

Analisis Sebaran PM₁₀ menggunakan Model AERMOD View pada Jalan Raya Gunung Putri, Kabupaten Bogor

Muhammad Tiyono Dzul Adli¹, Joana Febrita^{1*}

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 16680 Indonesia

*penulis koresponden: joanafebrita@apps.ipb.ac.id

Abstrak: Sektor transportasi menjadi salah satu penyumbang terbesar polusi akibat dari emisi atau zat buang yang dihasilkan pada proses pembakarannya. Parameter pencemar udara ambien yang dihasilkan oleh aktivitas sektor transportasi salah satunya yaitu Particulate Matter 10 (PM₁₀). PM₁₀ pada jangka panjang dapat menyebabkan berbagai macam gangguan kesehatan. Banyaknya pabrik-pabrik dan transportasi yang beraktivitas di Kecamatan Gunung Putri dapat memengaruhi kualitas udara di wilayah tersebut. Oleh karena itu, analisis pola sebaran konsentrasi PM₁₀ di Jalan Raya Gunung Putri dengan pemodelan AERMOD perlu dilakukan. Hasil pengukuran langsung di lapangan diperoleh besarnya konsentrasi PM₁₀ pada hari kerja berkisar antara 72,80 - 135,39 µg/m³ sedangkan pada hari libur berkisar antara 50,68 - 82,52 µg/m³. Sumber pencemar PM₁₀ yang bergerak berasal dari kendaraan seperti motor, mobil, bus, dan truk. Jumlah kendaraan yang melintas menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi PM₁₀, semakin banyak kendaraan yang melintas konsentrasi PM₁₀ juga akan meningkat. Pola sebaran konsentrasi PM₁₀ dengan AERMOD View pada hari kerja berkisar antara 33,78 - 238,49 µg/m³ sedangkan pada hari libur berkisar antara 17,20 - 110,90 µg/m³ dengan arah angin bergerak dominan ke arah Tenggara. Konsentrasi PM₁₀ di beberapa segmen jalan seperti segmen 1, segmen 2, dan segmen 6 tidak memenuhi baku mutu, yaitu lebih besar dari 75 µg/m³.

Kata kunci: AERMOD, emisi, konsentrasi, pencemaran udara, PM₁₀

1. Pendahuluan

Sektor industri dan transportasi merupakan salah satu sektor utama penunjang pembangunan nasional dan penggerak pertumbuhan ekonomi negara [1]. Sektor industri dan transportasi juga menjadi salah satu penyumbang terbesar polusi akibat dari emisi atau zat buang yang dihasilkan pada proses pembakarannya [2]. Salah satu parameter pencemar udara ambien yang dihasilkan oleh aktivitas sektor industri dan transportasi yaitu *Particulate Matter* 10 (PM₁₀) [3]. *Particulate Matter* 10 (PM₁₀) yaitu partikel yang berukuran kurang dari atau sama dengan 10µm. Dalam studi ditemukan bahwa konsentrasi PM₁₀ di kawasan industri cukup tinggi akibat dari aktivitas pabrik, transportasi, dan kurangnya ruang terbuka hijau serta kepadatan penduduk yang tinggi [4]. Pengukuran partikulat pada udara ambien di kawasan industri menunjukkan bahwa PM₁₀ menyumbang sekitar 80-90% dari total seluruh emisi *Particulate Matter* [5]. Pabrik industri logam, baja, kertas, makanan, kimia, dan industri lainnya dinilai sebagai salah satu sumber penghasil PM₁₀ [6]. *Particulate Matter* 10 (PM₁₀) seringkali diabaikan karena efek negatif yang ditimbulkan pada manusia tidak langsung dirasakan, sebenarnya pada jangka panjang PM₁₀ dapat

Diterima: 25 Agustus 2024
Disetujui: 13 Oktober 2024
Disetujui: 17 Oktober 2024

menyebabkan gangguan pernapasan kardiovaskular seperti asma, bahkan dapat menyebabkan kematian akibat penyakit jantung dan kanker paru-paru [7]. PM₁₀ merupakan partikel kasar namun bersifat cukup mudah terhirup dan masuk ke dalam paru-paru serta dapat menurunkan tingkat visibilitas dan memengaruhi kualitas air dan lingkungan [8-9].

Pemodelan pola sebaran emisi PM₁₀ dapat dilakukan dengan menggunakan *software* AERMOD View [10]. Sebaran polutan yang dipengaruhi kondisi meteorologi, geomorfologi, dan keadaan sumber pencemar termasuk cukup rumit sehingga pemodelan AERMOD digunakan dalam analisis pola sebaran PM₁₀ [11]. *Software* AERMOD View dapat memprediksi pola sebaran emisi hingga 10 sumber yang berbeda-beda termasuk penyebaran emisi dari sumber yang bergerak [12]. Perangkat lunak ini terdiri dari AERMOD sebagai model utama, AERMET sebagai model meteorologi, dan AERMAP sebagai model geomorfologi. Model AERMET digunakan untuk menyediakan data meteorologi, seperti kecepatan dan arah angin, suhu, tutupan awan dan data yang terkait dengan permukaan. Sedangkan, model AERMAP digunakan untuk menyediakan data topografi grid yang dipilih dari data *Digital Elevation Model* (DEM) dan titik penerimaan yang dihitung dari *Mean Sea Level* (MSL) [13].

