

**Permodelan Dispersi Udara dan Regulasi Untuk Mengevaluasi Dampak
Emisi PLTD Ampenan****Lalu Mokh Reza Anshari^{1*}, Joni Safaat Adiansyah², Sukuryadi³**

Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia

Email: laluanshari80@gmail.com*, joni.adiansyah@ummat.ac.id, sukuryadi@ummat.ac.id

Kata Kunci	Abstrak
AERMOD, Emisi Diesel, PLTD Ampenan, Pemodelan Dispersi Udara	Kebutuhan energi di Indonesia yang terus meningkat masih sangat bergantung pada pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), yang berisiko tinggi terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat akibat emisi pencemar udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak kualitas udara dari PLTD Ampenan yang berlokasi di Kota Mataram dengan menggunakan model dispersi udara AERMOD. Emisi polutan seperti SO ₂ , NO _x , CO, dan TSP disimulasikan dalam skenario musim hujan dan kemarau untuk mengetahui sebaran spasial dan kesesuaiannya terhadap baku mutu udara ambien nasional (PP No. 22 Tahun 2021). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebagian besar polutan masih berada dalam ambang batas aman, kecuali NO _x yang melebihi ambang batas harian dan per jam pada beberapa titik, khususnya di kawasan pemukiman yang berada searah angin. Pengukuran kualitas udara ambien di lapangan pada tiga lokasi mendukung hasil simulasi, dan memperkuat temuan bahwa NO _x merupakan polutan yang paling mengkhawatirkan. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini merekomendasikan strategi mitigasi emisi yang lebih terfokus serta penguatan kebijakan pengendalian pencemaran udara untuk melindungi kesehatan masyarakat dan mendorong tata kelola energi yang berkelanjutan di kawasan perkotaan.

**PENDAHULUAN**

Energi merupakan salah satu elemen fundamental yang menunjang kehidupan manusia dan aktivitas ekonomi secara global. (Datta & Gupta, 2018; Widyastuti et al., 2025) Dari sektor industri hingga kebutuhan rumah tangga, energi menjadi penggerak utama yang tidak tergantikan. Namun, penggunaan energi secara global menghadapi tantangan besar, terutama terkait dengan keterbatasan sumber energi fosil, perubahan iklim, dan masalah lingkungan yang semakin kompleks. Polusi udara dari sektor energi, khususnya pembangkit listrik berbahan bakar fosil, telah menjadi ancaman serius terhadap kesehatan manusia dan keberlanjutan lingkungan. Menurut World Health Organization (WHO, 2021), polusi udara bertanggung jawab atas 7 juta kematian prematur setiap tahunnya, dengan kontribusi signifikan dari emisi pembangkit listrik. Data dari International Energy Agency (IEA, 2022) menunjukkan bahwa sektor energi menyumbang sekitar 73% dari total emisi gas rumah kaca global, yang sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara dan diesel. Saat ini, dunia sedang mengalami transisi dari energi berbasis fosil menuju energi yang lebih bersih dan terbarukan sebagai respons terhadap krisis iklim dan dampak kesehatan yang

ditimbulkan. Hal ini menjadi fokus perhatian banyak negara karena emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil berkontribusi besar terhadap polusi udara dan pemanasan global.(Suryani, 2020)

Indonesia, sebagai salah satu negara berkembang dengan populasi terbesar di dunia, juga menghadapi tantangan serupa dalam hal kebutuhan energi dan dampak lingkungan. Bauran energi nasional masih didominasi oleh sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Berdasarkan data Kementerian ESDM (2023), kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional baru mencapai 12,3%, jauh dari target Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) sebesar 23% pada tahun 2025. Sementara energi terbarukan seperti tenaga air, angin, dan surya masih dalam tahap pengembangan dan belum menjadi sumber utama dalam bauran energi nasional. Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), Indonesia berkomitmen untuk meningkatkan kontribusi energi terbarukan menjadi 23% dalam bauran energi nasional pada tahun 2025. Namun, realisasinya masih jauh dari target, mengingat infrastruktur energi terbarukan yang masih terbatas dan tingginya ketergantungan pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil.(Setiati et al., 2023)

Dalam hal pembangkit listrik, pembangkit berbahan bakar fosil, terutama batu bara, masih menjadi tulang punggung penyediaan listrik di Indonesia. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), pembangkit listrik tenaga batu bara (PLTU) menyumbang lebih dari 50% dari total produksi listrik nasional, sementara pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) juga berperan penting terutama di wilayah terpencil dan pulau-pulau kecil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik utama.(Sasmita et al., 2022)

Konsumsi energi di Indonesia terus meningkat dengan laju rata-rata 4,7% per tahun (PLN, 2023), seiring dengan pertumbuhan ekonomi, urbanisasi yang pesat, dan peningkatan standar hidup masyarakat. Sebagai contoh, konsumsi listrik di sektor rumah tangga dan industri telah meningkat signifikan selama dekade terakhir. Di Kota Mataram khususnya, pertumbuhan konsumsi listrik mencapai 6,2% per tahun dalam lima tahun terakhir (BPS Kota Mataram, 2023), didorong oleh pembangunan infrastruktur komersial, perluasan kawasan pemukiman, dan meningkatnya aktivitas industri kecil menengah. Di beberapa kota besar, termasuk Kota Mataram, kebutuhan energi listrik terus meningkat, seiring dengan pembangunan infrastruktur dan urbanisasi yang pesat (Ismiyati et al., 2014).

Penyediaan listrik di Kota Mataram masih sangat bergantung pada sumber energi fosil, terutama diesel. PLTD Ampenan merupakan salah satu pembangkit listrik utama di kota ini, yang bertugas memenuhi kebutuhan listrik untuk masyarakat dan sektor industri. Berdasarkan data dari PLN, PLTD Ampenan memiliki kapasitas produksi yang signifikan, meskipun teknologi yang digunakan masih bersifat konvensional dan cenderung kurang ramah lingkungan dibandingkan pembangkit listrik lainnya seperti pembangkit tenaga air atau tenaga surya.(Puspitarini, 2022)

PLTD Ampenan menggunakan bahan bakar diesel yang menghasilkan emisi polutan, seperti nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan partikulat (PM₁₀). Emisi-emisi ini berpotensi memberikan dampak negatif terhadap kualitas udara di wilayah sekitar pembangkit dan sekitarnya. Mengingat lokasinya yang dekat dengan area pemukiman, emisi yang dihasilkan oleh PLTD Ampenan dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi dampak emisi dari PLTD ini

menggunakan pendekatan ilmiah yang dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai distribusi dan konsentrasi polutan di udara.(Amirullah et al., 2023)

Polusi udara merupakan salah satu masalah lingkungan yang paling serius di kota-kota besar, termasuk Mataram. Polutan seperti NO₂, SO₂, dan PM₁₀ yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dapat menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap kesehatan manusia, seperti penyakit pernapasan, penyakit jantung, dan gangguan pada sistem saraf. Selain itu, emisi polutan juga berdampak pada ekosistem, seperti degradasi kualitas tanah dan air, serta merusak vegetasi di sekitarnya.

