

LAPORAN HASIL PENELITIAN



Pendekatan Pemodelan Untuk Analisis Dampak Lingkungan Sektor Transportasi: Studi Kasus Emisi Gas Buang dan Resuspensi Kendaraan Bermotor

Ketua : Ir. Surya Adi Wicaksono, S.T., M.T., IPP.
NUPTK : 6757777678130112

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BHAYANGKARA JAKARTA RAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Penelitian : Pendekatan Pemodelan Untuk Analisis Dampak Lingkungan Sektor Transportasi: Studi Kasus Emisi Gas Buang dan Resuspensi Kendaraan Bermotor.

Nama Dosen : Ir. Surya Adi Wicaksono, S.T., M.T., IPP

NUPTK : 675777678130112

Program Studi/Fakultas : Teknik/Teknik Lingkungan

Bekasi, 9 Februari 2026

MENGETAHUI,

Ketua Program Studi
Teknik Lingkungan

Dekan
Fakultas Teknik



Haudi Hasaya, S.T., M.T.
NIP.: 1912448



Dr. Dede Rukmayadi, S.T., M.Si.
NIP: 2305605

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	2
DAFTAR ISI.....	3
BAB I PENDAHULUAN	4
1.1 Latar Belakang	4
1.2 Rumusan Masalah	6
BAB II TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	8
2.1. Tujuan Penelitian	8
2.2. Manfaat Penelitian	8
BAB III METODE PENELITIAN.....	9
3.1 Metode Penelitian.....	9
3.2. Pengolahan dan Analisis Data.....	9
3.2.1. Beban Emisi	9
3.2.2. Besaran Dampak Berdasarkan Sebaran Emisi	11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1. Beban Emisi	12
4.1.1. Emisi Gas Buang	12
4.1.2. Resuspensi Kendaraan	13
4.2. Model Sebaran Emisi	15
4.2.1. Sebaran Emisi Gas Buang	16
4.2.2. Sebaran Emisi Resuspensi	18
4.2.3. Emisi Partikulat dan Resuspensi Kendaraan	20
4.3. Analisis Hasil Sebaran Emisi Gas Buang dan Resuspensi.....	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	24
5.1. Kesimpulan	24
5.2. Saran.....	24

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan sektor penting dalam pertumbuhan ekonomi, mobilitas maupun barang dan jasa. Di Indonesia sektor transportasi menjadi salah satu penyumbang utama emisi yang menyebabkan pencemaran udara dengan menyumbang sekitar 20% dari total konsumsi energi final nasional [1]. Menurut laporan Indonesia Sustainable Mobility Outlook (ISMO) 2025 sebesar 80% emisi dari sektor transportasi berasal dari subsektor transportasi jalan yang didorong oleh tingginya mobilitas mobil penumpang pribadi, angkutan barang, dan sepeda motor. Akibatnya, emisi dari transportasi jalan didominasi oleh mobil (35%), diikuti oleh angkutan barang (30%), sepeda motor (28%), dan bus (6%) [2]. Berdasarkan data dari Kementerian Perindustrian tahun 2021, terdapat 22 perusahaan yang bergerak di bidang industri roda empat, dengan kapasitas produksi total hingga 2,35 juta per tahun. Sedangkan berdasarkan analisis data Badan Pusat Statistik, sektor transportasi mengalami peningkatan jumlah unit kendaraan bermotor di Indonesia sebanyak 105 juta pada tahun 2015 dan menjadi 148 juta pada tahun 2022 dengan rata rata peningkatan sebesar 5% per tahun [3]. BPS. Dengan begitu sektor energi dan transportasi mendominasi emisi sebesar 50,6% dari total emisi di Indonesia pada tahun 2022 [4].

Pertumbuhan jumlah unit transportasi tentu akan meningkatkan emisi yang dihasilkan. Kendaraan bermotor menghasilkan emisi gas buang pembakaran dan non-pembakaran, seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), serta karbon dioksida (CO₂) yang berkontribusi terhadap perubahan iklim dan penurunan kualitas udara serta menjadi penyumbang signifikan partikel padat atau partikulat di udara seperti PM_{2,5} dan PM₁₀. sumber gas buang emisi partikulat dari aktivitas kendaraan juga dihasilkan dari resuspensi debu atau material lepas di permukaan jalan yang terangkat kembali ke udara akibat aktivitas lalu lintas dan emisi akibat keausan rem serta ban kendaraan [5]. Studi

menyebutkan bahwa keausan rem dapat menyumbang hingga 55% dari total emisi PM10 terkait lalu lintas yang bukan berasal dari gas buang dan hingga 21% dari total emisi PM10 terkait lalu lintas dari transportasi jalan terhadap GRK [6]. Berdasarkan penelitian, Polutan partikulat seperti PM2,5 dan PM10 secara medis telah terbukti meningkatkan risiko penyakit pernapasan akut seperti asma dan eksaserbasi bronkitis, serta penyakit kardiovaskular seperti stroke dan penyakit jantung koroner. NOx dan SOx, selain langsung berbahaya bagi saluran pernapasan, juga berpotensi membentuk hujan asam yang merusak ekosistem, memperburuk kualitas tanah, dan merusak infrastruktur. Sementara itu, karbon monoksida (CO) mampu mengikat hemoglobin dan mengganggu transportasi oksigen dalam darah, yang dapat menyebabkan gangguan paru-paru, defisiensi oksigen dan paparan kronik, membebani fungsi kardiovaskular. Secara keseluruhan, efek ini bukan hanya berdampak langsung pada kesehatan manusia tetapi juga menurunkan kualitas udara dan mempercepat perubahan iklim lewat peningkatan gas rumah kaca dan degradasi lingkungan [7].

Pemodelan merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi atau memperkirakan besarnya dampak dari suatu aktivitas tertentu [8]. Dalam sektor transportasi, besaran dampak emisi udara dapat diprediksi berdasarkan tingkat aktivitas, seperti jenis bahan bakar, jumlah kendaraan, lama operasi, serta kondisi mesin yang dapat dipengaruhi oleh karakteristik geografis seperti topografi jalan, kondisi jalan, dan faktor meteorologi [6]. Salah satu model yang banyak digunakan untuk menggambarkan penyebaran konsentrasi polutan di udara ambien adalah Gaussian Plume Model yang secara matematis memanfaatkan distribusi Gaussian untuk menghitung konsentrasi polutan pada berbagai titik dengan mempertimbangkan kecepatan angin dan sifat sumber emisi [9]. Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa model dispersi ini efektif untuk mengevaluasi sebaran emisi baik dari sumber bergerak maupun stasioner, sehingga mampu memprediksi pola distribusi emisi gas buang pada sektor transportasi [10].

