

DISPERSI SO₂ DAN NO₂ DARI CEROBONG AUXILIARY BOILER INDUSTRI METHANOL PT KMI MENGGUNAKAN GAUSSIAN PLUM MODEL AERMOD DI KOTA BONTANG KALIMANTAN TIMUR INDONESIA

DISPERSION OF SO₂ AND NO₂ EMITTED BY AUXILIARY BOILER OF PT KMI METHANOL INDUSTRIAL USING THE GAUSSIAN PLUM MODEL AERMOD IN BONTANG CITY EAST KALIMANTAN INDONESIA

Edhi Sarwono^{1*}, Eka Wijayanto², Hairul Huda³, Reynaldi Ferdhani Harrits⁴, Iqbal Fathur Zain⁵

^{1,4,5} Department of Environmental Engineering, Engineering Faculty, Mulawarman University

²PT Kaltim Methanol Industri, Bontang City, East Kalimantan Province

³Department of Chemical Engineering, Engineering Faculty, Mulawarman University
Jl. Sambaliung NO. 9 Kampus Gunung Kelua Samarinda, Kode Pos 75242, Indonesia

email: e.sarwono@unmul.ac.id

(Received: 2022, 12, 13; Reviewed: 2022, 12, 20; Accepted: 2022, 12, 25)

Abstrak

Industri petrokimia PT Kaltim Methanol Industri Kota Bontang, menggunakan *auxiliary boiler* dengan bahan bakar *natural gas* dan terhubung pada *stack* untuk mengeluarkan polutan ke atmosfer. Tujuan penelitian ini adalah pemodelan SO₂ dengan radius 5 kilometer dan pemodelan NO₂ dengan radius 10 kilometer di lokasi sumber emisi. Pemodelan menggunakan *software* AERMOD, *software* AERMET dan *software* Aemap ArcGIS. *Wind rose* di area penelitian dominan dari arah barat daya dan timur laut. Konsentrasi penyebaran SO₂ dan NO₂ cenderung menurun sesuai jarak. Kenaikan konsentrasi terjadi pada wilayah yang mengalami kenaikan elevasi yaitu di Kecamatan Teluk Pandan dengan jarak sekitar 10 kilometer arah barat laut dengan elevasi sekitar 100 mdpl dan sebagian area di Kecamatan Bontang Barat dengan jarak sekitar 5 kilometer arah barat daya dengan elevasi sekitar 90 mdpl. Konsentrasi SO₂ maksimum pada reseptor sebesar 6,2631 µg/m³ pada pemodelan per jam, 0,58132 µg/m³ pada pemodelan per 24 jam dan 0,0317 µg/m³ pada pemodelan tahunan. Konsentrasi NO₂ maksimum pada reseptor sebesar 1,96781 µg/m³ pada pemodelan per jam, 0,18089 µg/m³ pada pemodelan per 24 jam dan 0,01002 µg/m³ pada pemodelan tahunan. Persebaran polutan berdasarkan pemodelan per jam dan per 24 jam cenderung menyebar ke segala arah dan tidak teratur sedangkan untuk pemodelan tahunan cenderung menyebar ke arah barat daya dan timur laut sesuai dengan *wind rose*.

Kata kunci : AERMOD, Emisi, Pemodelan, Dispersi Udara, *Auxiliary boiler*

ABSTRACT

The petrochemical industry PT Kaltim Methanol Industri Bontang City, uses auxiliary boilers with natural gas fuel and is connected to the stack to emit pollutants into the atmosphere. The objectives of this study are SO₂ modeling with a radius of 5 kilometers and modeling of NO₂ with a radius of 10 kilometers from the emission source. Modeling using AERMOD software, AERMET Software, and Aemap ArcGIS Software. The wind rose

in the dominant research area from the southwest and northeast directions. Dispersion of SO_2 and NO_2 decreases according to the distance. The increase in concentration occurred in areas that experienced elevation increases, in Teluk Pandan District with a distance of about 10 kilometers northwest with an elevation of about 100 meters above sea level, and part of the West Bontang District with a distance of about 5 kilometers to the southwest with an elevation of about 90 meters above sea level. The maximum concentration of SO_2 at the receptor was $6,2631 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on hourly modeling, $0,58132 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on modeling per 24 hours, and $0,0317 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on annual modeling. The maximum NO_2 concentration at the receptor was $1,96781 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on hourly modeling, $0,18089 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on hourly modeling, and $0,01002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on annual modeling. The distribution of pollutants based on hourly modeling per 24 hours is spreading in all directions and irregularly while for annual modeling it tends to spread towards the southwest and northeast according to the wind rose.