PLTD, sebagai salah satu sumber emisi utama di Mataram, perlu mendapat perhatian khusus dalam hal manajemen dan pengendalian emisi. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak emisi dari PLTD adalah dengan menggunakan model pemodelan dispersi udara. Model ini dapat memprediksi pola penyebaran polutan di udara dan memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai area-area yang terpapar oleh polusi udara.(Apriyana et al., 2023)

Dalam mengevaluasi dampak emisi dari PLTD Ampenan, salah satu metode yang paling umum digunakan adalah model pemodelan dispersi udara. Model ini bekerja dengan menggunakan data emisi dari pembangkit dan data meteorologi lokal seperti arah dan kecepatan angin, suhu, serta kelembapan udara untuk memprediksi bagaimana polutan menyebar di udara. Salah satu model yang banyak digunakan dalam studi ini adalah AERMOD, yang telah divalidasi secara luas dan diakui oleh banyak negara dalam studi pemodelan kualitas udara.(Pinatik et al., 2023)

AERMOD merupakan alat yang sangat efektif untuk memodelkan penyebaran polutan dari sumber titik seperti cerobong asap PLTD. Model ini dapat memprediksi konsentrasi polutan di berbagai lokasi dan waktu, serta memperhitungkan berbagai variabel yang memengaruhi dispersi polutan, seperti topografi dan kondisi atmosfer. Dengan menggunakan AERMOD, dapat diperoleh gambaran yang jelas mengenai distribusi konsentrasi polutan di sekitar PLTD Ampenan dan dampaknya terhadap kualitas udara di Kota Mataram.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji dampak emisi dari pembangkit listrik menggunakan pendekatan pemodelan dispersi udara. Pertama, penelitian oleh Zhang et al. (2020) menggunakan model AERMOD untuk memodelkan dispersi emisi dari PLTU batu bara di China dan menemukan bahwa NO₂ dan PM₁₀ menjadi polutan dominan yang melebihi standar kualitas udara dalam radius 10 km dari sumber emisi. Kedua, studi yang dilakukan Sharma & Khare (2021) di India mengevaluasi dampak kesehatan dari emisi diesel pada pembangkit listrik skala menengah, dengan temuan bahwa paparan jangka panjang terhadap NO₂ meningkatkan risiko penyakit pernapasan hingga 30% pada populasi rentan. Ketiga, penelitian Dewi et al. (2022) mengenai kualitas udara perkotaan di Indonesia menunjukkan bahwa pembangkit listrik berbasis diesel di kawasan urban menyumbang 40-55% dari total emisi NO₂ tahunan. Keempat, validasi model AERMOD dengan pengukuran lapangan oleh Kumar et al. (2023) menunjukkan tingkat akurasi model mencapai 85-92% dalam memprediksi konsentrasi polutan pada kondisi atmosfer stabil. Meskipun berbagai studi tersebut telah memberikan kontribusi penting, namun terdapat celah penelitian khususnya dalam konteks PLTD di wilayah tropis Indonesia, di mana variasi musiman yang ekstrem (musim hujan dan

kemarau) sangat memengaruhi pola dispersi polutan, namun belum banyak dikaji secara komprehensif dengan validasi lapangan yang memadai.

Di Indonesia, pengelolaan kualitas udara diatur oleh berbagai regulasi yang menetapkan baku mutu udara ambien. Baku mutu udara ambien adalah standar yang ditetapkan untuk melindungi kesehatan manusia dan lingkungan dari dampak negatif polusi udara. Berdasarkan Lampiran VII Baku Mutu Udara Ambien Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu udara ambien nasional ditetapkan untuk berbagai parameter, seperti Sulfur Dioksida (SO₂), Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO₂), Oksidan fotokimia (Ox) sebagai Ozon (NO₃), Hidrokarbon Non Metana (NMHC), partikulat debu (TSP), PM₁₀, PM_{2,5}, dan Timbal (Pb) yang sebagian merupakan polutan utama yang dihasilkan oleh PLTD.

Urgensi penelitian ini dilatarbelakangi oleh beberapa faktor krusial. Pertama, peningkatan konsumsi listrik di Kota Mataram yang mencapai 6,2% per tahun menuntut operasi PLTD Ampenan dengan beban yang semakin tinggi, sehingga berpotensi meningkatkan emisi polutan. Kedua, implementasi PP No. 22 Tahun 2021 yang relatif baru memerlukan evaluasi mendalam terhadap kesesuaian operasional PLTD dengan standar baku mutu udara yang lebih ketat. Ketiga, keluhan masyarakat terkait kualitas udara yang diterima Dinas Lingkungan Hidup Kota Mataram meningkat 35% dalam dua tahun terakhir, terutama dari kawasan pemukiman di sekitar PLTD (Dinas Lingkungan Hidup Kota Mataram, 2023). Keempat, belum adanya kajian komprehensif yang mengintegrasikan pemodelan dispersi dengan validasi pengukuran lapangan secara sistematis di wilayah ini.

Evaluasi dampak emisi dari PLTD Ampenan akan dibandingkan dengan baku mutu udara ambien yang berlaku untuk menilai sejauh mana konsentrasi polutan yang dihasilkan oleh pembangkit ini memengaruhi kualitas udara di Kota Mataram. Jika hasil evaluasi menunjukkan bahwa konsentrasi polutan melebihi baku mutu, maka perlu dilakukan langkah-langkah mitigasi untuk mengurangi dampak emisi, seperti peningkatan efisiensi pembangkit atau penggunaan teknologi pengendalian emisi yang lebih canggih.

