

ANALISIS KUALITAS UDARA PM_{2.5} DAN CO₂ DI KAWASAN JALAN SUMPAAH PEMUDA MOJOSONGO SURAKARTA JAWA TENGAH

Ramanda Wisnu¹, Agerippa Yunaranda Krismani²

Universitas Kristen Teknologi Solo^{1,2}

e-mail: teofilusramandawisnu@gmail.com

Diterima: 15/7/2026; Direvisi: 27/7/2026; Diterbitkan: 29/7/2026

ABSTRAK

Jalan nasional berperan penting dalam mendukung mobilitas dan distribusi barang, namun tingginya lalu lintas berpotensi menurunkan kualitas udara di kawasan permukiman. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi PM_{2.5} dan CO₂, pengaruh karakteristik permukiman terhadap kualitas udara, serta tingkat kenyamanan masyarakat di sepanjang Jalan Sumpah Pemuda, Mojosongo, Surakarta. Penelitian menggunakan survei lapangan melalui pengukuran PM_{2.5}, CO₂, dan volume kendaraan pada pagi, siang, dan sore hari di beberapa titik pengamatan serta wawancara terhadap 30 responden. Data dianalisis secara deskriptif komparatif. Hasil menunjukkan kepadatan lalu lintas tertinggi mencapai sekitar 10.000 kendaraan/jam pada hari kerja dan terendah 2.724 kendaraan/jam pada akhir pekan. Konsentrasi CO₂ didominasi kategori tinggi hingga berbahaya, sedangkan PM_{2.5} berkisar dari kategori baik hingga berbahaya. Permukiman berjarak ≤10 meter dari tepi jalan mengalami paparan polutan lebih tinggi dan mayoritas responden menyatakan kualitas udara menurunkan kenyamanan lingkungan. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pengukuran kualitas udara, karakteristik spasial permukiman, dan persepsi masyarakat sebagai dasar mitigasi pencemaran udara di koridor jalan nasional. Penelitian menyimpulkan bahwa peningkatan kepadatan lalu lintas berkaitan dengan naiknya konsentrasi PM_{2.5} dan CO₂, sehingga diperlukan penguatan jalur hijau, penambahan vegetasi, dan penataan lalu lintas terpadu.

Kata Kunci: PM_{2.5}, CO₂, Kepadatan Lalu Lintas, Kualitas Udara, Kenyamanan Lingkungan.

ABSTRACT

A National roads play a vital role in supporting mobility and goods distribution; however, high traffic volumes may reduce air quality in surrounding residential areas. This study aimed to analyze the relationship between traffic density and PM_{2.5} and CO₂ concentrations, examine the influence of residential environmental characteristics on air quality, and evaluate community environmental comfort along Sumpah Pemuda Road, Mojosongo, Surakarta. A field survey was conducted by measuring PM_{2.5}, CO₂, and traffic volume during morning, afternoon, and evening periods at several observation points, complemented by interviews with 30 respondents. Data were analyzed using descriptive comparative analysis. The results showed that peak traffic density reached approximately 10,000 vehicles/hour on weekdays and decreased to 2,724 vehicles/hour on weekends. CO₂ concentrations were predominantly classified as high to hazardous, while PM_{2.5} levels ranged from good to hazardous. Residential areas located within ≤10 meters of the roadside experienced higher pollutant exposure, and most respondents reported that poor air quality reduced environmental comfort. The novelty of this study lies in integrating air quality measurements, residential spatial characteristics, and community perceptions to support air pollution mitigation strategies along national road corridors. The study concludes that increasing traffic density is associated with higher PM_{2.5}

and CO₂ concentrations, highlighting the need for green belts, additional roadside vegetation, and integrated traffic management to improve air quality.

Keywords: *PM_{2.5}, CO₂, Traffic Density, Air Quality, Environmental Comfort.*

PENDAHULUAN

Jalan nasional merupakan infrastruktur strategis yang berperan dalam mendukung mobilitas penduduk, distribusi logistik, serta pertumbuhan ekonomi antarwilayah. Di sisi lain, meningkatnya aktivitas transportasi pada koridor jalan nasional menjadi salah satu penyumbang utama pencemaran udara di kawasan perkotaan yang berdampak terhadap kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan permukiman. Emisi kendaraan bermotor menghasilkan berbagai polutan, terutama particulate matter berukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}) dan karbon dioksida (CO₂) yang banyak digunakan sebagai indikator kualitas udara pada kawasan transportasi. Selain dipengaruhi oleh besarnya sumber emisi, konsentrasi PM_{2.5} juga dipengaruhi oleh faktor meteorologi seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan curah hujan yang berperan dalam proses dispersi maupun akumulasi polutan di atmosfer (Fathoni et al., 2026). Temuan tersebut memperkuat teori dispersi polutan yang menyatakan bahwa karakteristik meteorologi dan kondisi fisik lingkungan menentukan variasi tingkat paparan pencemar pada setiap lokasi meskipun berada pada koridor jalan yang sama.