Salah satu contoh penerapan model dalam konteks emisi udara adalah model sebaran (*dispersion model*). Model ini dapat menggambarkan penyebaran konsentrasi polutan dari suatu sumber ke udara ambien. Model dispersi yang cukup dikenal adalah *Gaussian Plume Model*, yang secara matematis memanfaatkan

distribusi Gaussian untuk menghitung konsentrasi polutan di berbagai titik berdasarkan faktor meteorologi, kecepatan angin, serta karakteristik sumber emisi [9]. Model dispersi Gauss sering digunakan untuk memprediksi dispersi polutan secara kontinyu dan untuk menghitung konsentrasi polutan akibat emisi sumber titik yang dari permukaan atau dataran tinggi [11]. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa model ini efektif digunakan untuk mengevaluasi sebaran emisi dari sumber bergerak maupun stasioner sehingga dengan model tersebut mampu mengetahui pola sebaran emisi gas buang sektor transportasi [10].

Dengan demikian, penggunaan model dispersi udara sangat relevan dalam kajian pencemaran udara akibat transportasi. Melalui pendekatan pemodelan, dapat diperoleh gambaran mengenai distribusi spasial konsentrasi emisi gas buang kendaraan, sehingga dapat digunakan untuk memprediksi dampak lingkungan yang ditimbulkan serta mendukung pengambilan keputusan dalam pengendalian pencemaran udara. Sebagai sebuah studi kasus adalah kegiatan PT. XYZ yang merupakan perusahaan yang akan melakukan kegiatan baru dengan ritase kendaraan tertentu per hari. Aktivitas transportasi di lokasi tersebut berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi, sehingga perlu dikaji lebih lanjut dengan pendekatan pemodelan dispersi untuk memahami potensi dampak lingkungannya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan tingginya kontribusi sektor transportasi terhadap pencemaran udara, baik melalui emisi gas buang maupun resuspensi partikulat akibat aktivitas kendaraan bermotor, diperlukan kajian yang mampu menggambarkan potensi dampak lingkungan. Permasalahan dalam penelitian ini berfokus pada bagaimana besaran laju emisi transportasi yang dihasilkan, bagaimana pola sebaran spasial konsentrasi polutan udara akibat emisi tersebut, serta sejauh mana perbedaan kondisi meteorologi musim hujan dan musim kemarau mempengaruhi konsentrasi polutan di sekitar jalur lalu lintas. Selain itu, perlu dianalisis kontribusi relatif antara emisi gas buang dan emisi resuspensi kendaraan terhadap peningkatan konsentrasi partikulat udara ambien sebagai dasar dalam perencanaan upaya mitigasi pencemaran udara sebelum kegiatan operasional dilaksanakan.

BAB II

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

2.1. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis besaran laju emisi transportasi yang dihasilkan dari aktivitas kendaraan bermotor.
2. Memodelkan pola sebaran spasial konsentrasi polutan udara akibat emisi transportasi di sekitar jalur lalu lintas.
3. Mengevaluasi pengaruh perbedaan kondisi meteorologi musim hujan dan musim kemarau terhadap konsentrasi polutan udara.
4. Menganalisis kontribusi relatif emisi gas buang dan emisi resuspensi kendaraan terhadap peningkatan konsentrasi partikulat udara ambien.

2.2. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran kuantitatif mengenai potensi dampak pencemaran udara dari sektor transportasi sebelum kegiatan operasional berjalan.
2. Menjadi bahan pertimbangan bagi pengelola kegiatan dan pemangku kepentingan dalam penyusunan strategi pengelolaan dan mitigasi pencemaran udara.
3. Mendukung proses pengambilan keputusan terkait pengendalian emisi transportasi berbasis hasil pemodelan dispersi udara.
4. Menambah referensi akademik mengenai penerapan pemodelan dispersi udara untuk kajian emisi transportasi dengan mempertimbangkan variasi kondisi meteorologi musiman.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Emisi gas buang yang dianalisis berasal dari studi kasus kegiatan PT. XYZ, kegiatan PT. XYZ pada saat operasional berencana akan melakukan kegiatan transportasi sebanyak 200 ritase kendaraan per hari. Adanya kegiatan transportasi tersebut diperkirakan akan menyebabkan penurunan kualitas udara karena peningkatan pencemaran udara akibat dari gas buang kendaraan dan resuspensi kendaraan bermotor. Perhitungan prakiraan kualitas udara akan dilakukan dengan menggunakan pendekatan faktor emisi. Faktor emisi merupakan nilai perkiraan yang menggambarkan jumlah polutan yang dilepaskan dari suatu sumber emisi untuk setiap unit aktivitas tertentu. Besarnya faktor emisi biasanya dinyatakan dalam satuan massa polutan per satuan berat, volume, jarak, atau waktu dari aktivitas yang menghasilkan emisi tersebut [9].