Kebaruan penelitian ini terletak pada tiga aspek utama. Pertama, penelitian ini merupakan kajian pertama yang menerapkan pemodelan AERMOD dengan validasi pengukuran lapangan secara real-time di tiga titik rentan sekitar PLTD Ampenan, menggunakan air quality monitor portabel yang mampu mendeteksi lima parameter polutan secara simultan. Kedua, analisis mendalam terhadap pola dispersi polutan dalam dua skenario musiman (hujan dan kemarau) dengan mengintegrasikan data meteorologi resolusi tinggi dari ERA5 Copernicus dan BMKG NTB, yang memberikan gambaran komprehensif tentang dinamika atmosferik tropis. Ketiga, evaluasi kesesuaian hasil simulasi terhadap regulasi PP No. 22 Tahun 2021 yang belum banyak dilakukan, serta penyusunan rekomendasi kebijakan mitigasi berbasis spasial yang dapat diimplementasikan secara langsung oleh pemangku kepentingan.

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi di Kota Mataram, evaluasi terhadap dampak emisi dari pembangkit listrik seperti PLTD Ampenan menjadi sangat penting. Pendekatan pemodelan dispersi udara menggunakan AERMOD memberikan alat yang efektif untuk memprediksi dampak lingkungan dari emisi polutan dan membantu dalam perencanaan strategi mitigasi. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan

kontribusi bagi upaya perbaikan kualitas udara di Mataram serta membantu pihak berwenang dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan lingkungan yang lebih berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

1. Simulasi Dispersi Menggunakan AERMOD

Tahap pertama dalam metode penelitian ini adalah melakukan simulasi penyebaran polutan dengan menggunakan perangkat lunak AERMOD View versi 8.9.0. Model ini dirancang untuk memproyeksikan sebaran konsentrasi polutan utama yang dihasilkan oleh PLTD Ampenan, yakni SO₂, NO_x, CO, dan TSP, serta CO₂ dan O₂ sebagai parameter tambahan yang bersifat indikator. Simulasi dilakukan untuk dua skenario musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau, guna menggambarkan perbedaan kondisi atmosfer yang memengaruhi pola penyebaran emisi. AERMOD bekerja berdasarkan pendekatan Gaussian steady-state, yang mempertimbangkan berbagai variabel termasuk topografi, data meteorologi, serta karakteristik teknis dari sumber emisi seperti cerobong asap.

2. Parameter Input Model

Simulasi dalam AERMOD membutuhkan data input yang detail dan akurat. Parameter yang digunakan dalam pemodelan meliputi karakteristik cerobong PLTD seperti ketinggian cerobong, diameter, suhu gas buang, dan kecepatan aliran emisi. Selain itu, data laju emisi dari masing-masing polutan diinput dalam satuan gram per detik. Data meteorologi tahunan tahun 2023 diperoleh dari dua sumber, yaitu ERA5 Copernicus dan BMKG NTB, yang kemudian diproses menggunakan software AERMET dan AERMAP untuk menghasilkan parameter atmosferik yang kompatibel dengan AERMOD. Tak kalah penting, data topografi dan penggunaan lahan (land use) juga dimasukkan untuk mempertimbangkan pengaruh kondisi geografis terhadap pola penyebaran polutan.

3. Penentuan Lokasi Grid dan Receptor

Tahap selanjutnya adalah menentukan lokasi grid spasial dan titik receptor atau titik penerima polutan dalam simulasi AERMOD. Grid spasial digunakan untuk membagi wilayah penelitian menjadi zona-zona kecil dengan resolusi tertentu agar sebaran polutan dapat dipetakan secara rinci. Dalam penelitian ini, titik-titik receptor ditetapkan dalam radius 8 hingga 10 kilometer dari lokasi PLTD Ampenan, dengan resolusi grid antara 100 hingga 250 meter. Penempatan receptor mencakup wilayah permukiman padat untuk mengetahui potensi paparan polutan terhadap masyarakat.

4. Pengukuran Kualitas Udara Ambien Lapangan

Untuk mendukung validasi terhadap hasil pemodelan AERMOD, dilakukan pengukuran kualitas udara secara langsung di lapangan. Pengukuran dilakukan di tiga titik strategis yang mewakili wilayah dengan potensi dampak tertinggi, yaitu di kawasan Tanjung Karang, perumahan Puri Anggrek, dan kawasan Arya Banjar Getas. Alat yang digunakan adalah air quality monitor portabel yang mampu mendeteksi konsentrasi NO₂, SO₂, CO, O₃, dan TSP secara real time. Pengambilan sampel dilakukan pada pagi dan sore hari untuk merepresentasikan variasi harian, terutama pada jam-jam dengan aktivitas masyarakat tinggi.

5. Perbandingan dengan Baku Mutu dan Validasi

Setelah data simulasi dan data lapangan terkumpul, langkah berikutnya adalah melakukan perbandingan hasil konsentrasi polutan dengan baku mutu udara ambien

sebagaimana tercantum dalam PP No. 22 Tahun 2021. Parameter yang dianalisis mencakup konsentrasi maksimum per jam, 8 jam, 24 jam, dan rata-rata tahunan. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah konsentrasi polutan yang dihasilkan oleh PLTD Ampenan masih berada dalam batas yang diperbolehkan oleh regulasi nasional. Validasi terhadap hasil pemodelan dilakukan dengan membandingkan output simulasi AERMOD dengan data pengukuran di lapangan guna menilai keakuratan dan reliabilitas model.

6. Visualisasi dan Interpretasi

Tahap akhir dari proses pemodelan adalah visualisasi dan interpretasi data hasil simulasi. Data yang diperoleh dari AERMOD kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta isopleth, yaitu peta yang menunjukkan sebaran konsentrasi polutan dalam bentuk garis kontur. Peta ini memudahkan identifikasi area dengan konsentrasi tinggi dan rendah, serta membantu memahami arah dominan penyebaran polutan yang dipengaruhi oleh musim dan arah angin. Analisis spasial dari visualisasi ini menjadi dasar untuk menyusun strategi mitigasi dan memberikan rekomendasi kebijakan lingkungan di tingkat lokal.

