

Analisis Dispersi Polutan SO₂ dan NO_x dengan Model AERMOD (Studi Kasus: PLTU Pangkalan Susu PT. PLN Indonesia Power PGU)

Syukri Hadi Novri Siregar¹, Isra' Suryati^{*1}, Lies Setyowati², Rahmi Utami¹,
Meidina Zulfa Hanie¹, Affandi Lubis³, Randy Zulkarnain⁴

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

²Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (DPMPSTP) Kota Medan, Indonesia

³PT PLN Indonesia Power Pangkalan Susu PGU, Kabupaten Langkat, Indonesia

⁴UPDL Padang, Kabupaten Padang Pariaman, Indonesia

*Koresponden email: isratl@usu.ac.id

Diterima: 29 September 2024

Disetujui: 02 Februari 2025

Abstract

Coal-fired power plants produce emissions of particulate matter and gases such as NO_x, SO₂ and Hg, which can have adverse effects on living organisms. Modelling is one method used to estimate the impact of an emission. In addition, the pollutant dispersion model can be used to assess the compliance of an industry's ambient air sampling points. The model used in this study is AERMOD, which is a steady state model influenced by the existing meteorological conditions. The study site is Pangkalan Susu PLTU (2x200 MW) with NO_x and SO₂ parameters. The purpose of this study was to analyse the distribution patterns of NO_x and SO₂ concentrations using the AERMOD model, to analyse the differences in pollutant distribution models in wet and dry months, and to validate the modelling with field observations. The results showed that the maximum concentration of the model was 17.4 µg/m³ for NO_x and 16.2 µg/m³ for SO₂. The simulation results of the AERMOD model show the impact distribution area to the southeast in the wet month and to the northeast in the dry month of the Pangkalan Susu PLTU. The validation results show that the model is in agreement with the field observations.

Keywords: *AERMOD, dispersion, coal-fired power plant, NO_x, SO₂*

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga batubara menghasilkan emisi berupa partikulat dan gas seperti NO_x, SO₂ serta Hg yang dapat berdampak buruk bagi makhluk hidup. Pemodelan merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperkirakan dampak dari suatu emisi. Selain itu model pendispersian polutan dapat digunakan sebagai evaluasi titik penataan sampling udara ambien bagi suatu industri. Model yang digunakan pada penelitian ini adalah AERMOD, dimana model ini bersifat *steady state* dan dipengaruhi oleh kondisi meteorologi yang ada. Lokasi penelitian adalah PLTU Pangkalan Susu (2x200 MW) dengan parameter NO_x dan SO₂. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pola persebaran konsentrasi NO_x dan SO₂ dengan Model AERMOD, menganalisis perbedaan model sebaran polutan pada bulan basah dan bulan kering serta untuk memvalidasi pemodelan dengan observasi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi maksimal model untuk parameter NO_x adalah 17,4 µg/m³ dan SO₂ sebesar 16,2 µg/m³. Hasil simulasi model AERMOD menunjukkan wilayah sebaran dampak pada bulan basah ke arah tenggara dan pada bulan kering ke arah timur laut dari PLTU Pangkalan Susu. Hasil validasi menunjukkan adanya kesesuaian model dengan observasi di lapangan.

Kata Kunci: *AERMOD, dispersi, pltu, NO_x, SO₂*

1. Pendahuluan

Pada umumnya, pembangkit listrik berbahan batubara menghasilkan polutan berupa senyawa NO_x, SO_x, CO dan partikulat halus yang dikeluarkan dari cerobong dan dilepaskan ke udara [1]. Polutan - polutan ini tentunya akan diemisikan oleh cerobong dan terdispersi di udara. Hal ini tentunya akan memberikan dampak yang sangat buruk terhadap lingkungan terutama terhadap kualitas udara ambien yang ada utamanya terhadap reseptor seperti manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan. Bahkan pencemaran udara dari pembangkit listrik tenaga uap dapat mempengaruhi sektor pertanian yaitu polusi udara dari limbah PLTU diduga menyebabkan para petani sering gagal panen, pendapatan panen makin anjlok, dan bermacam penyakit tanaman pun belakangan makin sering muncul [2]. Selain itu udara yang tercemar limbah batubara

dapat menyebabkan timbulnya gangguan pernapasan seperti asma yang disebabkan oleh fly ash dan penyakit paru-paru hitam (black lung) yang disebabkan oleh NO_x dan SO_x [3].

PLTU Pangkalan Susu memiliki kapasitas produksi listrik sebesar 2x220 MW yang beroperasi dari tahun 2015 serta untuk unit 1 dan 2 serta 2x200 MW untuk unit 3 dan 4 yang beroperasi dari tahun 2019. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pemodelan sebagai langkah awal dalam menentukan kebijakan dan tindakan yang harus dilakukan kedepannya. Hal ini karena pemodelan dapat digunakan untuk menggambarkan kualitas udara serta hubungannya dengan sumber emisi polutan berasal dan pengaruhnya pada konsentrasi polutan di atmosfer [4].