3.2. Pengolahan dan Analisis Data

3.2.1. Beban Emisi

3.2.1.1. Emisi Gas Buang

Emisi yang bersumber dari aktivitas lalu lintas terdiri atas campuran polutan gas dan partikulat dari pembakaran bahan bakar dan penguapan pelumas dalam emisi gas buang. Selain itu, aktivitas transportasi mengemisikan partikulat yang bersumber dari abrasi mekanis rem dan ban, erosi permukaan jalan dan resuspensi campuran debu yang terkumpul di permukaan jalan serta senyawa organik yang mudah menguap dari hilangnya bahan bakar karena penguapan dan pelepasan pelarut [12]. Perhitungan emisi gas buang mengacu pada pendekatan berbasis konsumsi bahan bakar, komponen pentingnya mengacu pada total konsumsi bahan bakar kendaraan dan faktor emisi pembakaran. Konsumsi bahan bakar dikaji berdasarkan panjang jalan yang dikaji. Perhitungan beban emisi dengan pendekatan konsumsi bahan bakar secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$E = \text{Konsumsi bahan bakar} \left(\frac{\text{liter}}{\text{hari}} \right) \times \text{Faktor emisi} \left(\frac{g}{\text{liter}} \right)$$

Berikut merupakan tabel faktor emisi pembakaran solar pada truck:

Tabel 4. 1 Faktor Emisi

Parameter	Faktor Emisi
	g/liter
CO*	6,068
NO _x *	12,226
PM*	1,246
SO _x ⁺	0,017
PM ₁₀ ⁺	0,139

Sumber :

* *Appendix B Emission Conversion Factor (Australian Transport Assessment and Planning) + Coronair, 2009*

3.2.1.2. Resuspensi Kendaraan

Resuspensi kendaraan menjadi salah satu sumber emisi partikulat non-exhaust yang terjadi akibat interaksi antara ban kendaraan, permukaan jalan, serta partikel debu dari permukaan jalan. Dalam inventarisasi emisi, resuspensi tetap perlu dihitung meskipun tidak berasal dari proses pembakaran karena berperan besar dalam penurunan kualitas udara ambien. Perhitungan beban emisi partikulat dengan pendekatan Vehicle Kilometer Trip (VKT) mengacu pada [5] dinyatakan sebagai berikut:

$$E = VKT \times EF$$

Keterangan:

$$E = \text{Beban emisi partikulat} \left(\frac{g}{\text{tahun}} \right)$$

$$\begin{aligned} TP = VKT &= \text{Jarak tempuh kendaraan tahunan} \left(\frac{km}{\text{tahun}} \right) \\ &= VKT = \text{Panjang jalan (km)} \times \frac{(\text{Jumlah kendaraan})}{\text{hari}} \times \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \end{aligned}$$

$$EF = \text{Faktor emisi} \left(\frac{gr}{VMT} \right)$$

$$EF = k \times (sL)^a \times (W)^b$$

Dengan:

k	= <i>Particle size multiplier</i>
	= $PM_{2,5} = 0,15 \frac{g}{VKT}$ (<i>paved road</i>)
	= $PM_{10} = 0,62 \frac{g}{VKT}$
	= $PM = 3,23 \frac{g}{VKT}$
a,b	= Konstanta (a = 0,91; b = 1,02)
W	= <i>Average weight (tons) of vehicle</i>
W loaded	= 30 tons
sL	= <i>silt Loading</i>

3.2.2. Besaran Dampak Berdasarkan Sebaran Emisi

Berdasarkan beban emisi yang telah dihitung pada tahap sebelumnya, langkah selanjutnya adalah melakukan pemodelan sebaran polutan untuk mengetahui potensi dampak lingkungan menggunakan perangkat lunak AERMOD. Pemodelan dilakukan untuk mensimulasikan konsentrasi polutan di udara ambien pada area studi dengan mempertimbangkan kondisi meteorologi, karakteristik sumber emisi, dan parameter dispersi atmosfer. Pada tahap ini, hasil pemodelan konsentrasi polutan dari AERMOD akan digunakan untuk menilai potensi dampak lingkungan dan kesehatan. Penilaian dilakukan dengan cara membandingkan hasil sebaran konsentrasi polutan dengan standar kualitas udara ambien yang berlaku.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Beban Emisi

4.1.1. Emisi Gas Buang

Dalam melakukan perhitungan emisi gas buang perlu menentukan konsumsi bahan bakar harian kendaraan. Konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan jumlah unit kendaraan, rata – rata jarak tempuh harian, serta asumsi pemakaian bahan bakar per kilometer. Nilai konsumsi ini menjadi dasar dalam perhitungan beban emisi. Berikut perhitungan emisi gas buang kendaraan dengan bahan bakar solar.

$$\begin{aligned}\text{Konsumsi bahan bakar} &= \text{Jumlah unit} \times \text{rit} \times \text{Konsumsi bahan bakar} \times \text{Panjang jalan} \\ &= 100 \text{ unit} \times 2/\text{hari} \times 0,00012 \frac{\text{liter}}{\text{m}} \times 828 \text{ m} \\ &= 19,872 \text{ liter/hari}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar selanjutnya digunakan untuk memperoleh besaran beban emisi setiap parameter. Beban emisi dihitung dengan mengalikan konsumsi bahan bakar dengan faktor emisi sesuai parameter pencemar, sehingga diperoleh kontribusi emisi CO, NO_x, PM, SO₂, dan PM₁₀ dari aktivitas pembakaran bahan bakar kendaraan. Berikut contoh perhitungan menggunakan parameter CO dalam menentukan beban emisi:

$$\text{Beban Emisi} = \text{Konsumsi bahan bakar} \times \text{Faktor emisi}$$

$$\text{Beban Emisi CO} = \text{Konsumsi bahan bakar} \times \text{Faktor emisi CO}$$

$$\begin{aligned}&= 19,872 \frac{\text{liter}}{\text{hari}} \times 6,068 \frac{\text{g}}{\text{liter}} \\ &= 120,583 \frac{\text{g}}{\text{hari}} \\ &= 0,00139 \frac{\text{kg}}{\text{detik}}\end{aligned}$$

Tabel 5. 1 Rekapitulasi beban emisi gas buang

Rekapitulasi Beban Emisi				
Beban Emisi	=	konsumsi bahan bakar x faktor emisi		
Parameter	Emission Factor (g/l)	Konsumsi bahan bakar (l/hari)	Beban Emisi (gram/hari)	Emission rate (g/s)
CO	6,068	19,872	120,583	0,001396
NO _x	12,2262		242,959	0,002812
PM	1,2464		24,768	0,000287
SO _x	0,017		0,337	0,000004
PM10	0,139		2,762	0,000032

4.1.2. Resuspensi Kendaraan

Perhitungan emisi resuspensi kendaraan diawali dengan menentukan data eksisting di lokasi kegiatan, yang meliputi panjang jalan, jumlah kendaraan yang beroperasi, serta jumlah ritasi kendaraan. Data tersebut digunakan untuk menghitung nilai *Vehicle Kilometer Travelled* (VKT) sebagai dasar perhitungan beban emisi resuspensi.