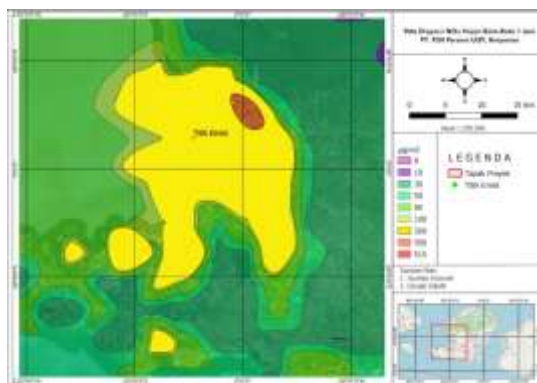
Dengan menerapkan semua tahapan tersebut, penelitian ini mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai sebaran emisi dari PLTD Ampenan dan dampaknya terhadap kualitas udara ambien di Kota Mataram. Hasilnya diharapkan menjadi referensi ilmiah bagi pemerintah daerah dan pihak terkait dalam menyusun kebijakan pengendalian pencemaran udara yang efektif dan berbasis data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

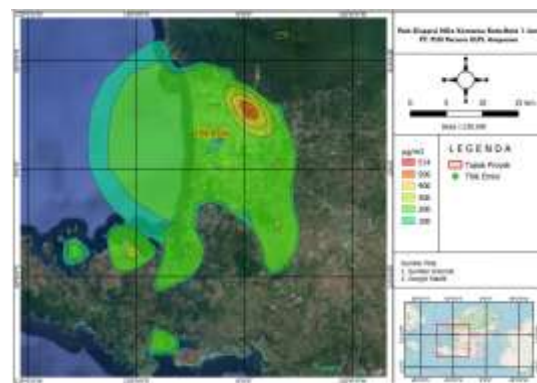
1. Hasil Simulasi Dispersi Polutan Menggunakan AERMOD

Simulasi menggunakan model AERMOD menghasilkan visualisasi penyebaran polutan dari PLTD Ampenan pada dua kondisi musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan. Hasil simulasi ini menggambarkan konsentrasi maksimum untuk empat parameter utama: NO_x, SO₂, CO, dan TSP, yang dievaluasi terhadap baku mutu ambien berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021.

1) Konsentrasi NO_x



(a) Musim Hujan

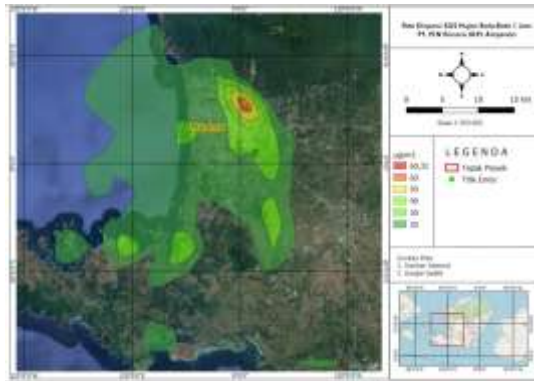


(b) Musim Kemarau

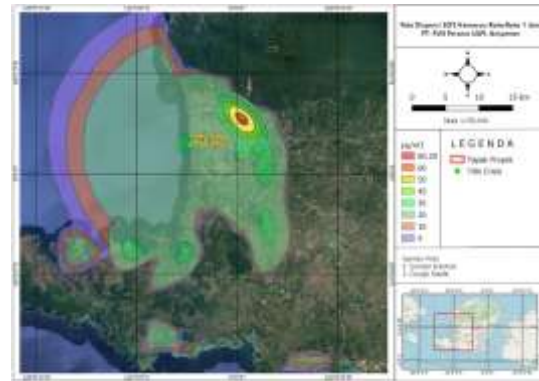
NO_x menunjukkan nilai konsentrasi tertinggi di antara seluruh parameter yang disimulasikan. Konsentrasi maksimum NO_x dalam waktu 1 jam mencapai 515,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, yang melebihi ambang batas maksimum sebesar 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi harian (24 jam) juga melampaui standar, dengan nilai tertinggi 82,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dibandingkan dengan batas 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara itu, konsentrasi rata-rata tahunan tercatat sebesar 33,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, masih melebihi

ambang batas $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Penyebaran NO_x cenderung meluas ke arah pemukiman padat pada musim hujan karena pengaruh arah angin dominan dari barat laut ke tenggara.

2) Konsentrasi SO_2



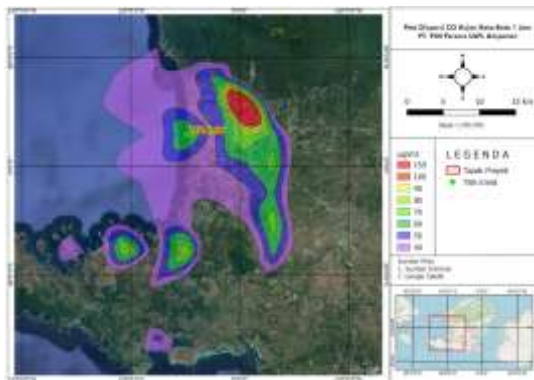
(a) Musim Hujan



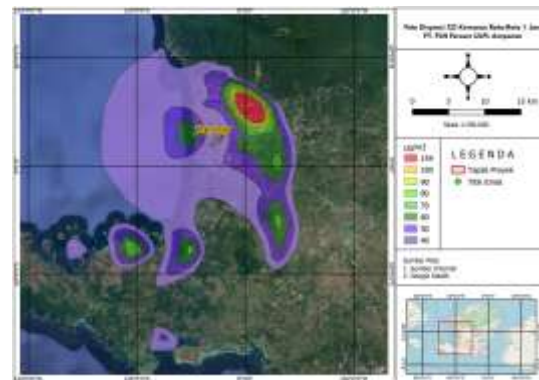
(b) Musim Kemarau

Konsentrasi maksimum SO_2 selama 1 jam tercatat sebesar $60,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jauh di bawah ambang batas $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk rata-rata harian, konsentrasi SO_2 sebesar $9,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan tahunan mencapai $0,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Semua nilai ini menunjukkan bahwa emisi SO_2 dari PLTD Ampenan masih berada dalam batas aman, baik secara spasial maupun temporal.