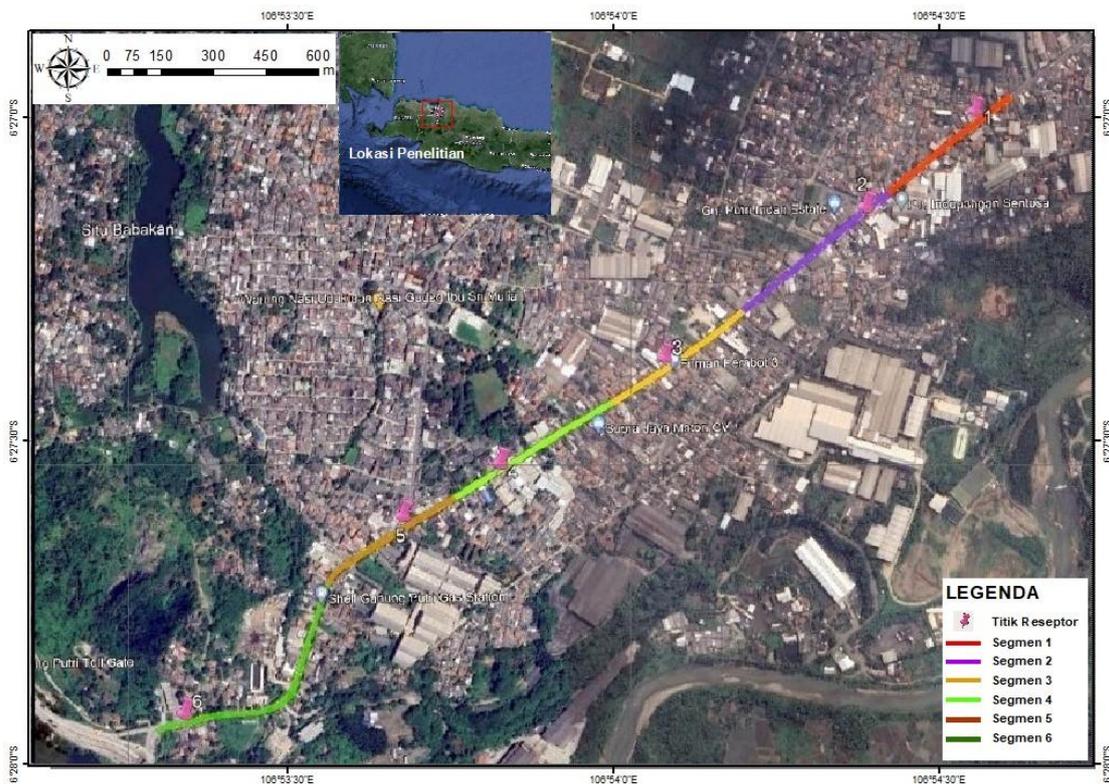
Gunung Putri merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Bogor yang memiliki banyak sektor industri. Kecamatan Gunung Putri memiliki jumlah subsektor basis pengolahan industri pengolahan terbanyak di Kabupaten Bogor bersama dengan Kecamatan Cileungsi. Hal tersebut menandakan bahwa kecamatan tersebut memiliki industri skala besar dan sedang di semua subsektor [14]. Banyaknya pabrik-pabrik dan transportasi yang beraktivitas di Kecamatan Gunung Putri dapat memengaruhi kualitas udara di wilayah tersebut. Oleh karena itu, analisis sebaran PM₁₀ dengan menggunakan Model AERMOD View di Jalan Raya Gunung Putri, Kabupaten Bogor perlu dilakukan untuk mengetahui kualitas udara di wilayah ini. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada pembuat kebijakan terkait kualitas udara ambien parameter PM₁₀ untuk mempermudah pengelolaan lingkungan di Jalan Raya Gunung Putri.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret-Mei 2023. Lokasi penelitian dilakukan pada enam titik reseptor di Jalan Raya Gunung Putri, Kabupaten Bogor (**Gambar 1**). Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran konsentrasi PM₁₀ menggunakan alat *Air Quality Detector* di lapangan dan pemodelan sebaran konsentrasi PM₁₀ dengan *software* AERMOD View.

2.1 Material

Alat yang digunakan untuk pengukuran konsentrasi *Particulate Matter* 10 µm (PM₁₀) diantaranya yaitu *Air Quality Detector* PM₁₀ merk Dienmern, perangkat *High Volume Air Sampler* (HVAS), kertas saring Whatman, barometer, anemometer, timbangan analitik, laptop, tripod dan *smartphone*. Perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan dan pengolahan data pada penelitian ini terdiri dari AERMOD View, AERMET, WRPLOT View, ArcGIS, *Traffic Counter*, *Microsoft Word*, dan *Microsoft Excel*. Acuan yang digunakan pada pengukuran konsentrasi *Particulate Matter* 10 µm (PM₁₀) adalah SNI 7119.15:2016, Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Kalibrasi Alat Air Quality Detector PM₁₀

a. Persiapan filter

Kertas saring atau filter yang digunakan pada pengukuran *Particulate Matter* 10 (PM₁₀) adalah kertas saring Whatman No. 40. Kertas saring diukur beratnya secara gravimetri sebelum pengambilan sampel partikulat dilakukan. Prosedur pengukuran berat kertas saring mengacu pada SNI 7119.15 tahun 2016.

b. Pengambilan sampel partikulat

Pengambilan sampel dilakukan pada tiga titik reseptor dengan waktu pengukuran selama 15 menit pada setiap lokasi. Perangkat HVAS digunakan dalam proses pengambilan sampel partikulat. Proses pengambilan sampel partikulat mengacu pada SNI 7119.15 tahun 2016.

c. Perhitungan nilai konsentrasi PM₁₀

Hasil pengukuran dan perhitungan nilai konsentrasi PM₁₀ dengan alat HVAS akan dibandingkan dengan nilai konsentrasi PM₁₀ berdasarkan alat *Air Quality Detector* Merk Dienmern untuk memperoleh faktor koreksi. Konsentrasi PM₁₀ dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$C = \frac{(W_2 - W_1) \times 10^6}{V_{std}} \dots \dots \dots (1)$$

- C = Kadar partikulat (µg/m³)
- W₁ = Berat filter awal (gram)
- W₂ = Berat filter akhir (gram)
- V_{std} = Volume udara dalam keadaan standar
- 10⁶ = Konversi satuan gram (g) ke mikrogram (µg)

2.2.2 Pengukuran Variasi dan Volume Lalu Lintas

Pengukuran variasi dan volume lalu lintas dilakukan selama 15 menit pada enam segmen di Jalan Raya Gunung Putri melalui rekaman video dengan kamera *smartphone*. Pengukuran volume lalu lintas dilakukan bersamaan dengan pengukuran konsentrasi *Particulate Matter* (PM₁₀) secara langsung di lapangan. Rekaman video lalu lintas tiap segmennya kemudian dihitung menggunakan

aplikasi Traffic Counter dengan membedakan kendaraan menjadi 4 jenis yaitu sepeda motor, mobil, truk, dan bis. Hasil penjumlahan tiap jenis kendaraan dikali 4 untuk menghasilkan volume kendaraan selama satu jam. Lokasi tiap segmen dan reseptor dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Lokasi segmen dan reseptor

Segmen	Lokasi Segmen		Reseptor	Lokasi Reseptor	Koordinat Reseptor
	Titik Awal	Titik Akhir			
1	Bengkel Resmi Honda	PT Indopangan Sentosa	1	TB Bangun Jaya Mandiri	6°27'9.52"S 106°54'20.34"E
2	PT Indopangan Sentosa	PT Parasindo Pratama	2	PD Sinar Surya	6°27'15.07"S 106°54'13.77"E
3	PT Parasindo Pratama	Masjid Jami Al Hikmah	3	PT Dwi Indah	6°27'23.99"S 106°54'2.07"E
4	Masjid Jami Al Hikmah	PT Manajemen Manufaktur Indonesia	4	PT Mitra Pratama Raya	6°27'30.04"S 106°53'51.92"E
5	PT Manajemen Manufaktur Indonesia	Masjid Agung Al-Muqorrobin	5	Indomaret Cagak Gunung Putri	6°27'33.14"S 106°53'46.03"E
6	Masjid Agung Al-Muqorrobin	Indah Cargo Gunung Putri Selatan	6	SPBU Gunung Putri Pertamina	6°27'44.80"S 106°53'32.69"E