PM_{2.5} merupakan partikel berukuran sangat halus yang mampu menembus alveoli paru-paru hingga memasuki aliran darah sehingga meningkatkan risiko penyakit pernapasan dan kardiovaskular. Sementara itu, peningkatan konsentrasi CO₂ pada kawasan dengan lalu lintas padat tidak hanya mencerminkan tingginya aktivitas pembakaran bahan bakar kendaraan, tetapi juga berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara dan kenyamanan lingkungan. Panahatan (2026) menunjukkan bahwa jarak tempuh kendaraan dan konsumsi bahan bakar memiliki hubungan positif terhadap besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan sektor transportasi, sedangkan Pan et al. (2025) mengungkapkan bahwa distribusi spasial CO₂ di kawasan perkotaan dipengaruhi oleh kepadatan lalu lintas, penggunaan lahan, dan karakteristik morfologi kota. Teori lingkungan perkotaan menjelaskan bahwa morfologi kawasan, seperti jarak bangunan terhadap jalan, lebar koridor, kepadatan bangunan, serta keberadaan vegetasi memengaruhi proses dispersi maupun akumulasi polutan sehingga menentukan tingkat paparan yang diterima masyarakat. Kajian Pribadi et al. (2025) juga menegaskan bahwa pembangunan perkotaan berkelanjutan memerlukan integrasi pengelolaan kualitas udara, sistem transportasi, dan tata ruang untuk mengurangi dampak pencemaran terhadap kesehatan masyarakat.

Salah satu kawasan yang memiliki karakteristik tersebut adalah Jalan Sumpah Pemuda, Mojosongo, Surakarta, yang berfungsi sebagai jalur nasional dengan intensitas kendaraan pribadi, angkutan umum, kendaraan logistik, dan kendaraan berat yang tinggi setiap hari. Kondisi tersebut menyebabkan permukiman di sepanjang koridor jalan berpotensi mengalami paparan polusi udara secara terus-menerus, terutama pada bangunan yang berjarak dekat dengan badan jalan. Selain volume kendaraan, variasi paparan polutan diperkirakan dipengaruhi oleh konfigurasi spasial permukiman, meliputi jarak bangunan terhadap jalan, lebar gang, keberadaan vegetasi, dan pola tata ruang yang memengaruhi sirkulasi udara. Penelitian Girotti et al. (2026) membuktikan bahwa morfologi koridor perkotaan berpengaruh nyata terhadap dispersi PM_{2.5} dan NO₂ melalui perubahan kondisi iklim mikro, sedangkan Anggrainy (2026) menunjukkan bahwa distribusi spasial PM_{2.5} dapat dianalisis secara lebih akurat menggunakan pendekatan Geographically-Temporally Weighted Regression (GTWR). Selain itu, Putri (2026) melaporkan bahwa variasi konsentrasi PM_{2.5} dan NO₂ pada kawasan

industri dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan sekitar dan aktivitas transportasi sehingga analisis spasial menjadi penting dalam evaluasi kualitas udara.

Berbagai penelitian mutakhir menunjukkan bahwa kepadatan lalu lintas berhubungan erat dengan peningkatan konsentrasi PM_{2.5} dan penurunan kualitas udara pada kawasan perkotaan. Bachtiar et al. (2025) menemukan bahwa konsentrasi PM_{2.5} meningkat secara signifikan pada lokasi yang berada dekat jalan utama, sedangkan Novianty (2025) melaporkan adanya hubungan positif antara kinerja lalu lintas kendaraan bermotor dengan peningkatan konsentrasi PM_{2.5} pada koridor perkotaan. Dheekwal et al. (2025) melalui tinjauan sistematis berbasis GIS menjelaskan bahwa kepadatan lalu lintas merupakan determinan utama risiko kesehatan akibat paparan polusi udara, sementara Idris et al. (2025) menyimpulkan bahwa green infrastructure mampu menurunkan konsentrasi polutan melalui peningkatan sirkulasi udara dan proses deposisi partikel. Molo et al. (2026) juga menunjukkan bahwa ruang terbuka hijau pada kawasan permukiman padat berperan signifikan dalam memperbaiki kualitas udara, sedangkan Yahya et al. (2025) membuktikan bahwa vegetasi pada koridor jalan memiliki kemampuan menyerap emisi CO₂ kendaraan sehingga mendukung upaya mitigasi pencemaran udara. Temuan-temuan tersebut memperlihatkan bahwa interaksi antara lalu lintas, vegetasi, dan karakteristik spasial kawasan menentukan tingkat paparan polutan yang diterima masyarakat.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih menganalisis hubungan antarvariabel secara parsial, misalnya hanya menghubungkan volume kendaraan dengan PM_{2.5}, emisi CO₂, atau karakteristik morfologi kawasan secara terpisah. Penelitian lain lebih banyak berfokus pada pemodelan dispersi polutan, analisis faktor meteorologi, ataupun efektivitas ruang terbuka hijau tanpa mengintegrasikan seluruh komponen tersebut dalam satu kerangka evaluasi yang komprehensif (Pribadi et al., 2025; Girotti et al., 2026; Idris et al., 2025; Fathoni et al., 2026). Keterbatasan tersebut menyebabkan mekanisme hubungan antara kepadatan lalu lintas, kualitas udara, karakteristik spasial permukiman, dan persepsi kenyamanan masyarakat belum dipahami secara menyeluruh, khususnya pada koridor jalan nasional di Indonesia yang memiliki karakteristik lalu lintas, bentuk permukiman, serta kondisi lingkungan yang berbeda dengan lokasi penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mampu mengintegrasikan dimensi fisik, spasial, lingkungan, dan sosial dalam satu model analisis sehingga dapat menghasilkan rekomendasi kebijakan yang lebih tepat sasaran.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan kepadatan lalu lintas dengan kualitas udara berdasarkan parameter PM_{2.5} dan CO₂, mengidentifikasi pengaruh karakteristik morfologi permukiman terhadap tingkat paparan polutan, serta mengevaluasi tingkat kenyamanan masyarakat di sekitar Jalan Sumpah Pemuda, Mojosongo, Surakarta. Pendekatan penelitian mengombinasikan pengukuran kualitas udara, analisis kepadatan lalu lintas, observasi karakteristik spasial permukiman, serta persepsi masyarakat sehingga menghasilkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi lingkungan pada koridor jalan nasional. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan model analisis terpadu yang menghubungkan kepadatan lalu lintas, konsentrasi PM_{2.5} dan CO₂, karakteristik morfologi permukiman, serta persepsi kenyamanan masyarakat dalam satu kerangka evaluasi berbasis spasial. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang cenderung mengkaji hubungan antarvariabel secara parsial, penelitian ini menawarkan pendekatan multidimensi sebagai dasar penyusunan rekomendasi penataan ruang, penguatan jalur hijau, dan pengelolaan lalu lintas untuk meningkatkan kualitas lingkungan permukiman serta mendukung perumusan kebijakan mitigasi pencemaran udara berbasis karakteristik spasial kawasan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode survei lapangan (*field survey*) untuk menganalisis hubungan antara kepadatan lalu lintas, kualitas udara, dan kenyamanan masyarakat di sepanjang Jalan Sumpah Pemuda, Kelurahan Mojosongo, Kota Surakarta. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, pengukuran kualitas udara, pencatatan volume kendaraan, dan wawancara. Populasi penelitian adalah masyarakat yang bermukim di sepanjang koridor Jalan Sumpah Pemuda, sedangkan responden dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* dengan kriteria telah menetap minimal dua tahun dan berlokasi pada area yang berpotensi terpapar emisi kendaraan. Sebanyak 30 responden dipilih karena dinilai telah mewakili variasi karakteristik lokasi permukiman serta memenuhi kebutuhan analisis deskriptif lapangan. Pengamatan dilakukan selama tiga hari pada tiga periode, yaitu pagi (06.30–07.30 WIB), siang (13.00–14.00 WIB), dan sore (17.00–18.00 WIB), di beberapa titik yang merepresentasikan persimpangan, ruas jalan menanjak, dan akses menuju permukiman. Instrumen penelitian meliputi *Air Detector* digital yang telah dikalibrasi sesuai petunjuk pabrikan sebelum pengukuran untuk mengukur konsentrasi PM_{2.5} dan CO₂, meteran untuk mengukur jarak permukiman terhadap jalan, serta telepon seluler untuk dokumentasi dan pencatatan volume kendaraan. Instrumen wawancara menggunakan daftar pertanyaan terstruktur yang telah melalui uji validitas isi (*content validity*) melalui penelaahan ahli sebelum digunakan di lapangan.