3) Konsentrasi CO



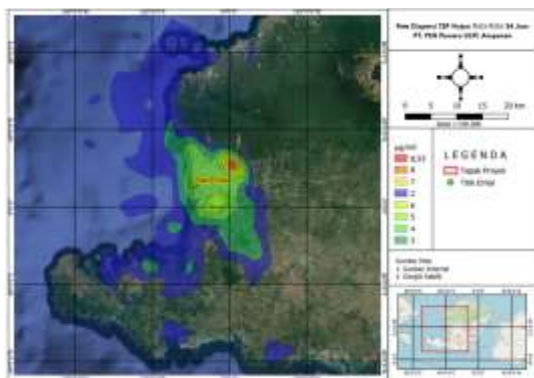
(a) Musim Hujan



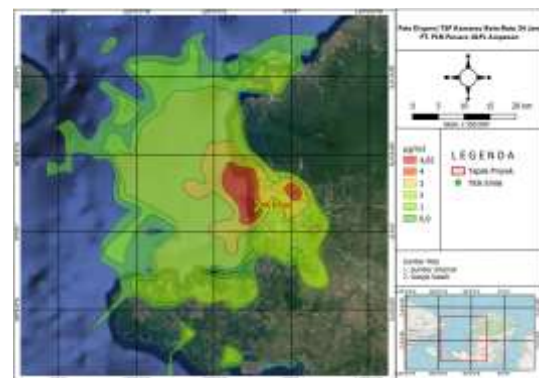
(b) Musim Kemarau

CO merupakan salah satu parameter yang tidak menunjukkan potensi risiko signifikan. Konsentrasi maksimum CO selama 8 jam mencapai $159,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jauh di bawah ambang batas $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini menunjukkan bahwa emisi CO dari PLTD Ampenan tidak berpotensi memberikan dampak signifikan terhadap kualitas udara ambien di sekitarnya.

4) Konsentrasi TSP



(a) Musim Hujan



(b) Musim Kemarau

Total Suspended Particulate (TSP) memiliki konsentrasi maksimum harian sebesar 8,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dibandingkan dengan baku mutu sebesar 230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi ini menunjukkan bahwa emisi partikel padat dari PLTD Ampenan tidak menjadi masalah signifikan dalam hal pencemaran udara.

2. Distribusi Spasial Polutan Berdasarkan Musim

Hasil pemodelan menunjukkan adanya perbedaan arah dan sebaran polutan berdasarkan kondisi musim. Pada musim kemarau, arah angin dominan dari tenggara menyebabkan polutan menyebar ke arah barat laut, khususnya ke kawasan permukiman Tanjung Karang dan sekitar Pelabuhan Ampenan. Sementara itu, pada musim hujan, arah angin berubah menjadi barat laut, mengarahkan polutan ke arah tenggara dan mempengaruhi daerah seperti Griya Pesona Alam.

Konsentrasi tertinggi polutan, terutama NO_x , terdeteksi pada jarak 2–4 km dari sumber emisi. Hal ini berkaitan erat dengan arah angin, kondisi topografi, dan ketinggian cerobong. Area permukiman padat berada dalam radius sebaran ini, sehingga berpotensi mengalami paparan jangka pendek maupun jangka panjang.

3. Validasi Hasil Model dengan Pengukuran Lapangan

Untuk menilai akurasi simulasi model, dilakukan validasi lapangan di tiga lokasi: Tanjung Karang, Perumahan Puri Anggrek, dan Arya Banjar Getas. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi NO_2 di semua titik berada dalam ambang batas, dengan nilai tertinggi 13,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di Tanjung Karang. Untuk parameter lain seperti SO_2 dan CO, nilai yang diperoleh sangat rendah dan bahkan mendekati nol, mengindikasikan bahwa pencemaran dari PLTD lebih dominan dalam bentuk gas nitrogen.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa seluruh parameter berada di bawah baku mutu yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kualitas Udara Ambien di Tiga Lokasi

Lokasi	SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Tanjung Karang	15,1	24,8	17	15,1	12,5
Puri Anggrek	16,1	19,4	17,4	14,4	14
Arya Banjar Getas	13,6	21,8	29	13,1	13,6

Meskipun hasil simulasi menunjukkan potensi pelanggaran baku mutu NO_x , pengukuran lapangan menunjukkan konsentrasi yang masih tergolong aman. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh sifat konservatif model AERMOD, yang menghitung skenario terburuk berdasarkan kondisi meteorologis ekstrim.

4. Analisis Risiko dan Implikasi Kesehatan

Konsentrasi NO_x yang tinggi berpotensi menimbulkan berbagai dampak kesehatan, terutama gangguan sistem pernapasan, peningkatan risiko asma, bronkitis, serta pembentukan ozon troposferik yang bersifat iritatif. WHO menyatakan bahwa NO_2 adalah salah satu polutan yang paling berbahaya bagi anak-anak dan lansia. Oleh karena itu, meskipun hasil pengukuran

lapangan menunjukkan nilai aman, potensi akumulasi jangka panjang tetap menjadi perhatian serius.

5. Evaluasi Kesesuaian terhadap Baku Mutu

Tabel di bawah ini merangkum perbandingan hasil simulasi dengan baku mutu udara ambien nasional:

Tabel 2. perbandingan hasil simulasi dengan baku mutu udara ambien nasional

Polutan	1 Jam ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tahunan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Baku Mutu (PP No. 22/2021)
NO _x	515,19	82,83	33,14	200 / 65 / 30
SO ₂	60,32	9,67	0,52	150 / 50 / 20
CO	159,55	-	-	10.000 (8 jam)
TSP	-	8,54	-	230 (24 jam)

Data tersebut menunjukkan bahwa hanya NO_x yang secara konsisten melampaui batas ambien, sedangkan polutan lain berada jauh di bawah standar.

6. Model Spasial Dispersi Udara PLTD Ampenan

Model spasial dispersi udara merupakan pendekatan ilmiah yang digunakan untuk memetakan pergerakan polutan dari sumber emisi ke wilayah sekitarnya berdasarkan faktor meteorologis dan topografis. Dalam konteks PLTD Ampenan, model ini digunakan untuk memproyeksikan sebaran konsentrasi polutan di udara dari cerobong pembangkit menuju lingkungan sekitar. Pemodelan ini penting untuk mengidentifikasi area berisiko tinggi terhadap paparan polusi, serta mendukung kebijakan mitigasi pencemaran udara.

Pemodelan spasial pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak AERMOD View versi 8.9.0 yang telah diakui secara internasional dan direkomendasikan oleh US EPA. AERMOD mengintegrasikan berbagai parameter penting, seperti data meteorologi (arah dan kecepatan angin, suhu, radiasi, tekanan permukaan), data uji emisi PLTD (tinggi cerobong, kecepatan dan suhu gas buang, laju emisi), serta topografi dan tutupan lahan dari kawasan sekitar. Simulasi dilakukan untuk dua kondisi utama, yaitu musim hujan dan musim kemarau, guna menangkap perbedaan pola sebaran akibat variasi musiman.

