

Analisis Sebaran Konsentrasi PM_{2,5} Menggunakan Model AERMOD di Jalur Protokol Kota Bogor

Levina Iriani¹ dan Andik Pribadi^{1*}

¹ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat Indonesia

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

Abstrak: Sektor transportasi dapat berkontribusi besar terhadap peningkatan konsentrasi partikulat di udara perkotaan, seperti yang terjadi di Kota Bogor. Berdasarkan hal itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat konsentrasi polutan dominan dari sumber lalu lintas yaitu partikulat PM_{2,5} dan sebarannya di beberapa jalur protokol Kota Bogor. Analisis konsentrasi PM_{2,5} dan sebarannya dilakukan dengan menggunakan pemodelan AERMOD. Data primer yang digunakan adalah konsentrasi PM_{2,5} di lapangan dan volume lalu lintas. Sedangkan data sekunder yang digunakan adalah data meteorologi, data *terrain*, serta data yang diasumsikan terkait karakteristik sumber emisi. Pengukuran konsentrasi PM_{2,5} dilakukan secara langsung di lapangan untuk menguji validasi nilai konsentrasi hasil pemodelan AERMOD. Nilai konsentrasi PM_{2,5} hasil pemodelan memiliki nilai tertinggi sebesar 57,20 µg/m³ dan nilai terendah sebesar 3,70 µg/m³. Sedangkan nilai tertinggi pada pengukuran yaitu sebesar 53,68 µg/m³ dan nilai konsentrasi terendah sebesar 23,75 µg/m³. Perbandingan antara konsentrasi PM_{2,5} di lapangan dengan hasil pemodelan diperoleh nilai R² pada hari Senin yaitu sebesar 0,70, hari Kamis sebesar 0,60, hari Sabtu 0,71, dan hari Minggu sebesar 0,80. Nilai konsentrasi PM_{2,5} di udara ambien tidak hanya dipengaruhi oleh volume lalu lintas, beberapa faktor lain yang dapat memengaruhi nilai konsentrasi PM_{2,5} di lapangan yaitu kondisi meteorologis di titik lokasi, seperti suhu, kelembaban dan kecepatan angin.

Kata kunci: AERMOD; emisi; lalu lintas; partikulat; pencemaran udara; PM_{2,5}

Diterima: 18 Oktober 2023
Disetujui: 22 Desember 2023

Sitasi:
Iriani, L.; Pribadi, A. Analisis sebaran konsentrasi PM_{2,5} menggunakan pemodelan AERMOD di Jalur Protokol Kota Bogor. *J. Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2023; 08 (03): 213-222.,
<https://doi.org/10.29244/jsil.8.3.213-222>

1. Pendahuluan

Kota Bogor merupakan salah satu kota di Provinsi Jawa Barat yang memiliki posisi sangat strategis karena dekat dengan DKI Jakarta dan berada di tengah wilayah Kabupaten Bogor. Hal tersebut mendukung dalam perkembangan dan pertumbuhan ekonomi. Di samping itu, perkembangan perekonomian yang semakin meningkat juga dapat berdampak negatif untuk sistem lalu lintas yaitu meningkatnya volume lalu lintas yang melintas di beberapa titik Kota Bogor.

Jalan Jenderal Sudirman – Jalan Pemuda – Jalan Dadali – Jalan Jenderal Ahmad Yani merupakan jalan protokol yang terletak di Kota Bogor dan menjadi jalan yang banyak dilalui oleh kendaraan pribadi maupun kendaraan umum. Kendaraan yang semakin meningkat jumlahnya tentu akan memengaruhi kondisi kualitas udara dari suatu jalan. Menurut penelitian yang telah dilakukan, sektor transportasi berkontribusi besar terhadap peningkatan pencemaran di Indonesia yaitu mencapai nilai sekitar 60-70% [1].

Emisi yang dihasilkan oleh kendaraan seperti CO_x, NO_x, SO_x, SPM (*Suspended Particulate Matter*), dan O_x merupakan sumber-sumber pencemar utama yang berada di udara. *Particulate Matter* ≤ 2,5 µm (PM_{2,5}) merupakan salah

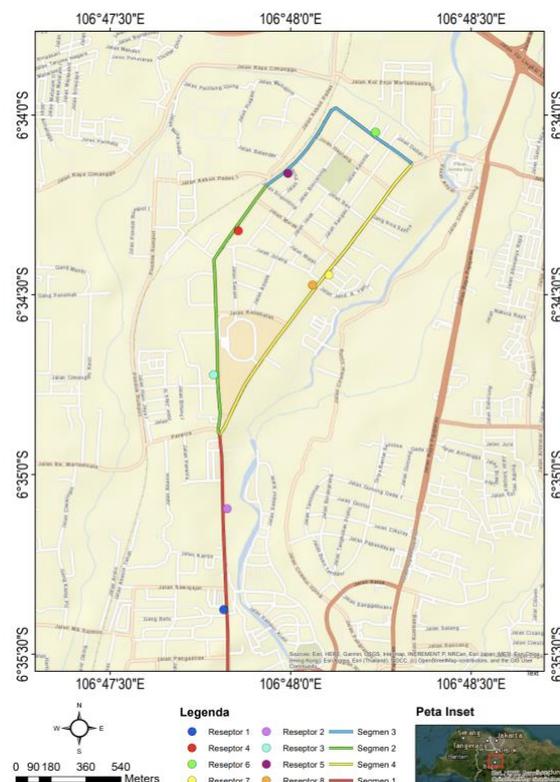
satu penyusun emisi kendaraan yang berdampak negatif bagi kesehatan. Hal ini dikarenakan $PM_{2.5}$ termasuk ke dalam partikulat yang memiliki waktu tinggal di atmosfer dalam jangka waktu yang lama dan dapat berpenetrasi ke bagian dalam sistem pernafasan manusia [2]. $PM_{2.5}$ yang terhirup dapat menyebabkan berbagai penyakit saluran pernafasan seperti infeksi saluran pernafasan akut (ISPA), penyakit paru-paru obstruktif kronis, dan kanker paru-paru [3].

