ANALISA KEMACETAN LALU LINTAS DIRUAS JALAN BOROBUDUR KOTA MALANG TERHADAP KUALITAS UDARA DAN TINGKAT KEBISINGAN/

Okvian Bima Prasetya Negara[1], Nusa Sebayang[2], dan Annur Ma'ruf[3]

[123]Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: Okvianbima@gmail.com

ABSTRACT

This study evaluates congestion's impact on noise and air quality in the Borobudur Street Corridor, Malang. It uses an hourly volume-velocity survey, applies the Greenshields method to model the velocity-density relationship, and measures noise levels for 10 minutes at each site with a Sound Level Meter. Ambient measurements of carbon monoxide, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide are converted to the Air Pollutant Standard Index (ISPU), with capacity calculations based on the 2023 Indonesian Road Capacity Guidelines. Results indicate an effective capacity of 2,588.76 Passenger Car Units (SMP) per hour and a peak volume of about 1,586 SMP per hour. The Greenshields curve shows a speed reduction of 16–19 km/h at a density of 79–89 SMP/km ($R^2 = 1$). Carbon monoxide levels ranged from 6,798–19,535 µg/m³, nitrogen dioxide from 368–376 µg/m³, and sulfur dioxide was undetected, with a daily index rated as 'Good.' However, peak hour noise reached 82.88 dB, exceeding the commercial area standard of 70 dB. The study concludes that congestion negatively affects the acoustic environment, despite good air quality. This research is notable for its simultaneous analysis of traffic, noise, and ISPU modeling in one corridor. Recommendations include time-based travel management, limiting peak heavy vehicle traffic, arranging side obstacles, and establishing green belts.

Keywords: Traffic congestion; traffic noise; ambient air quality; Greenshields modeling

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menilai dampak kemacetan terhadap kebisingan dan kualitas udara di Koridor Jalan Borobudur, Malang. Metode meliputi survei volume–kecepatan per jam, pemodelan hubungan kecepatan–kepadatan metode Greenshields, pengukuran kebisingan menggunakan Sound Level Meter selama 10 menit per titik, serta pengukuran ambien karbon monoksida, nitrogen dioksida, dan sulfur dioksida yang dikonversi ke Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU); kapasitas dihitung merujuk Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023. Hasil menunjukkan kapasitas efektif 2.588,76 Satuan Mobil Penumpang (SMP) per jam, dengan volume puncak sekitar 1.586 SMP per jam dan kurva Greenshields yang menegaskan penurunan kecepatan hingga 16–19 km/jam pada kepadatan 79–89 SMP/km ($R^2 = 1$). Konsentrasi karbon monoksida berkisar 6.798–19.535 µg/m³, nitrogen dioksida 368–376 µg/m³, dan sulfur dioksida tidak terdeteksi; indeks harian tetap pada kategori "Baik". Sebaliknya, tingkat kebisingan jam puncak mencapai 82,88 dB, melampaui baku mutu kawasan perdagangan 70 dB. Disimpulkan bahwa kemacetan memperburuk lingkungan akustik meski mutu udara ambien terindikasi baik; kebaruan penelitian terletak pada integrasi simultan pemodelan lalu lintas, kebisingan, dan ISPU pada satu koridor. Rekomendasi meliputi manajemen permintaan perjalanan berbasis waktu, pembatasan kendaraan berat saat puncak, penataan hambatan samping, dan sabuk hijau.

Kata kunci: Kemacetan lalu lintas; kebisingan lalu lintas; kualitas udara ambien; pemodelan Greenshields

1. PENDAHULUAN

Jl. Borobudur di Kota Malang merupakan koridor perkotaan vital penghubung Malang–Batu–Surabaya dengan volume lalu lintas yang tinggi dan campuran kendaraan beragam. Kepadatan yang terjadi menimbulkan eksternalitas lingkungan berupa penurunan kualitas udara—terutama CO dan NO_2—serta kebisingan yang mengganggu aktivitas pendidikan dan perdagangan di sekitar lokasi; wawancara masyarakat juga mengindikasikan gangguan yang kian dirasakan akibat bising lalu lintas. Berbeda dari kajian sebelumnya, penelitian ini secara eksplisit mengadopsi Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 untuk menilai kinerja ruas dan menautkannya dengan dampak lingkungan (udara dan kebisingan) pada tingkat ruas jalan, sehingga menyasar celah riset berupa minimnya bukti berbasis PKJI 2023 yang terintegrasi dan link-level untuk koridor perkotaan padat seperti Jl. Borobudur. Dengan demikian, konteks, urgensi, serta kebaruan penelitian terletak pada pengujian hubungan operasional lalu

lintas–lingkungan dalam satu kerangka analitis yang konsisten dengan pedoman terkini.