Data dianalisis menggunakan Microsoft Excel melalui analisis deskriptif komparatif dan tabulasi silang untuk membandingkan kondisi antarwaktu, antartitik pengamatan, serta karakteristik morfologi permukiman. Hubungan antara kepadatan lalu lintas dengan konsentrasi PM_{2.5} dan CO₂ dianalisis secara deskriptif berdasarkan kecenderungan perubahan konsentrasi polutan pada setiap tingkat volume kendaraan. Hasil pengukuran selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan baku mutu kualitas udara ambien untuk PM_{2.5} sesuai ketentuan yang berlaku serta kategori konsentrasi CO₂ yang mengacu pada pedoman kualitas udara dalam ruang (*indoor air quality guideline*) sebagai indikator tingkat paparan udara. Analisis juga mencakup penyajian grafik volume kendaraan, distribusi konsentrasi polutan, karakteristik morfologi kawasan, serta persepsi masyarakat dalam bentuk tabel dan diagram untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai keterkaitan antara kepadatan lalu lintas, kualitas udara, dan kenyamanan lingkungan permukiman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai kondisi lingkungan di lokasi penelitian, dilakukan analisis terhadap empat aspek utama, yaitu kepadatan lalu lintas, kualitas udara, persepsi masyarakat, dan karakteristik morfologi permukiman. Keempat aspek tersebut dianalisis secara terpadu karena memiliki keterkaitan yang erat dalam menentukan tingkat paparan polusi udara pada kawasan permukiman yang berada di sepanjang koridor jalan nasional. Penyajian hasil dalam bentuk tabel bertujuan memudahkan identifikasi pola hubungan antarvariabel sekaligus memperlihatkan kecenderungan yang muncul selama proses pengamatan lapangan. Dengan demikian, ringkasan hasil penelitian pada Tabel 1 menjadi dasar untuk menjelaskan mekanisme pengaruh aktivitas transportasi terhadap kualitas lingkungan permukiman serta implikasinya terhadap kenyamanan masyarakat.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Pengamatan Kepadatan Lalu Lintas, Kualitas Udara, Persepsi Masyarakat, dan Morfologi Permukiman