2.2.3 Pengukuran Konsentrasi PM₁₀

Pengambilan sampel PM₁₀ dilapangan menggunakan alat ukur *Air Quality Detector* PM₁₀ merk Dienmern yang dapat dilihat pada Gambar 1. Pengukuran konsentrasi PM₁₀ dilakukan selama 15 menit dengan pembacaan setiap 10 detik. Suhu udara, kecepatan angin, tekanan udara, kelembapan, dan elevasi lokasi juga dicatat selama proses pengukuran. Hasil pengukuran dicatat pada *Microsoft Excel* untuk selanjutnya dilakukan analisis data. Hasil pengukuran selama 15 menit dikali 4 untuk mendapatkan hasil pengukuran selama 1 jam lalu dirata-ratakan. Prosedur pengukuran konsentrasi dan volume kendaraan di lapangan mengacu pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah.

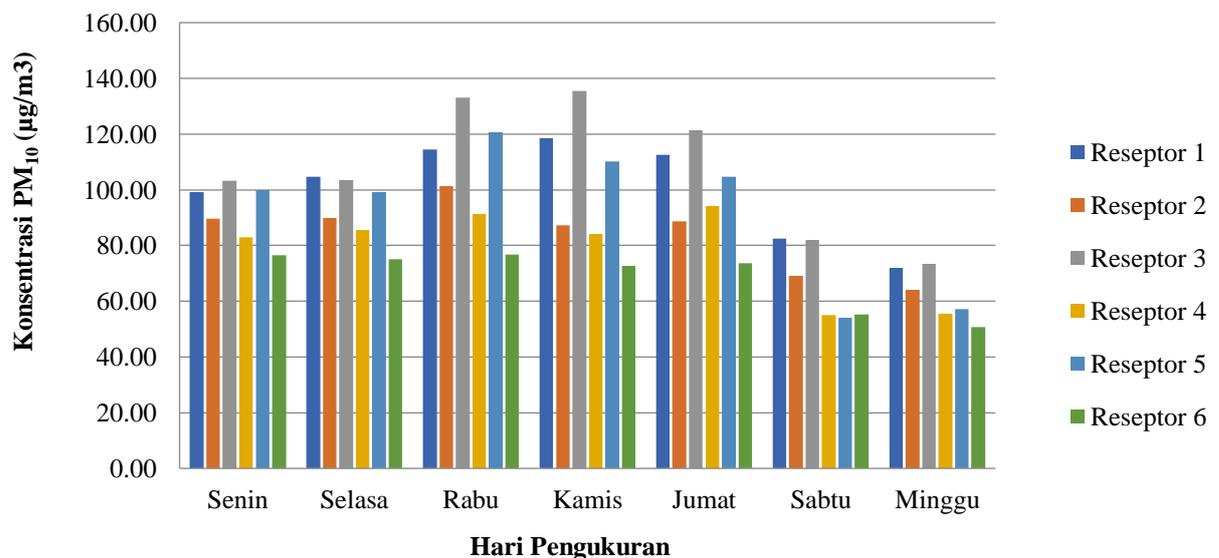
2.2.4 Pengolahan Data

Data meteorologi yang diperlukan pada penelitian berupa data kecepatan dan arah angin, tekanan, radiasi matahari, suhu bola kering, kelembaban, tutupan awan, dan curah hujan. Data tersebut kemudian akan diolah menggunakan AERMET dan WRPLOT. Peta elevasi lokasi juga diperlukan pada penelitian ini yang kemudian akan diolah menggunakan AERMAP. Setelah seluruh data primer dan data sekunder diperoleh, selanjutnya dilakukan pengolahan dengan AERMOD. Prinsip pemodelan AERMOD secara garis besar mengasumsikan penyebaran emisi dalam arah horizontal dan vertikal menggunakan distribusi konsentrasi Gaussian. Pemodelan dengan *software* AERMOD View dilakukan untuk memperoleh pola sebaran emisi PM₁₀. Kemudian analisis hasil pengukuran dan pola sebaran emisi dapat dilakukan. Konsentrasi PM₁₀ hasil pengukuran di lapangan dapat dibandingkan dengan konsentrasi PM₁₀ hasil pemodelan. Berdasarkan hasil pemodelan juga dapat diketahui arah angin dominan yang memengaruhi sebaran PM₁₀, kisaran sebaran konsentrasi PM₁₀ dan titik koordinat nilai konsentrasi PM₁₀ maksimum berada.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Konsentrasi Particulate Matter 10 μm (PM₁₀) di Lapangan

Pengukuran konsentrasi PM₁₀ di Jalan Raya Gunung Putri, Kabupaten Bogor dilakukan selama 7 hari mulai dari hari Senin sampai hari Minggu dengan waktu pengamatan dilakukan sebanyak 3 kali yaitu pagi hari pada pukul 08.00 - 10.30 WIB, siang hari pada pukul 12.00 - 14.30 WIB, dan sore hari pada pukul 15.00 - 17.30 WIB. Pengukuran pada tiga waktu tersebut bertujuan untuk mengasumsikan besarnya nilai konsentrasi PM₁₀ pada satu hari. Alat Konsentrasi *Air Quality Detector* Merk Dienmern digunakan dalam proses pengukuran konsentrasi PM₁₀ di lapangan. Hasil pengukuran tersebut kemudian dikalikan dengan faktor koreksi yang diperoleh setelah proses kalibrasi. Pengukuran PM₁₀ dilakukan pada enam reseptor yang telah ditentukan sebelumnya. Pemilihan setiap titik reseptor tersebut mengacu pada PERMENLH No. 12 Tahun 2010 dan SNI.No.19-7119.6- 2005, yang mana reseptor dipilih pada titik-titik populer atau pada daerah yang diperkirakan terdapat sumber dan konsentrasi pencemar yang tinggi. Selain itu, syarat lainnya saat memilih lokasi tiap titik reseptor harus menghindari tempat yang dapat mengubah konsentrasi akibat adanya absorpsi atau adsorpsi, seperti tempat-tempat yang dekat dengan pepohonan. Pengukuran yang dilakukan bertujuan mengetahui perbedaan konsentrasi PM₁₀ berdasarkan waktunya (hari kerja dan hari libur). Konsentrasi PM₁₀ hasil pengukuran di lapangan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Konsentrasi PM₁₀ hasil pengukuran di Lapangan