Diketahui data eksisting pada lokasi kegiatan sebagai berikut:

Panjang jalan = 828 m

= 0,828 km

Jumlah kendaraan = 100 unit/hari

Jumlah ritasi = 2 ritasi per unit (*loaded*)

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 VKT &= \text{Panjang jalan (km)} \times \frac{(\text{Jumlah kendaraan} \times \text{ritasi})}{\text{hari}} \times \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \\
 &= 0,828 \text{ km} \times \frac{100 \times 2}{\text{hari}} \times \frac{365 \text{ hari}}{\text{tahun}} \\
 &= 60.444/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai VKT diperoleh dari perkalian panjang jalan dengan jumlah kendaraan, jumlah ritasi, serta jumlah hari dalam satu tahun.

Nilai VKT ini selanjutnya digunakan untuk menghitung beban emisi resuspensi partikulat yang dihasilkan dari aktivitas kendaraan pada ruas jalan tersebut.

Diketahui data faktor emisi:

$$k_{PM_{2,5}} = 0,15 \text{ gr/VKT}$$

$$k_{PM_{10}} = 0,62 \text{ gr/VKT}$$

$$k_{PM_{100}} = 3,23 \text{ gr/VKT}$$

$$a = 0,91$$

$$b = 1,02$$

$$W_{\text{loaded}} = 30 \text{ tons}$$

$$sL = 0,1 \text{ g/m}^2$$

Perhitungan Faktor Emisi

$$\text{Faktor Emisi} = k \times (sL)^a \times (W)^b$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Emisi PM}_{2,5} \text{ saat bermuatan (loaded)} &= k \times (sL)^a \times (W_{\text{loaded}})^b \\ &= 0,15 \times (0,1)^{0,91} \times (30)^{1,02} \\ &= 0,592 \text{ gr/VMT} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor Emisi} = k \times (sL)^a \times (W)^b$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Emisi PM}_{10} \text{ saat bermuatan (loaded)} &= k \times (sL)^a \times (W_{\text{loaded}})^b \\ &= 0,62 \times (0,1)^{0,91} \times (30)^{1,02} \\ &= 2,449 \text{ gr/VMT} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor Emisi} = k \times (sL)^a \times (W)^b$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Emisi PM saat bermuatan (loaded)} &= k \times (sL)^a \times (W_{\text{loaded}})^b \\ &= 3,23 \times (0,1)^{0,91} \times (30)^{1,02} \\ &= 12,760 \text{ gr/VMT} \end{aligned}$$

Perhitungan Laju Beban

$$\text{Beban Emisi PM} = \text{VKT} \times \text{Faktor Emisi PM}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Emisi PM}_{2,5} \text{ (loaded)} &= \text{VKT} \times \text{Faktor Emisi}_{\text{loaded}} \\ &= 60.278,400 \text{ km/tahun} \times 0,592 \\ &\text{gr/VMT} \end{aligned}$$

$$= 0,0040 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Beban Emisi PM}_{10} \text{ (loaded)} = \text{VKT} \times \text{Faktor Emisi}_{\text{loaded}}$$

gr/VMT

Beban Emisi PM (loaded)

gr/VMT

$$= 60.278,400 \text{ km/tahun} \times 2,449$$

$$= 0,0168 \text{ kg/jam}$$

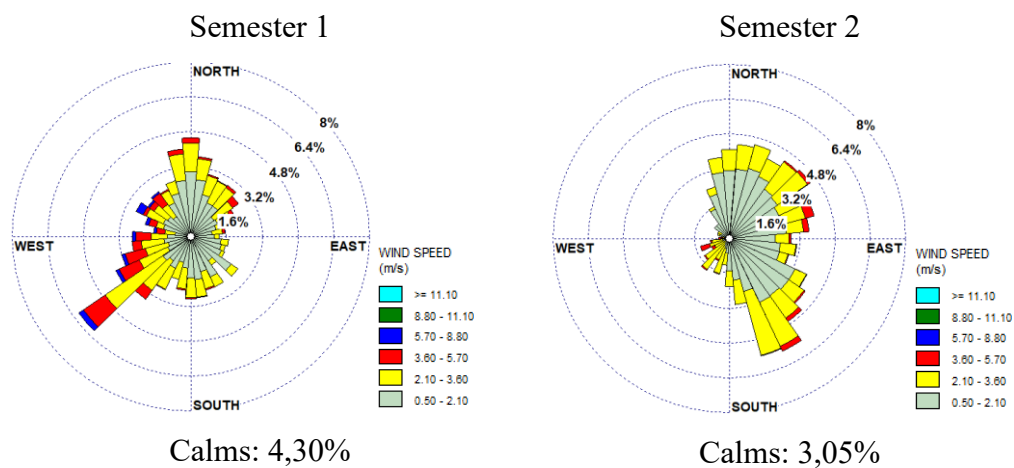
$$= \text{VKT} \times \text{Faktor Emisi}_{\text{loaded}}$$

$$= 60.278,400 \text{ km/tahun} \times 12,760$$

$$= 0,0878 \text{ kg/jam}$$

4.2.Model Sebaran Emisi

Pemodelan dilakukan untuk sumber emisi eksisting yaitu aktivitas transportasi di lokasi kegiatan dan dinyatakan sebagai sumber garis. Skenario pemodelan dilakukan pada 2 musim yaitu musim kemarau yang meliputi bulan April – September dan musim hujan yang meliputi Oktober – Maret tahun tahun 2023 – 2024. Data meteorologi meliputi arah dan kecepatan angin, kelembapan, temperatur, tekanan, presipitasi, tutupan awan, radiasi matahari dan tinggi pencampuran (*mixing height*). Pemodelan dilakukan pada kondisi maksimum 24 jam untuk melihat kontribusinya pada udara ambien. Berikut merupakan hasil analisis arah angin untuk semester 1 dan 2:



Gambar 5. 1 Model Sebaran

Arah angin pada lokasi kegiatan mobilisasi kendaraan pengangkut tidak berbeda signifikan pada musim kemarau (April 2023 – September 2023) maupun musim hujan (Oktober 2023 – Maret 2024). Pada musim kemarau angin bertiup dari barat daya dan utara dengan angin tenang berkisar 4,30% sedangkan pada

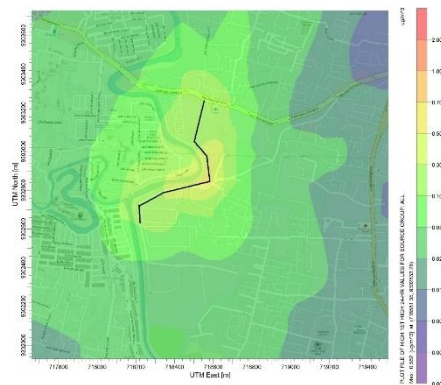
musim hujan angin bertiup dari tenggara dan timur laut dengan angin tenang berkisar 3,05%. Kecepatan angin rata rata pada kedua musim yaitu 2,1 m/s.