Keywords: AERMOD, Emissions, Modeling, Air Dispersion, Auxiliary boiler

1. PENDAHULUAN

Udara dapat diartikan sebagai faktor penting dalam menunjang kehidupan dan telah menjadi perhatian dunia karena kualitasnya yang semakin lama kian menurun (Baturante dan Kumendong, 2022), dan polusi udara telah menjadi masalah utama dalam beberapa tahun terakhir (Salva dkk., 2021). Masalah polusi udara ini pula yang telah dipikirkan oleh manusia sejak lama, permasalahan utamanya adalah emisi lokal yang berdampak buruk terhadap kualitas udara (Idris dkk., 2020). Penyebaran udara ambien perlu dimodelkan hal ini juga terkait dengan kesehatan masyarakat disekitaran kawasan industri (Ofrial dkk., 2020). Penyebaran udara mengandung konsentrasi zat pencemar dapat berbahaya bagi masyarakat secara luas, karena terdapat relevansi secara langsung (Pandey dan Sharan, 2021). Salah satu industri yang menimbulkan polusi udara adalah industri yang menggunakan bahan bakar gas bumi sebagai sumber energi. Salah satu sumber emisi pada industri ini berasal dari *auxiliary boiler* dengan polutan seperti SO_2 dan NO_2 . *Auxiliary boiler* merupakan alat yang di rancang untuk menghasilkan HP *steam superheated* dengan bahan bakar *natural gas*. PT Kaltim Methanol Industri (PT KMI) yang berlokasi di Kota Bontang Provinsi Kalimantan Timur, merupakan industri petrokimia satu-satunya di Indonesia yang memanfaatkan gas alam (*natural gas*) sebagai bahan baku untuk memproduksi metanol *grade AA* yaitu metanol dengan kemurnian di atas 99,85%.

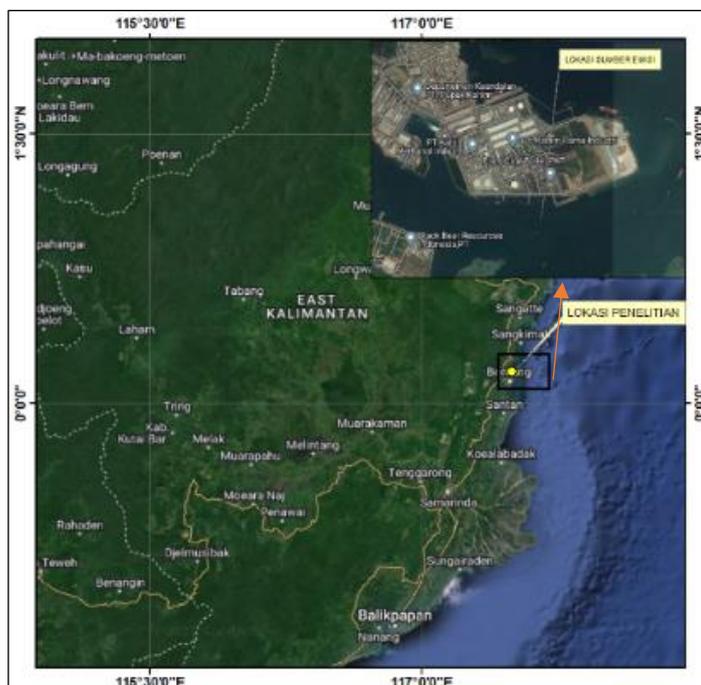
Pemodelan dispersi udara dapat memberikan gambaran jumlah polutan yang tersebar di lingkungan. Data meteorologi disiapkan untuk dimasukkan ke dalam *software* AERMET, yang memiliki kemampuan untuk meneruskan semua pengamatan meteorologi ke model utama (AERMOD) (Ridzuan dkk., 2020). *Software* AERMOD merupakan aplikasi yang dapat digunakan dalam perhitungan dispersi polutan baik di pedesaan dan perkotaan, medan datar dan kompleks, dan berbagai sumber baik titik, area dan volume (Arani dkk., 2021). Penerapan model dispersi udara telah meningkat pesat dalam beberapa tahun terakhir, dan model yang menerapkan kegiatan pemantauan ini menjadi metode penilaian kualitas udara yang efektif (Mirrezaei, 2019). Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dispersi udara SO_2 dan NO_2 dengan menggunakan *software* AERMOD yang bersumber dari *stack boiler* dan membuat peta penyebarannya.