Pemodelan dispersi yang digunakan dalam penelitian ini adalah AERMOD. Model AERMOD merupakan Software pemodelan kualitas udara Steady State yang telah menjadi rekomendasi oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) dengan jarak pemodelan dekat yaitu < 50 km dan jarak jauh > 50 km. Akan tetapi, saat ini AERMOD dipilih EPA untuk memodelkan polutan di lapangan dengan jarak dekat yaitu < 50 km [5].

Pemodelan kualitas udara untuk PLTU Pangkalan Susu sudah pernah dilakukan pada penelitian terdahulu untuk parameter SO₂ dan NO_x [6] menggunakan model CALPUFF. elah dilakukan oleh Dresser & Huizer, (2011) yang menggunakan metode *Composite Performance Measure* (CPM) dengan hasil validasi AERMOD sebesar 0,36 dan CALPUFF sebesar 0,26 sehingga menunjukkan bahwa model AERMOD bekerja lebih baik dibandingkan dengan CALPUFF sehingga pada penelitian ini dilakukan simulasi pemodelan menggunakan model AERMOD.

2. Metode Penelitian

Penelitian didasarkan pada perkembangan berbagai macam industri termasuk dalam hal ini industri yang menggunakan batubara sebagai bahan baku utama dalam melakukan proses produksinya seperti pada industri PLTU. Hal ini tentunya akan menghasilkan berbagai macam polutan yang akan mencemari udara ambien dan tentunya dapat memberikan efek negatif terhadap manusia. Berdasarkan permasalahan tersebut maka akan dilakukan penelitian untuk menganalisis persebaran, konsentrasi, pengaruh meteorologi terhadap persebaran dan konsentrasi polutan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software AERMOD yang juga akan dibandingkan nanti hasil pemodelannya dengan hasil pengukuran konsentrasi polutan pada udara ambien.

Dalam melakukan pendugaan dan analisis terhadap dispersi udara yang ada maka dilakukan terlebih dahulu proses tahap kegiatan. Tahapan proses tersebut mencakup kegiatan pengumpulan data, pembuatan model prediksi dan pemetaan penyebaran pencemar udara di PLTU Pangkalan Susu PT. PLN Indonesia Power PGU.

Penelitian dilakukan di Kecamatan Pangkalan Susu, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara. Lokasi penelitian terletak pada koordinat 4°07'11.2"N dan 98°15'31.9"E. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN Indonesia Power PGU dan dari beberapa sumber lainnya. Data yang digunakan adalah data tahun 2022 dan

data tahun 2023 atau data 2 tahun terakhir. Pengumpulan data dilakukan pada periode sekitar pertengahan bulan Februari Tahun 2024. Adapun data sekunder yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Data emisi NO_x dan SO₂ yang diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. PLN Indonesia Power PGU Pangkalan Susu
- Data spesifikasi cerobong seperti tinggi, diameter, koordinat, laju alir, debit yang diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. PLN Indonesia Power PGU Pangkalan Susu
- Data pengukuran kualitas udara ambien dari laporan implementasi RKL RPL yang diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. PLN Indonesia Power PGU
- Data meteorologi yang diperoleh dari situs <https://cds.climate.copernicus.eu>
- Data elevasi mencakup data kontur yang dibutuhkan dalam membuat peta kontur. Data elevasi dapat diambil dari situs www.webgis.com

Berdasarkan data sekunder yang diperoleh maka dilakukan pengolahan data dengan mengolah data arah dan kecepatan angin menggunakan software WRPLOT VIEW untuk mendapatkan *windrose* berupa arah angin dominan. Data meteorologi lainnya serta data upper air diolah dengan software AERMET VIEW, data laju emisi dan peta elevasi diproses menggunakan AERMOD VIEW yang mencakup AERMAP untuk pemodelan sehingga diperoleh pola sebaran emisi untuk NO_x dan SO₂.

Validasi model dilakukan dengan membandingkan nilai konsentrasi NO_x dan SO₂ dari pengukuran lapangan (aktual) udara ambien dan nilai dari hasil simulasi output pemodelan AERMOD. Metode validasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *Wilmott's Index of Agreement* (d), *Friction Bias* (FB) dan *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE) dengan persamaan berikut [7]:

$$d = 1 - \frac{\overline{(C_{pred} - C_{obs})^2}}{(|C_{pred} - C_{obs}| + C_{pred} - C_{obs})^2} \quad (1)$$

$$FB = \frac{2(C_{pred} - C_{obs})}{C_{pred} + C_{obs}} \quad (2)$$

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\sum_{n=1}^n \left(\frac{C_{obs} - C_{pred}}{C_{pred}} \right)^2 \right]} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan:

C_{pred} : Konsentrasi model (µg/Nm³)

C_{obs} : Konsentrasi di lapangan (µg/Nm³)

Nilai validasi yang baik berdasarkan kriteria berikut [8 dan 18]:

1. FB (-2 sampai dengan 2)
2. Nilai d (mendekati 1)
3. Nilai RMSPE < 50%

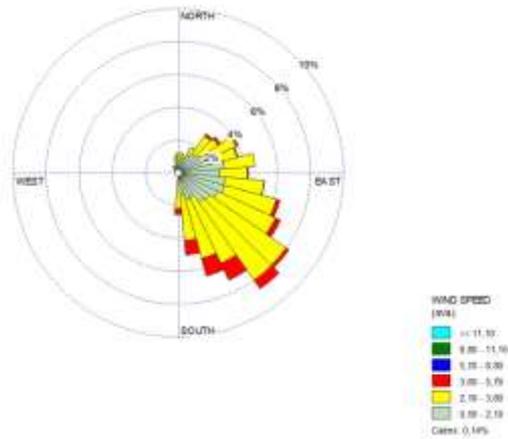
Menurut [7], validasi model perlu untuk dilakukan dengan tujuan model tersebut dapat memperoleh kepercayaan karena pengaruh kondisi lingkungan tertentu cenderung memberikan konsekuensi terhadap ketidaksesuaian hasil model. Ketidak-akuratan atau ketidak-pastian selalu ada dalam hasil prediksi pemodelan kualitas udara. Hal tersebut menjadi penyebab konsentrasi yang diprediksi dapat menjadi lebih rendah (*under prediction*) atau lebih tinggi (*over prediction*) dari pengukuran lapangan (langsung) [9]. Ketidak-akuratan dalam hasil model mungkin besar, hal tersebut disebabkan oleh konsep model yang digunakan dan input parameter seperti data emisi dan faktor meteorologi. Hasil model kemungkinan besar hanya dapat mewakili prediksi pada tingkat tertentu [10].

3. Hasil dan Pembahasan

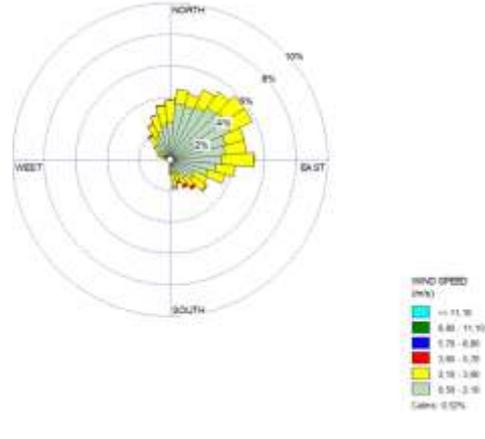
3.1 Hasil *Windrose*

Windrose atau mawar angin merupakan metode penggambaran arah dan kecepatan dominan angin suatu tempat pada periode waktu tertentu. *Windrose* memiliki dua opsi dalam cara pembacaannya, yaitu angin berhembus kearah mana (*blowing to*) dan angin berhembus dari arah mana (*blowing form*). Dalam penelitian ini cara pembacaan angin berhembus kearah mana (*blowing to*) yang digunakan.

Berdasarkan *windrose* yang telah didapatkan, dapat diketahui bahwa arah angin dominan rata-rata pada bulan basah (Januari-Maret & Oktober-Desember) adalah dari arah barat laut menuju arah Tenggara dengan rata-rata kecepatan tertinggi adalah 2,1 m/s – 3,6 m/s. Sementara arah angin dominan rata-rata pada bulan kering (April-September) adalah dari arah barat daya menuju timur laut dengan rata-rata kecepatan tertinggi adalah 2,1 m/s – 3,6 m/s. Secara umum, di Indonesia bulan basah terjadi antara bulan Januari hingga Maret dan Oktober hingga Desember, sedangkan bulan kering terjadi pada bulan April hingga September [11].



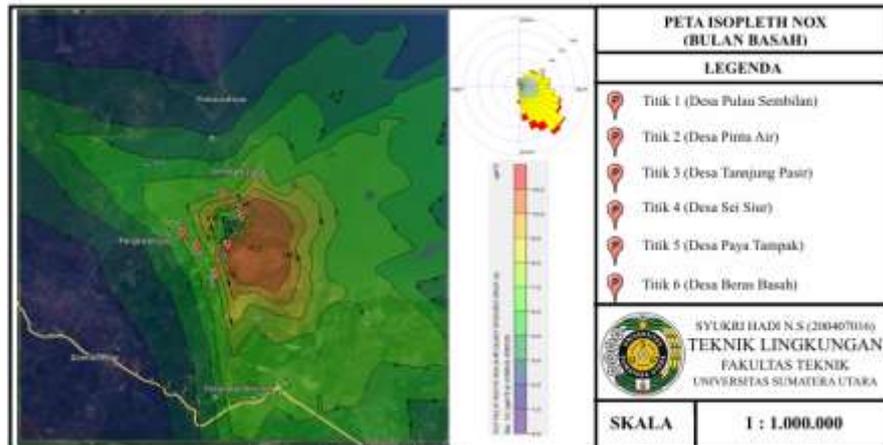
Gambar 2a. Windrose Rata-rata Bulan Basah 2022-2023



