimnya terdapat pada **Tabel 3**. Data emisi yang terbesar berasal dari data hasil pemantauan konsentrasi, kecepatan alir, dan laju alir NO₂ pada tahun 2019. Pemilihan data pada tahun 2019 karena dalam kurun waktu 5 tahun tidak mengalami perubahan teknologi sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan hasil pola sebaran emisi dan pada tahun 2019 memiliki nilai konsentrasi emisi terbesar.

Tabel 3. Data Konsentrasi Emisi, Kecepatan Alir, dan Laju Alir Emisi NO₂

| Parameter | Satuan | Musim | |
|----------------|--------------------|-------|---------|
| | | Hujan | Kemarau |
| Konsentrasi | mg/Nm ³ | 55.8 | 37.5 |
| Kecepatan Alir | m/s | 14.15 | 14.97 |
| Laju Alir | m ³ /s | 9.00 | 9.52 |

E. Beban Emisi

Perhitungan beban emisi merujuk pada Persamaan 1, sehingga didapatkan nilai beban emisi NO₂ pada musim hujan dan musim kemarau pada **Tabel 4**. Berikut merupakan contoh perhitungan beban emisi NO₂ untuk musim hujan.

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Emisi (BE)} &= C \times Q \times 0,0036 \times \text{Jam operasi} \\
 &= 55,8 \text{ mg/Nm}^3 \times 8,997 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,0036 \times 24 \text{ jam} \\
 &= 43,337 \text{ kg/hari} \\
 &= 0,503 \text{ g/s}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Beban Emisi

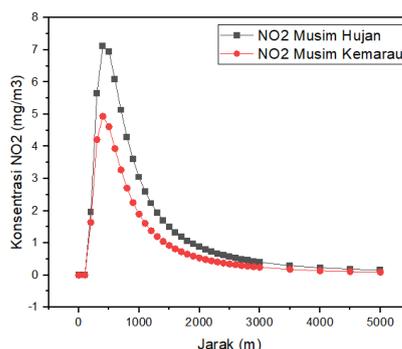
| Parameter | Beban Emisi (g/s) | |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|
| | Musim Hujan | Musim Kemarau |
| Nitrogen Dioksida (NO ₂) | 0,503 | 0,357 |

F. Kecepatan Angin Pada Ketinggian Cerobong

Berdasarkan Persamaan 3 kecepatan angin di ketinggian cerobong pada musim hujan sebesar 2,647 m/s dan pada musim kemarau sebesar 3,083 m/s. Kecepatan angin di ketinggian cerobong dipengaruhi oleh kelas stabilitas atmosfer, ketinggian cerobong, dan nilai kecepatan angin yang diukur menggunakan anemometer.

G. Perhitungan Konsentrasi Emisi Menggunakan *Software SCREEN View*TM

Hasil perhitungan konsentrasi emisi menggunakan *software SCREEN View*TM pada musim hujan dan musim kemarau menunjukkan pola grafik yang berbeda seperti pada **Gambar 2**. Hasil analisis *software SCREEN View*TM pada **Gambar 2** menunjukkan bahwa konsentrasi maksimum NO₂ untuk musim hujan berada pada jarak 434 meter dengan nilai konsentrasi 7,206 µg/m³, sedangkan konsentrasi maksimum NO₂ untuk musim kemarau berada pada jarak 411 meter dengan nilai konsentrasi 4,94 µg/m³.



Gambar 2. Hasil Analisis *Software SCREEN View*TM

Hasil dari perhitungan konsentrasi emisi menggunakan *software SCREEN View*TM untuk musim hujan dan musim kemarau menunjukkan pola grafik yang berbeda. Nilai konsentrasi musim kemarau lebih kecil dibandingkan nilai konsentrasi musim hujan. Konsentrasi emisi di udara ambien dipengaruhi oleh kondisi suhu di udara. Kondisi suhu udara yang tinggi dapat menyebabkan kepadatan udara di dekat permukaan bumi lebih rendah dibandingkan udara di atasnya (Alchamdani, 2019). Menurut Syech, dkk (2013) kondisi seperti ini yang dapat menyebabkan terjadinya aliran konveksi ke atas yang membawa bahan pencemar NO₂, akibatnya konsentrasi NO₂ menjadi rendah di permukaan. Konsentrasi emisi NO₂ juga dipengaruhi oleh jarak dari sumber pencemar (cerobong), dimana semakin dekat jarak sebaran emisi dengan sumber pencemar (cerobong) maka konsentrasi akan semakin besar dan pola grafik akan mengalami peningkatan. Sedangkan semakin jauh jarak sebaran emisi dengan sumber pencemar (cerobong) maka konsentrasi akan semakin kecil dan pola grafik akan mengalami penurunan. Selain itu, arah angin juga dapat mempengaruhi kadar NO₂. Hal ini terjadi ketika kecepatan angin tinggi akan mempercepat pergerakan udara yang dapat menyebabkan persebaran konsentrasi NO₂ semakin cepat di udara, sehingga konsentrasi yang dihasilkan cenderung bernilai rendah (Alchamdani, 2019).

4. KESIMPULAN

Nilai konsentrasi maksimum Nitrogen Dioksida (NO₂) untuk musim hujan berada pada jarak 434 meter dengan konsentrasi maksimum 7,21 µg/m³. Sedangkan nilai konsentrasi maksimum Nitrogen Dioksida (NO₂) untuk musim kemarau berada pada jarak 411 meter dengan konsentrasi maksimum 4,94 µg/m³.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Industri Pengolahan Susu Kabupaten Pasuruan dan Stasiun Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG) Pasuruan atas bantuannya dalam proses pengambilan data emisi dan meteorologi.

6. DAFTAR NOTASI

| | |
|----------------|---|
| BE | = Beban emisi pencemar (kg/hari) |
| C | = Konsentrasi terukur rata-rata harian (mg/Nm ³) |
| Q | = Laju alir emisi volumetrik (m ³ /detik) |
| Op hours | = jam operasi pembangkit selama 1 hari |
| V | = Laju alir rata-rata harian (m/detik) |
| A | = Luas penampang cerobong (m ²) |
| 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 |

7. DAFTAR PUSTAKA

Alchamdani, A. (2019). NO₂ and SO₂ Exposure to Gas Station Workers Health Risk in Kendari City. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(4), 319.

Koehn, A. C., April B. Leytem, & David L. Bjorneberg. (2013). Comparison of Atmospheric Stability Methods for Calculating Ammonia and Methane Emission Rates with WindTrax. *Transactions of the ASABE*, 56(2),

763–768.

Sunaryanto, R., & Prasetyo, A. (2017). PENGARUH EMISI CEROBONG BOILER BATUBARA TERHADAP UDARA AMBIEN. *Jurnal TechLINK*, 1(1), 18–28.

Syech, R., Sugianto, & Anthika. (2013). Faktor-faktor Fisis yang Mempengaruhi Akumulasi Nitrogen Monoksida dan Nitrogen Dioksida di Udara Pekanbaru. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 10(7), 516–523.

Visscher, D, A. (2014). *Air Dispersion Modeling*. John Wiley & Sons, Inc.