Formulasi masalah penelitian dirumuskan sebagai pertanyaan: (1) bagaimana pengaruh kenaikan volume terhadap tingkat kemacetan pada Jl. Borobudur yang direfleksikan melalui perilaku kecepatan-arus dan derajat kejenuhan (DS); (2) bagaimana hubungan volume lalu lintas dengan tingkat kebisingan dB(A) di koridor; (3) sejauh mana kemacetan (penurunan kecepatan/kenaikan DS) meningkatkan konsentrasi CO dan NO_2; dan (4) faktor apa saja (komposisi kendaraan, hambatan samping, waktu observasi, cuaca) yang memoderasi relasi volume–emisi–kebisingan. Sejalan dengan itu, tujuan penelitian adalah: mengkuantifikasi pengaruh volume terhadap kemacetan melalui kurva kecepatan-volume lintas hari; memodelkan keterkaitan volume–kebisingan dengan regresi linear; mengevaluasi dampak kemacetan terhadap konsentrasi CO dan NO_2 berbasis pengukuran lapangan; serta mengintegrasikan temuan untuk melukiskan kondisi koridor secara holistik. Secara teoritis, penelitian diharapkan memperkaya kajian rekayasa lalu lintas lingkungan pada tingkat ruas dengan menautkan indikator PKJI 2023 (kapasitas, DS, kecepatan) dan metrik kualitas lingkungan; secara praktis, temuan mendukung pengendalian hambatan samping, penataan halte/p arkir, dan evaluasi kepatuhan terhadap standar lingkungan di koridor campuran.

Secara antisipatif, diharapkan (i) kemacetan yang lebih tinggi (kecepatan lebih rendah/DS lebih tinggi) berkorelasi dengan konsentrasi CO dan NO_2 yang lebih besar, meski dimoderasi meteorologi dan vegetasi; (ii) hubungan volume–kebisingan tidak sepenuhnya monoton—stop-and-go dapat menurunkan puncak kebisingan karena kecepatan rendah namun meningkatkan durasi pajanan; dan (iii) hambatan samping serta kendala geometrik muncul sebagai tuas kebijakan yang efektif. Tinjauan teoretis menempatkan model kecepatan-arus-kepadatan (Greenshields) sebagai landasan diagnostik operasi koridor; hal ini tercermin pada kurva empiris Q–Us dan Us–D yang dihimpun di Jl. Borobudur dan pada bentuk fungsional yang digunakan dalam analisis. Kerangka penelitian memposisikan permintaan lalu lintas (volume per kelas kendaraan) dan suplai prasarana (geometri, kapasitas)—yang dipengaruhi hambatan samping—sebagai penentu keadaan operasi (kecepatan, DS), yang selanjutnya memengaruhi konsentrasi polutan dekat-jalan dan tingkat kebisingan; faktor eksogen (cuaca, vegetasi, pola waktu) berperan sebagai moderator.

2. KEMACETAN

Menurut KBRI, kemacetan merupakan suatu keadaan di mana arus lalu lintas mengalami penyumbatan atau bahkan berhenti dalam jangka waktu tertentu akibat kapasitas jalan yang tidak memadai untuk menampung jumlah kendaraan yang melintas. Ketika kemacetan terjadi, nilai derajat kejenuhan mencapai lebih dari 0,5 (MKJI, 1997). Selain itu, dalam Undang-undang No. 22 Tahun 2009 tentang arus lalu lintas dan angkutan jalan, lalu lintas didefinisikan sebagai pergerakan kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan. Oleh karena itu, tujuan pemerintah dalam merumuskan Undang-undang adalah untuk memastikan bahwa lalu lintas dan angkutan jalan berlangsung dengan selamat, aman, cepat, lancar, tertib, teratur, nyaman, dan efisien melalui manajemen lalu lintas. Peraturan mengenai arah lalu lintas, prioritas penggunaan jalan, lajur lalu lintas, jalur lalu lintas, dan pengendalian arus di persimpangan menetapkan tata cara berlalu lintas di jalan.

PARAMETER KEMACETAN

Sebagaimana diuraikan dalam artikel jurnal yang berjudul Modelling Kemacetan Lalu Lintas Berdasarkan Asal dan Tujuan (Jain et al., 2017), terdapat empat parameter yang digunakan untuk mengukur kemacetan, yaitu kapasitas, kecepatan, waktu perjalanan, dan biaya yang timbul akibat kemacetan. Berdasarkan informasi dari jurnal yang berjudul Analisis Sensitivitas Biaya Kemacetan Lalu Lintas dalam Jaringan di Bawah Kebijakan Pengenaan Biaya (Mussone et al., 2015), terdapat 14 parameter yang menjadi tolak ukur kemacetan, seperti yang dijelaskan pada tabel di bawah ini:

Tabel 1 Parameter Kemacetan

No	Parameter Kemacetan	Deskripsi
1	Tingkat pelayanan (*Level of service)* jalan	Tingkat pelayanan jalan pada ruas jalan atau di persimpangan dinyatakan dari tingkat A (arus lancar) hingga tingkat f (macet)
2	Waktu tempuh perjalanan dasar	Perbandingan waktu yang diperlukan untuk perjalanan pada periode jam sibuk dengan keadaan arus yang bebas (hanya memperhitungkan tundaan yang normal).
3	Indeks waktu tempuh perjalanan	Perbandingan durasi perjalanan pada periode jam sibuk dengan keadaan arus bebas (mempertimbangkan penundaan normal dan insiden lalu lintas).
4	Presentase waktu tempuh perjalanan dalam kondisi macet	Persentase waktu yang dihabiskan dalam perjalanan ketika terjadi kemacetan lalu lintas.
5	Waktu tempuh perjalanan kondisi arus bebas dua kondisi	Evaluasi durasi perjalanan pada jam puncak dibandingkan dengan waktu dalam kondisi arus bebas
6	Analisis biaya manfaat (*Benefit Cost Ratio/BCR)*	Analisis biaya dan manfaat untuk menetapkan prioritas investasi berdasarkan nilai CBR
7	Tundaan rata-rata tahunan	Jumlah waktu yang hilang setiap tahunnya karena terjebak macet di jalan.
8	Tundaan tahunan per kapita	Waktu macet rata-rata yang dialami setiap orang dalam setahun karena lalu lintas yang padat.
9	Tundaan tahunan per pengguna jalan	Jumlah jam yang hilang karena macet dalam setahun, yang dirasakan oleh tiap orang yang aktif menggunakan jalan.
10	Rata-rata kecepatan lalu lintas	kecepatan rata-rata kendaraan di jalan tertentu. Semakin rendah kecepatannya, semakin para biasanya kemacetannya. (contohnya jam puncak).
11	Rata-rata waktu tempuh perjalanan komuter	waktu yang biasanya dibutuhkan orang untuk sampai ke tempat kerja atau sekolah dari rumah.
12	Rata-rata waktu tempuh per kapita	rata-rata waktu perjalanan untuk seluruh penduduk, termasuk yang tidak berpergian.

KUALITAS UDARA

Udara adalah elemen vital bagi semua makhluk hidup, mengandung oksigen yang penting untuk kelangsungan hidup. Baku mutu udara merujuk pada standar kualitas yang berkaitan dengan komposisi dan jumlah kandungan udara, terutama setelah pencemaran yang melebihi batas normal, yang dapat menurunkan kualitas udara dan memengaruhi keseimbangan kehidupan. Udara dibagi menjadi dua kategori: udara emisi, yang berasal dari sumber seperti knalpot kendaraan dan cerobong industri, dan udara ambien, yang dihirup oleh makhluk hidup sehari-hari. Untuk menjaga kualitas udara ambien, pengendalian pencemaran diperlukan, termasuk pemantauan kualitas udara di area padat aktivitas. Udara ambien juga dievaluasi untuk mengidentifikasi polutan seperti SO2, NO2, CO, dan HC. Menurut PP No. 22 Tahun 2021, udara ambien adalah udara di troposfer yang berpengaruh pada kesehatan manusia dan lingkungan. Baku mutu udara ambien didefinisikan sebagai batas konsentrasi zat dan energi yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2024.

Tabel 2 Dampak Polutan terhadap kesehatan tubuh

Jenis polutan	Dampak pada kesehatan
Karbon monoksida (CO)	Mengganggu proses pengabsorpsian oksigen oleh sel darah merah. Akibatnya menurunkan kemampuan berpikir, memperlambat refleks, menjadi pencetus angina (radang tenggorokan), dan rasa mengantuk. CO juga mempengaruhi pertumbuhan janin dan pembentukan jaringan pada bayi dan anak. Bersama polutan lain, CO bisa menyebabkan kematian pada orang-orang yang mempunyai problem dengan sistem pernapasannya. CO juga bertanggung jawab terhadap turunnya produktivitas pekerja dan berbagai ketidaknyamanan lainnya.
Nitrogen oksida (NO)	Melemahkan sistem pertahanan tubuh, sehingga virus influenza lebih gampang menyerang, menyebabkan paru teriritasi sehingga muncul oedema, bronchitis, dan pneumonia. Para pengidap asma juga menjadi lebih sensitif terhadap debu dan serbuk tanaman. Makin besar dampaknya bila bersama-sama polutan lain.
Hidrokarbon (HC)	Mengiritasi mata, mencetuskan batuk dan mengi, rasa mengantuk, dan bercak kulit. HC juga diduga karsigenik, penyebab kanker, serta bertanggung jawab pada perubahan kode genetik.
Ozon (HC dan Nox)	Mengiritasi membran mukosa pada sistem pernapasan, menyebabkan batuk, bersin, dan kadar tersedak, serta merusak fungsi pernapasan. HC dan Nox juga mengiritasi mata, jadi penyebab sakit kepala dan segala ketidaknyamanan lainnya, menurunkan kekebalan tubuh terhadap flu dan pneumonia. Bisa mencetuskan serangan jantung kronis, asma, bronchitis, dan empisema.

KEBISINGAN

Kebisingan lalu lintas berasal dari suara kendaraan bermotor, terutama mesin dan knalpot, serta interaksi roda dengan jalan. Truk, bus, dan mobil penumpang adalah sumber utama kebisingan di jalan raya. Menurut Sudrajad & Gurning (2016), kebisingan dapat dikategorikan sebagai: a. Kebisingan frekuensi luas yang konstan, seperti suara kipas angin. b. Kebisingan frekuensi sempit yang terus-menerus, seperti gergaji sirkuler. c. Bising kontinyu dengan fluktuasi maksimum 6 dB, terbagi menjadi: 1) Wide Spectrum, yang stabil dengan fluktuasi tidak lebih dari 5 dB, seperti suara kipas angin. 2) Narrow Spectrum, yang konstan pada frekuensi tertentu (500, 1000, 4000 Hz), seperti gergaji sirkuler. d. Kebisingan tidak terus-menerus yang muncul dan hilang, seperti suara kendaraan dan kebisingan bandara. e. Kebisingan impulsif dengan perubahan tekanan lebih dari 40 dB yang cepat, dapat mengejutkan.