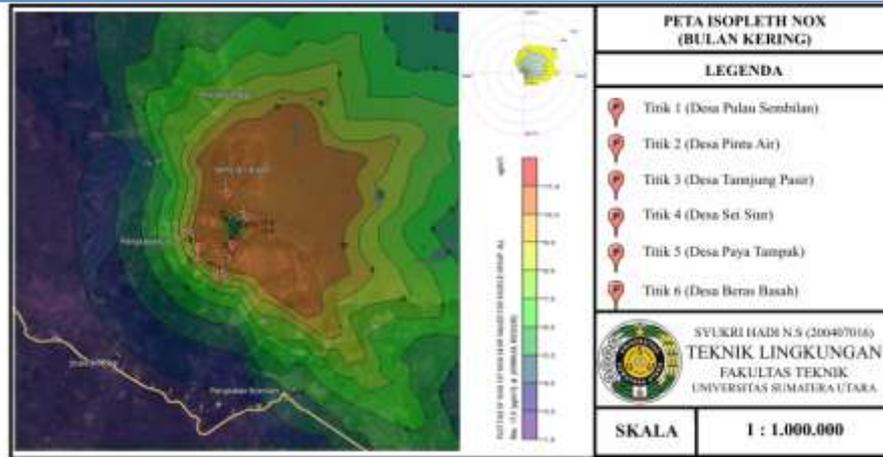
Gambar 2b. Windrose Rata-rata Bulan Kering 2022-2023

3.2 Hasil Pemodelan AERMOD

Pemodelan dilakukan pada musim basah dan musim kering. Hasil pemodelan memaparkan arah dan tingkat konsentrasi berdasarkan parameter yang dimodelkan pada cerobong unit 1, 2, 3 dan 4. Tingkat konsentrasi pada model diinterpretasikan ke dalam beberapa tingkatan warna. Simulasi dilakukan dalam rentang waktu rata-rata 24 jam sesuai dengan baku mutu udara ambien yang ditetapkan dalam PP RI. No. 22 Tahun 2021 Lampiran VII Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Hasil pemodelan untuk sebaran NOx pada bulan basah dan bulan kering dapat dilihat pada **Gambar 3a** dan **3b**.



Gambar 3a. Hasil Simulasi Persebaran NOx Pada Bulan Basah

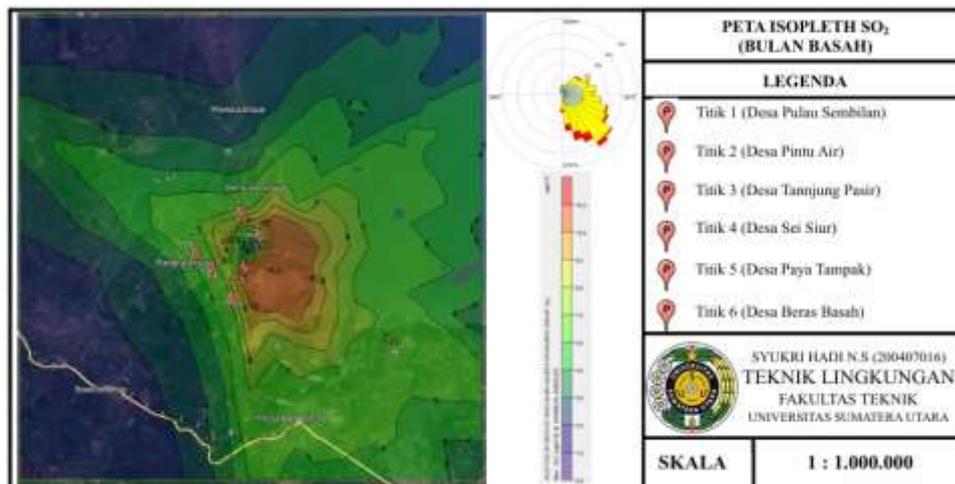


Gambar 3b. Hasil Simulasi Persebaran NO_x Pada Bulan Kering

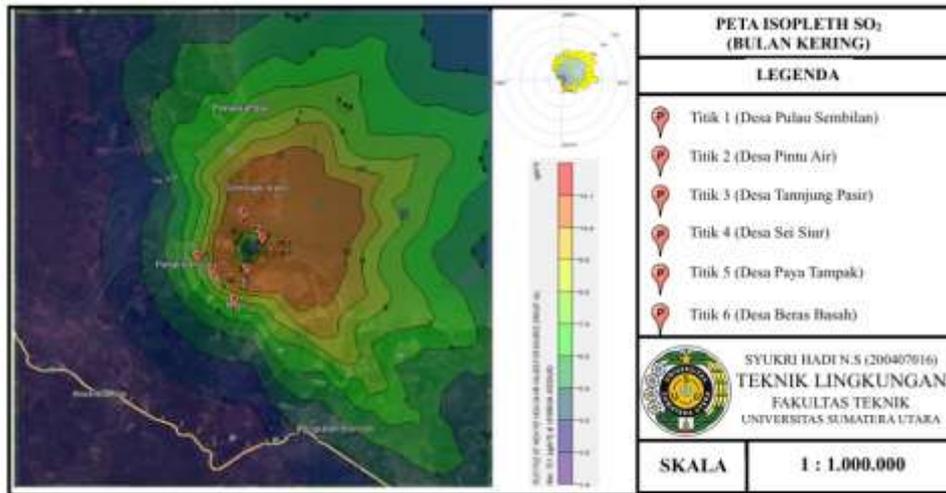
Berdasarkan hasil simulasi menggunakan model AERMOD dengan simulasi rata-rata 24 jam diperoleh bahwa konsentrasi NO_x di lingkungan masih berada dibawah baku mutu udara ambien (PP RI. No. 22 Tahun 2021) yaitu 65 µg/m³. Konsentrasi polutan berbanding terbalik dengan jarak pendispersian dimana semakin jauh jarak dispersi maka semakin kecil konsentrasinya. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [12] yang menunjukkan bahwa semakin bertambahnya jarak maka konsentrasi polutan juga semakin berkurang akibat dari emisi gas yang keluar melalui cerobong yang langsung menuju udara ambien.