2. METODOLOGI

2.1. Area Penelitian.

Penelitian ini dilakukan di Kawasan Industrial Estate Kota Bontang, Provinsi Kalimantan Timur, Indonesia. Lokasi sumber emisi cerobong berada di PT Kaltim Methanol Industri yang merupakan salah satu industri petrokimia di Kawasan Industrial Estate yang memproduksi metanol. Cerobong berada dipinggir laut dan di antara industri-industri petrokimia lainnya. Pemodelan konsentrasi SO_2 dan NO_2 hanya dilakukan pada satu cerobong saja yaitu cerobong *auxiliary boiler* yang digunakan oleh PT Kaltim Methanol Industri. Sumber emisi yang berasal dari cerobong industri-industri lainnya yang berada pada satu kawasan tidak dipertimbangkan dalam pemodelan ini. Wilayah reseptor adalah Kota Bontang, yang terdiri dari tiga Kecamatan yaitu Kecamatan Bontang Utara, Kecamatan Bontang Barat dan Kecamatan Bontang Selatan. Luas Kota Bontang adalah $161,88 \text{ km}^2$ dengan perbatasan di sebelah utara dan barat dengan Kabupaten Kutai Timur, sebelah timur dengan selat Makassar dan sebelah selatan dengan Kabupaten Kutai Kartanegara. Jumlah penduduk pada tahun 2021 sebanyak 180.840 jiwa atau naik sebesar 0,81 % dari tahun 2020 (Kota Bontang Dalam

Angka, 2022). Industri-industri di wilayah Kota Bontang terus berkembang dari tahun ke tahun seiring terbukanya aksesibilitas wilayah, yang juga akan berpotensi terhadap peningkatan emisi udara dan penurunan kualitas udara ambien.



Gambar 1. Area Penelitian

2.2. Data sumber emisi dan konsentrasi.

Sumber emisi berasal dari *stack auxiliary boiler* PT Kaltim Methanol Industri yang akan dilakukan pemodelan persebaran parameter SO_2 dan NO_2 yang dihasilkan. Basis data yang digunakan adalah hasil pengukuran emisi cerobong parameter SO_2 dan NO_2 rata-rata pada tahun 2021, data tinggi cerobong, data diameter cerobong, data titik koordinat cerobong, data suhu gas buang, data kecepatan gas buang.

Tabel 1. Data *stack auxiliary boiler* PT KMI Bontang Tahun 2021

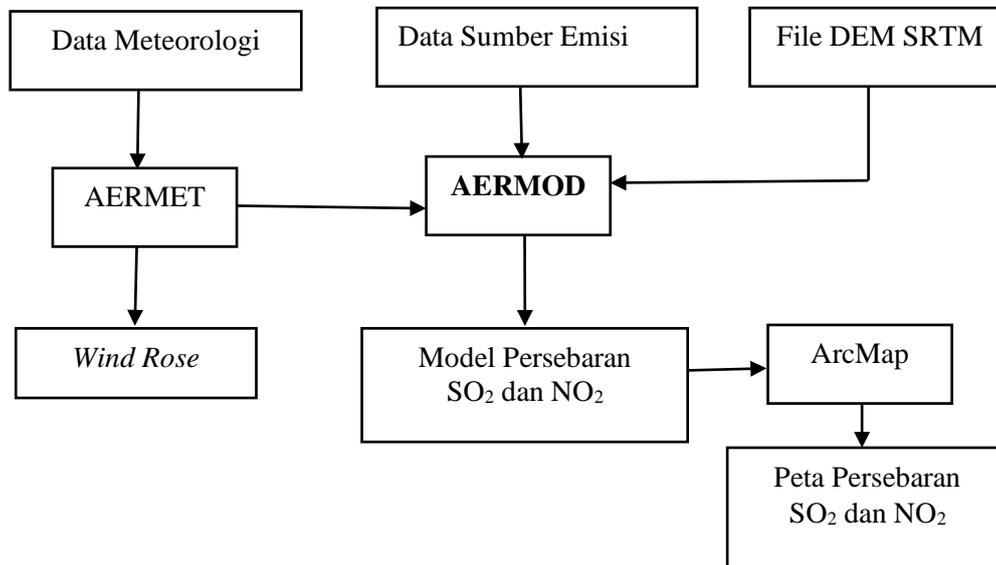
Keterangan	Konsentrasi rata-rata SO_2 (mg/Nm ³)	Konsentrasi rata-rata NO_2 (mg/Nm ³)
Kecepatan gas buang (m/s)	19,25	19,25
Konsentrasi Polutan (mg/Nm ³)	7,03	2,25
Laju Emisi (µg/s)	239000	76500
Suhu Gas Buang (°C)	150	150
Tinggi Stack (m)		35
Diameter Stack (m)		1,5
Luas Penampang (m ²)		1,7678

2.3. Data Meteorologi

Data meteorologi yang digunakan sebagai masukan (*input*) software AERMET berupa data per jam tutupan awan, suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, tinggi awan terendah (*ceiling height*), curah hujan dan radiasi matahari diperoleh dari *The Prediction Of Worldwide Energy Resources* (POWER) yang dikeluarkan oleh *The National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan *The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) datasets ERA5 hourly data yang berasal dari data satelit dan *ground sensor* mulai tanggal 1 September 2021 – 1 September 2022 di lokasi penelitian.