Penelitian sebelumnya mengenai pemodelan dengan AERMOD terhadap sebaran *Particulate Matter* $\leq 10 \mu m$ (PM_{10}) dilakukan untuk mengukur konsentrasi parameter PM_{10} dari sumber tetap [4]. Penelitian lainnya dilakukan terkait prediksi konsentrasi $PM_{2.5}$ menggunakan Model *Vector Autoregressive* dengan Metode *Maximum Likelihood Estimation*, tetapi tidak dilakukan prediksi pemodelan sebaran partikulat [5]. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sebaran $PM_{2.5}$ dari sumber bergerak (lalu lintas) di Kota Bogor dengan menggunakan pemodelan AERMOD.

Pemodelan AERMOD merupakan suatu pemodelan distribusi spasial kualitas udara yang digunakan untuk memenuhi standar peraturan dan dapat memprediksi sebaran kualitas udara hingga 10 sumber yang berbeda (sumber titik, area atau volume) [6]. Pola sebaran emisi yang diperoleh dari pemodelan dengan AERMOD digunakan untuk menentukan dan mengetahui kondisi sebaran emisi yang dihasilkan di suatu wilayah pada waktu dan jarak tertentu serta untuk mengetahui arah penyebaran emisi dan jenis pola sebarannya [7].

2. Metode

Penelitian ini dilakukan di sepanjang Jalan Protokol Kota Bogor yang meliputi Jalan Jenderal Sudirman (segmen 1), Jalan Pemuda (segmen 2), Jalan Jenderal Ahmad Yani (segmen 3), dan Jalan Dadali (segmen 4). Jalan-jalan ini merupakan jalan satu arah kecuali Jalan Jenderal Sudirman yang merupakan jalan dua arah. Pengambilan sampel di lapangan dilakukan pada bulan Maret 2023 – Juni 2023. Secara lebih jelas lokasi penelitian dan titik reseptor serta segmen pengukuran volume lalu lintas pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 1** dan **Tabel 1**.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian

Tabel 1 Lokasi titik reseptor

Segmen	Lokasi segmen		Reseptor	Lokasi reseptor
	Titik awal	Titik akhir		
1	Simpang RS Salak	Taman Air Mancur	1	Gereja Lautan
			2	Indomaret Sudirman
2	Taman Air Mancur	Simpang Tugu Kujang	3	Soto Santan Bang Ali
			4	Kawula Coffee
3	Simpang Tugu Kujang	RM Gudeg Asinan Dadali	5	Bebek Bentu
			6	SIPJN
4	TK Favorit	Taman Air Mancur	7	Cluster Jendral A Yani 82
			8	Coffeेरight Bogor

2.1. Alat dan Bahan

Penentuan nilai konsentrasi PM_{2.5} membutuhkan beberapa alat diantaranya yaitu alat ukur PM_{2.5} *portable* merek Dienmern, *High Volume Air Sampler* (HVAS), kertas saring *Whatman* No. 42 ukuran pori 2,5 µm, barometer, anemometer, neraca analitik, laptop, dan kamera *smartphone*. Penelitian ini juga membutuhkan beberapa *software* untuk pengolahan data dan pemodelan diantaranya yaitu AERMOD View, AERMET, WRPLOT View, *Microsoft Word*, *Microsoft Excel*, dan ArcGIS. Acuan yang digunakan dalam melakukan pengukuran dan analisis konsentrasi PM_{2.5} diantaranya yaitu SNI 19- 7119.3-2005, Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 [8,9].

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan yaitu konsentrasi PM_{2.5}, volume lalu lintas, data koordinat *link*, dan data koordinat reseptor. Sedangkan data sekunder yang digunakan yaitu data meteorologi seperti temperatur, kelembaban, arah angin, kecepatan angin, curah hujan, ketinggian awan, dan radiasi matahari yang diperoleh dari BMKG, serta data *terrain* [10]. Kemudian, data-data yang diasumsikan yaitu diameter cerobong, tinggi cerobong, temperatur gas buang, temperatur udara, dan kecepatan gas buang.

Prosedur penelitian terbagi menjadi tiga tahapan yaitu (1) kalibrasi alat ukur PM_{2.5} *portable*, (2) pengukuran konsentrasi PM_{2.5} di lapangan, dan (3) pemodelan sebaran PM_{2.5} dengan AERMOD.

2.2.1 Kalibrasi alat ukur PM_{2.5} *portable*

Pada tahap ini, hasil pengukuran PM_{2.5} menggunakan alat *portable* dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat standar yaitu HVAS (*high volume air sampler*). Dari hasil perbandingan, ditetapkan faktor koreksi sehingga nilai konsentrasi hasil alat ukur PM_{2.5} *portable* mendekati hasil yang diperoleh dengan HVAS.