Tabel 3 Baku mutu Kebisingan

		Peruntukan Kawasan/Lingkungan Kegiatan	Tingkat Kebisingan dB (A)
a.	Peruntukan Kawasan		
	1.	Perumahan dan Pemukiman	55
	2.	Perdagangan dan Jasa	70
	3.	Perkantoran dan Perdagangan	65
	4.	Ruang Terbuka Hijau	50
	5.	Industri	70
	6.	Pemerintahan dan Fasilitas Umum	60
	7.	Rekreasi	70
	8.	Khusus	
		- Bandar Udara *	
		- Stasiun Kereta Api *	
		- Pelabuhan Laut	70
		- Cagar Budaya	60
b.	Lingkungan Kegiatan		
	1.	Rumah Sakit atau Sejenisnya	55
	2.	Sekolah atau Sejenisnya	55
	3.	Tempat Ibadah atau Sejenisnya	55

ANALISA REGRESI

Untuk menganalisis hubungan kemacetan pada ruas jalan dengan kualitas udara dan tingkat kebisingan. Dalam hal ini, mendefinisikan variabel-variabel berikut:

X : Kecepatan kendaraan (dalam satuan km/jam)

Y : Tingkat Kebisingan (dalam satuan decibel, dB)

Y : Kualitas udara (dalam satuan konsentrasi polutan, µg/m3)

Untuk menganalisis hubungan antara kemacetan, kualitas udara, dan tingkat kebisingan, model regresi linear yang dapat digunakan adalah sebagai berikut :

$$Z = \delta_0 + \delta_1 X + \delta_2 Y + \epsilon$$

Keterangan :

Z : Kualitas udara, diukur dalam konsentrasi polutan (µg/m3).

X : Volume kendaraan, diukur dalam kendaraan per jam (SMP/jam)

Y : Tingkat kebisingan, diukur dalam decibel (dB).

Model ini dirancang untuk menganalisis bagaimana volume kendaraan yang tinggi dapat memengaruhi tingkat kebisingan dan bagaimana kedua faktor tersebut, secara bersamaan, berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara di area kemacetan (Hasbiah et al., n.d.).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis survei lapangan dengan analisis korelasi dan regresi untuk menguji keterkaitan kemacetan lalu lintas terhadap kualitas udara dan kebisingan pada Jl. Borobudur—koridor strategis penghubung Malang–Batu–Surabaya yang dipilih karena intensitas pergerakan dan aktivitas kawasan yang tinggi sehingga representatif untuk studi dampak lingkungan pada tingkat ruas. Variabel yang dikaji meliputi volume lalu lintas (Q), kecepatan (Us), Hambatan Samping, konsentrasi CO, NO_2, SO_2, serta tingkat kebisingan dB(A).

Metode Pengumpulan Data:

1. Observasi geometrik ruas: pengukuran tipe jalan, lebar lajur, dan bahu jalan.

2. Pencacahan volume lalu lintas: interval setiap 15 menit pukul 06.00–18.00 WIB untuk memperoleh volume, kecepatan rata-rata, hambatan samping (KHS), jenis kendaraan dominan, dan tingkat kemacetan.

3. Survei kecepatan arus lalu lintas (waktu & kecepatan) pada lokasi yang sama dengan pengamatan volume.

4. Pengukuran kualitas udara: CO memakai Smart Sensor CO Meter AS8700A; NO_2 & SO_2 memakai BOSEAN Single Gas Detector BH-90A; pengukuran dilakukan per jam (durasi 15 menit) pukul 06.00–18.00 WIB pada Senin, selasa, Sabtu dan minggu.

5. Pengukuran kebisingan: Sound Level Meter SL-5868P, pengukuran setiap 5 menit pada periode kemacetan.

Metode Analisis:

1. Korelasi/Regresi: uji korelasi (r) antara indikator kemacetan (Q, Us, DS) dengan CO, NO_2, SO_2 dan kebisingan; gunakan regresi linear untuk memodelkan hubungan volume–emisi dan volume–kebisingan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

ANALISA KEMACETAN

Analisis kemacetan pada ruas Jalan Borobudur menunjukkan bahwa variabel kecepatan rata-rata ruang (Us) adalah indikator paling peka terhadap perubahan kondisi arus: pada jam puncak, peningkatan volume (Q) dan hambatan samping menurunkan Us secara nyata, memperpanjang waktu tempuh (TT), dan mendorong derajat kejenuhan (DS = Q/C) mendekati atau melampaui kapasitas (C). Dibandingkan dengan kriteria kinerja ruas jalan pada PKJI (2023), segmen penelitian cenderung bergeser ke tingkat pelayanan (LOS) yang lebih rendah (D–F) saat puncak, menandakan penurunan mutu operasi dan kenyamanan berkendara.