Pada parameter NO_x nilai konsentrasi pada bulan basah dan bulan kering tidak terlalu berbeda dimana pada bulan basah rentang nilai konsentrasi adalah 0,9 µg/m³ – 16,2 µg/m³ sedangkan pada bulan kering rentang nilai konsentrasi adalah 1,5 µg/m³ – 17,4 µg/m³. Hasil konsentrasi pemodelan pada bulan kering relatif lebih tinggi daripada pada bulan basah. Hal ini diakibatkan konsentrasi NO_x yang dihasilkan pada bulan kering lebih besar daripada yang dihasilkan pada bulan basah. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya pada lokasi yang sama oleh [6], hasil konsentrasi NO_x menggunakan model Calpuff juga menunjukkan masih berada dibawah baku mutu emisi dengan konsentrasi maksimal 5,15 µg/m³.

Pola persebaran polutan NO_x memiliki perbedaan pada bulan basah dan kering. Hal ini dipengaruhi terutama oleh faktor meteorologi yaitu arah dan kecepatan angin. Pada bulan basah polutan cenderung terdispersi ke arah tenggara. Sedangkan pada bulan kering polutan cenderung terdispersi ke arah timur laut. Pola persebaran antara bulan basah dan kering sudah sesuai dengan pola yang dihasilkan pada *windrose*. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan [11] dengan model yang sama, arah persebaran polutan akan sama dengan arah angin yang ada pada lokasi penelitian. Sementara itu hasil pemodelan untuk SO₂ dapat dilihat pada Gambar 4a dan 4b.



Gambar 4a. Hasil Simulasi Persebaran SO₂ Pada Bulan Basah



Gambar 4b. Hasil Simulasi Persebaran SO₂ Pada Bulan Kering

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan model AERMOD dengan simulasi rata-rata 24 jam diperoleh bahwa konsentrasi SO₂ di lingkungan masih berada dibawah baku mutu udara ambien yang telah ditetapkan dalam PP RI. No. 22 Tahun 2021 yaitu 75 µg/m³. Konsentrasi polutan berbanding terbalik dengan jarak pendisperian dimana semakin jauh jarak dispersi maka semakin kecil konsentrasinya. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [12] yang menunjukkan bahwa semakin bertambahnya jarak maka konsentrasi polutan juga semakin berkurang akibat dari emisi gas yang keluar melalui cerobong yang langsung menuju udara ambien.

Pada parameter SO₂ nilai konsentrasi pada bulan basah dan bulan kering tidak terlalu berbeda dimana pada bulan basah rentang nilai konsentrasi adalah 0,9 µg/m³ – 16,2 µg/m³ sedangkan pada bulan kering rentang nilai konsentrasi adalah 1,4 µg/m³ – 15,1 µg/m³. Hasil konsentrasi pemodelan pada bulan sedikit basah lebih tinggi daripada pada bulan kering. Hal ini diakibatkan konsentrasi SO₂ yang dihasilkan pada bulan kering lebih besar daripada yang dihasilkan pada bulan kering. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya pada lokasi yang sama oleh [6], hasil konsentrasi SO₂ menggunakan model Calpuff juga menunjukkan masih berada dibawah baku mutu emisi dengan konsentrasi maksimal 3,57 µg/m³.

Pola persebaran polutan SO₂ memiliki perbedaan pada bulan basah dan kering. Hal ini dipengaruhi terutama oleh faktor meteorologi yaitu arah dan kecepatan angin. Pada bulan basah polutan cenderung terdispersi ke arah tenggara. Sedangkan pada bulan kering polutan cenderung terdispersi ke arah timur laut. Pola persebaran antara bulan basah dan kering sudah sesuai dengan pola yang dihasilkan pada *windrose*. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan [11] dengan model yang sama, arah persebaran polutan akan sama dengan arah angin yang ada pada lokasi penelitian.