2.2.2 Pengukuran konsentrasi PM_{2.5} di lapangan

Pengukuran konsentrasi PM_{2.5} yang dilakukan di lapangan terbagi menjadi 3 tahapan prosedur yaitu penentuan titik pengukuran, penentuan waktu pengukuran, dan pengukuran konsentrasi partikulat menggunakan alat ukur PM_{2.5} *portable*. Pemilihan titik reseptor yang merupakan titik *sampling* ditentukan berdasarkan lokasi-lokasi yang menjadi pusat aktivitas masyarakat. Kemudian untuk waktu penelitian *sampling* PM_{2.5} dan pengukuran volume lalu lintas dilakukan pada hari kerja dan hari libur. Penelitian hari kerja (*weekdays*) yaitu hari Senin-Jumat diwakili oleh *sampling* pada hari Senin (17 April 2023), dan Kamis (13 April 2023), sedangkan untuk penelitian hari libur (*weekend*) yaitu hari Sabtu (15 April 2023), dan Minggu (16 April 2023).

Pengukuran dilakukan dalam 3 waktu dalam sehari yaitu Pagi (08.00-11.30 WIB), Siang (12.00-15.30 WIB), dan Sore (15.30 – 18.30 WIB).

2.2.3 Pemodelan sebaran PM_{2,5} dengan AERMOD

Tahapan pemodelan konsentrasi PM_{2,5} dengan menggunakan AERMOD dilakukan dengan dua tahapan yaitu pengamatan volume lalu lintas dan perhitungan beban emisi serta perhitungan estimasi sebaran polutan menggunakan pemodelan AERMOD. Estimasi sebaran polutan dengan menggunakan pemodelan AERMOD dilakukan setelah pengukuran volume lalu lintas dan perhitungan beban emisi. Data-data meteorologi diolah menggunakan aplikasi AERMET View. Faktor emisi gas buang kendaraan mengacu pada faktor emisi PM₁₀ Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah serta acuan faktor emisi PM_{2,5} referensi untuk mobil (bensin) yaitu sebesar 0,022 g/km/kendaraan [11].

Perhitungan beban emisi dilakukan dengan menggunakan persamaan 1.

$$q = \sum_{i=1}^n (EF_i \times V_i) \quad (1)$$

Keterangan :

- q : besaran beban emisi (g/km/jam)
- EF : Faktor emisi kendaraan (g/km)
- V : Volume lalu lintas (unit/jam)
- i : Tipe/jenis kendaraan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kalibrasi Alat Ukur PM_{2,5} portable

Kalibrasi dilakukan di sekitar kampus IPB Dramaga dengan tiga titik pengukuran. Titik pengukuran pertama berlokasi di POS Satpam pintu masuk IPB, lokasi kedua berlokasi di segitiga SIL, dan lokasi ketiga di depan POS Satpam FATETA. Penelitian dilakukan pada pukul 12.53 – 15.25 WIB dengan waktu pengukuran selama 15 menit pada setiap titik. Parameter yang diukur diantaranya yaitu berat kertas saring sebelum digunakan dan setelah digunakan, tekanan udara, volume udara, laju alir, dan suhu udara. Parameter-parameter tersebut akan digunakan dalam perhitungan nilai konsentrasi PM_{2,5} yang hasilnya akan dibandingkan dengan konsentrasi PM_{2,5} dengan menggunakan alat ukur *portable*. Data hasil pengukuran di lapangan ditunjukkan seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Hasil *sampling* menggunakan HVAS

Sampel	Berat (gram)		Tekanan udara (mmHg)	Volume udara (m ³)	Suhu udara	
	Sebelum digunakan	Setelah digunakan			°C	K
1	0,6500	0,6529	757,54	108,53	34,91	307,91
2	0,6500	0,6552	756,91	110,30	29,72	302,72
3	0,6500	0,6556	756,91	110,61	28,87	301,87

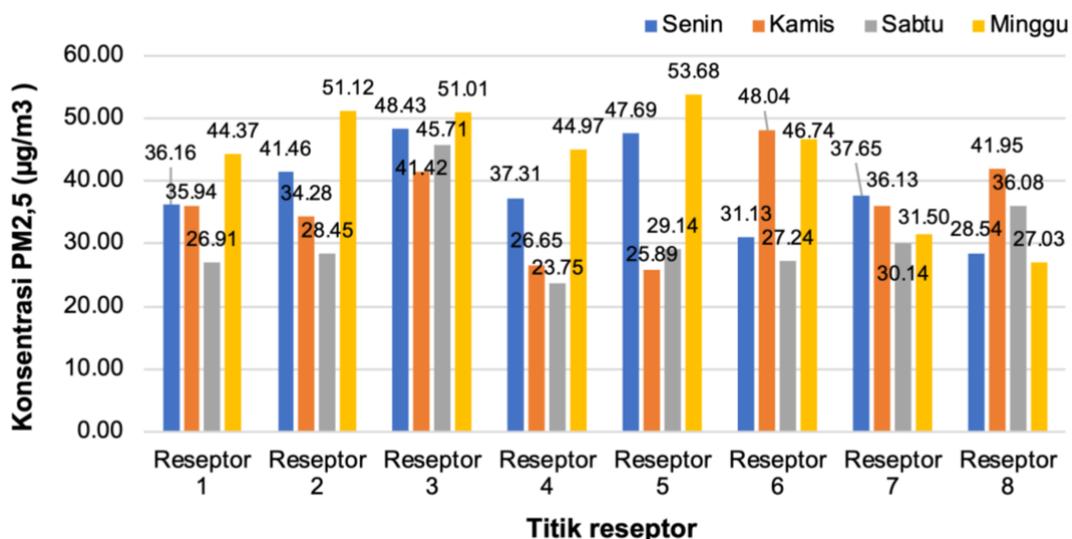
Hasil perbandingan tersebut merupakan nilai kalibrasi yang akan digunakan untuk menentukan konsentrasi pengukuran PM_{2,5} dengan alat ukur *portable* di lapangan. Hasil perhitungan nilai konsentrasi PM_{2,5} hasil pengukuran HVAS dan hasil pengukuran dengan alat ukur *portable*, ditunjukkan pada **Tabel 3**. Berdasarkan hasil perhitungan dari ketiga titik tersebut, diperoleh faktor koreksi pada titik satu sebesar 1,71; titik dua sebesar 2,29; dan titik tiga sebesar 2,19 sehingga diperoleh nilai rata-rata dari ketiga faktor koreksi tersebut yaitu sebesar 2,07. Nilai tersebut digunakan untuk mengoreksi hasil pengukuran nilai konsentrasi PM_{2,5} dengan menggunakan alat ukur PM_{2,5} *portable*.