1) Karakteristik Umum Model

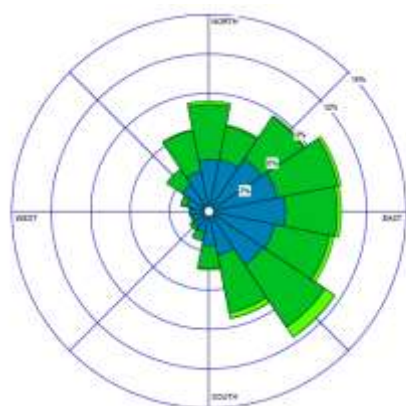
Model AERMOD dalam studi ini menggambarkan penyebaran polutan dalam bentuk peta isopleth, yaitu visualisasi spasial yang menunjukkan distribusi konsentrasi berdasarkan jarak dan arah dari sumber emisi. Komponen utama dalam model ini meliputi: sumber emisi berupa cerobong pada unit PLTD (unit 2, 3, 4, 5, 7, 8, dan boiler), parameter polutan (SO₂, NO_x, CO, TSP, CO₂, dan O₂), data meteorologi dari ERA5 dan BMKG NTB, serta data topografi yang menunjukkan kontur dan jenis tutupan lahan (perumahan, laut, dan lahan kosong). Model ini bersifat steady-state dan berbasis Gaussian, yang artinya mengasumsikan kondisi atmosfer relatif stabil dalam jangka waktu tertentu, dengan sebaran polutan berbentuk lonceng.

2) Pola Dispersi Berdasarkan Musim

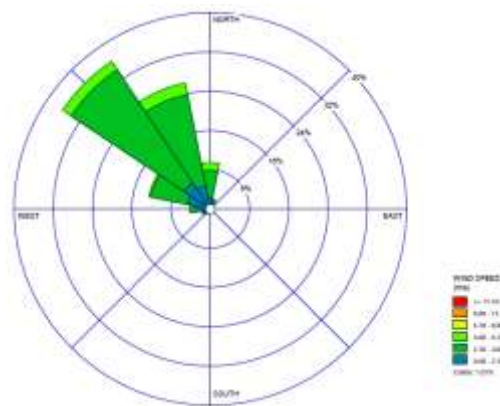
Pola sebaran polutan sangat dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin yang berbeda tiap musim. Pada musim hujan, arah angin dominan dari barat laut (WNW) menuju tenggara (ESE), dengan kecepatan angin berkisar antara 1,5–3,6 m/s. Dalam kondisi ini, model menunjukkan bahwa sebaran polutan memanjang ke arah tenggara, khususnya menuju

Kecamatan Lingsar, dan mencapai wilayah permukiman seperti Griya Pesona Alam yang berjarak ± 8 km dari PLTD. Konsentrasi maksimum, terutama untuk NO_2 , tercatat pada titik ini dan melebihi ambang batas baku mutu nasional.

Sementara itu, pada musim kemarau, arah angin berubah menjadi dari tenggara menuju barat laut. Kecepatan angin umumnya lebih tinggi dibanding musim hujan, sehingga penyebaran polutan menjadi lebih menyebar dan tidak terkonsentrasi pada satu titik. Polutan cenderung terbawa ke arah pesisir seperti Kelurahan Tanjung Karang. Meskipun arah dan luasan penyebaran berbeda, konsentrasi maksimum tetap terpantau dalam radius 5–8 km dari tapak PLTD.



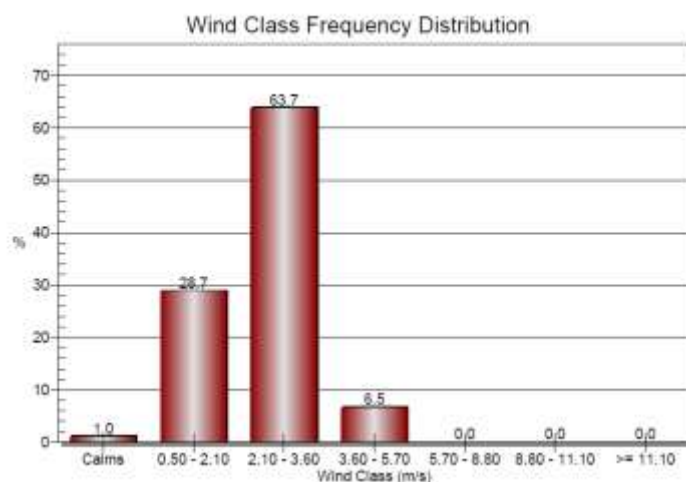
(a) Wind rose pada musim hujan



(b) Wind rose pada musim kemarau

3) Titik Konsentrasi Maksimum

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa titik konsentrasi maksimum terjadi di sekitar Griya Pesona Alam, yang berada dalam lintasan angin dominan saat musim hujan. Lokasi ini tergolong krusial karena memiliki kepadatan penduduk tinggi dan kontur datar, yang memperlambat proses dispersi polutan di permukaan. NO_2 menjadi parameter dominan dengan nilai maksimum mencapai $515,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 jam), melebihi baku mutu $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi tertinggi SO_2 dan TSP juga tercatat di titik ini, meskipun masih dalam batas aman.



4) Visualisasi dan Perbandingan Musiman

Pola isopleth yang dihasilkan menggambarkan distribusi elips yang memanjang mengikuti arah angin, dengan zona konsentrasi tinggi berada dalam radius 6–10 km dari tapak. Visualisasi ini memperlihatkan bahwa wilayah permukiman memiliki risiko paparan tertinggi, sedangkan pada musim kemarau sebagian polutan terdispersi ke arah laut. Meskipun

konsentrasi antar musim tidak menunjukkan perbedaan ekstrem, arah dan luasan sebaran berubah secara signifikan, menandakan pentingnya pengendalian emisi sepanjang tahun.