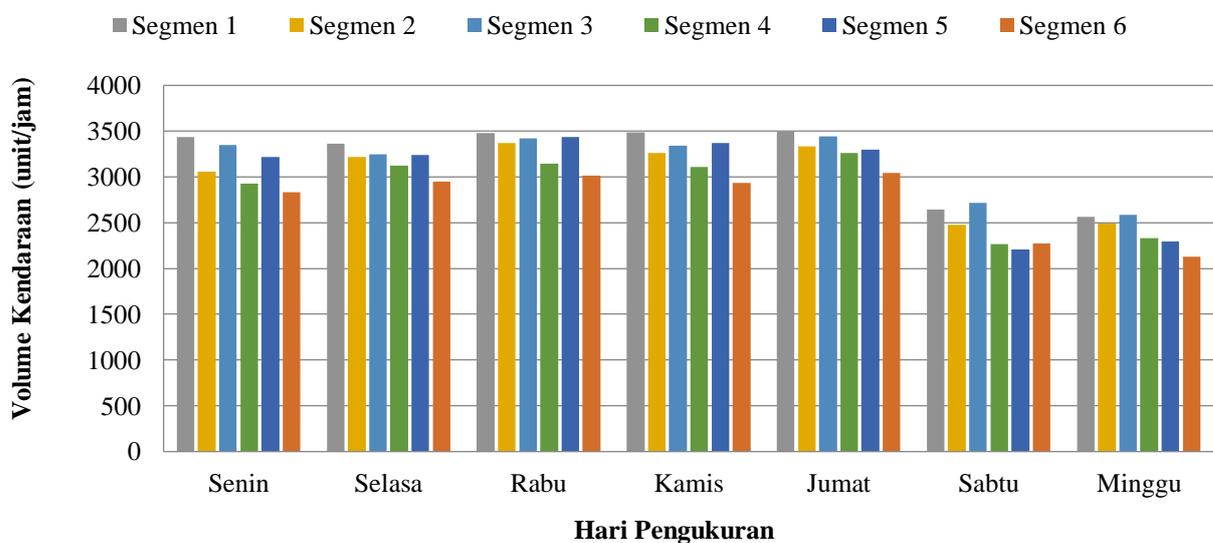
Berdasarkan **Gambar 2**, diketahui bahwa konsentrasi PM₁₀ memberikan hasil yang beragam pada tiap reseptor dan hari pengukuran. Konsentrasi PM₁₀ tertinggi berada pada reseptor 3 di hari Kamis yaitu sebesar 135,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan konsentrasi PM₁₀ terendah berada pada reseptor 6 di hari Minggu yaitu sebesar 50,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi PM₁₀ tertinggi ada di hari Kamis reseptor 3 dikarenakan selain banyaknya volume kendaraan terdapat sumber tidak bergerak di sekitar reseptor 3 yang memengaruhi konsentrasi PM₁₀ di titik tersebut. Sumber tidak bergerak yang ditemukan pada reseptor 3 berupa rumah makan yang sedang melakukan pembakaran. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan konsentrasi PM₁₀ pada hari kerja cenderung lebih besar dibanding pada hari libur. Besarnya konsentrasi PM₁₀ pada hari kerja berkisar antara 72,80 - 135,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan pada hari libur berkisar antara 50,68 - 82,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, konsentrasi PM₁₀ di beberapa reseptor tidak memenuhi baku mutu karena melebihi 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Perbedaan besarnya konsentrasi PM₁₀ pada tiap reseptor dan waktu pengukuran dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor yang menyebabkan konsentrasi PM₁₀ cenderung lebih tinggi pada hari kerja dibanding hari libur yaitu dikarenakan perbedaan aktivitas yang terjadi di kawasan tersebut. Seperti halnya, transportasi yang melintas pada hari kerja akan cenderung lebih banyak

dibandingkan saat hari libur [15]. Aktivitas pabrik pada hari kerja juga cenderung lebih tinggi dibandingkan saat hari libur terutama pada kawasan industri [3].

3.2 Volume Kendaraan

Perhitungan volume kendaraan dilakukan pada enam segmen dengan masing-masing segmen terdapat satu reseptor dan waktu pengukuran dilakukan bersamaan dengan pengukuran konsentrasi PM₁₀. Perhitungan variasi dan volume lalu lintas dilakukan selama 15 menit pada tiap segmen melalui rekaman video dengan kamera *smartphone*. Hasil rekaman video lalu lintas tiap segmen dihitung menggunakan aplikasi *Traffic Counter* dengan membedakan kendaraan menjadi 4 jenis yaitu sepeda motor, mobil, truk, dan bus. Hasil penjumlahan tiap jenis kendaraan dikali 4 untuk menghasilkan volume kendaraan selama satu jam. Hasil perhitungan volume kendaraan dapat dilihat pada **Gambar 3**.