Pemodelan dijalankan dalam dua skenario periode meteorologi, yaitu semester pertama (musim hujan) dan semester kedua (musim kemarau). Pembagian periode ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi variasi dispersion capacity atmosfer serta membandingkan perbedaan pola sebaran emisi yang dapat dipengaruhi oleh perubahan kecepatan angin, arah angin, kelembapan, dan stabilitas atmosfer. Hasil perbandingan kedua simulasi tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kondisi musim yang berpotensi menghasilkan konsentrasi polutan tertinggi serta menentukan sensitivitas wilayah studi terhadap variabilitas cuaca tahunan.

4.2.1. Sebaran Emisi Gas Buang

Subbab ini menyajikan hasil pemodelan dispersi emisi gas buang kendaraan berdasarkan nilai *emission rate* yang telah dihitung pada tahap sebelumnya. Pemodelan dilakukan menggunakan AERMOD untuk memperoleh distribusi spasial konsentrasi polutan pada area studi, baik pada kondisi musim hujan maupun musim kemarau. Perbedaan kondisi meteorologis pada kedua periode tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh variabilitas atmosfer terhadap proses transportasi dan dispersi polutan. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk peta kontur konsentrasi untuk mengidentifikasi pola sebaran, lokasi dengan konsentrasi tertinggi, serta wilayah yang berpotensi menerima paparan polutan secara signifikan.

Semester 1 (Hujan)



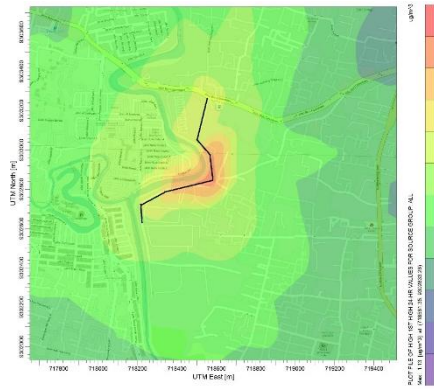
Peak concentration = $0,562 \text{ ug/m}^3$

Semester 2 (Kemarau)