2.4. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan *software* AERMOD versi 8.9.0 untuk pemodelan sebaran konsentrasi parameter SO₂ dan NO₂. Data meteorologi diolah menggunakan *software* AERMET versi 8.9.0 untuk menghasilkan gambar *wind rose* dan file ekstensi *.SFC (*surface file/kondisi meteorologi di permukaan bumi*) dan ekstensi *.PFL (*profile file/kondisi meteorologi pada planetary boundary layer*). Untuk menghasilkan konsentrasi penyebaran SO₂ dan NO₂ ke wilayah sekitar, dilakukan masukan (*input*) data dari keluaran (*output*) *software* AERMET, data *emission rate* dan *Digital Elevation Model SRTM* ke *software* AERMOD. Pembuatan peta persebaran menggunakan *Software ArcMap ArcGIS 10.7.1*

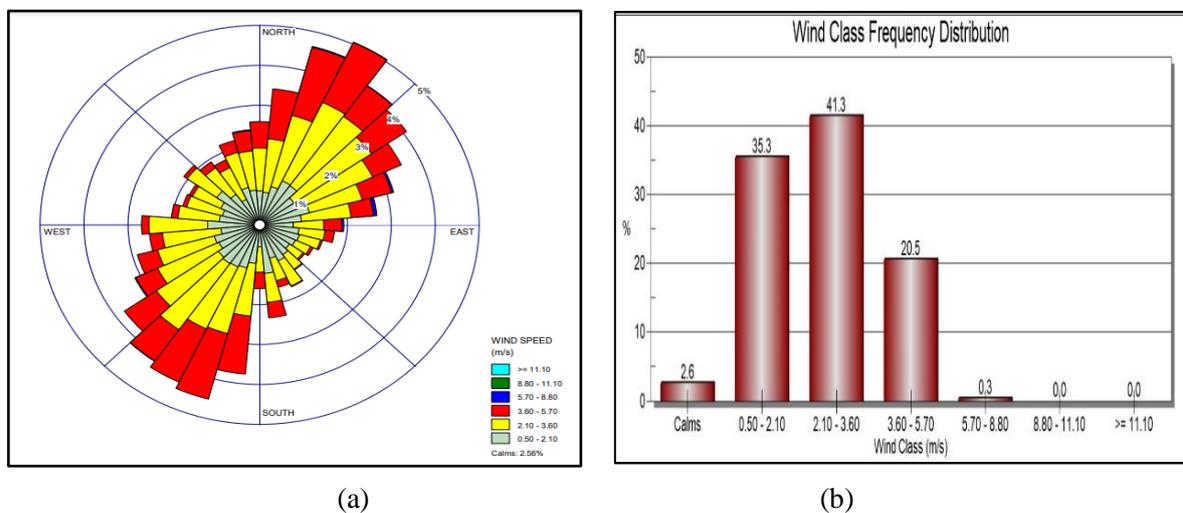


Gambar 2. Diagram Alir Pemodelan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Validasi Arah Angin dan Kecepatan Angin