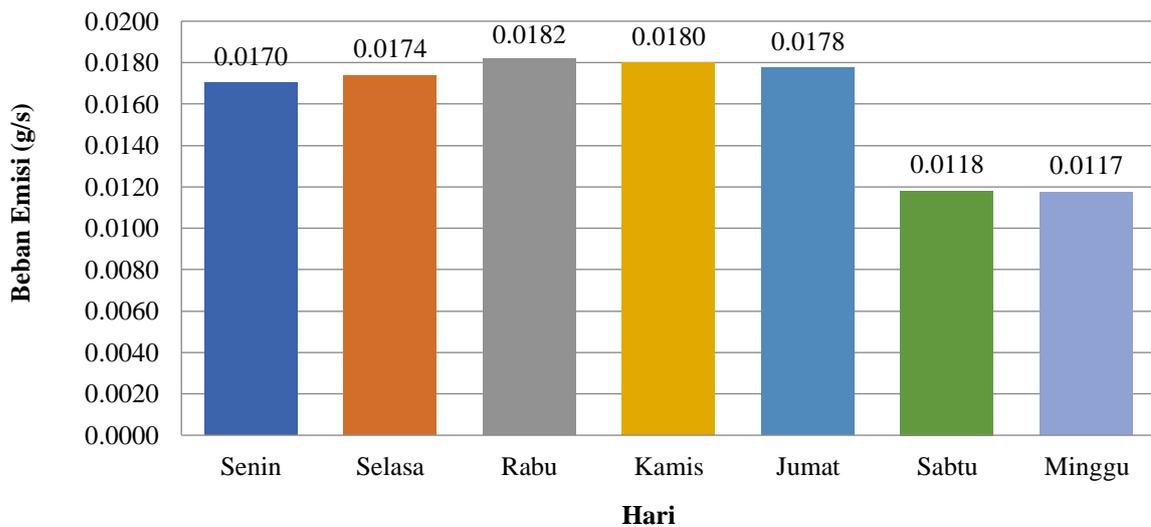


Gambar 3. Volume kendaraan berdasarkan hari

Berdasarkan **Gambar 3**, volume kendaraan terbesar diperoleh pada hari Jumat di segmen 1 sebesar 3500 unit/jam dan terkecil pada hari Minggu di segmen 6 sebesar 2131 unit/jam. Volume kendaraan pada hari Sabtu dan Minggu cenderung lebih sedikit dibanding pada hari Senin – Jumat dikarenakan pada hari libur aktivitas yang terjadi di kawasan tersebut juga cenderung lebih sedikit daripada hari biasa, sehingga kendaraan yang melintas juga menjadi lebih sedikit. Hal tersebut juga menandakan bahwa volume kendaraan dan nilai konsentrasi PM₁₀ memiliki korelasi. Konsentrasi PM₁₀ dan volume kendaraan cenderung lebih tinggi pada hari kerja dibandingkan pada hari libur. Hal ini menandakan penelitian yang dilakukan telah sesuai dengan literatur yang ada bahwa jumlah kendaraan yang melintas mempengaruhi nilai konsentrasi PM₁₀, yaitu semakin banyak kendaraan yang melintas konsentrasi PM₁₀ juga akan meningkat [16].

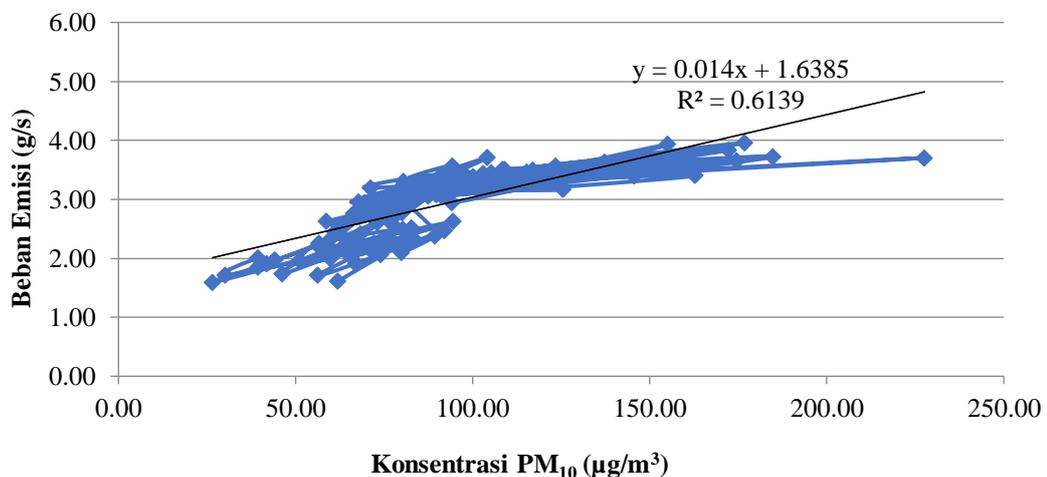
3.3 Beban Emisi PM₁₀

Perhitungan beban emisi PM₁₀ berdasarkan faktor emisi jenis kendaraan telah diatur oleh PermenLH No. 12 Tahun 2010. Emisi yang dihasilkan berasal dari aktivitas transportasi seperti sepeda motor, mobil, truk, dan bis. Khusus untuk mobil diasumsikan semuanya menggunakan bahan bakar bensin. Data volume kendaraan dan faktor emisi PM₁₀ berdasarkan acuan digunakan dalam proses perhitungan beban emisi. Hasil beban emisi PM₁₀ yang dihasilkan pada tiap harinya di Jalan Raya Gunung Putri dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Beban emisi PM₁₀

Berdasarkan **Gambar 4**, besaran emisi yang dikeluarkan berkisar antara 0,01117-0,0182 g/s. Beban emisi paling besar pada hari Rabu sebesar 0,0182 g/s dan paling kecil pada hari Minggu sebesar 0,0117 g/s. Hasil tersebut menunjukkan sedikit perbedaan dengan data volume kendaraan, yaitu volume kendaraan terbesar berada di hari Jumat. Hal itu disebabkan karena selain volume kendaraan, beban emisi PM₁₀ juga dapat dipengaruhi oleh jenis kendaraan yang melintas. Menurut PermenLH No. 12 Tahun 2010 mengenai faktor emisi, kendaraan bus dan truk memiliki faktor emisi terbesar dibandingkan dengan kendaraan bermotor maupun mobil sehingga sangat mempengaruhi jumlah emisi yang dihasilkan.



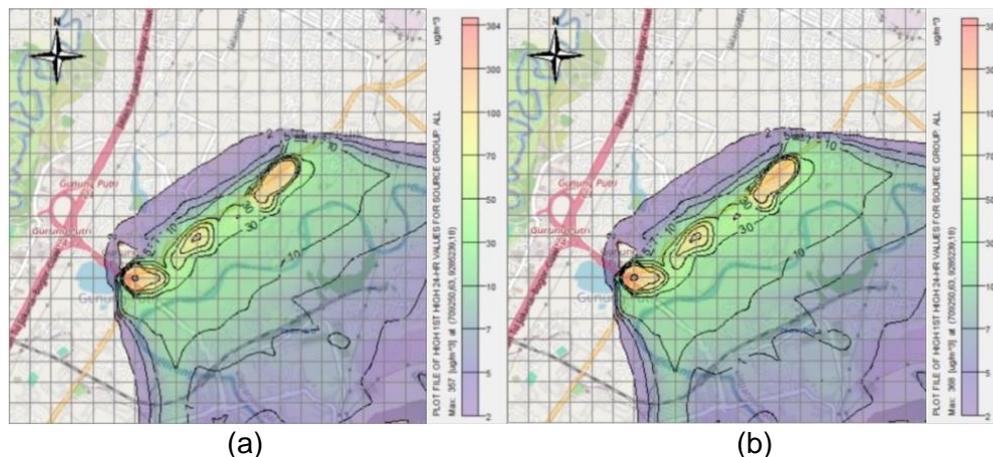
Gambar 5. Korelasi konsentrasi PM₁₀ dengan beban emisi

Koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk menunjukkan hubungan antara nilai konsentrasi PM₁₀ di lapangan dengan beban emisinya. Koefisien determinasi (R^2) tersebut diperoleh dengan cara membuat grafik perbandingan antara konsentrasi PM₁₀ dengan beban emisinya. Berdasarkan **Gambar 5**, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6319. Hal tersebut menandakan nilai koefisien determinasi (R^2) antara konsentrasi PM₁₀ dan beban emisi memiliki tingkat akurasi yang kuat karena berada pada interval nilai 0,60-0,79, berdasarkan referensi terkait interpretasi nilai koefisien determinasi (R^2).