Tabel 3 Nilai PM_{2.5} berdasarkan HVAS dan alat *portable*

Hasil Pengukuran HVAS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hasil Pengukuran Alat <i>Portable</i> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Faktor Koreksi	Rata-rata
26,72	15,60	1,71	
47,51	20,73	2,29	2,07
50,63	23,07	2,19	

3.2 Konsentrasi PM_{2.5} di lapangan

Konsentrasi PM_{2.5} di lapangan diukur dengan menggunakan alat ukur PM_{2.5} *portable*. Pengukuran PM_{2.5} dilakukan di empat jalan yang berada di sekitar air mancur. Lokasi tersebut merupakan salah satu jalan yang dilalui banyak kendaraan seperti mobil, motor, bus, dan truk yang dapat menghasilkan polusi udara. Pengukuran konsentrasi PM_{2.5} tersebut dilakukan pada hari Senin, Kamis, Sabtu, dan Minggu pada tiga waktu yaitu pagi, siang, dan sore. Waktu pagi berkisar antara pukul 08.00- 11.30 WIB, waktu siang berkisar antara pukul 12.00 – 15.30 WIB, dan waktu sore berkisar antara pukul 15.30-18.30 WIB. Hasil rata-rata ketiga waktu tersebut akan mengasumsikan besarnya konsentrasi pada satu hari. Pengukuran yang dilakukan selama 4 hari tersebut bertujuan untuk mengetahui bagaimana fluktuasi konsentrasi PM_{2.5} akibat dari perbedaan waktu pengukuran pada hari kerja dan hari libur. Selain pengukuran konsentrasi PM_{2.5}, dilakukan pula pengukuran tekanan udara, kecepatan angin, suhu, dan kelembaban di setiap titik reseptor. Konsentrasi PM_{2.5} hasil pengukuran ditunjukkan pada **Gambar 2**.

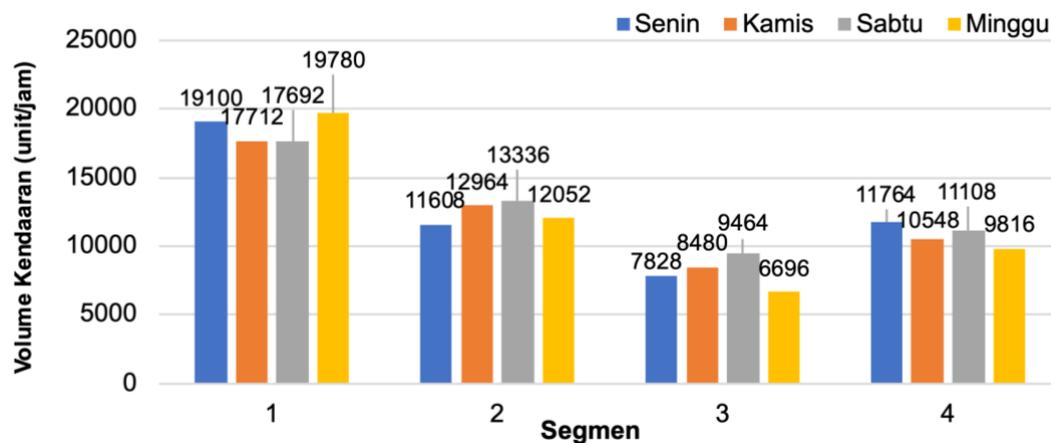
**Gambar 2** Konsentrasi PM_{2.5} hasil pengukuran di lapangan

Apabila dilihat dari keseluruhan hari yang telah dilakukan penelitian, nilai konsentrasi PM_{2.5} terbesar diperoleh pada hari Minggu di titik reseptor 5 yaitu sebesar 53,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan nilai konsentrasi terendah diperoleh pada hari Sabtu di titik reseptor 4 yaitu sebesar 23,75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi PM_{2.5} tersebut, dapat diketahui besarnya konsentrasi PM_{2.5} di hari kerja yaitu Senin dan Kamis menunjukkan nilai tertinggi dan nilai terendah yang berbeda pada reseptor yang sama. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa setiap hari kondisi di setiap titik tersebut akan berubah dan dipengaruhi oleh beberapa faktor luar saat dilakukan penelitian. Salah satu faktor yang dapat menyebabkan perbedaan konsentrasi PM_{2.5} di beberapa titik itu dapat bersumber dari variasi volume

lalu lintas yang berada di titik pengamatan karena kendaraan yang melewati titik lokasi pengamatan merupakan salah satu sumber polutan bagi wilayah di sekitarnya [12].