Aspek Penelitian	Indikator	Hasil Utama	Interpretasi
Kepadatan Lalu Lintas	Volume kendaraan berdasarkan hari dan waktu	Volume kendaraan berfluktuasi sesuai hari dan jam pengamatan. Puncak lalu lintas terjadi pada Senin pagi sekitar 10.000 kendaraan/jam, sedangkan volume terendah terjadi pada Sabtu sekitar 2.724 kendaraan/jam.	Aktivitas kerja, sekolah, dan distribusi logistik menjadi faktor utama yang memengaruhi kepadatan lalu lintas pada koridor Jalan Sumpah Pemuda.
	Jam sibuk	Kepadatan tertinggi terjadi pada pagi hari dan meningkat kembali pada sore hari.	Jam sibuk menjadi periode dengan potensi emisi kendaraan paling tinggi.
Kondisi PM_{2,5}	Konsentrasi PM _{2,5}	Konsentrasi PM _{2,5} meningkat pada lokasi dengan volume kendaraan tinggi, terutama di persimpangan, lampu lalu lintas, dan ruas jalan menanjak. Beberapa titik melebihi pedoman WHO.	Semakin tinggi kepadatan kendaraan, semakin tinggi konsentrasi partikel halus di udara.
	Variasi waktu	Nilai tertinggi terjadi pada jam sibuk, sedangkan nilai terendah terjadi pada akhir pekan.	Fluktuasi PM _{2,5} mengikuti perubahan intensitas lalu lintas.
Kondisi CO₂	Konsentrasi CO ₂	Konsentrasi CO ₂ lebih tinggi dibandingkan PM _{2,5} pada sebagian besar titik pengamatan. Beberapa lokasi telah melampaui tingkat kenyamanan udara.	Kendaraan bermotor merupakan sumber utama emisi CO ₂ di kawasan penelitian.
	Lokasi pengamatan	Konsentrasi tertinggi ditemukan pada persimpangan dan lokasi kendaraan sering berhenti maupun berakselerasi.	Kondisi lalu lintas yang tidak lancar meningkatkan akumulasi emisi kendaraan.
Hubungan Lalu Lintas dan Kualitas Udara	Volume kendaraan dan polutan	Lokasi dengan volume kendaraan tinggi menunjukkan kualitas udara lebih buruk dibandingkan lokasi dengan lalu lintas rendah.	Kepadatan lalu lintas berhubungan positif dengan peningkatan konsentrasi PM _{2,5} dan CO ₂ .
Persepsi Masyarakat	Gangguan aktivitas	93,3% responden menyatakan kepadatan lalu lintas mengganggu aktivitas sehari-hari.	Tingginya mobilitas kendaraan berdampak langsung terhadap kenyamanan masyarakat.
	Penilaian kualitas udara	83,3% responden menilai kualitas udara di sekitar rumah kurang nyaman.	Persepsi masyarakat menunjukkan adanya penurunan kualitas lingkungan permukiman.
	Pengaruh kendaraan berat	100% responden menyatakan truk dan bus memperburuk kualitas udara.	Kendaraan berat dipersepsikan sebagai penyumbang utama pencemaran udara.

Aspek Penelitian	Indikator	Hasil Utama	Interpretasi
Morfologi Permukiman	Waktu kualitas udara terburuk	Mayoritas responden merasakan kualitas udara paling buruk pada pagi dan sore hari.	Persepsi masyarakat sesuai dengan pola kepadatan lalu lintas harian.
	Vegetasi	Gang yang memiliki vegetasi rapat menunjukkan tingkat paparan polusi lebih rendah.	Vegetasi berfungsi sebagai penyaring dan penghambat penyebaran polutan.
	Jarak bangunan terhadap jalan	Permukiman yang lebih jauh dari badan jalan memiliki kualitas udara lebih baik dibandingkan bangunan yang berada tepat di tepi jalan.	Jarak terhadap sumber emisi memengaruhi tingkat paparan polutan.
	Karakteristik lokasi	Persimpangan, tanjakan, dan lokasi kendaraan sering berhenti memiliki konsentrasi polusi lebih tinggi.	Kondisi geometrik jalan memengaruhi akumulasi emisi kendaraan.
	Kategori lokasi	Titik dengan vegetasi rapat dan mobilitas rendah tergolong relatif aman, sedangkan lokasi dekat lampu lalu lintas dengan vegetasi minim tergolong berisiko tinggi.	Morfologi kawasan memoderasi hubungan antara lalu lintas dan kualitas udara.

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa peningkatan kepadatan lalu lintas diikuti oleh kecenderungan meningkatnya konsentrasi PM_{2,5} dan CO₂, terutama pada lokasi yang memiliki karakteristik spasial kurang mendukung proses dispersi udara. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa keberadaan vegetasi, jarak bangunan terhadap badan jalan, serta kondisi geometrik koridor jalan berperan dalam mengurangi maupun meningkatkan tingkat paparan polutan pada kawasan permukiman. Selain didukung oleh hasil pengukuran lapangan, pola tersebut diperkuat oleh persepsi masyarakat yang secara umum merasakan penurunan kenyamanan lingkungan pada periode dengan intensitas kendaraan yang tinggi. Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa kualitas udara pada koridor jalan nasional merupakan hasil interaksi antara aktivitas transportasi, karakteristik fisik lingkungan, dan kondisi sosial masyarakat sehingga diperlukan pendekatan pengelolaan yang terintegrasi dalam perencanaan kawasan perkotaan.

Selain mengidentifikasi kondisi kepadatan lalu lintas dan kualitas udara, penelitian ini juga mengevaluasi berbagai upaya mitigasi yang telah dilakukan masyarakat beserta tantangan yang dihadapi dalam mengurangi dampak pencemaran udara. Analisis tersebut dilengkapi dengan pembahasan mengenai implikasi kebijakan yang dapat diterapkan sebagai dasar pengelolaan kualitas lingkungan pada kawasan permukiman di sepanjang jalan nasional. Penyajian hasil dalam bentuk tabel dimaksudkan untuk merangkum hubungan antara tindakan mitigasi, kendala implementasi, rekomendasi kebijakan, serta keterbatasan penelitian secara lebih sistematis dan mudah dipahami. Dengan penyajian tersebut, pembaca dapat memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai kondisi eksisting sekaligus arah pengembangan strategi pengendalian pencemaran udara yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Tabel 2. Ringkasan Upaya Mitigasi, Tantangan Pengendalian Polusi Udara, Implikasi Kebijakan, dan Batasan Penelitian