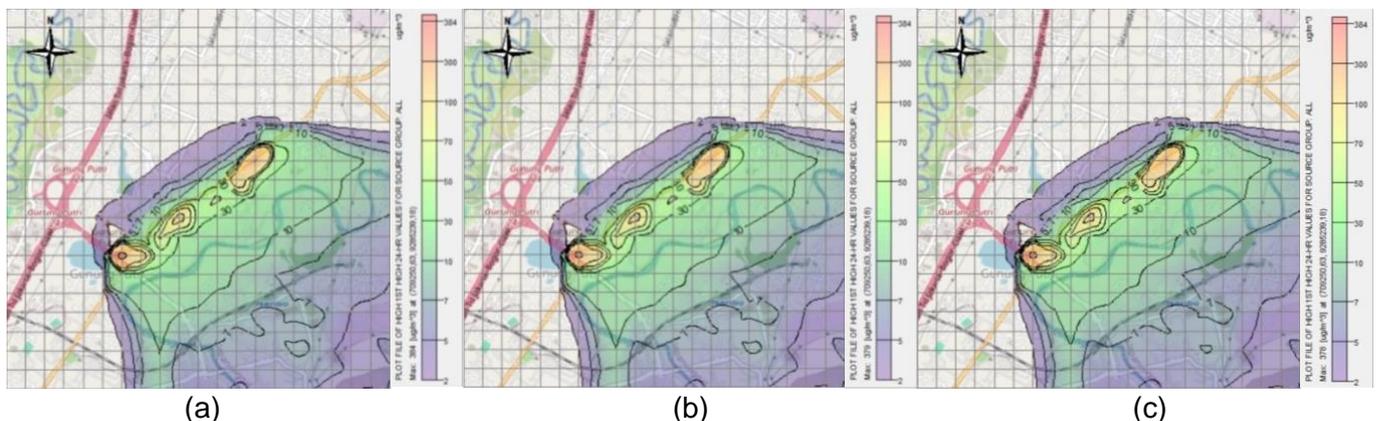
3.4 Hasil Pemodelan Penyebaran Konsentrasi PM₁₀ AERMOD

Pemodelan dengan AERMOD View dilakukan untuk mengetahui pola sebaran konsentrasi PM₁₀. Data input berupa data meteorologi dan beban emisi hasil perhitungan digunakan dalam pemodelan

AERMOD View. Data meteorologi terdiri dari suhu, arah angin, kecepatan angin, tekanan udara, curah hujan, kelembaban, ketinggian awan, dan radiasi matahari diperoleh dari BMKG dan data standar pada AERMOD. Data meteorologi yang digunakan adalah data pada waktu pengukuran berlangsung yaitu bulan Mei dan Juni 2023, data diambil dari BMKG. Kecepatan dan arah angin diasumsikan bergerak bebas di udara tanpa adanya halangan atau hambatan. Penentuan titik koordinat sendiri dilakukan dengan membagi tiap segmen menjadi 22 ruas dengan jarak antar ruasnya sebesar 100 m. Tinggi gas buang diasumsikan sebagai tinggi knalpot kendaraan yaitu sebesar 0,5 meter dengan asumsi suhu dari gas buang knalpot sebesar 29,4°C dan diameter sebesar 0,05 meter. Skala warna untuk konsentrasi PM₁₀ pada tiap pemodelan dari hari Senin sampai Minggu dibuat sama sesuai dengan konsentrasi PM₁₀ terendah dan tertinggi di seluruh pemodelan. Hasil pemodelan sebaran konsentrasi PM₁₀ menggunakan AERMOD View dapat dilihat pada **Gambar 6** sampai **Gambar 8**.

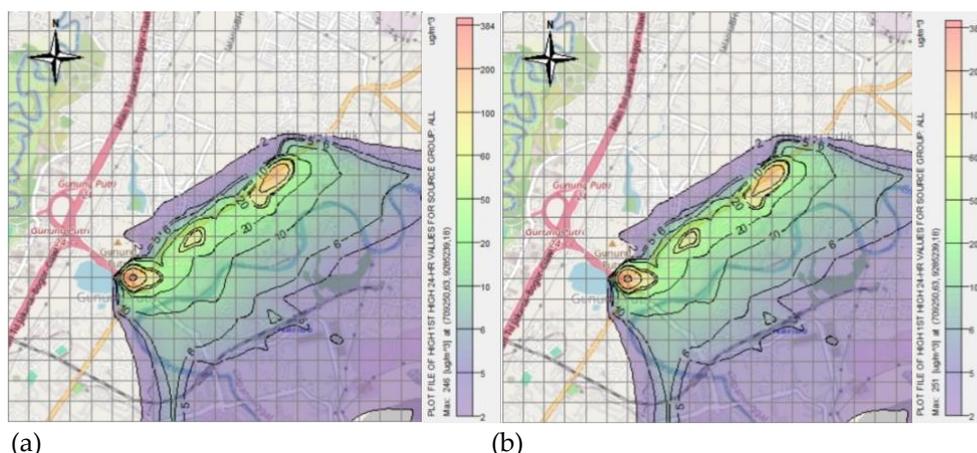


Gambar 6. Pemodelan pola sebaran konsentrasi PM₁₀ dengan AERMOD View Hari (a) Senin (b) Selasa



Gambar 7. Pemodelan pola sebaran konsentrasi PM₁₀ dengan AERMOD View Hari (a) Rabu (b) Kamis (c) Jumat

Berdasarkan **Gambar 6** dan **Gambar 7**, diketahui bahwa sebaran konsentrasi PM₁₀ pada hari Senin sampai Jumat berkisar antara 4 – 384 µg/m³. Nilai konsentrasi PM₁₀ maksimum berada pada koordinat x 709250,57m dan koordinat y 9285239,13m, titik tersebut berada di luar wilayah pengukuran langsung di lapangan. Titik tersebut juga berada di perempatan jalan sehingga banyaknya kendaraan yang melintas dan seringkali terjadi kemacetan di titik tersebut menyebabkan konsentrasi PM₁₀ terdistribusi pada satu titik. Hasil pemodelan tersebut menunjukkan bahwa angin bergerak dominan ke arah Tenggara. Konsentrasi PM₁₀ di beberapa segmen jalan seperti segmen 1 dan segmen 6 tidak memenuhi baku mutu, yaitu lebih besar dari 75 µg/m³. Selain karena penumpukan konsentrasi PM₁₀ dan kendaraan yang melintas, faktor lain seperti kondisi jalan dan adanya sumber pencemar lain dapat memengaruhi nilai konsentrasi PM₁₀ pada titik tersebut.