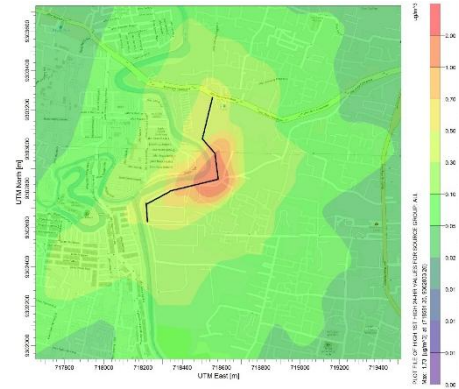


Peak concentration = $0,858 \text{ ug/m}^3$

Model Dispersi CO

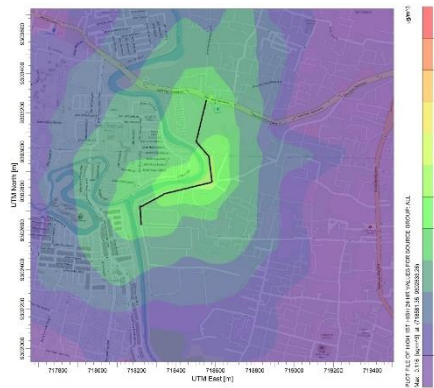


Peak concentration = 1,13 ug/m³

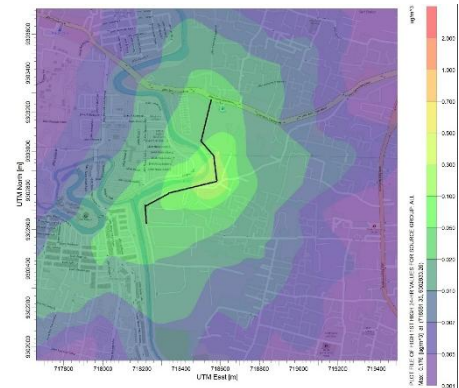


Peak concentration = 1,73 ug/m³

Model Dispersi NOx

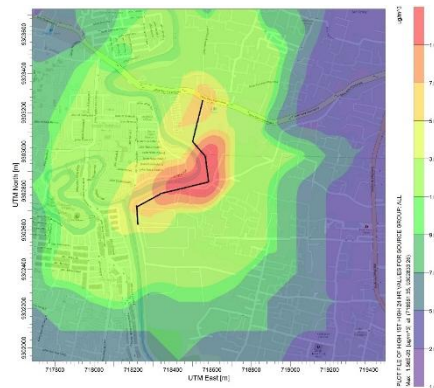


Peak concentration = 0,116 ug/m³

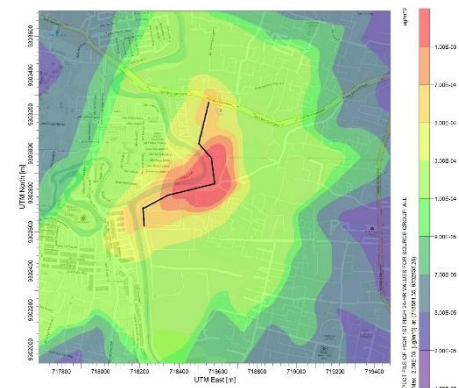


Peak concentration = 0,176 ug/m³

Model Dispersi PM

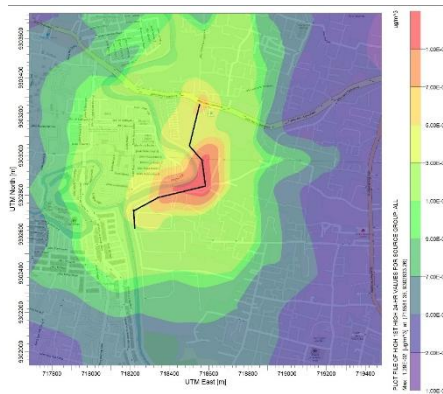


Peak concentration = 0,00156 ug/m³

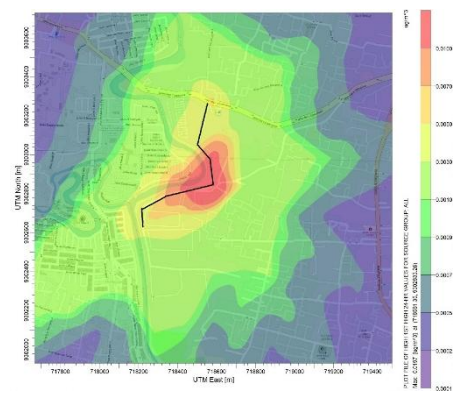


Peak concentration = 0,00239ug/m³

Model Dispersi SOx



Peak concentration = 0,0129 ug/m³



Peak concentration = 0,0197 ug/m³

Model Dispersi PM₁₀

Tabel 5. 2 Rekapitulasi peak concentration emisi gas buang

Rekapitulasi Peak Concentration		
Parameter	Semester 1 (ug/m ³)	Semester 2 (ug/m ³)
CO	0,562	0,858
NOx	1,13	1,73
PM	0,116	1,176
SOx	0,00156	0,00239
PM10	0,0129	0,0197

4.2.2. Sebaran Emisi Resuspensi

Pada bagian ini ditampilkan hasil pemodelan dispersi emisi resuspensi yang berasal dari aktivitas lalu lintas kendaraan. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan nilai laju emisi partikulat (PM_{2.5}, PM₁₀, dan TSP) sebagai input utama sehingga diperoleh representasi sebaran spasial yang sesuai dengan kondisi lapangan. Sama seperti pemodelan emisi gas buang, simulasi dilakukan dalam dua skenario periode, yaitu musim hujan dan musim kemarau, guna menilai sensitivitas konsentrasi polutan terhadap kondisi meteorologi. Output pemodelan divisualisasikan dalam bentuk peta kontur untuk menunjukkan area akumulasi emisi, arah transportasi polutan, serta hotspot yang berpotensi menimbulkan dampak bagi lingkungan sekitar.

Semester 1 (Hujan)



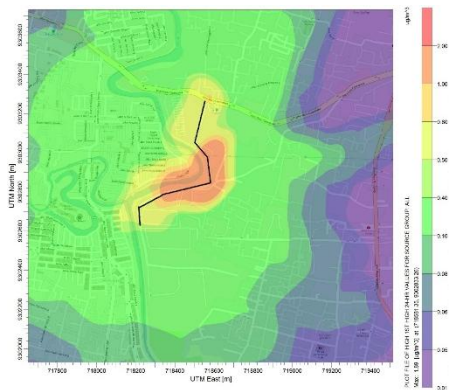
Peak concentration: 0,457 ug/m³

Semester 2 (Kemarau)

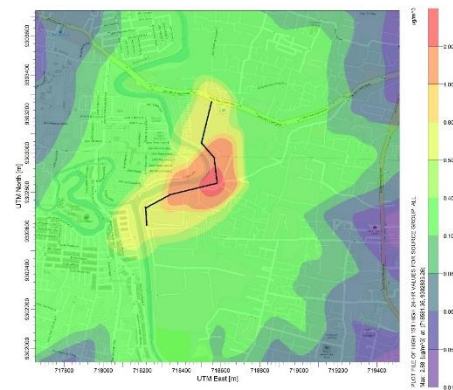


Peak concentration: 0,697 ug/m³

Hasil Model Resuspensi PM_{2.5}

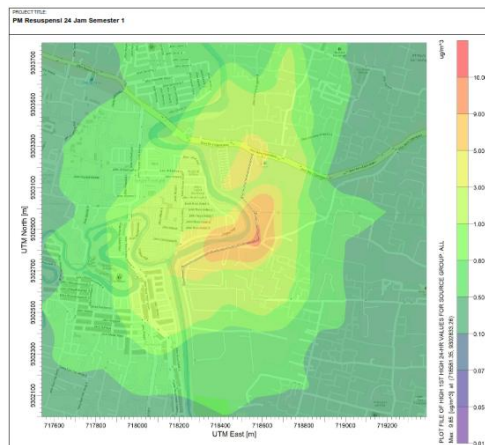


Peak concentration: 1,89 ug/m³

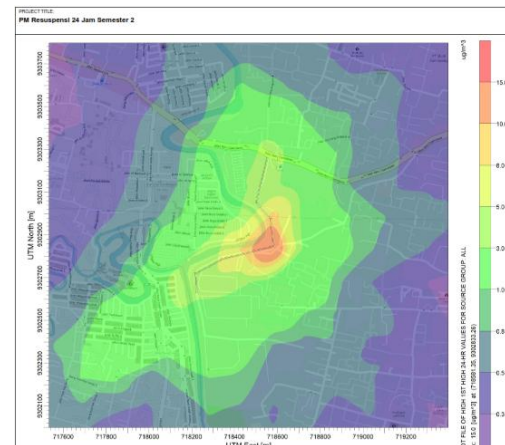


Peak concentration: 2,88 ug/m³

Hasil Model Resuspensi PM₁₀



Peak concentration: 9,85 ug/m³



Peak concentration: 15 ug/m³

Hasil Model Resuspensi PM

Tabel 5. 3 Rekapitulasi peak concentration emisi resuspensi

Rekapitulasi Peak Concentration		
Parameter	Semester 1 (ug/m ³)	Semester 2 (ug/m ³)
PM _{2,5}	0,457	0,697
PM ₁₀	1,89	2,88
PM	9,85	15