3.3 Validasi Model

Validasi model merupakan proses yang dilakukan untuk memverifikasi keakuratan model yang telah dihasilkan. Validasi model dilakukan dengan membandingkan antara hasil model AERMOD dengan hasil pengukuran udara ambien di lapangan. Nilai sampel udara ambien yang digunakan merupakan nilai sampel yang telah diambil pada 6 titik pemantauan udara ambien PLTU Pangkalan Susu. Validasi model menggunakan metode yaitu metode, *Wilmott's Index of Agreement (d)*, *Friction Bias (FB)* dan *Root Mean Square Percent Error (RMSPE)*. Pada **Tabel 1** dapat dilihat hasil prediksi konsentrasi NO_x dan SO₂ dengan hasil sampling di lapangan (observasi).

Tabel 1. Konsentrasi model AERMOD dan observasi di lapangan pada udara ambien sekitar wilayah studi

No	Lokasi Sampling	Konsentrasi NO _x (µg/m ³)				Konsentrasi SO ₂ (µg/m ³)			
		Prediksi Model		Observasi		Prediksi Model		Observasi	
		Bulan Basah	Bulan Kering	Bulan Basah	Bulan Kering	Bulan Basah	Bulan Kering	Bulan Basah	Bulan Kering
1	Desa Pulau Sembilan	9	10	46,19	45,29	9	10	39,94	39,33
2	Desa Pintu Air	5	6	39,48	39,56	5	8	46,22	46,22
3	Desa Tanjung Pasir	10	10	36,04	35,54	10	10	36,93	36,44
4	Desa Sei Siur	5	8	47,64	46,97	5	8	44,02	44,01
5	Desa Paya Tampak	5	7	38,06	37,68	7	6	50,05	49,57
6	Desa Beras Basah	5	7	36,17	35,51	5	6	41,39	40,69

Apabila dilihat pada **Tabel 1**, hasil konsentrasi NOx dan SO2 dari prediksi model jauh berbeda dengan hasil observasi di lapangan. Variasi konsentrasi ini juga dipengaruhi oleh elemen meteorologi seperti kenaikan suhu, tekanan, dan kelembaban spesifik, yang merupakan variabel paling signifikan dalam peningkatan konsentrasi polutan udara. Di samping itu, sinar matahari turut berperan penting dalam reaksi kimia di atmosfer yang berdampak pada proses pengubahan SO2 dan NO2 menjadi partikel aerosol [13].

Perbedaan dalam tingkat emisi di reseptor dipengaruhi oleh ketinggian cerobong serta laju gas yang dibuang. Dalam penelitian yang dilakukan oleh [14], yang memanfaatkan model AERMOD untuk menganalisis dampak distribusi konsentrasi polutan dengan variasi tinggi cerobong dan kecepatan gas buang, ditemukan bahwa ketinggian cerobong dan laju gas buang merupakan dua faktor penting yang mempengaruhi penyebaran konsentrasi polutan. Dengan meningkatnya ketinggian cerobong dan laju gas buang, *plume rise* dan *buoyancy* juga akan meningkat, yang pada gilirannya dapat mengurangi konsentrasi polutan maksimum akibat dari tingginya *mixing height* dan timbulnya distribusi turbulen.

Selain elemen tersebut, arah angin juga merupakan faktor krusial dalam menetapkan tingkat kontaminasi udara karena emisi yang berasal dari cerobong mengikuti arah angin [15]. Tingkat polutan juga dipengaruhi oleh ketinggian pada setiap titik penerima, yang menjadi dasar untuk menentukan pola distribusi dan tingkat konsentrasi polutan menurut AERMOD [16]. Studi yang dilakukan oleh [17] mengindikasikan bahwa konsentrasi penyebaran SO2 dan NO2 cenderung berkurang seiring dengan jarak, tetapi meningkat sejalan dengan ketinggian, di mana peningkatan konsentrasi terjadi pada ketinggian sekitar ± 100 mdpl ke arah barat laut dan sedikit pada ketinggian ± 90 mdpl ke arah barat daya dari sumber emisi. Peningkatan konsentrasi tersebut diduga disebabkan oleh turbulensi mekanik karena peningkatan ketinggian yang menyebabkan akumulasi polutan.

Perbedaan ini dapat diuji dengan menggunakan persamaan pada bab metodologi sehingga diperoleh hasil validasi untuk model NOx dan SO2 seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai Validasi Model NOx dan SO2 pada Bulan Basah dan Bulan Kering

No	Parameter Polutan	NOx		SO2		
		Kriteria	Bulan Basah	Bulan Kering	Bulan Basah	Bulan Kering
1	d		0,73	0,74	0,73	0,73
2	FB		-1,46	-1,35	-1,46	-1,38
3	RMSE		34,20%	32,99%	32,61%	40,25%

Model dapat diterima apabila nilai *Wilmott's Index of Agreement* (d) mendekati 1 dan *Fraction Bias* (FB) berada dalam rentang -2 sampai dengan +2. Berdasarkan **Tabel 2** dapat dilihat bahwa nilai d untuk keseluruhan parameter pada bulan basah memiliki nilai yang sama yaitu 0,73 atau 73% bebas kesalahan. Sedangkan nilai d pada bulan kering menunjukkan sedikit perbedaan yaitu pada parameter NOx yang memiliki nilai 0,74 dan pada parameter SO2 memiliki nilai yang sama seperti pada bulan basah yaitu 0,73 atau 73% bebas kesalahan. Nilai d yang mendekati 1 menunjukkan tingkat kesesuaian yang cukup tinggi antara nilai konsentrasi hasil pemodelan dengan nilai konsentrasi hasil pengukuran lapangan [20]. Artinya nilai d yang mendekati nilai 1 mengindikasikan bahwa tingkat kesesuaian antara nilai konsentrasi model dan konsentrasi pengukuran lapangan cukup tinggi.