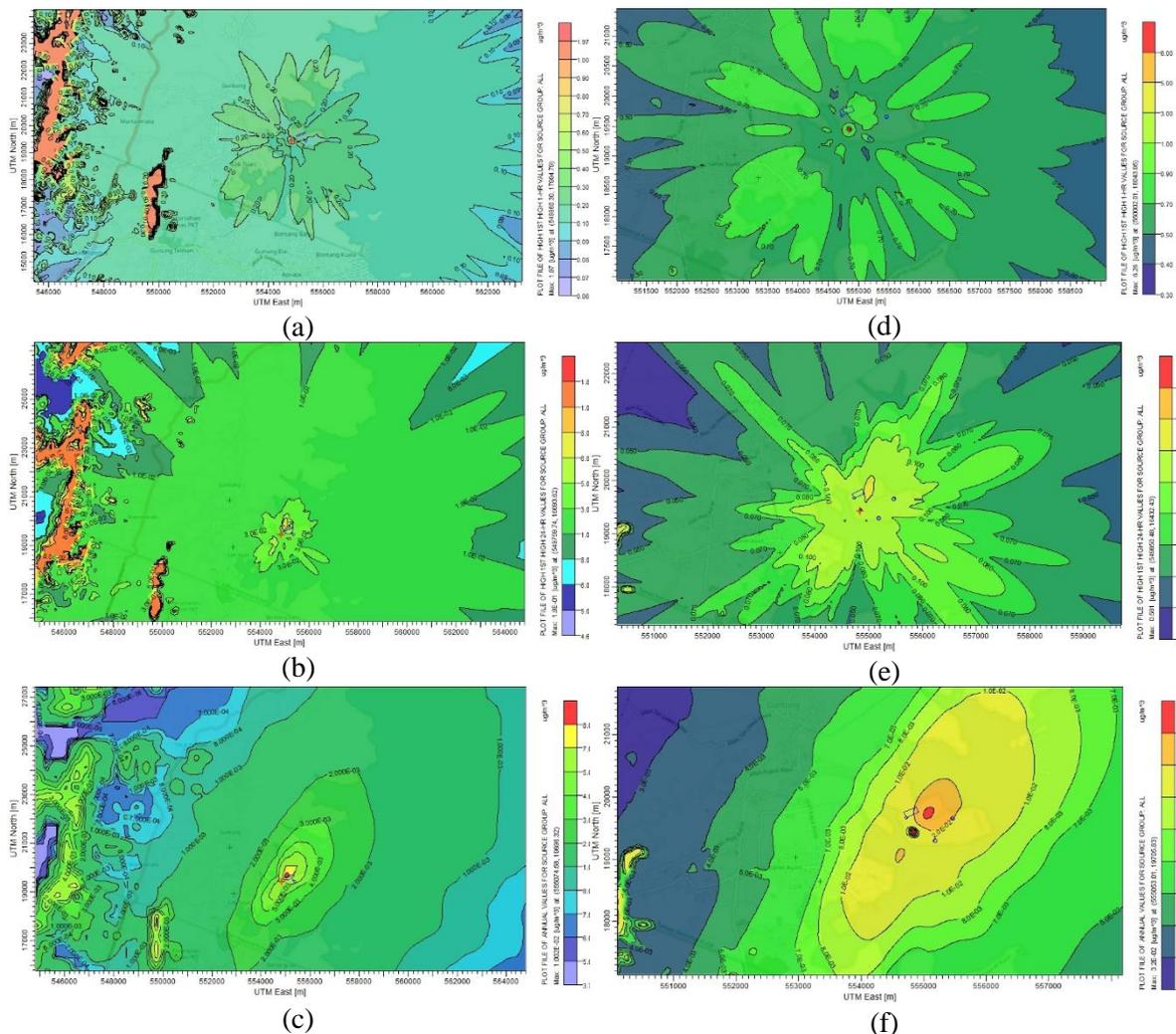
Arah angin dominan di lokasi studi berhembus dari arah timur laut dan barat daya. Arah timur laut dari lokasi studi adalah perairan laut selat Makasar, sedangkan arah barat daya adalah daratan berupa pemukiman penduduk dan Pelabuhan. Kecepatan angin tertinggi sebesar 3,6 – 5,7 m/s dengan frekuensi distribusi 20,5 %, dan *calm wind* sebesar 2,56 %.