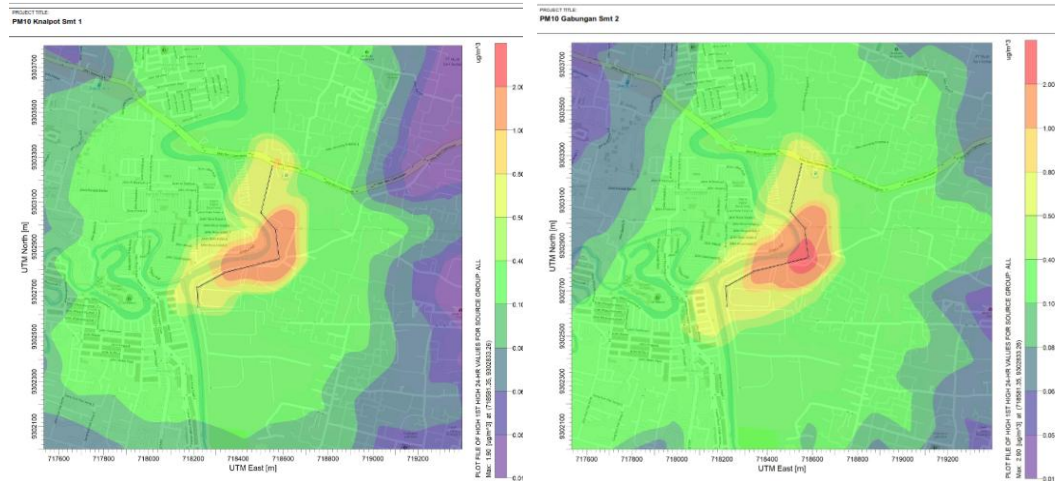
Berdasarkan hasil pemodelan, terlihat bahwa konsentrasi puncak (*peak concentration*) emisi resuspensi cenderung lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan musim hujan. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi atmosfer dan kelembaban udara yang lebih rendah pada musim kemarau, sehingga partikel lebih mudah terdispersi ke udara. Dengan demikian, emisi resuspensi dari aktivitas kendaraan memberikan kontribusi signifikan terhadap kualitas udara di sekitar lokasi kegiatan.

4.2.3. Emisi Partikulat dan Resuspensi Kendaraan

Untuk parameter partikulat (TSP dan PM₁₀), pemodelan dilakukan dengan mempertimbangkan kontribusi total dari kedua sumber tersebut (gas buang dan resuspensi), sehingga estimasi konsentrasi yang diperoleh mencerminkan beban emisi aktual pada lokasi studi. Hasil pemodelan dispersi gabungan antara emisi partikulat dari pembakaran bahan bakar dan resuspensi kendaraan ditunjukkan pada Gambar berikut. Pemodelan dilakukan menggunakan nilai emission rate hasil perhitungan pada sub bab sebelumnya sebagai data input, sehingga diperoleh gambaran distribusi konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ pada kondisi musim hujan dan musim kemarau.

Semester 1 (Hujan)

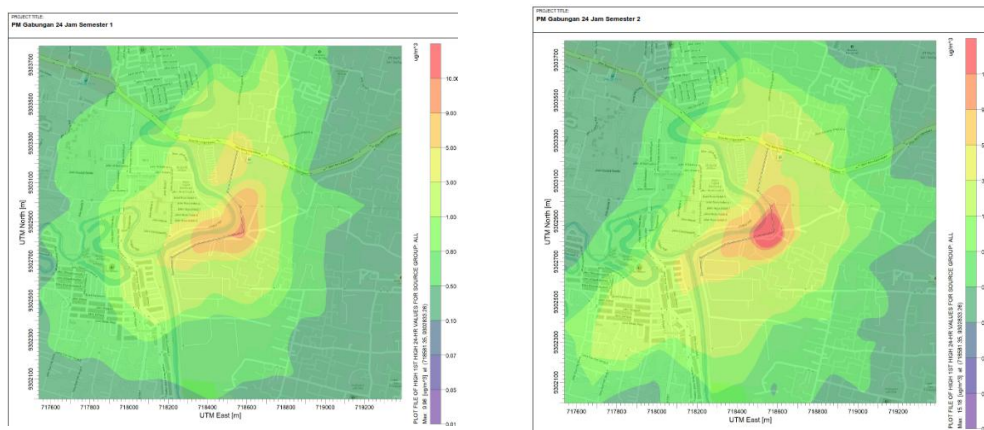
Semester 2 (Kemarau)



Peak concentration = $1,90 \text{ ug/m}^3$

Peak concentration = $2,9 \text{ ug/m}^3$

Model Dispersi PM₁₀



Peak concentration = $9,96 \text{ ug/m}^3$

Peak concentration = $15,18 \text{ ug/m}^3$

Model Dispersi PM

Berikut tabel rekapitulasi nilai peak concentration PM_{2.5} dan PM₁₀ pada semester 1 (musim hujan) dan semester 2 (musim kemarau).

Tabel 5. 4 Rekapitulasi peak concentration emisi partikulat dan resuspensi kendaraan

Rekapitulasi Peak Concentration		
Parameter	Semester 1 (ug/m^3)	Semester 2 (ug/m^3)
PM Gabungan	1,90	2,9
PM ₁₀ Gabungan	9,96	15,18

4.3. Analisis Hasil Sebaran Emisi Gas Buang dan Resuspensi

Berdasarkan hasil pemodelan dispersi, terlihat adanya variasi konsentrasi polutan baik secara spasial maupun temporal yang dipengaruhi oleh interaksi kompleks sumber pencemar, kondisi meteorologi dan sifat fisik – kimia partikulat. Konsentrasi tertinggi cenderung berada pada area yang berdekatan dengan sumber emisi, yaitu ruas jalan tempat aktivitas lalu lintas terjadi. Pola gradien konsentrasi menunjukkan bahwa nilai konsentrasi menurun seiring meningkatnya jarak dari sumber, yang sesuai dengan karakteristik model dispersi Gaussian berbasis sumber garis. Hal ini mengindikasikan bahwa paparan terbesar terjadi pada zona pertama di sekitar jalur lalu lintas.