3.3 Volume lalu lintas

Perhitungan volume lalu lintas juga dilakukan bersamaan dengan pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$. Sistem perhitungan volume lalu lintas dilakukan dengan merekam video di tiap segmen jalan selama 15 menit lalu dikalikan 4 agar diperoleh volume lalu lintas selama 1 jam. Pengambilan data dilakukan pada tiga waktu yaitu pagi, siang, sore dan hasil rata-rata ketiga waktu tersebut kemudian akan mengasumsikan besarnya konsentrasi pada satu hari. Hasil pengukuran volume lalu lintas ditunjukkan pada **Gambar 3**.

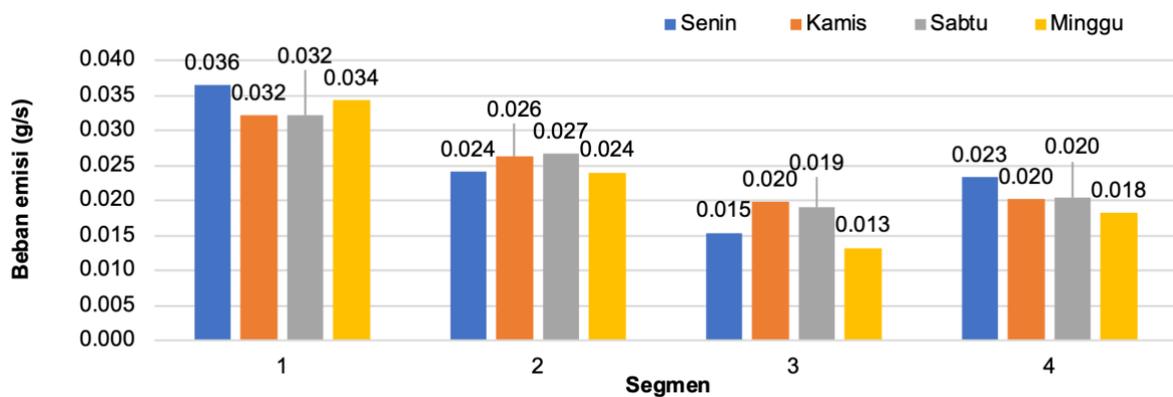


Gambar 3 Grafik data volume kendaraan setiap hari

Apabila dilihat dari hasil pengolahan data berupa grafik data volume lalu lintas dapat diketahui bahwa volume lalu lintas di setiap hari pada setiap segmen memiliki nilai yang fluktuatif di setiap segmen, salah satunya yaitu perbedaan yang mencolok pada segmen 1. Volume lalu lintas tertinggi berada pada segmen 1 yaitu sebesar 19.780 unit/jam yang terjadi pada saat hari Minggu sedangkan volume lalu lintas terendah berada pada segmen 3 hari Minggu yaitu sebesar 6696 unit/jam kendaraan. Hal tersebut dapat dikarenakan segmen 1 memiliki lebar jalan yang lebih besar dari jalan lainnya dan segmen 1 merupakan salah satu jalan 2 arah sehingga memiliki kapasitas yang lebih besar untuk kendaraan melintas. Berdasarkan referensi terkait penelitian yang telah dilakukan jumlah kendaraan memiliki hubungan terhadap konsentrasi $PM_{2.5}$ di udara ambien. Semakin banyak jumlah kendaraan yang melintas, maka semakin besar pula konsentrasi $PM_{2.5}$ yang dihasilkan [13].

3.4 Beban Emisi Kendaraan

Beban emisi dihitung dengan menggunakan data volume lalu lintas hasil penelitian di lapangan dan faktor emisi $PM_{2.5}$ yang diperoleh dari referensi. Faktor emisi yang dihitung terdiri dari beberapa jenis kendaraan diantaranya yaitu motor, mobil, bus, dan truk. Faktor emisi $PM_{2.5}$ dari kendaraan motor, bus, dan truk diasumsikan memiliki perbandingan yang sama dengan faktor emisi PM_{10} . Faktor emisi itu sendiri merupakan nilai representatif yang menghubungkan jumlah suatu polutan yang dilepaskan ke atmosfer dari suatu kegiatan yang terkait dengan sumber polutan [13]. Hasil perhitungan beban emisi $PM_{2.5}$ pada setiap segmen ditunjukkan seperti **Gambar 4**.