Gambar 3. (a) *Wind rose* 1 tahun (b) Distribusi frekuensi kelas angin

3.2. Hasil Pemodelan Menggunakan Software AERMOD

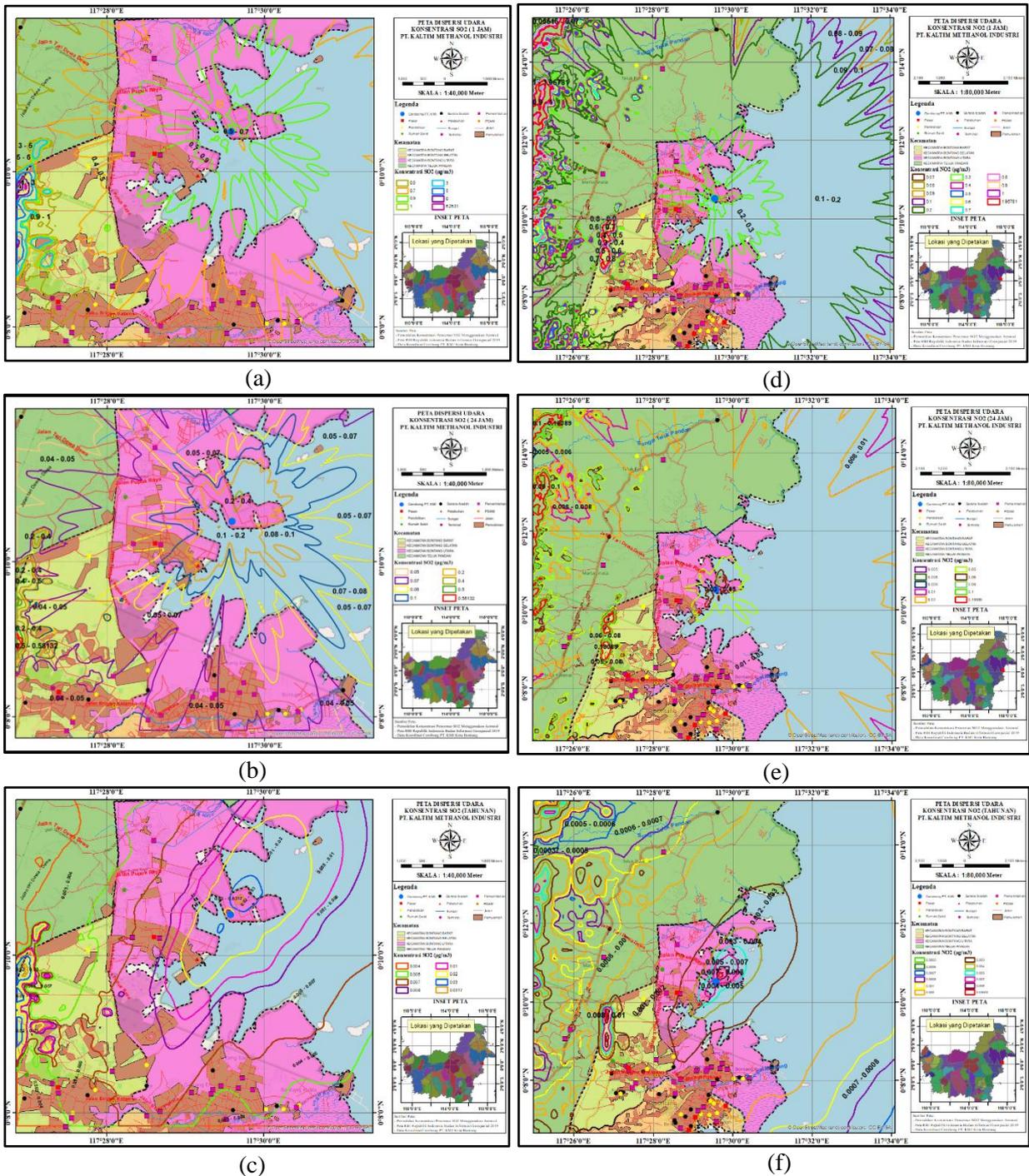
Dispersi parameter SO_2 dan NO_2 untuk pemodelan per jam dan per 24 jam menunjukkan penyebaran yang cenderung merata ke segala arah, hal ini diduga karena arah dan kecepatan angin dominan belum berpengaruh terhadap persebaran polutan SO_2 dan NO_2 . Pengaruh arah angin dominan sesuai *wind rose* di area penelitian yaitu dari arah timur laut dan barat daya, terjadi pada pemodelan per tahun. Persebaran konsentrasi tinggi terjadi di area yang berdekatan dengan sumber emisi dan cenderung mengalami penurunan konsentrasi berdasarkan jarak. Hal tersebut menunjukkan bahwa selain faktor jarak, faktor turbulensi mekanik yang berupa bangunan industri juga mempengaruhi persebaran polutan, mengingat lokasi sumber emisi yang dilakukan pemodelan berada di pinggir laut dan diantara bangunan-bangunan industri di Kawasan Industrial Estate Kota Bontang Provinsi Kalimantan Timur. Lokasi sumber emisi yang berada di pinggir laut berakibat pada inversi suhu di area darat dan di area laut. Perubahan tersebut mengakibatkan perubahan tekanan udara sehingga merubah arah angin dan kecepatan angin pada waktu siang hari dan malam hari secara berlawanan arah.



Gambar 4. (a) Dispersi Konsentrasi NO_2 Per 1 jam, (b) Dispersi Konsentrasi NO_2 Per 24 jam, (c) Dispersi Konsentrasi NO_2 Per tahun, (d) Dispersi Konsentrasi SO_2 Per 1 jam, (e) Dispersi Konsentrasi SO_2 Per 24 jam, (f) Dispersi Konsentrasi SO_2 Per tahun.