Tabel 4 Hasil Analisa Kemacetan berdasarkan parameter

HARI	Arah	Volume (Q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (Ds)	Kecepatan Tempuh (Space Mean Speed)	Tingka Pelayan
Senin, 30 Desember 2024	1	1659,15 (SMP/Jam)	2588,76 SMP/Jam	0,64	18,72 Km/Jam	E
	2	1300,15 (SMP/Jam)	2588,76 SMP/Jam	0,50	28,62 Km/Jam	E
Selasa, 24 Desember 2024	1	1722,2 (SMP/Jam)	2588,76 SMP/Jam	0,67	21,54 Km/Jam	E
	2	1401,9 (SMP/Jam)	2588,76 SMP/Jam	0,54	21,10 Km/Jam	E
Sabtu, 28 Desember 2024	1	1692,85 (SMP/Jam)	2588,76 SMP/Jam	0,65	18,35 Km/Jam	E
	2	1486,2 (SMP/Jam)	2588,76 SMP/Jam	0,57	28,32 Km/Jam	E
Minggu, 29 Desember 2024	1	1829 (SMP/Jam)	2588,76 SMP/Jam	0,71	23,20 Km/Jam	E
	2	1158,7 (SMP/Jam)	2588,76 SMP/Jam	0,45	40,34 Km/Jam	E

Temuan ini mendukung hipotesis awal bahwa kenaikan volume dan hambatan samping menurunkan kecepatan dan kinerja lalu lintas; secara teoretik selaras dengan hubungan klasik kecepatan–arus–kepadatan (Greenshields) dan ringkasan penelitian terdahulu yang menempatkan hambatan samping dan volume tinggi sebagai determinan utama kemacetan.

ANALISA KUALITAS UDARA DAN TINGKAT KEBISINGAN

Pada kondisi kemacetan di Jl. Borobudur, konsentrasi polutan udara jalan raya (CO, NO_2, SO_2) dan tingkat kebisingan menunjukkan respons yang berbeda: polutan gas cenderung tetap dalam kategori aman menurut ISPU, sedangkan kebisingan secara konsisten melampaui baku mutu. Secara rinci, hasil pengukuran empat hari menunjukkan:

Tabel 5 Hasil Analisa Data

Hari	Periode Waktu	Kualitas Udara (CO)	Kualitas udara (NO_2)	Hasil perhitungan ISPU	Hasil Perhitungan ISPU
	(WIB)	µg/m³	µg/m³	CO	NO_2
Senin, 30 Desember 2024	06.00 – 07.00	17,2	5,6	50 (Baik)	31 (Baik)
	07.00 – 08.00	19,5	5,6		
	11.00 – 12.00	16,0	5,6		
	12.00 – 13.00	9,2	5,6		
	16.00 – 17.00	8,0	5,6		
	17.00 – 18.00	6,9	5,6		
Selasa, 24 Desember 2024	06.00 – 07.00	17,2	5,6		
	07.00 – 08.00	19,5	5,6		
	11.00 – 12.00	16,0	5,6		
	12.00 – 13.00	9,2	5,6		
	16.00 – 17.00	8,0	5,6		
	17.00 – 18.00	6,9	5,6		
Sabtu, 28 Desember 2024	06.00 – 07.00	17,2	5,6		
	07.00 – 08.00	19,5	5,6		
	11.00 – 12.00	16,0	5,6		
	12.00 – 13.00	9,2	5,6		
	16.00 – 17.00	8,0	5,6		
	17.00 – 18.00	6,9	5,6	50 (Baik)	31 (Baik)
Minggu, 29 Desember 2024	06.00 – 07.00	17,2	5,6		
	07.00 – 08.00	19,5	5,6		
	11.00 – 12.00	16,0	5,6		
	12.00 – 13.00	9,2	5,6		
	16.00 – 17.00	8,0	5,6		
	17.00 – 18.00	6,9	5,6		

Tabel 6 Hasil lapangan tingkat kebisingan

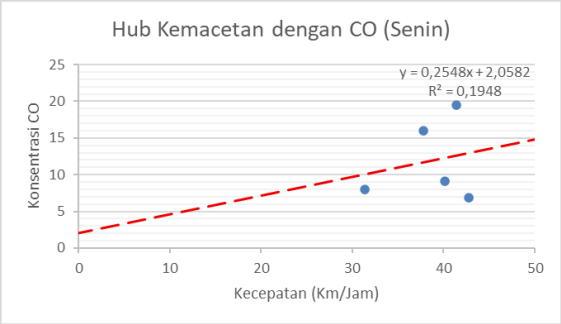
Hari	Periode Waktu	Tingkat Kebisingan	Tingkat kebisingan yang diizinkan
	(WIB)	dB	dB
Senin, 30 Desember 2024	06.00 – 07.00	83,13	≤70 (Tidak diizinkan)
	07.00 – 08.00	79,73	
	11.00 – 12.00	79,73	
	12.00 – 13.00	77,86	
	16.00 – 17.00	75,81	
	17.00 – 18.00	77,86	
Selasa, 24 Desember 2024	06.00 – 07.00	81,0	
	07.00 – 08.00	81,83	
	11.00 – 12.00	77,4	
	12.00 – 13.00	76,00	
	16.00 – 17.00	76,7	
	17.00 – 18.00	75,18	
Sabtu, 28 Desember 2024	06.00 – 07.00	76,8	
	07.00 – 08.00	78,5	
	11.00 – 12.00	77,4	
	12.00 – 13.00	76,00	
	16.00 – 17.00	76,7	
	17.00 – 18.00	75,18	
Minggu, 29 Desember 2024	06.00 – 07.00	77,7	
	07.00 – 08.00	78,7	
	11.00 – 12.00	76,8	
	12.00 – 13.00	78,67	
	16.00 – 17.00	76,6	
	17.00 – 18.00	77,54	