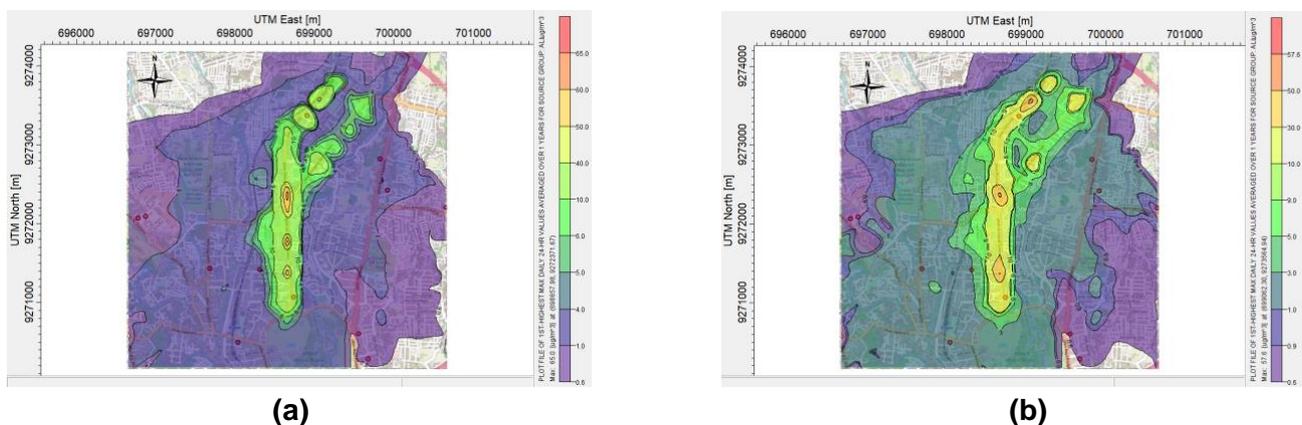


Gambar 4 Grafik beban emisi PM_{2,5} tiap segmen

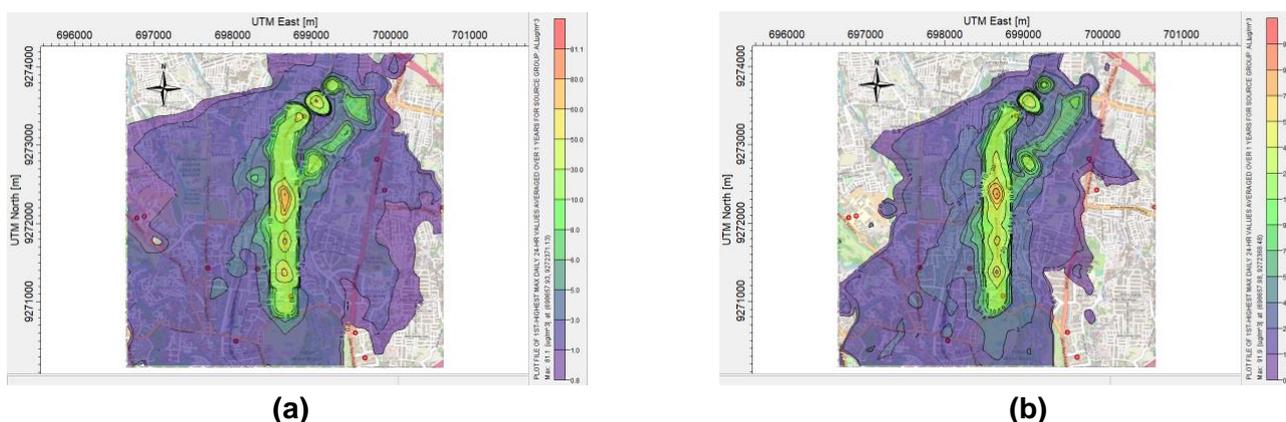
Berdasarkan **Gambar 4** dapat dilihat beban emisi tertinggi berada pada segmen 1 hari Senin yaitu sebesar 0,036 g/s sedangkan beban emisi terendah berada pada segmen 3 hari Minggu sebesar 0,013 g/s. Jenis kendaraan truk dan bus mempunyai faktor emisi yang lebih besar dari kendaraan lain, sehingga walaupun jumlahnya sedikit beban pencemar yang dikeluarkan menjadi besar. Sedangkan, sepeda motor memiliki faktor emisi yang rendah tapi jumlahnya banyak sehingga dapat menghasilkan beban pencemar yang juga besar. Volume dan jenis kendaraan yang terdapat di jalan akan mempengaruhi beban emisi yang dihasilkan. Oleh karena itu, walaupun pada segmen 1 hari Minggu volume lalu lintas menjadi volume tertinggi tetapi beban emisi yang tertinggi berada pada segmen 1 hari Senin karena pada segmen 1 hari Senin kendaraan bus dan truk lebih banyak dari segmen 1 di hari Minggu.

3.5 Hasil Pemetaan Pola Sebaran PM_{2,5} dengan Pemodelan AERMOD

Pola sebaran yang dilakukan menggunakan pemodelan AERMOD View menggunakan data input berupa data meteorologi dan data sumber emisi pada setiap segmen dan reseptor. Pemodelan yang dilakukan dengan menggunakan AERMOD View ini tidak menggunakan faktor pengaruh gedung sehingga kecepatan dan arah angin diasumsikan bergerak bebas di udara tanpa ada halangan atau hambatan. Model hasil pemetaan selama 4 hari sampling dapat dilihat seperti pada **Gambar 5 (a)** dan **(b)** serta **Gambar 6 (a)** dan **(b)**.



Gambar 5 Pemodelan Konsentrasi PM_{2,5} dengan AERMOD View tanggal **(a)** 17 April dan **(b)** 13 April



Gambar 6 Pemodelan Konsentrasi PM_{2.5} dengan AERMOD View tanggal (a) 15 April dan (b) 16 April

Berdasarkan hasil pemodelan konsentrasi PM_{2.5} pada tanggal 17 April, 13 April, 15 April, dan 16 April secara berturut turut memiliki nilai konsentrasi PM_{2.5} maksimum yaitu sebesar 64,95 µg/m³, 57,63 µg/m³, 81,07 µg/m³, dan 91,90 µg/m³. Apabila dilihat dari pemodelan keseluruhan waktu sampling, segmen 1 dan segmen 2 memiliki nilai konsentrasi PM_{2.5} yang lebih besar dari segmen 3 dan segmen 4 dan arah angin juga dominan bergerak menuju arah Barat Daya. Nilai yang besar tersebut dapat dikarenakan kecepatan angin relatif kecil pada segmen tersebut dan jumlah kendaraan yang melintas pada segmen tersebut juga banyak sehingga distribusi konsentrasi PM_{2.5} lambat menyebar dan terkumpul pada beberapa titik tertentu.