Perbandingan antara kondisi meteorologis musim hujan dan musim kemarau menunjukkan bahwa konsentrasi polutan pada umumnya lebih tinggi pada musim kemarau. Kondisi ini dipengaruhi oleh kecepatan angin yang relatif lebih tinggi dan tingkat kelembapan yang lebih rendah, sehingga memungkinkan partikel tersuspensi bertahan lebih lama di udara dan mengalami transportasi lebih jauh. Selain itu permukaan jalan yang kering semakin meningkatkan laju resuspensi partikel halus akibat gaya gesek dari kendaraan. Kondisi berbeda ditunjukkan pada musim hujan, proses deposisi basah berkontribusi pada penurunan konsentrasi partikulat di udara.

Jika dibandingkan berdasarkan sumbernya, emisi yang bersumber dari resuspensi kendaraan memberikan kontribusi lebih signifikan terhadap konsentrasi partikulat dibandingkan dengan emisi gas buang kendaraan. Konsentrasi partikulat semakin meningkat terutama pada volume kendaraan tinggi dan permukaan jalan yang kasar. Fenomena ini semakin terlihat pada musim kemarau, ketika permukaan jalan cenderung lebih kering dan aktivitas resuspensi meningkat akibat pergerakan kendaraan. Resuspensi debu jalanan dapat menyumbang 30-60% konsentrasi partikulat pada kondisi kering [13].

Temuan ini menunjukkan bahwa model dispersi udara berperan penting dalam analisis pencemaran udara berbasis transportasi karena mampu mengintegrasikan faktor sumber, kondisi meteorologi, dan karakteristik lingkungan dalam satu sistem evaluasi. Dengan pemodelan tersebut, prediksi dampak

lingkungan dapat dilakukan secara terukur, sehingga mendukung perencanaan kebijakan pengendalian pencemaran udara yang lebih tepat sasaran.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.Kesimpulan

Hasil pemodelan dispersi menunjukkan bahwa emisi dari aktivitas transportasi, baik yang berasal dari gas buang maupun resuspensi, memiliki pola sebaran yang terkonsentrasi di sekitar jalur lalu lintas dan menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber. Variasi musim berpengaruh terhadap besaran konsentrasi, di mana musim kemarau cenderung menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibanding musim hujan akibat kondisi atmosfer yang lebih kering dan mendukung terjadinya resuspensi. Selain itu, kontribusi resuspensi terlihat lebih dominan untuk parameter partikulat dibandingkan dengan emisi gas buang, sehingga menunjukkan bahwa aktivitas pergerakan kendaraan tidak hanya berpengaruh melalui pembakaran bahan bakar, tetapi juga melalui pergerakan debu jalan yang terangkat kembali ke udara. Secara keseluruhan, penggunaan pemodelan dispersi udara terbukti mampu memberikan gambaran spasial yang jelas mengenai perilaku emisi transportasi di lingkungan sekitar.

5.2.Saran

Penelitian ini masih memodelkan dampak emisi berdasarkan skenario rencana kegiatan, sehingga penelitian selanjutnya disarankan untuk memasukkan pemodelan kondisi eksisting lalu lintas agar dapat dilakukan analisis perbandingan dan memperoleh gambaran yang lebih utuh mengenai perubahan beban emisi sebelum dan sesudah kegiatan berlangsung

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. D. Purnomoasri and D. Handayani, “Analisis dan Mitigasi Emisi Gas Buang Akibat Transportasi (Studi Kasus Kabupaten Magetan),” vol. 24, pp. 29–36, 2022.
- [2] Institute for Essential Services Reform. “Realizing a Low-Emission and Sustainable Transportation Strategy for a Progressive Indonesia by 2045.” 14 July 2025. Diakses 23 September 2025. <https://iesr.or.id/en/realizing-a-low-emission-and-sustainable-transportation-strategy-for-a-progressive-indonesia-by-2045>
- [3] Badan Pusat Statistik. “Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit).” Diakses 23 September 2025. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTcjMg==/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis--unit-.html>
- [4] LCDI Indonesia. “GRK Energi.” Diakses 23 September 2025. <https://lcdi-indonesia.id/grk-energi>
- [5] U. EPA, “AP-42: Compilation of Air Emissions Factors from Stationary Sources,” 1985.
- [6] T. Grigoratos and G. Martini, “Brake wear particle emissions : a review Brake wear particle emissions : a review,” no. September, 2017, doi: 10.1007/s11356-014-3696-8.
- [7] F. M. Sidjabat, “MODEL SPASIAL SEBARAN PENCEMAR UDARA DARI RAYA (Studi kasus di Wilayah Karees dan Cibeunying Kidul , Bandung) SPATIAL MODELLING OF TRAFFIC-ORIGIN AIR POLLUTANT DISPERSION INTO INDOOR AIR QUALITY IN NEARBY HOUSES (Case study in Karees and Cibeunying Kidul area ,

- Bandung),” vol. 23, no. 2, pp. 11–22, 2017.
- [8] A. Einstein, “Principles of Environmental Modeling,” pp. 37–61, 2010, doi: 10.1007/978-90-481-8608-2.
 - [9] M. D. Lingkungan, “Kualitas Udara,” 2007.
 - [10] I. Print, I. Online, M. Taffarel, F. Naufal, and I. Munfarida, “Dampak : Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas Analisis Karbon Monoksida (CO) Menggunakan Metode Gaussian Plume di Persimpangan Margorejo Ahmad Yani Surabaya,” vol. 1, pp. 16–25, 2023.
 - [11] J. Pendidikan and G. M. Matlab, “Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi,” vol. 5, no. 2, 2019.
 - [12] A. R. R. T. Non- *et al.*, “Edinburgh Research Explorer A Review of Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles : Emissions , Physicochemical Characteristics , Health Risks , and Mitigation Measures A Review of Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles : Emissions , Physicochemical Characteristics , Health Risks , and Mitigation Measures,” 2022, doi: 10.1021/acs.est.2c01072.
 - [13] B. Obeid, B. Muresan-paslaru, and F. Murzyn, “Factors influencing particle resuspension and dispersion: An experimental study using test-track measurements,” *Transp. Res. Part D*, vol. 134, no. June, p. 104321, 2024, doi: 10.1016/j.trd.2024.104321.