Untuk validasi dengan menggunakan metode FB pada bulan basah untuk parameter NOx dan SO2 memiliki nilai yang sama yaitu -1.46. Pada bulan kering nilai FB parameter NOx memiliki nilai -1,35, SO2 memiliki nilai -13.8. Seluruh parameter masih berada didalam rentang yang diperbolehkan pada nilai FB yaitu -2 sampai dengan +2. *Fractional Bias* (FB) mengukur rata-rata antara dua kondisi pada nilai yang mendekati -2 yang menandakan bahwa nilai berada dalam kondisi under-prediction dan pada nilai yang mendekati +2 menandakan bahwa nilai berada dalam kondisi *over-prediction* [20]. Berdasarkan hasil validasi yang keseluruhannya bernilai minus (-) maka hasil pemodelan berada pada kondisi dibawah hasil prediksi/pengukuran actual.

Pada hasil RMSPE rentang nilai yang dihasilkan pada bulan basah untuk parameter NOx adalah 34.20 % , untuk SO2 adalah 32.61 % . Sedangkan pada bulan kering nilai validasi NMSE untuk parameter NOx adalah 32.99 % , untuk SO2 adalah 40.25 % . Nilai validasi untuk RMSPE berada antara 0,5 hingga 50 % . Ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh [18] yang mengungkapkan bahwa nilai kesalahan di bawah 0,5 atau 50 % dapat dianggap sebagai indikator bahwa model itu dapat diterima. Ini menandakan bahwa model tersebut dapat diterapkan untuk mensimulasikan skenario.

Berdasarkan hasil validasi, semua nilai parameter memenuhi kriteria yang ditetapkan. Deksis [18] juga menjelaskan bahwa RMSPE dapat digunakan untuk mengukur rata-rata persentase perbedaan antara data nyata dan hasil simulasi. Pandangan yang berbeda diajukan oleh [19], yang menyatakan bahwa model

dapat dianggap memiliki tingkat validasi yang dapat diterima jika nilai RMSPE kurang dari 25%, dan model akan dianggap bagus jika nilai RMSPE kurang dari 10%. Nilai validasi yang tidak sesuai dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti profil emisi seperti suhu gas buang, kecepatan gas, serta beban emisi, perbedaan kondisi data meteorologi antara situasi nyata dan yang digunakan untuk pemodelan, serta sumber emisi lain yang tidak diperhitungkan.

4. Kesimpulan

Model distribusi emisi yang menunjukkan hasil tertinggi dari simulasi cenderung berada pada jarak 2 kilometer selama bulan basah dan berkisar antara 1,8 hingga 2,7 kilometer pada bulan kering, sesuai dengan arah penyebarannya. Konsentrasi maksimum untuk empat parameter antara bulan basah dan bulan kering terlihat pada nilai NO_x yang mencapai 17,4 µg/m³ pada bulan kering, dan pada parameter SO₂ sebesar 16,2 µg/m³ saat bulan basah.

Berdasarkan analisis model, pada bulan basah, arah penyebaran polutan utama mengarah dari barat laut ke tenggara, sedangkan pada bulan kering, arah penyebaran polutan mengarah dari barat daya ke timur laut. Namun, konsentrasi menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara kondisi bulan basah dan kering.

Validasi model pada bulan basah dan kering yang dilakukan dengan metode *Wilmott's Index of Agreement (d)*, serta *Friction Bias (FB)* menunjukkan bahwa nilai *d* untuk semua parameter berkisar antara 0,73 hingga 0,74, yang menandakan kesesuaian model dengan pengukuran lapangan. Di sisi lain, nilai *FB* untuk semua parameter, baik pada bulan basah maupun kering, menunjukkan rentang antara -1,35 hingga -1,91, yang menunjukkan kesesuaian dengan data pengukuran lapangan dalam kondisi prediksi yang *under prediction*. Selain itu, nilai RMSPE berada dalam batas yang valid, yaitu kurang dari 50%, dengan kisaran antara 32,61% hingga 40,25%, yang mengindikasikan tingkat kesalahan yang terjadi.