Wilayah area penelitian yang terdiri dari area industri dan wilayah perkotaan merupakan reseptor dari persebaran emisi NO_2 dan SO_2 , dari sumber emisi yang dimodelkan. Sumber emisi berada di Kecamatan Bontang Utara, Kota Bontang, yang didominasi oleh infrastruktur industri yaitu

pelabuhan dan perkantoran, fasilitas umum bagi masyarakat yaitu kantor pemerintah, sarana ibadah, sekolah dan sarana kesehatan serta pemukiman masyarakat. Penyebaran emisi tersebut berkontribusi terhadap peningkatan polutan udara di wilayah reseptor dan penurunan kualitas udara ambien. Peta dispersi udara pada radius 5 km untuk SO_2 dan pada radius 10 km untuk NO_2 disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. (a) Peta Dispersi Konsentrasi SO_2 Per 1 jam, (b) Peta Dispersi Konsentrasi SO_2 Per 24 jam, (c) Peta Dispersi Konsentrasi SO_2 Per tahun, (d) Peta Dispersi Konsentrasi NO_2 Per 1 jam, (e) Peta Dispersi Konsentrasi NO_2 Per 24 jam, (f) Peta Dispersi Konsentrasi NO_2 Per tahun

Kenaikan konsentrasi berdasarkan jarak, terjadi pada parameter NO₂ yang semula turun, kemudian mengalami kenaikan pada area yang mempunyai elevasi sekitar 100 mdpl di area Kecamatan Teluk Pandan Kabupaten Kutai Timur dan wilayah yang mempunyai elevasi sekitar 90 mdpl di Kecamatan Bontang Barat. Area Kecamatan Teluk Pandan yang mengalami kenaikan konsentrasi berjarak sekitar 10 Km ke arah barat laut dari sumber emisi, sedangkan area Kecamatan Bontang Barat yang mengalami kenaikan konsentrasi berjarak sekitar 5 Km arah barat daya dari sumber emisi. Pada area tersebut diduga mengalami turbulensi mekanik karena kenaikan elevasi, sehingga konsentrasi NO₂ mengalami peningkatan akibat akumulasi polutan. Dispersi NO₂ tahunan semua mengalami penurunan konsentrasi berdasarkan jarak kecuali di sebagian area Kecamatan Bontang Barat yang mempunyai elevasi 90 mdpl pada jarak 5 km arah barat daya. Kecenderungan tersebut dipengaruhi oleh arah angin dominan tahunan di area penelitian yaitu mengarah ke barat daya dan timur laut. Reseptor arah barat daya adalah area perkotaan dengan segala fasilitas umum, fasilitas pemerintah dan pemukiman, sedangkan arah barat laut adalah area perairan laut.

Tabel 2. Konsentrasi Maksimum NO₂ (1 Jam)

Nama Kecamatan	Konsentrasi Maksimum NO ₂ (µg/m ³)
Bontang Utara	0,3
Bontang Barat	1,96781
Bontang Selatan	0,2
Teluk Pandan	1,96781

Tabel 3. Konsentrasi Maksimum NO₂ (24 Jam)

Nama Kecamatan	Konsentrasi Maksimum NO ₂ (µg/m ³)
Bontang Utara	0,1
Bontang Barat	0,18089
Bontang Selatan	0,03
Teluk Pandan	0,18089

Tabel 4. Konsentrasi Maksimum NO₂ (Tahunan)

Nama Kecamatan	Konsentrasi Maksimum NO ₂ (µg/m ³)
Bontang Utara	0,01002
Bontang Barat	0,01002
Bontang Selatan	0,002
Teluk Pandan	0,007

Dispersi SO₂ untuk pemodelan per jam, per 24 jam dan tahunan mengalami kecenderungan yang sama, yaitu konsentrasi tinggi di sumber emisi dan mengalami penurunan berdasarkan jarak. Kenaikan konsentrasi hanya terjadi sebagian area yang mempunyai elevasi 90 mdpl di wilayah Kecamatan Bontang Barat dengan jarak 5 km arah barat daya. Penyebaran SO₂ per jam dan per 24 jam cenderung menyebar ke segala arah dan tidak teratur, sedangkan penyebaran SO₂ tahunan menyebar ke arah barat daya dan timur laut sesuai arah angin dominan yang ditunjukkan dalam *wind rose* wilayah penelitian.

Tabel 5. Konsentrasi Maksimum SO₂ (1 Jam)

Nama Kecamatan	Konsentrasi Maksimum SO ₂ (µg/m ³)
Bontang Utara	0,9
Bontang Barat	6,2631
Bontang Selatan	0,5
Teluk Pandan	0,7

Tabel 6. Konsentrasi Maksimum SO₂ (24 Jam)

Nama Kecamatan	Konsentrasi Maksimum SO ₂ (µg/m ³)
Bontang Utara	0,4
Bontang Barat	0,58132
Bontang Selatan	0,07
Teluk Pandan	0,07

Tabel 7. Konsentrasi Maksimum SO₂ (Tahunan)

Nama Kecamatan	Konsentrasi Maksimum SO ₂ (µg/m ³)
Bontang Utara	0,0317
Bontang Barat	0,0317
Bontang Selatan	0,007
Teluk Pandan	0,005