Gambar 8. Pemodelan pola sebaran konsentrasi PM₁₀ dengan AERMOD View Hari (a) Sabtu (b) Minggu

Berdasarkan **Gambar 8**, diketahui bahwa sebaran konsentrasi PM₁₀ pada hari Sabtu dan Minggu berkisar antara 2 – 251 µg/m³. Nilai konsentrasi PM₁₀ maksimum berada pada titik koordinat yang sama dan berada di luar wilayah pengukuran langsung di lapangan yaitu x 709250,57m dan koordinat y 9285239,13m, titik tersebut berada di luar wilayah pengukuran. Hasil pemodelan tersebut menunjukkan bahwa angin bergerak dominan ke arah Tenggara. Beberapa segmen jalan juga tidak memenuhi baku mutu, yaitu sama seperti sebelumnya pada segmen 1 dan segmen 6. Berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan, rentang konsentrasi PM₁₀ pada hari kerja menunjukkan hasil yang lebih besar. Hal tersebut disebabkan karena beberapa faktor seperti jumlah kendaraan, kecepatan angin, kondisi jalan, serta sumber pencemar lain yang ada di lokasi tersebut.

3.5 Hasil Konsentrasi PM₁₀ dengan Pemodelan AERMOD

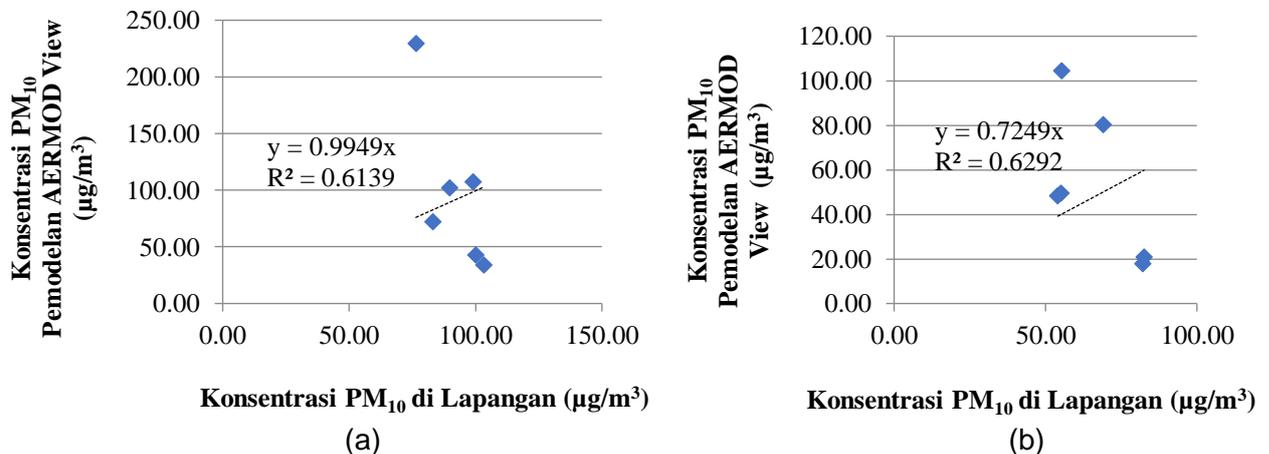
Nilai konsentrasi PM₁₀ pada tiap reseptor juga dapat diperoleh berdasarkan hasil pemodelan AERMOD View seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**. Berdasarkan tabel tersebut nilai konsentrasi PM₁₀ berkisar antara 17,20 – 238,49 µg/m³ dengan nilai tertinggi berada pada reseptor 6 hari Rabu dan nilai terendah berada pada reseptor 3 hari Minggu. Hasil tersebut menunjukkan perbedaan dengan nilai konsentrasi PM₁₀ pada pengukuran langsung. Konsentrasi PM₁₀ pada pengukuran langsung diperoleh nilai tertinggi pada reseptor 3 di hari Kamis yaitu sebesar 135,39 µg/m³ dan konsentrasi PM₁₀ terendah pada reseptor 6 di hari Minggu yaitu sebesar 50,68 µg/m³.

Tabel 2. Hasil konsentrasi PM₁₀ dengan pemodelan AERMOD View

Lokasi	Konsentrasi PM ₁₀ menggunakan AERMOD View (µg/m ³)						
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Reseptor 1	107,20	113,91	121,27	124,80	120,32	20,70	20,55
Reseptor 2	102,00	103,56	135,17	123,26	128,85	80,30	89,80
Reseptor 3	33,78	33,94	35,64	35,14	34,11	17,87	17,20
Reseptor 4	71,92	74,34	77,79	70,01	64,36	49,40	43,62
Reseptor 5	42,31	44,37	49,17	44,75	43,45	48,17	40,70
Reseptor 6	229,43	237,51	238,49	236,83	235,61	104,22	110,90
Rata-rata	97,77	101,27	109,59	105,80	104,45	53,44	53,80

Konsentrasi PM₁₀ hasil pemodelan pada reseptor 6 cenderung lebih tinggi disebabkan karena berdekatan dengan nilai konsentrasi PM₁₀ maksimum berada pada koordinat x 709250,57m dan koordinat y 9285239,13m. Titik tersebut berada di perempatan jalan sehingga banyaknya kendaraan yang melintas dan seringnya terjadi kemacetan di titik tersebut menyebabkan konsentrasi PM₁₀ terkumpul pada satu titik. Titik tersebut juga berada di luar wilayah pengukuran langsung di lapangan sehingga terdapat perbedaan nilai tertinggi antara hasil pemodelan sebaran PM₁₀ dan pengukuran

langsung. Reseptor 3 diperoleh hasil terendah pada pemodelan dikarenakan terdapat faktor sumber pencemar lain seperti rumah makan yang sedang melakukan aktivitas pembakaran dan hanya terdeteksi saat pengukuran langsung. Sedangkan beban emisi yang digunakan pada pemodelan hanya menghitung emisi yang dihasilkan berasal dari aktivitas transportasi seperti sepeda motor, mobil, truk, dan bis.