Tabel 3. Visualisasi dan Perbandingan Musiman

Parameter	Konsentrasi Maksimum (Musim Hujan)	Konsentrasi Maksimum (Musim Kemarau)	Lokasi
NO ₂	515,19 µg/m ³ (1 jam)	514,95 µg/m ³ (1 jam)	Griya Pesona Alam
SO ₂	60,32 µg/m ³ (1 jam)	60,29 µg/m ³ (1 jam)	Griya Pesona Alam
CO	159,55 µg/m ³ (8 jam)	159,47 µg/m ³ (8 jam)	Griya Pesona Alam
TSP	8,54 µg/m ³ (24 jam)	4,82 µg/m ³ (24 jam)	Griya Pesona Alam

Penelitian ini tidak hanya berfokus pada pemodelan teoretis, tetapi juga pada evaluasi empiris terhadap kualitas udara ambien di sekitar PLTD Ampenan. Interpretasi dilakukan berdasarkan hasil pengukuran lima parameter utama pencemar udara yaitu SO₂, NO₂, CO, TSP, dan O₃, yang dibandingkan dengan baku mutu nasional berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 dan referensi WHO. Hasil tersebut dievaluasi secara spasial dan temporal untuk menilai kepatuhan terhadap regulasi lingkungan serta potensi dampaknya terhadap kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan.

a. Sulfur Dioksida (SO₂)

Konsentrasi SO₂ yang terukur di sekitar PLTD Ampenan berada dalam rentang 13,6–16,1 µg/m³, atau hanya 9–11% dari ambang batas baku mutu nasional sebesar 150 µg/m³. Nilai ini mengindikasikan tingkat paparan SO₂ yang sangat rendah. Emisi SO₂ biasanya berasal dari pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur, seperti solar. Namun, hasil ini memperlihatkan bahwa kandungan sulfur dalam bahan bakar yang digunakan relatif rendah, atau sistem pembakaran di PLTD telah dilengkapi dengan mekanisme kontrol emisi yang cukup efektif.

Pada musim hujan dan kemarau, pola sebaran SO₂ tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Gambar dispersi dan grafik menunjukkan bahwa penyebarannya cukup merata, dengan konsentrasi tertinggi tetap berada jauh di bawah batas ambang yang berbahaya bagi kesehatan pernapasan.

b. Nitrogen Dioksida (NO₂)

Sebagai produk utama dari pembakaran solar, NO₂ menjadi perhatian utama dalam penelitian ini. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi antara 13,1–15,1 µg/m³, atau hanya 6–7,5% dari ambang batas 200 µg/m³. Meskipun simulasi AERMOD menunjukkan kemungkinan pelampauan baku mutu dalam skenario operasional ekstrem (hingga 515,19 µg/m³ dalam satu jam), pengukuran aktual menunjukkan bahwa kondisi udara sehari-hari tetap dalam batas aman. Pola sebaran NO₂ cenderung mengikuti arah angin dominan. Pada musim hujan, NO₂ bergerak ke arah tenggara, mengarah ke wilayah Griya Pesona Alam. Pada musim kemarau, polutan menyebar ke arah pesisir, termasuk daerah Tanjung Karang. Meski demikian, pada kedua musim, konsentrasi real-time tetap dalam batas aman.

c. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida merupakan hasil pembakaran tidak sempurna. Konsentrasi CO terpantau antara 19,4–24,8 µg/m³, hanya sekitar 0,2% dari ambang batas nasional sebesar 10.000 µg/m³ (8 jam). Rendahnya nilai ini mencerminkan bahwa proses pembakaran solar di PLTD cukup efisien. Baik simulasi maupun pengukuran lapangan menunjukkan konsistensi

hasil, dengan penyebaran konsentrasi CO yang tidak membentuk akumulasi signifikan. Hal ini menjadi indikasi positif bahwa sistem operasi pembangkit bekerja optimal dalam mengontrol emisi, terutama pada sisi efisiensi termal dan rasio udara-bahan bakar yang sesuai.

d. Total Suspended Particulate (TSP)

TSP terdeteksi dalam kisaran 12,5–14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, jauh di bawah baku mutu nasional 230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. TSP berasal dari sisa pembakaran dan partikel lain yang terbawa ke atmosfer. Meski model AERMOD menghasilkan nilai maksimum 8,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pengukuran lapangan sedikit lebih tinggi, kemungkinan karena kontribusi dari sumber lain seperti lalu lintas atau debu jalan.

Penyebaran TSP cenderung tidak terkonsentrasi dan tersebar tipis, menunjukkan bahwa PLTD bukanlah sumber dominan partikulat di wilayah tersebut.

e. Ozon (O_3)

Ozon merupakan polutan sekunder yang terbentuk melalui reaksi fotokimia antara NO_x dan VOC (volatile organic compounds) dengan sinar matahari. Konsentrasi O_3 yang terukur berada antara 17–29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, jauh di bawah ambang batas nasional sebesar 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Meskipun ozon tidak dimodelkan dalam AERMOD karena sifatnya yang tidak langsung, hasil pengukuran memperlihatkan bahwa pembentukan ozon sekunder masih dalam tingkat yang sangat terkendali.

Evaluasi Spasial dan Temporal

Distribusi polutan di tiga titik lokasi pengukuran menunjukkan tidak adanya perbedaan mencolok. Artinya, penyebaran polutan dari PLTD cukup merata dalam radius ± 10 km, sejalan dengan arah angin dominan dari data meteorologi. Secara temporal, pengambilan sampel dilakukan saat operasi normal PLTD, sehingga representatif terhadap kondisi harian aktual.

Konsistensi antara titik pengamatan mengindikasikan bahwa tidak terdapat “hot spot” emisi yang menyebabkan pencemaran terlokalisasi. Kondisi atmosfer cukup stabil, memungkinkan polutan terdilusi secara merata di atmosfer.

Perbandingan dengan Hasil Simulasi AERMOD

Meskipun AERMOD memperkirakan beberapa parameter mendekati atau melebihi ambang batas, data lapangan membuktikan sebaliknya. Hal ini menunjukkan adanya konservatisme dalam pemodelan AERMOD, yang mengasumsikan kondisi terburuk (worst-case scenario), seperti semua unit pembangkit beroperasi serempak dan tanpa degradasi atmosferik.

Khusus untuk NO_2 , model menunjukkan potensi risiko tinggi, sedangkan data lapangan menunjukkan sebaliknya. Ini menandakan perlunya kalibrasi model berdasarkan data aktual agar tidak menghasilkan bias berlebih dalam pengambilan kebijakan. Untuk SO_2 , CO, dan TSP, hasil model dan pengukuran menunjukkan kesesuaian, memperkuat validitas AERMOD untuk skenario normal.

5) Signifikansi NO_2 dan Implikasi Kebijakan

NO_2 menjadi polutan yang paling signifikan secara spasial karena konsentrasinya tinggi, sebarannya luas, serta berasal langsung dari proses pembakaran diesel. Zona dengan

risiko tertinggi antara lain Griya Pesona Alam dan Banjar Getas, di mana kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia sangat berisiko. Implikasi strategis dari temuan ini mencakup perlunya penetapan zona pengendalian kualitas udara, pembangunan buffer zone minimal 10 km dari cerobong, pemantauan kualitas udara berbasis spasial, serta penggunaan teknologi pengendali emisi seperti SCR (Selective Catalytic Reduction).