Pemodelan yang dilakukan pada radius 5 kilometer untuk parameter SO₂ dan radius 10 kilometer untuk parameter NO₂ berpengaruh terhadap jangkauan konsentrasi maksimum pada wilayah studi. Perbedaan yang terjadi adalah jangkauan di lokasi area Kecamatan Teluk Pandan Kabupaten Kutai Timur yang hanya terlihat pada konsentrasi SO₂.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan *Software* AERMET dan *Software* AERMOD, *wind rose* pada area penelitian menunjukkan arah dominan ke barat daya dan timur laut, dengan dispersi SO₂ maksimum sebesar 6,2631 µg/m³ pada pemodelan per jam, 0,58132 µg/m³ pada pemodelan per 24 jam dan 0,0317 µg/m³ pada pemodelan tahunan. Konsentrasi NO₂ maksimum sebesar 1,96781 µg/m³ pada pemodelan per jam, 0,18089 µg/m³ pada pemodelan per 24 jam dan 0,01002 µg/m³ pada pemodelan tahunan. Arah dispersi untuk pemodelan per jam dan per 24 jam menyebar ke segala arah dan tidak teratur, tetapi untuk pemodelan tahunan sesuai dengan arah dominan *wind rose*. Konsentrasi penyebaran SO₂ dan NO₂ cenderung menurun berdasarkan jarak, peningkatan konsentrasi hanya terjadi pada area reseptor yang mengalami peningkatan elevasi di wilayah Kecamatan Teluk Pandan Kabupaten Kutai Timur dengan elevasi sekitar 100 mdpl arah barat laut dengan jarak sekitar 10 kilometer dan sebagian kecil wilayah Kecamatan Bontang Barat, Kota Bontang dengan elevasi sekitar 90 mdpl arah barat daya dengan jarak sekitar 5 kilometer.

DAFTAR PUSTAKA

- Arani, M., Jaafarzadeh, N., Moslemzadeh, M., Ghalhari, M., Bagheri Arani, S., dan Mohammadzadeh, M. (2021) 'Dispersion of NO₂ and SO₂ Pollutants in The Rolling Industry with AERMOD Model: A Case Study to Assess Human Health Risk', *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19(2). <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00686-x>
- Baturante, N. J., dan Kumendong, N. (2022) 'Pengaruh Tinggi Dan Diameter Cerobong PLTU Terhadap Dispersi SO₂ Di Udara Menggunakan Model Gaussian Plume', *Jurnal Pendidikan Kimia Unkhair (JPKU)*, 2(1), 1–8. <http://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/jpku/article/view/4952>
- Idris, M., Darma, T. H., Koki, F. S., Suleiman, A., Ali, M. H., Yarima, S. U., dan Aliyu, A. (2020) 'An Analysis of Air Pollution at Some Industrial Areas of Kano Using The AERMOD Model', *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 12(1), 117–127. <https://doi.org/10.4314/bajopas.v12i1.20s>
- Badan Pusat Statistik Kota Bontang. (2022) 'Kota Bontang Dalam Angka Tahun 2022', <https://bontangkota.bps.go.id/publication/2022/02/25/79f925b3f496fa5cde505297/kota-bontang-dalam-angka-2022.html>
- Mirrezaei, M. A. (2019) 'Impact of Meteorological Parameters on Dispersion Modeling of Sulfur Dioxide From Gas Flares (Case Study: Sirri Island)', *Iranian Journal of Energy and Environment*, 10(4), 288–295. <https://doi.org/10.5829/ijee.2019.10.04.10>

- Ofrial, S., Zakaria, A., Herianto, D., dan Wisena, F. D. (2020) 'Pemodelan Dispersi Udara Ambien Oleh Polutan Karbon Monoksida Sektor Transportasi di Kota Bandar Lampung', *Jurnal Teknologi Dan Inovasi Industri*, 01(02), 16–21. <http://repository.lppm.unila.ac.id/id/eprint/30781>
- Pandey, G., dan Sharan, M. (2021) 'Application of AERMOD for The Identification of a Point-Source Release in The FFT-07 Experiment', *Air Quality, Atmosphere and Health*, 14(5), 679–690. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00971-y>
- Ridzuan, N., Ujang, U., Azri, S., dan Choon, T. (2020) 'Visualising Urban Air Quality Using AERMOD, CALPUFF and CFD Models: A Critical Review', *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 44(4/W3), 355–363. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W3-2020-355-2020>
- Salva, J., Vanek, M., Schwarz, M., Gajtanska, M., Tonhauzer, P., dan Ďuricová, A. (2021) 'An Assessment of The On-Road Mobile Sources Contribution to Particulate Matter Air Pollution by Aermol Dispersion Model', *Sustainability (Switzerland)*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/su132212748>