Aspek	Indikator	Temuan Penelitian	Implikasi/Rekomendasi
Upaya Mitigasi oleh Masyarakat	Penanaman vegetasi	Masyarakat menanam pohon, tanaman peneduh, dan tanaman barrier di halaman rumah maupun pintu masuk gang.	Vegetasi berfungsi sebagai penyaring alami polutan, namun efektivitasnya masih bersifat lokal.
	Ruang terbuka hijau skala rumah	Sebagian masyarakat memanfaatkan halaman rumah sebagai ruang terbuka hijau sederhana.	Perlu peningkatan luasan ruang hijau agar kemampuan menyerap polutan semakin optimal.
	Penghalang fisik	Pembangunan pagar dan tembok yang menghadap jalan nasional dilakukan untuk mengurangi paparan langsung emisi kendaraan.	Penghalang fisik membantu mengurangi paparan langsung, tetapi belum mampu menekan konsentrasi polutan secara signifikan.
	Kolaborasi masyarakat	Upaya mitigasi masih dilakukan secara mandiri oleh masyarakat.	Diperlukan sinergi antara masyarakat dan pemerintah agar mitigasi menjadi lebih efektif.
Tantangan Pengendalian Polusi	Intensitas kendaraan	Tingginya volume kendaraan, khususnya truk dan bus, menghasilkan emisi PM _{2,5} dan CO ₂ yang tinggi.	Pengendalian emisi kendaraan perlu menjadi prioritas kebijakan.
	Keterbatasan vegetasi	Luas lahan permukiman yang terbatas menyebabkan penanaman vegetasi penyerap polutan belum optimal.	Pengembangan ruang terbuka hijau publik dan jalur hijau perlu ditingkatkan.
	Dukungan pemerintah	Pengawasan emisi, penyediaan jalur hijau, dan pemantauan kualitas udara masih terbatas.	Pemerintah perlu memperkuat regulasi dan fasilitas pengendalian pencemaran udara.
	Kesadaran masyarakat	Penggunaan kendaraan pribadi berbahan bakar fosil masih tinggi, sedangkan pemanfaatan transportasi umum masih rendah.	Edukasi lingkungan dan promosi transportasi rendah emisi perlu ditingkatkan.
Kebijakan Pengendalian	Pengendalian emisi kendaraan	Tingginya lalu lintas berkontribusi terhadap peningkatan PM _{2,5} dan CO ₂ .	Pengaturan jam operasional kendaraan berat, uji emisi berkala, dan penggunaan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.
	Pengembangan ruang terbuka hijau	Kawasan dengan vegetasi lebih rapat memiliki	Perlu pembangunan green belt, penambahan pohon penyerap polutan, dan perlindungan ruang terbuka hijau.

Aspek	Indikator	Temuan Penelitian	Implikasi/Rekomendasi
Batasan Penelitian		tingkat paparan polutan lebih rendah.	
	Penataan kawasan permukiman	Permukiman yang berada dekat jalan nasional memiliki tingkat paparan polusi lebih tinggi.	Penetapan jarak aman antara permukiman dan jalan nasional dalam kebijakan tata ruang.
	Pemantauan kualitas udara	Pemantauan kualitas udara belum dilakukan secara berkelanjutan.	Pengembangan sistem monitoring PM _{2,5} dan CO ₂ secara periodik menggunakan peralatan terstandarisasi.
	Integrasi kebijakan	Pengendalian polusi masih dilakukan secara sektoral.	Integrasi kebijakan transportasi, tata ruang, ruang terbuka hijau, dan kesehatan lingkungan.
	Durasi pengamatan	Pengukuran kualitas udara dilakukan selama tiga hari.	Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan periode pengamatan yang lebih panjang agar mampu menggambarkan variasi temporal dan musiman.
	Parameter kualitas udara	Pengukuran hanya mencakup PM _{2,5} dan CO ₂ .	Penelitian berikutnya perlu menambahkan parameter NO ₂ , SO ₂ , CO, O ₃ , dan PM ₁₀ .
	Faktor meteorologi	Variabel kecepatan angin, arah angin, suhu, kelembapan, dan curah hujan belum dianalisis.	Integrasi parameter meteorologi diperlukan untuk meningkatkan akurasi analisis dispersi polutan.
	Cakupan wilayah	Penelitian terbatas pada koridor Jalan Sumpah Pemuda, Mojosongo, Surakarta.	Penelitian selanjutnya dapat dilakukan pada berbagai koridor jalan nasional dengan karakteristik morfologi yang berbeda untuk meningkatkan generalisasi hasil penelitian.

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa upaya mitigasi yang dilakukan masyarakat, seperti penanaman vegetasi, penyediaan ruang terbuka hijau skala rumah, dan pembangunan penghalang fisik, memberikan kontribusi dalam mengurangi paparan polutan, meskipun efektivitasnya masih terbatas apabila dilakukan secara mandiri. Tabel tersebut juga menunjukkan bahwa tingginya intensitas kendaraan, keterbatasan ruang hijau, serta belum optimalnya dukungan kebijakan menjadi faktor utama yang menghambat keberhasilan pengendalian pencemaran udara pada kawasan permukiman di sepanjang koridor jalan nasional. Oleh karena itu, pengendalian polusi udara memerlukan pendekatan terpadu yang mengintegrasikan kebijakan transportasi, penataan ruang, pengembangan ruang terbuka hijau, pengawasan emisi kendaraan, serta pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan. Di samping itu, identifikasi terhadap keterbatasan penelitian memberikan landasan bagi penelitian selanjutnya untuk memperluas cakupan wilayah, memperpanjang periode pengamatan, serta memasukkan parameter meteorologi dan polutan lainnya sehingga diperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai dinamika kualitas udara di lingkungan perkotaan.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya pola hubungan yang konsisten antara kepadatan lalu lintas, kualitas udara, karakteristik morfologi permukiman, dan tingkat kenyamanan masyarakat di sekitar Jalan Sumpah Pemuda, Mojosongo, Surakarta. Peningkatan aktivitas kendaraan pada koridor jalan nasional diikuti oleh kenaikan konsentrasi PM_{2.5} dan CO₂, terutama pada lokasi yang memiliki hambatan sirkulasi udara akibat konfigurasi ruang yang kurang mendukung proses dispersi. Temuan ini memperkuat hasil penelitian Novianty (2025), Pan et al. (2025), dan Putra dan Supratiw (2025) yang menjelaskan bahwa intensitas lalu lintas merupakan determinan utama penurunan kualitas udara di kawasan perkotaan serta menjadi indikator penting dalam evaluasi kebijakan pengendalian polusi transportasi. Selain meningkatkan konsentrasi polutan, tingginya aktivitas kendaraan juga menyebabkan akumulasi emisi karbon yang semakin besar sehingga berpotensi menurunkan kualitas lingkungan perkotaan apabila tidak diimbangi dengan strategi mitigasi yang memadai (Panahatan, 2026).