7. Implikasi terhadap Kebijakan dan Energi Berkelanjutan

Temuan ini memiliki implikasi penting bagi perumusan kebijakan lingkungan di Kota Mataram. Pemerintah daerah perlu mempertimbangkan penerapan teknologi pengendali emisi seperti Selective Catalytic Reduction (SCR) atau retrofitting unit pembangkit agar lebih ramah lingkungan. Selain itu, diperlukan pengawasan intensif terhadap PLTD yang masih menggunakan bahan bakar diesel kualitas rendah, yang terbukti menghasilkan emisi NO_x yang tinggi.

Peralihan menuju sumber energi yang lebih bersih seperti PLTS (pembangkit listrik tenaga surya) atau PLTG (pembangkit listrik tenaga gas) juga harus dipercepat untuk mengurangi beban pencemaran udara di kawasan perkotaan. Dalam jangka panjang, integrasi energi terbarukan akan memberikan manfaat tidak hanya dari sisi lingkungan, tetapi juga kesehatan masyarakat dan efisiensi ekonomi.

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa model spasial dispersi udara dengan menggunakan AERMOD View versi 8.9.0 efektif dalam memetakan dan menganalisis penyebaran polutan udara dari PLTD Ampenan. Dengan mengintegrasikan data meteorologi, topografi, karakteristik sumber emisi, dan kondisi musiman, model ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai pola sebaran dan konsentrasi maksimum polutan, khususnya NO₂, SO₂, CO, dan TSP. Hasil simulasi menunjukkan bahwa di antara seluruh parameter, NO₂ merupakan polutan paling dominan dan mengkhawatirkan, dengan konsentrasi maksimum harian dan per jam yang melebihi baku mutu udara ambien nasional (PP No. 22 Tahun 2021). Konsentrasi tertinggi terjadi di sekitar Griya Pesona Alam, Kecamatan Lingsar, yang berada dalam lintasan angin dominan musim hujan dan memiliki karakteristik topografi datar serta kepadatan penduduk tinggi. Pola penyebaran polutan sangat dipengaruhi oleh musim. Pada musim hujan, penyebaran lebih terkonsentrasi dan bergerak ke wilayah pemukiman padat, sementara pada musim kemarau, penyebaran lebih menyebar ke arah laut dan pesisir, meskipun konsentrasi tetap signifikan dalam radius 6–10 km dari sumber. Validasi model dengan pengukuran kualitas udara ambien menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar parameter berada dalam batas aman, potensi akumulasi jangka panjang tetap menjadi ancaman bagi kesehatan masyarakat, terutama pada area dengan paparan berulang. Studi ini menegaskan pentingnya penggunaan pendekatan spasial dalam manajemen kualitas udara, serta merekomendasikan penguatan sistem pemantauan, penetapan buffer zone, dan transisi menuju pembangkit ramah lingkungan sebagai solusi jangka panjang.

REFERENSI

- Amirullah, M. A., Muhlisin, & Akbari, T. (2023). Pengaruh Kualitas udara Ambien Terhadap Keluhan Subjektif Gangguan Pernapasan sebagai Bahan Kebijakan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Jurnal Kebijakan Pembangunan Daerah*, 7(2), 145-162.
- Apriyana, M., Ergantara, R. I., & Nasoetion, P. (2023). Analisis Emisi Karbon Monoksida Akibat Kemacetan Kendaraan di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3), 4512-4523. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i3.5512>
- BPS Kota Mataram. (2023). Statistik Ketenagalistrikan Kota Mataram 2023. Badan Pusat Statistik Kota Mataram.
- Dewi, R. K., Santoso, M., & Lestiani, D. D. (2022). Characterization of Emission Sources in Urban Area Using Positive Matrix Factorization. *Indonesian Journal of Chemistry*, 22(4), 951-963. <https://doi.org/10.22146/ijc.68734>
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Mataram. (2023). Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Mataram Tahun 2023. Pemerintah Kota Mataram.
- IEA. (2022). CO₂ Emissions from Fuel Combustion: Overview. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-from-fuel-combustion-overview>
- Ismiyati, I., Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 1(3), 241-248. <https://doi.org/10.54324/j.mtl.v1i3.23>
- Kementerian ESDM. (2023). Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2023. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Kumar, P., Singh, S. K., & Feiz, A. A. (2023). Validation of AERMOD Model for Predicting Ambient Air Quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 78-94. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10654-9>
- Pinatik, I. D., Riogilang, H., & Mangangka, I. R. (2023). Analisis Beban Emisi CO₂ Di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado. *Tekno*, 21(84), 1245-1258.
- PLN. (2023). Statistik PLN 2023. PT PLN (Persero).
- PLN Unit Induk Wilayah Nusa Tenggara Barat. (2023). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) Wilayah NTB 2023-2032. PT PLN (Persero) UIW NTB.
- Puspitarini, R. (2022). Analisis Kimia Udara PT Papertech Indonesia Unit II Magelang. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 14(1), 55-70. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol14.iss1.art5>
- Sasmita, A., Reza, M., Elystia, S., & Adriana, S. (2022). Analisis Pengaruh Kecepatan dan Volume Kendaraan Terhadap Emisi dan Konsentrasi Karbon Monoksida. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(4), 287-298. <https://doi.org/10.24002/jts.v16i4.5452>
- Setiati, T. W., Febrina, S. E., & Islami, F. S. (2023). Investigasi Kualitas Udara Ruang Kelas dengan Perubahan Ventilasi Aktif Menjadi Alami Pasca Pandemi. *Arsir*, 6(2), 112-125. <https://doi.org/10.32502/arsir.v6i2.5167>
- Sharma, N., & Khare, M. (2021). Health Impact Assessment of Emissions from Diesel Power Plants in Indian Urban Areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 18945-18962. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11956-4>
- Suryani, A. S. (2020). Dampak Pandemi Covid-19 Terhadap Lingkungan Global. *Info Singkat Bidang Kesejahteraan Sosial*, XII(13), 13-18.

- US EPA. (2022). AERMOD Model Formulation and Evaluation. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models>
- WHO. (2021). WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. World Health Organization.
- Zhang, Y., Gu, Z., Cheng, Y., & Lee, S. C. (2020). Application of AERMOD for Air Quality Assessment of a Coal-Fired Power Plant in Complex Terrain. *Atmospheric Environment*, 224, 117346. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117346>