3.6 Hasil Konsentrasi PM_{2.5} dengan Pemodelan AERMOD

Berdasarkan hasil pemodelan maka dapat diperoleh nilai konsentrasi pada setiap reseptor seperti pada **Tabel 4**. Berdasarkan tabel tersebut nilai konsentrasi PM_{2.5} hasil pemodelan memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 57,2 µg/m³ pada reseptor 3 hari Minggu dan nilai terendah berada pada reseptor 6 hari Minggu dengan nilai konsentrasi PM_{2.5} yaitu sebesar 3,7 µg/m³. Sedangkan nilai tertinggi pada pengukuran langsung berada pada hari Minggu di titik reseptor 5 yaitu sebesar 53,68 µg/m³ dan nilai konsentrasi terendah diperoleh pada hari Sabtu di titik reseptor 4 yaitu sebesar 23,75 µg/m³. Apabila dilihat dari nilai rata-rata tiap waktu sampling nilai tertinggi untuk pengukuran langsung berada pada hari Minggu sebesar 43,80 µg/m³ sedangkan untuk hasil pemodelan nilai tertinggi berada pada hari Sabtu sebesar 25,41 µg/m³ dan nilai terendah untuk pengukuran langsung berada pada hari Sabtu sebesar 30,93 µg/m³ sedangkan untuk hasil pemodelan berada pada hari Kamis sebesar 20,89 µg/m³. Perbedaan hasil konsentrasi PM_{2.5} antara hasil pengukuran di lapangan dan dengan menggunakan pemodelan AERMOD View dipengaruhi oleh faktor-faktor meteorologi seperti curah hujan, suhu udara, kecepatan angin, dan kelembaban relatif [14].

3.7 Uji Akurasi Pemodelan AERMOD View

Data PM_{2.5} hasil pengukuran di lapangan dan hasil pemodelan AERMOD kemudian dibandingkan untuk menentukan koefisien determinasi. Koefisien determinasi digunakan untuk menunjukkan hubungan antara nilai konsentrasi di lapangan dengan nilai prediksi pada pemodelan. Uji akurasi dibuat pada setiap waktu sampling yaitu Senin, Kamis, Sabtu, dan Minggu. Berdasarkan hasil perbandingan antara nilai konsentrasi PM_{2.5} di lapangan dan dengan menggunakan pemodelan AERMOD View, maka diperoleh nilai R² pada hari Senin yaitu sebesar 0,70, hari Kamis sebesar 0,60, hari Sabtu 0,71, dan hari Minggu sebesar 0,80. Apabila dilakukan interpretasi menggunakan referensi tentang interpretasi koefisien determinasi (R²) maka pemodelan pada hari Senin, Sabtu, dan Minggu memiliki tingkat akurasi yang kuat karena berada pada interval nilai 0,60 - 0,79 sedangkan untuk pemodelan hari Kamis memiliki tingkat akurasi yang sedang karena berada pada interval nilai 0,40 – 0,59.

Tabel 4 Perbandingan hasil konsentrasi PM_{2,5} di lapangan dan hasil pemodelan

Reseptor	Konsentrasi PM _{2,5} di lapangan per hari (µg/m ³)				Konsentrasi PM _{2,5} per hari dengan AERMOD View (µg/m ³)			
	Senin	Kamis	Sabtu	Minggu	Senin	Kamis	Sabtu	Minggu
Reseptor 1	36,16	35,94	26,91	44,37	35,30	29,00	29,25	34,50
Reseptor 2	41,46	34,28	28,45	51,12	52,10	20,70	51,75	44,80
Reseptor 3	48,43	41,42	45,71	51,01	44,40	33,00	48,95	57,20
Reseptor 4	37,31	26,65	23,75	44,97	8,30	19,50	24,75	14,50
Reseptor 5	47,69	25,89	29,14	53,68	20,30	45,00	29,30	19,40
Reseptor 6	31,13	48,04	27,24	46,74	3,98	7,00	5,60	3,70
Reseptor 7	37,65	36,13	30,14	31,50	7,67	5,70	7,20	5,30
Reseptor 8	28,54	41,95	36,08	27,03	7,90	7,20	6,50	4,98
Rata-rata	38,55	36,29	30,93	43,80	22,49	20,89	25,41	23,05