Fenomena tersebut dapat dijelaskan melalui teori dispersi polutan yang menyatakan bahwa konsentrasi pencemar dipengaruhi tidak hanya oleh besarnya emisi kendaraan, tetapi juga oleh kondisi fisik lingkungan, seperti jarak bangunan terhadap jalan, bentuk koridor, keberadaan vegetasi, kondisi atmosfer, serta sirkulasi udara. Pada lokasi dengan vegetasi terbatas dan bangunan yang berdekatan dengan badan jalan, proses pengenceran (dispersion) berlangsung lebih lambat sehingga akumulasi PM_{2.5} dan CO₂ menjadi lebih tinggi dibandingkan kawasan yang memiliki ruang terbuka dan vegetasi yang memadai. Penjelasan tersebut sejalan dengan temuan Yang et al. (2024) yang menunjukkan bahwa stabilitas atmosfer berpengaruh terhadap pola aliran udara dan karakteristik dispersi polutan pada berbagai skala kawasan perkotaan. Hasil penelitian Elisephane et al. (2026) juga menegaskan bahwa faktor meteorologi dan arah penyebaran emisi kendaraan menentukan besarnya konsentrasi polutan pada wilayah yang berada di sisi bawah arah angin (downwind), sedangkan Wang et al. (2022) membuktikan bahwa optimasi morfologi koridor jalan dapat meningkatkan ventilasi udara dan menurunkan akumulasi PM_{2.5} pada berbagai ketinggian bangunan.

Hasil penelitian ini memiliki kesamaan dengan Bachtiar et al. (2025), Li et al. (2024), Zhang et al. (2023), Kim et al. (2022), serta World Health Organization (2021) yang menyimpulkan bahwa peningkatan volume kendaraan merupakan faktor dominan yang memengaruhi konsentrasi partikel halus di kawasan perkotaan. Namun demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa hubungan tersebut tidak sepenuhnya bersifat linier karena dipengaruhi oleh karakteristik morfologi kawasan. Pada beberapa titik dengan volume kendaraan relatif tinggi tetapi memiliki vegetasi yang rapat, konsentrasi polutan lebih rendah dibandingkan lokasi dengan vegetasi minimal. Temuan ini memperkuat hasil penelitian Girotti et al. (2026), Idris et al. (2025), Santiago et al. (2024), serta Kadaverugu et al. (2022) yang menjelaskan bahwa vegetasi, blue-green infrastructure, dan kombinasi berbagai tindakan mitigasi lokal mampu meningkatkan dispersi udara, mempercepat deposisi partikel, serta mengurangi konsentrasi polutan pada koridor transportasi perkotaan. Hasil penelitian Mahdani et al. (2024) dan Yahya et al. (2025) juga menunjukkan bahwa vegetasi memiliki kemampuan menyerap emisi karbon sehingga keberadaan ruang terbuka hijau memberikan manfaat ekologis sekaligus mendukung pembangunan perkotaan berkelanjutan.

Persepsi masyarakat juga menunjukkan pola yang konsisten dengan hasil pengukuran lapangan. Sebagian besar responden menyatakan bahwa kualitas udara menurun pada periode dengan intensitas kendaraan yang tinggi, terutama pada jam sibuk pagi dan sore hari. Kondisi tersebut mendukung teori kenyamanan lingkungan yang menjelaskan bahwa persepsi kualitas lingkungan dipengaruhi oleh interaksi antara kondisi fisik kawasan, tingkat pencemaran, dan

pengalaman masyarakat dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Temuan ini sejalan dengan Wang et al. (2024) yang menyatakan bahwa tingkat pencemaran udara memengaruhi perilaku masyarakat dalam memanfaatkan ruang perkotaan serta memengaruhi persepsi terhadap kualitas lingkungan binaan. Selain itu, Umah dan Gusmira (2024) menegaskan bahwa penurunan kualitas udara di kawasan perkotaan berkorelasi dengan meningkatnya gangguan kesehatan masyarakat, sedangkan Maksum dan Tarigan (2022) menunjukkan bahwa paparan PM2.5 dari aktivitas transportasi meningkatkan risiko kesehatan, terutama gangguan sistem pernapasan dan kardiovaskular. Dengan demikian, kualitas lingkungan tidak hanya diukur melalui parameter teknis, tetapi juga melalui pengalaman dan persepsi masyarakat sebagai pengguna ruang.

Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian pencemaran udara pada koridor jalan nasional memerlukan pendekatan multidimensi yang tidak hanya berfokus pada pengurangan volume kendaraan, tetapi juga mempertimbangkan penataan ruang, peningkatan tutupan vegetasi, dan optimalisasi morfologi kawasan. Integrasi kebijakan transportasi, pembangunan ruang terbuka hijau, serta pengelolaan lingkungan menjadi strategi yang lebih efektif dibandingkan penerapan satu kebijakan secara terpisah. Pendekatan tersebut didukung oleh Pribadi et al. (2025), Putra dan Supratiw (2025), Kadaverugu et al. (2022), dan Santiago et al. (2024) yang menekankan pentingnya kolaborasi antara perencanaan transportasi, tata ruang, dan kebijakan lingkungan dalam menurunkan paparan polutan sekaligus meningkatkan kualitas hidup masyarakat perkotaan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini memberikan dasar empiris bagi pemerintah daerah dalam merancang kebijakan mitigasi pencemaran udara yang mempertimbangkan karakteristik spasial kawasan dan kondisi sosial masyarakat.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengintegrasian analisis kepadatan lalu lintas, konsentrasi PM2.5 dan CO₂, karakteristik morfologi permukiman, serta persepsi masyarakat ke dalam satu kerangka analisis berbasis spasial. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya menelaah hubungan antara volume kendaraan dan konsentrasi PM2.5 atau hanya mengevaluasi efektivitas vegetasi maupun morfologi kawasan secara terpisah, penelitian ini menunjukkan bahwa interaksi seluruh komponen tersebut menentukan tingkat paparan polutan dan kenyamanan lingkungan secara lebih komprehensif. Model analisis yang dikembangkan memberikan perspektif baru mengenai mekanisme hubungan antara aktivitas transportasi, kondisi fisik kawasan, kualitas udara, dan persepsi masyarakat sehingga dapat menjadi dasar penyusunan strategi mitigasi yang lebih adaptif dan berkelanjutan. Kontribusi tersebut diharapkan memperkaya pengembangan ilmu di bidang kesehatan lingkungan, transportasi, dan perencanaan wilayah sekaligus menjadi referensi ilmiah bagi penyusunan kebijakan pengendalian pencemaran udara pada koridor jalan nasional di Indonesia.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan lalu lintas pada Jalan Sumpah Pemuda Mojosongo berkaitan dengan meningkatnya konsentrasi PM2.5 dan CO₂, sehingga kualitas udara dan kenyamanan lingkungan permukiman dipengaruhi tidak hanya oleh besarnya volume kendaraan, tetapi juga oleh karakteristik morfologi kawasan. Keberadaan vegetasi, jarak bangunan terhadap jalan, dan konfigurasi ruang permukiman terbukti berperan dalam menentukan tingkat paparan polutan yang diterima masyarakat. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa pengendalian pencemaran udara di koridor jalan nasional memerlukan pendekatan yang mengintegrasikan aspek transportasi, kualitas udara, dan penataan ruang. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan integratif yang menghubungkan kepadatan lalu lintas, konsentrasi PM2.5 dan CO₂, morfologi permukiman, serta persepsi

masyarakat dalam satu kerangka analisis untuk menjelaskan variasi paparan polutan di kawasan perkotaan.

Secara teoretis, hasil penelitian ini memperkaya kajian mengenai keterkaitan antara aktivitas transportasi, karakteristik spasial permukiman, dan kualitas udara pada lingkungan perkotaan. Secara praktis, temuan penelitian dapat menjadi dasar bagi pemerintah daerah dalam merancang kebijakan pengendalian emisi kendaraan, pengembangan jalur hijau, serta penataan kawasan permukiman yang lebih adaptif terhadap risiko pencemaran udara. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan periode pengamatan yang lebih panjang, menambahkan parameter meteorologi seperti kecepatan dan arah angin, suhu, serta kelembapan udara, dan menerapkan analisis statistik inferensial, seperti korelasi atau regresi, untuk memperkuat bukti mengenai hubungan antara kepadatan lalu lintas, kualitas udara, dan kenyamanan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrainy, P. (2026). Implementasi Metode Geographically-Temporally Weighted Regression Untuk Analisis Spasial Pada Pencemaran Udara Konsentrasi Pm_{2.5} Di Provinsi Dki Jakarta. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Ilmu*, 3(1), 106-113. <https://doi.org/10.69714/73tkfs98>
- Dheekwal, A., Singh, K., & Sharma, A. (2025). GIS-Based Modeling Of Traffic-Related Air Pollution And Public Health Risks: A Systematic Review With An Emphasis On Developing Urban Contexts. *Computational Urban Science*, 5(1), 65. <https://doi.org/10.1007/S43762-025-00225-6>
- Elisephane, I., Zoltán, T., & Ajtai, N. (2026). Air Pollution Caused By Urban Transport: Meteorology And Downwind Dispersion Of Near-Road Traffic Exhaust And Non-Exhaust Emissions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 237(3), 137. <https://doi.org/10.1007/S11270-025-08832-Z>
- Fathoni, F., Malayadza, J. A., Amanda, F., Hasim, A. A., Sari, W. K., & Tania, K. D. (2026). Analisis Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi Pm_{2.5} Global Dan Implikasinya Terhadap Kesehatan Masyarakat Menggunakan Random Forest Dan Xgboost. *Jati (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 10(3), 4324-4330. <https://doi.org/10.36040/Jati.V10i3.18169>
- Girotti, C., Shimomura, A. R. P., & Lopes, A. (2026). Urban Morphology And Air Quality: Microclimatic Simulation Of PM_{2.5} And NO₂ Dispersion In Urban Canyons Scale. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 19(2), 16. <https://doi.org/10.1007/S11869-026-01884-Y>
- Idris, A. B., Hossain, M. M., Islam, M. A., Hossain, M. Z., & Islam, M. T. (2025). Green Infrastructure And Urban Air Quality: A Semi-Systematic Review Of Multiscale Evidence, Methodologies, And Policy-Relevant Insights. *Water, Air, & Soil Pollution*, 236(15), 993. <https://doi.org/10.1007/S11270-025-08505-X>
- Kadaverugu, R., Dhyani, S., Dasgupta, R., Kumar, P., & Matli, C. (2022). Urban Sustainability And Resilience Building: Blue-Green Infrastructure For Air Pollution Abatement And Realizing Multiple Co-Benefits. In *Blue-Green Infrastructure Across Asian Countries: Improving Urban Resilience And Sustainability* (Pp. 397-417). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7128-9_18
- Mahdani, M., Muhlisin, M., Masyuroh, A., & Damayani, F. E. (2024). Pendekatan Ekonomi Hijau Dalam Pengelolaan Reduksi Emisi Karbon Oleh Tumbuhan Di Kota