HUBUNGAN KEMACETAN DENGAN KUALITAS UDARA

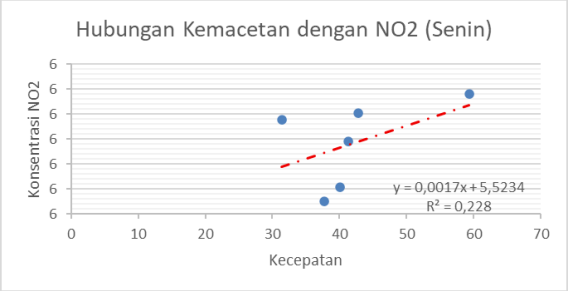
Kemacetan meningkatkan emisi gas buang kendaraan dan menurunkan kualitas udara di sekitar ruas jalan, paparan polutan berdampak pada kesehatan pernapasan dan kardiovaskular. Kondisi lalu lintas padat cenderung menaikkan konsentrasi polutan seperti CO dan NO_2 di udara perkotaan.

Tabel 7 Korelasi kemacetan dengan kualitas udara

Periode Waktu	Kecepatan rata-rata (Us) Keseluruhan	Kualitas udara		
		CO	NO2	SO2
06.00 – 07.00	59,35 Km/Jam	17,18	5,64	0
07.00 – 08.00	41,36 Km/Jam	19,47	5,60	0
11.00 – 12.00	37,76 Km/Jam	16,03	5,55	0
12.00 – 13.00	40,11 Km/Jam	9,16	5,56	0
16.00 – 17.00	31,37 Km/Jam	8,019	5,62	0
17.00 – 18.00	42,77 Km/Jam	6,874	5,62	0



Gambar 1 Diagram Hubungan Kemacetan dengan konsentrasi CO pada hari senin



Gambar 2 Diagram Hubungan Kemacetan dengan NO_2

Secara umum, kemacetan berpotensi menurunkan kualitas udara, namun kekuatan hubungan langsung "kecepatan ↔ polutan" pada lokasi dan periode uji ini cenderung lemah (R^2 umumnya < 0,25). CO lebih sering menunjukkan tren negatif terhadap kecepatan (lalu lintas lancar → CO lebih rendah). sedangkan NO_2 bervariasi: positif lemah pada Senin dan negatif sangat lemah pada Selasa. Kondisi hari kerja (Senin) dengan kecepatan lebih tinggi dan volume puncak memperlihatkan risiko akumulasi polutan lebih besar dibanding akhir pekan. SO_2 tidak terdeteksi (0,0 µg/m³), sehingga tidak ditemukan pola hubungan untuk parameter ini.

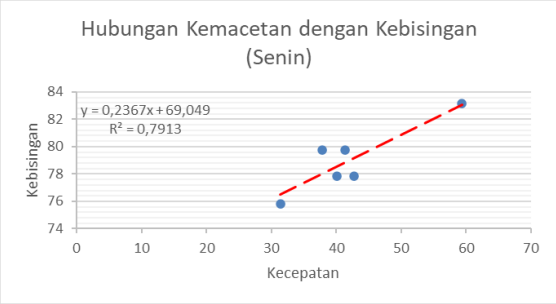
HUBUNGAN KEMACETAN DENGAN KEBISINGAN

Pengamatan dilakukan di Jl. Borobudur, Kota Malang, selama empat hari: Selasa 24/12/2024, Sabtu 28/12/2024, Minggu 29/12/2024, dan Senin 30/12/2024, pada interval 06.00–07.00; 07.00–08.00; 11.00–12.00; 12.00–13.00; 16.00–17.00; 17.00–18.00. Kebisingan diukur sebagai LAeq (metode

perhitungan tingkat kebisingan sinambung setara) dengan pengambilan data setiap 5 detik selama 10 menit per jam observasi; bila alat tidak mengekstrak LAeq otomatis, nilai dihitung menggunakan rumus Leq (2.4). Indikator kemacetan menggunakan kecepatan (Us) rata-rata per jam (km/jam). Hubungan Us–LAeq dianalisis dengan regresi linier dan korelasi Pearson, dilaporkan persamaan ($y = a + b\ x$), R, R^2, dan p-value ($\alpha = 0{,}05$).