Oleh karena itu, pemodelan dengan menggunakan AERMOD View dapat digunakan untuk mengetahui sebaran konsentrasi PM_{2,5} di Jalur Protokol Kota Bogor selama 24 jam maupun tahunan. Berdasarkan hasil uji akurasi dapat diketahui pula pemodelan dengan aplikasi AERMOD View dapat digunakan untuk memodelkan konsentrasi PM_{2,5} dari sumber yang tidak bergerak yaitu kendaraan bermotor dengan melakukan asumsi cerobong di beberapa ruas segmen jalan. Namun, untuk menghasilkan nilai akurasi yang lebih besar diperlukan juga beberapa pengukuran lain untuk input data emisi cerobong agar nilainya lebih akurat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai konsentrasi PM_{2,5} terbesar hasil pengukuran lapangan diperoleh pada hari Minggu di titik reseptor 5 yaitu sebesar 53,68 µg/m³ dan nilai konsentrasi terendah diperoleh pada hari Sabtu di titik reseptor 4 yaitu sebesar 23,75 µg/m³. Sedangkan nilai konsentrasi PM_{2,5} hasil pemodelan memiliki nilai tertinggi sebesar 57,20 µg/m³ pada reseptor 3 hari Minggu dan nilai terendah berada pada reseptor 6 hari Minggu dengan nilai konsentrasi PM_{2,5} yaitu sebesar 3,70 µg/m³. Konsentrasi PM_{2,5} yang besar tersebut dipengaruhi oleh jumlah kendaraan yang melintas dan kondisi meteorologi di lokasi tersebut.
2. Pola sebaran PM_{2,5} dipengaruhi oleh arah angin dan kecepatan angin. Apabila dilihat dari sebaran keseluruhan arah angin cenderung bergerak menuju arah barat Daya dan konsentrasi-konsentrasi yang besar dominan berada pada ruas ruas di segmen 1 dan segmen 2.
3. Berdasarkan perbandingan hasil konsentrasi PM_{2,5} di lapangan dan dengan menggunakan pemodelan dapat diperoleh nilai R² pada hari Senin yaitu sebesar 0,70, hari Kamis sebesar 0,60, hari Sabtu 0,71, dan hari Minggu sebesar 0,80. Hal tersebut menunjukkan pemodelan pada hari Senin, Sabtu, dan Minggu memiliki tingkat akurasi yang kuat karena berada pada interval nilai 0,60 - 0,79 sedangkan untuk pemodelan hari Kamis memiliki tingkat akurasi yang sedang karena berada pada interval nilai 0,40 – 0,59.
4. Hubungan kondisi lalu lintas dengan nilai konsentrasi PM_{2,5} dapat dilihat pada hasil konsentrasi PM_{2,5} di Jalur Protokol Kota bogor hasil pemodelan dengan AERMOD View. Semakin besar kapasitas jalan, maka semakin banyak jumlah kendaraan yang melintas dan semakin besar pula nilai beban emisinya, sehingga konsentrasi PM_{2,5} juga akan semakin besar.

Daftar Pustaka

- [1] Gunawan S, Hasan H, Lubis RDW. 2020. Pemanfaatan adsorben dari tongkol jagung sebagai karbon aktif untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan bermotor. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*. 3(1):38– 47.
- [2] Muliane U dan Lestari P. 2011. Pemantauan kualitas udara ambien daerah padat lalu lintas dan komersial DKI Jakarta: Analisis konsentrasi $PM_{2.5}$ dan *black carbon*. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 17(2): 178-188.
- [3] Novirsa R, Achmadi U, Fahmi. 2012. Analisis risiko paparan $PM_{2.5}$ di udara ambien siang hari terhadap masyarakat di Kawasan Industri Semen. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*. 7(4): 173–179.
- [4] Wangsa D, Bachtiar VS, Raharjo S. 2022. Uji Model AERMOD terhadap sebaran *Particulate Matter 10* (PM_{10}) di sekitar Kawasan PT Semen Padang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 20(2):291-301.
- [5] Arianto AT, Parmikanti K, Suhandi B, Ruchjana N. 2021. Peramalan konsentrasi *Particulate Matter 2.5* ($PM_{2.5}$) menggunakan model *Vector Autoregressive* dengan metode *Maximum Likelihood Estimation*. *Jurnal Publikasi Ilmiah Matematika*. 6(1): 1-12.
- [6] 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*.195:491–497.
- [7] Aly SH, Hustim M, Zakaria R, Rahmawati IE. 2018. Aplikasi model AERMOD dalam memprediksi sebaran emisi cerobong asap PLTD Tello, Makassar. Di dalam: Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Sains dan Teknologi Ke-4 2018;2018 Nov; Makassar, Indonesia, Makassar: hlm 462-469.: [diakses 2023 Mar 13].<https://cot.unhas.ac.id/seminar/sinastek2018/wp-content/uploads/2019/01/TS1801-Sumarni-Hamid-Aly-dkk-OK.pdf>.
- [8] Badan Standardisasi Nasional. 2005. SNI 19-7119.3-2005 tentang Cara uji partikel tersuspensi total menggunakan peralatan *high volume air sampler* (HVAS) dengan metoda gravimetri. Jakarta: BSN.
- [9] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup. 2010. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah.
- [10] Paramita S, Fitrianiingsih Y, Wijayanto D. 2021. Analisis sebaran partikulat dengan menggunakan *software* AERMOD view di PT. X Kabupaten Sintang. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis*. 2(2):1-10.
- [11] Ferm M dan Sjoberg K. 2015. Concentrations and emission factors for $PM_{2.5}$ dan PM_{10} from road traffic in Sweden. *Atmospheric Environment*. 119 : 211- 219.
- [12] Azhar K, Dharmayanti I, Mufida I. 2016. Kadar Debu Partikulat ($PM_{2.5}$) dalam rumah dan kejadian ispa pada balita di Kelurahan Kayuringin Jaya, Kota Bekasi Tahun 2014. *Media Litbangkes*. 26(1): 45-52.
- [13] Sampurna MFP, Sulistyorini R, Ofrial SAMP, Herianto D. 2022. Analisis perbandingan beban emisi kendaraan pada kondisi normal dan new normal akibat pandemi Covid 19. *JRSDD*. 10(1): 115-122.
- [14] Aditya ML, Virgianto RH, Ferdiansyah E, Veanti O. 2022. Kontribusi berbagai parameter meteorologi terhadap tingkat konsentrasi harian $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan $PM_{2.5-10}$ menggunakan model jeda terdistribusi non-linier di Jakarta Pusat. *The Climate of Tropical Indonesia Maritime Continent Journal*. 1(6):53-65.