Gambar 1 Nilai koefisien determinasi (R^2) hari (a) Senin (b) Sabtu

Hasil koefisien determinasi (R^2) antara konsentrasi PM₁₀ di lapangan dengan konsentrasi PM₁₀ hasil pemodelan diperoleh nilai yang cukup kecil. Tingkat keakuratan sendiri dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik dari faktor meteorologi seperti curah hujan, suhu udara, kecepatan angin, dan kelembaban maupun adanya sumber pencemar lain. Terdapat beberapa sumber pencemar tidak bergerak pada lokasi penelitian yang memengaruhi hasil dari pengukuran langsung. Pabrik-pabrik dan rumah makan yang beroperasi menyebabkan terjadinya perbedaan antara konsentrasi PM₁₀ di lapangan dengan konsentrasi PM₁₀ hasil pemodelan AERMOD. Pemodelan AERMOD pada penelitian sendiri menggunakan data meteorologi dan beban emisi dari aktivitas transportasi sehingga sumber pencemar tidak bergerak tidak ikut diperhitungkan. Hasil tersebut menunjukkan selain dari sumber bergerak seperti transportasi, sumber tidak bergerak juga memengaruhi besarnya konsentrasi PM₁₀ di lapangan, baik itu dari pabrik-pabrik industri maupun pembakaran yang dilakukan oleh rumah makan. Hal tersebut sesuai dengan literatur yang digunakan [3,4].

4. Kesimpulan

Nilai konsentrasi PM₁₀ tertinggi berada pada reseptor 3 di hari Kamis yaitu sebesar 135,39 µg/m³ dan terendah berada pada reseptor 6 di hari Minggu yaitu sebesar 50,68 µg/m³. Besarnya konsentrasi PM₁₀ pada hari kerja berkisar antara 72,80 - 135,39 µg/m³ sedangkan pada hari libur berkisar antara 50,68 - 82,52 µg/m³. Sumber pencemar PM₁₀ yang bergerak berasal dari kendaraan seperti motor, mobil, bus, dan truk. Volume kendaraan terbesar diperoleh pada hari Jumat di segmen 1 sebesar 3500 unit/jam dan terkecil pada hari Minggu di segmen 6 sebesar 2131 unit/jam. Jumlah kendaraan yang melintas menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi PM₁₀, semakin banyak kendaraan yang melintas konsentrasi PM₁₀ juga akan meningkat. Pola sebaran konsentrasi PM₁₀ dengan AERMOD View pada hari Senin sampai Jumat berkisar antara 33,78 – 238,49 µg/m³ sedangkan pada hari Sabtu dan Minggu berkisar antara 17,20 – 110,90 µg/m³. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa angin bergerak dominan ke arah Tenggara. Konsentrasi PM₁₀ di beberapa segmen jalan seperti segmen 1, segmen 2, dan segmen 6 tidak memenuhi baku mutu, yaitu lebih besar dari 75 µg/m³.

Daftar Pustaka

[1] Rahmah AN, Widodo S. 2019. Peranan sektor industri pengolahan dalam perekonomian di Indonesia

- dengan pendekatan input – output tahun 2010 – 2016. *Jurnal Ilmu Ekonomi*. 1(1): 14-37.
- [2] Buanawati TT, Huboyo HS, Samadikun BP. Estimasi emisi pencemar udara konvensional (SO_x, NO_x, CO, dan PM) kendaraan pribadi berdasarkan metode International Vehicle Emission (IVE) di beberapa ruas jalan Kota Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 6(3): 1-12.
- [3] Putri NBD. 2017. Studi reduksi *particulate matter* 10 (PM₁₀) udara ambien oleh ruang terbuka hijau di kawasan PT Petrokimia Gresik [skripsi]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] Novianti SF, Sumeru K. pengukuran konsentrasi PM₁₀ pada daerah industri, semiindustri, dan non-industri di Kabupaten Bandung. *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*. Bandung : Indonesia. 730-736.
- [5] Ehrlich C, Noll G, Kalkoff WD. 2007. *PM₁₀, PM_{2.5} and PM_{1.0}-emissions from industrial plants-results from measurement programmes in Germany*. *Athmospheric Environment*. 41(29): 6236-6254.
- [6] Shrestha RM, Oanh NTK, Shrestha RP, Rupakheti M, Rajbhandari S, Permadi DA, Kanabkaew T, Iyngararasan M. 2013. *Atmospheric Brown Clouds (ABC) Emission Inventory Manual*. Kenya (KE): United Nations Environment Programme
- [7] Hadi BS. 2021. Pemantauan kualitas udara ambien PM₁₀ dan risiko kesehatan terhadap masyarakat di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta [skripsi]. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- [8] Muziansyah D, Sulistyorini R, Sebayang S. 2015. Model emisi gas buangan kendaraan bermotor akibat aktivitas transportasi (studi kasus: Terminal Pasar Bawah Ramayana Kota Bandar Lampung). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*. 3(1): 57-70.
- [9] Ihsan IM, Yani M, Hidayat R, Permatasari T. 2021. Fluktuasi cemaran udara partikulat dan tingkat risikonya terhadap kesehatan masyarakat Kota Bogor. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 22(1): 38-47.
- [10] Aly SH, Hustim M, Zakaria R, Rahmawati IE. 2018. Aplikasi model aermod dalam memprediksi sebaran emisi cerobong asap PLTD Tello, Makassar. *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Sains Dan Teknologi Ke-4 Tahun 2018*. Makassar : Indonesia. 461-469.
- [11] Wangsa D, Bachtiar VS, Raharjo S. Uji model AERMOD terhadap sebaran *Particulate Matter* 10 µm (PM₁₀) di sekitar kawasan PT Semen Padang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 20(2): 291-301.
- [12] Zou L, Ni Y, Gao Y, Tang F, Jin J, Chen J. 2018. *Spatial variation of PCDD/F and PCB emissions and their composition profiles in stack flue gas from the typical cement plants in China*. *Chemosphere*. 195(1): 491–497.
- [13] Cimorelli AJ, Perry SG, Venkatram A, Weil JC, Paine RJ, Wilson RB, Lee RF, Peters WD, Brode RW. 2005. *AERMOD: a dispersion model for industrial source applications part i: general model formulation and boundary layer characterization*. *Journal of Applied Meteorology*. 44(1): 682-693.
- [14] Fakhrudin, Jamal A. 2021. Analisis sektor industri pengolahan ditinjau dari penyerapan tenaga kerja: di Kabupaten Bogor. *Jurnal Ekonomi, Keuangan, Perbankan dan Akuntansi*. 13(1): 46-66.
- [15] Handika RA, Purwaningrum SI, Lestari RA. 2019. Analisis risiko non karsinogenik pajanan PM₁₀ di Kawasan Komersial, Kota Jambi. *Serambi Engineering*. 4(2): 514-521.
- [16] Perdana AR, Pangastuti AI, Haryanto YD. 2023. Analisis konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2.5} pada titik pemantauan Bundaran HI Jakarta Pusat periode data Februari-Oktober 2021. *Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*. 6(1): 1-8.