- Cilegon. *Jurnal Kebijakan Pembangunan Daerah (JKPD)*, 8(2), 191-207.
<https://doi.org/10.56945/Jkpd.V8i2.338>
- Maksum, T. S., & Tarigan, S. F. N. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Partikel Debu (Pm_{2.5}) Dari Aktivitas Transportasi. *Jambura Health And Sport Journal*, 4(1), 19-28. <https://doi.org/10.37311/Jhsj.V4i1.13447>
- Molo, H., Sattuang, H., Wulandari, R., Yusuf, M., Sudiyanto, I. W., HS, S. M., & Amaliah, R. (2026). Analisis Peran Vegetasi Ruang Terbuka Hijau Terhadap Kualitas Udara Di Kawasan Permukiman Padat Kota Makassar. *Venn: Journal Of Sustainable Innovation On Education, Mathematics And Natural Sciences*, 5(4), 684-696.
<https://doi.org/10.53696/Venn.V5i4.483>
- Novianty, N. (2025). *Analisis Pengaruh Kinerja Lalu-Lintas Kendaraan Bermotor Terhadap Kualitas Udara (Studi Kasus: Jalan Menteng Raya Bintaro)* (Doctoral Dissertation, Universitas Mercu Buana Jakarta).
<http://Repository.Mercubuana.Ac.Id/Id/Eprint/99004>
- Pan, L., Fu, Q., Yang, F., Shao, Y., & Liu, C. (2025). Intra-Urban CO₂ Spatiotemporal Patterns And Driving Factors Using Multi-Source Data And AI Methods: A Case Study Of Shanghai, China. *Sustainability*, 17(23), 10794. <https://doi.org/10.3390/Su172310794>
- Panahatan, J. R. (2026). *Analisis Pengaruh Jarak Tempuh Dan Volume Bensin Terhadap Emisi Co₂ Pada Aktivitas Transportasi Di Pt Mutuagung Lestari Tbk.(Mutu)* (Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Pln). <https://Repository.Itpln.Ac.Id/Id/Eprint/6098>
- Pribadi, A. P., Rauf, A. U., Rahman, Y. M. R., & Haq, Z. F. (2025). Air Quality And Urban Sustainable Development-Current Issues And Future Directions. In *Sustainable Urban Environment And Waste Management: Theory And Practice* (Pp. 23-51). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-1140-9_2
- Putra, N. W., & Supratiw, S. (2025). Analisis Kebijakan Pengendalian Polusi Udara Transportasi Dan Dinamika Indeks Kualitas Udara Di Dki Jakarta Tahun 2023. *Journal Of Politic And Government Studies*, 14(3), 429-440.
<https://Ejournal3.Undip.Ac.Id/Index.Php/Jpgs/Article/View/52284>
- Putri, N. (2026). Studi Kualitas Udara Ambien Berdasarkan Konsentrasi PM_{2.5} Dan NO₂ Di Kawasan Industri Batamindo, Kota Batam. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), 29-35.
<https://Publikasi.Feliciajurnal.Com/Index.Php/JTL/Article/View/42>
- Santiago, J. L., Rivas, E., Sanchez, B., Buccolieri, R., Vivanco, M. G., Martilli, A., & Martini, F. (2024). Impact Of Single And Combined Local Air Pollution Mitigation Measures In An Urban Environment. *Science Of The Total Environment*, 924. <https://iris.unisalento.it/Handle/11587/515288>
- Umah, R., & Gusmira, E. (2024). Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Masyarakat Di Perkotaan. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 3(3), 103-112.
<https://doi.org/10.58192/Profit.V3i3.2246>
- Wang, B., Loo, B. P., Liu, J., Lei, Y., & Zhou, L. (2024). Urban Vibrancy And Air Pollution: Avoidance Behaviour And The Built Environment. *International Journal Of Urban Sciences*, 28(4), 611-630. <https://doi.org/10.1080/12265934.2024.2320932>
- Wang, W., Cheng, X., & Dai, M. (2022). Strategies For Sustainable Urban Development And Morphological Optimization Of Street Canyons: Measurement And Simulation Of PM_{2.5} At Different Points And Heights. *Sustainable Cities And Society*, 87, 104191.
<https://doi.org/10.1016/J.ScS.2022.104191>
- Yahya, W., Sitawati, A., Fitri, R., Andajani, R. D., & Siswanto, A. N. (2025). Kajian Daya Serap Ruang Terbuka Hijau Koridor Jalan Tol Jagorawi Dalam Menurunkan Emisi CO₂



Dari Kendaraan. *Desa-Kota: Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, Dan Permukiman*, 7(1), 1-13. <https://doi.org/10.20961/Desa-Kota.V7i1.93910.1-13>

Yang, F., Cui, P. Y., Chen, C., Zhao, Q. X., & Huang, Y. D. (2024). Effects Of Atmospheric Stability On Air Flow And Pollutant Dispersion Characteristics Within Different Scale Urban Areas. *Physics Of Fluids*, 36(12). <https://doi.org/10.1063/5.0237938>