5. Daftar Pustaka

- [1] Pratiwi, et al. "Pemantauan Kualitas Udara Ambien Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kota X". *Jurnal Pengelolaan dan Teknologi Lingkungan*, 2(1), 115-26, 2023.
- [2] Simanjuntak, et al. "Pentingnya Kehadiran Negara dalam Konflik Masyarakat – Korporasi: Pengalaman Masyarakat Pangkalan Susu Menolak PLTU Batubara". *Jurnal Kajian Agraria dan Kedaulatan Pangan*, 1(1), 9-18, 2022.
- [3] Lumakeki, et al. "Analisis Kualitas Udara PLTU Amurang". *Majalah InfoSains*, 2 (2), 13-19, 2021.
- [4] Adriani. "Analisis Pola Dispersi Polutan pada Kawasan Pabrik di Kecamatan Somba Opu". *Jurnal Tech*, 1 (1), 12-17, 2020.
- [5] Rood, A. S. "Performance evaluation of AERMOD, CALPUFF, and Legacy Air Dispersion Models Using the Winter Validation Tracer Study Dataset". *Atmospheric Environment*, 89, 707–720, 2014.
- [6] Zulkarnain, R., et al. "Analysis Distribution Sulfur Dioxide and Nitrogen Dioxide Concentration from PLTU Pangkalan Susu with Callpuff Method". *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 3 (4), 236-244, 2020.
- [7] Octarinie, D., Riduan, R., & Khair, R. M. "Simulasi Model Dispersi Konsentrasi PM10 dari Sumber Lalu Lintas di SDN Nusa Indah 1 Kecamatan Bati-Bati". *JTAM: Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa Teknik Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat*, 2(1), 2019.
- [8] Suryati, I, Juni H S, Ahmad R D dan Ivan I. "Analisis Konsentrasi CO (Karbon Monoksida) Udara Ambien dari Sumber Kendaraan Bermotor dengan Menggunakan Model Meti-Lis di Kawasan Balai Kota, Medan". *Jurnal Sains dan Teknologi*, 21(2), 2021.
- [9] Munir, S., Mayfield, M., Coca, D., Mihaylova, L. S., & Osammor, O. "Analysis of Air Pollution in Urban Areas with Airviro Dispersion Model-A Case Study in the City of Sheffield, United Kingdom". *Atmosphere*, 11(3), 2020.
- [10] Moussiopoulos, N., Berge, E., Bøhler, T., Leeuw, F. De, Grønskei, K., Mylona, S., & Tombrou, M. "Ambient Air Quality, Pollutant Dispersion And Transport Models". *In European Environment Agency*, 1996.
- [11] Sugiarto, B. L. M., et al. "Pemodelan Dispersi Gas SO₂ dan NO₂ Dari Cerobong PLTSA Merah Putih, Bantargebang, Bekasi, Jawa Barat Menggunakan AERMOD View". *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan SATU BUMI*, 50-58, 2024.
- [12] Zakaria, R., Aly, S. Hdan Annisa. "Air dispersion modelling of gas turbine power plant emissions in Makassar by using AERMOD". *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1-10, 2019.
- [13] Aprilia, Arifa. "Analisis Sebaran Emisi SO₂ dan NO₂ dari Cerobong Boiler Industri Pengolahan Kelapa Sawit dengan Model Aermod di PT Perkebunan Nusantara VI Unit Usaha Pinang Tinggi

- Kabupaten Muaro Jambi". Skripsi Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, 2023.
- [14] H.Amer, N., & A. Abbas, A. "Combined Influence of Stack Height and Exit Velocity on Dispersion of Pollutants Caused by Helwan Cement Factory (Study using AERMOD Model)". *International Journal of Computer Applications*, 121(9), 19–24, 2015.
- [15] Abdullah, M. H., Ali, M. I. Bin, & Kong, N. S. "Analysis For Wind Characteristic in Teluk Kalung, Kemaman, Terengganu". *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5(6), 3827–3833, 2016.
- [16] Sasmita, A., Andrio, D., & Hasibuan, P. "Pemetaan Sebaran Partikulat dari Pembakaran Limbah Padat Industri Pengolahan Sawit di Kabupaten Kampar, Riau". *Sains Dan Teknologi*, 18(2), 57–67, 2019.
- [17] Sarwono, E., Wijayanto, E., Huda, H., Harrits, R. F., & Zain, I. F. "Dispersi SO₂ dan NO₂ dari Cerobong Auxiliary Boiler Industri Methanol PT KMI Menggunakan Gaussian Plum Model AERMOD di Kota Bontang Kalimantan Timur Indonesia". *Jurnal Chemurgy*, 6(200), 109–117, 2022.
- [18] Deksissa, T., C. "Dynamic Integrated Modeling of Basic Water Quality and Fate and Effect of Organic contaminants in rivers", Ghent University, Belgium, 2004.
- [19] Reed, K. F., Casper, D. P., France, J., & Kebeab, E. "Prediction of Nitrogen Efficiency in Dairy Cattle: A review. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture", *Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 10(001), 2015.
- [20] Gusrianti, D, Ahmad P M T. Isra S. "Analisis Sebaran Karbon Monoksida dari Sumber Transportasi dari Jl SM Raja dengan Metode Finite Length Line Source Berbasis Sistem Informasi Geografis", *Jurnal Dampak*. 2017.