Tabel 8 Hubungan kemacetan dengan kebisingan

Periode Waktu	Kecepatan rata-rata (Us) Keseluruhan	Kebisingan
		dB
06.00 – 07.00	59,35	83,13
07.00 – 08.00	41,36	79,73
11.00 – 12.00	37,76	79,73
12.00 – 13.00	40,11	77,86
16.00 – 17.00	31,37	75,81
17.00 – 18.00	42,77	77,86



Gambar 3 Diagram Hubungan Kemacetan dengan kebisingan pada hari senin

Hubungan kuat dan signifikan mengindikasikan peran dominan kecepatan terhadap kebisingan—konsisten dengan logika fisik suara mesin, gesekan ban–aspal, dan efek aerodinamik pada kecepatan lebih tinggi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis selama 4 hari di ruas Jalan Borobudur, Kota Malang, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa hubungan antara volume kendaraan dan kecepatan membentuk kurva parabola terbalik pada seluruh hari pengamatan, yang mencerminkan karakteristik kemacetan lalu lintas.

a. Hari Senin: Volume maksimum ±1515 smp/jam terjadi pada kecepatan ±18–19 km/jam, menunjukkan bahwa setelah titik tersebut, kecepatan menurun tajam akibat kemacetan.

b. Hari Selasa: Volume tertinggi ±1600 smp/jam tercapai pada kecepatan ±15 km/jam, kemudian kecepatan terus turun saat volume meningkat.

c. Hari Sabtu: Volume maksimum mendekati ±1500 smp/jam tercapai pada kecepatan ±15–16 km/jam, lalu terjadi penurunan kecepatan yang mencerminkan kemacetan.

d. Hari Minggu: Volume tertinggi mencapai ±1800 smp/jam pada kecepatan ±22 km/jam dengan $R^2 = 1$, menunjukkan korelasi sempurna antara peningkatan volume dengan penurunan kecepatan setelah titik puncak.

Semakin tinggi volume kendaraan, terutama setelah melewati titik kapasitas optimal, maka kecepatan kendaraan menurun drastis dan memicu kemacetan. Pola ini konsisten terjadi di setiap hari pengamatan, menandakan bahwa kemacetan di ruas Jl. Borobudur sangat dipengaruhi oleh tingginya volume kendaraan yang melebihi ambang kapasitas jalan.

2. Berdasarkan hasil analisis selama empat hari pengamatan, hubungan antara volume kendaraan dengan tingkat kebisingan di ruas Jalan Borobudur menunjukkan pola negatif, yakni semakin tinggi volume kendaraan maka tingkat kebisingan cenderung menurun. Hal ini terlihat kuat pada hari kerja, terutama hari Senin ($R^2 = 0{,}7835$) dan Selasa ($R^2 = 0{,}6638$), di mana kemacetan menyebabkan kendaraan bergerak lambat atau berhenti sehingga suara mesin dan gesekan ban berkurang. Sebaliknya, saat volume kendaraan rendah, kecepatan kendaraan meningkat dan menghasilkan kebisingan yang lebih besar. Pada akhir pekan, hubungan ini melemah seperti terlihat pada hari Minggu ($R^2 = 0{,}1773$) dan sangat lemah pada hari Sabtu ($R^2 = 0{,}0033$), menunjukkan bahwa volume kendaraan bukan faktor utama yang memengaruhi kebisingan, melainkan dipengaruhi oleh jenis aktivitas, perilaku pengemudi, serta kondisi lingkungan sekitar. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara volume kendaraan dan kebisingan bersifat negatif, namun kekuatannya bervariasi tergantung pada hari dan pola lalu lintas yang berlangsung.

3. Kemacetan lalu lintas di ruas Jalan Borobudur berpotensi meningkatkan emisi gas buang kendaraan bermotor, khususnya terhadap polutan karbon monoksida (CO). Hal ini dibuktikan secara empiris pada hari Senin, 30 Desember 2024, yang menunjukkan hubungan positif lemah-sedang antara kecepatan kendaraan dan konsentrasi CO dengan nilai $R^2 = 0{,}2021$, serta pada hari Minggu, 29 Desember 2024, dengan hubungan negatif lemah-sedang dan nilai $R^2 = 0{,}1886$. Kedua hasil tersebut mengindikasikan bahwa saat lalu lintas padat dan kecepatan kendaraan rendah (kondisi macet), terjadi akumulasi emisi CO di lokasi pengukuran. Sementara itu, untuk emisi nitrogen dioksida (NO_2), hubungan antara kecepatan dan kadar NO_2 cenderung positif tetapi lemah, seperti terlihat pada hari Sabtu ($R^2 = 0{,}2294$) dan Minggu ($R^2 = 0{,}2176$), yang menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan justru

dapat meningkatkan emisi NO_2 akibat pembakaran mesin yang lebih intensif. Dengan demikian, kemacetan berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO, sedangkan emisi NO_2 lebih dipengaruhi oleh intensitas pembakaran mesin pada kecepatan tinggi, menjadikan kecepatan kendaraan sebagai salah satu faktor penting namun bukan satu-satunya yang menentukan tingkat polusi udara di kawasan tersebut.

4. Hubungan antara volume kendaraan, emisi gas buang, dan tingkat kebisingan di ruas Jalan Borobudur dipengaruhi oleh beberapa faktor utama. Pertama, kecepatan dan akselerasi kendaraan: kendaraan yang sering berhenti dan mulai (stop and go) menghasilkan emisi dan kebisingan lebih tinggi (Zainordin et al., 2014). Kedua, jenis kendaraan: truk dan bus menghasilkan emisi dan kebisingan lebih tinggi dibandingkan mobil penumpang. Ketiga, kondisi geometrik jalan dan permukaan jalan: jalan rusak atau menanjak meningkatkan kerja mesin sehingga menambah emisi dan kebisingan. Keempat, kondisi lingkungan sekitar, seperti bangunan dan vegetasi, memengaruhi penyebaran suara dan akumulasi polutan. Faktor-faktor ini menjelaskan mengapa volume kendaraan saja tidak cukup untuk memprediksi emisi dan kebisingan secara akurat.

DAFTAR PUSTAKA (DAN PENULISAN PUSTAKA)

Abadiyah, S., Alfandi, B., & DwiKusuma, S. E. (2023). Analisa Kemacetan Lalu Lintas Di Ruas Jalan Raya Gatot Subroto. Structure, 4(2), 88. https://doi.org/10.31000/civil.v4i2.8068

Al-Shargabi, A. A., Almhafdy, A., AlSaleem, S. S., Berardi, U., & Ali, A. A. M. M. (n.d.). Optimizing Regression Models for Predicting Noise Pollution Caused by Road Traffic. https://doi.org/10.3390/su151310020

Asgarian, F., Hejazi, S. R., Khosroshahi, H., & Safarzadeh, S. (2024). Vehicle pricing considering EVs promotion and public transportation investment under governmental policies on sustainable transportation development: The case of Norway. Transport Policy, 153, 204–221. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.05.017

Balirante, M., Lefrandt, L. I. R., & Kumaat, M. (2020). Analisa Tingkat Kebisingan Lalu Lintas Di Jalan Raya Ditinjau Dari Tingkat Baku Mutu Kebisingan Yang Diizinkan. Jurnal Sipil Statik, 8(2), 249–256.

Bina Marga Direktorat Jendral. (2023). Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2023. DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA.

CAHYONO, A. A. (2023). Analisa Kemacetan Lalu Lintas Di Jalan Provinsi Ruas Jalan Karanglo – Jalan Bts Kota Batu Karangploso Kabupaten Malang. Structure, 4(2), 88.

Fauzan, M. K., Sebayang, N., & Surbakti, S. (2024). Analisa Hubungan Antara Kemacetan dan Pencemaran Udara Kota Malang. Student Journal GELAGAR, 2, 1–10.

Hasbiah, A. W., Afiatun, E., Aulia, M. N., & Yustiani, Y. M. (n.d.). Noise Pollution in Urban Areas : Measurement and Analysis of Traffic Noise Impacts on Health and Education Services in Bandung City. https://doi.org/10.23969/jcbeem.v8i2.17478

Jain, S., Jain, S. S., & Jain, G. (2017). Traffic Congestion Modelling Based on Origin and Destination. Procedia Engineering, 187, 442–450. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.398

Kemenkes. (2024). Permenkes RI No. 2 Tahun 2024 tentang Pedoman Penyelenggaraan Dekonsentrasi Kementrian Kesehatan Tahun 2024. jdih.kemkes.go.id

Kimberluy, N. (2022). 12 Best Ways To Get Cars Out of Cities – Ranked By New Research. The Conversation.

Kurniawan, A. (2019). Dasar-Dasar Analisa Kualitas Udara. Wineka Media.

Kusnandar, M. (2020). Permen LHK Nomor 14/2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020, 1–16.

Menteri Lingkungan Hidup. (2021). Tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/

Mussone, L., Grant-Muller, S., & Laird, J. (2015). Sensitivity analysis of traffic congestion costs in a network under a charging policy. Case Studies on Transport Policy, 3(1), 44–54. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cstp.2014.03.001

Sudrajad, A. E., & Gurning, S. R. (2016). Pengantar Teori Kebisingan Mesin (Maman Fathurrohman (ed.)). Untirta Press. http://www.up.untirta.ac.id

Suhadi, D. R., & Febrina, A. S. (2013). Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan. Biru Langituku. https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/609/190710181542PEDOMAN TEKNIS PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI.pdf

Wiyono, A. S., Dewadi, F. M., Della, R. H., Sugiyanto, G., Rustam, M. S. P. A., Bakri, M. D., Yunus, A. I., Rustan, F. R., Dairi, R. H., & Sari, D. P. (2023). Rekayasa Lalu Lintas (Tahta Media (ed.); Issue July). Tahta Media Group. https://books.google.co.id/books?id=a3DBEAAAQBAJ

Zainordin, N. S., Ramli, N. A., Sulaiman, M., & Awang, N. R. (2014). A Review of the Effects of Traffic, Road Characteristics, and Meteorological Conditions on Ozone Precursors from Vehicle Emissions. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 3(11), 1249–1252.