

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Paparan CO dan NO_x terhadap Pelajar Pengguna Trans Jogja (Studi Kasus Halte Cik Di Tiro 1)

Novia Suryadwanti^{1*}, Rheza Tri Nugroho¹, Suwartanti¹, Dewi Prathita Rachmi¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.

Email : * noviasuryadwanti@uny.ac.id

Info Artikel	Abstract
Diajukan : 10 Oktober 2024 Diperbaiki : 19 Oktober 2024 Disetujui : 28 Oktober 2024	<i>Carbon monoxide (CO) and mono-nitrogen oxide (NO_x) are among the most abundant pollutants produced by vehicles. Exposure to CO and NO_x gases causes negative impacts on human health, especially for asthma sufferers and children. Users of public bus transportation, such as Trans Jogja, are at high risk of exposure to air pollution because of bus stops are generally located on the side of the road which is an area with high levels of air pollution. From a survey conducted in 2023 of Trans Jogja users, it is known that most Trans Jogja users are students. Therefore, research will be mainly focused on the impact of air pollution on students. This research uses the Environmental Health Risk Analysis approach to identify and measure the health risks posed by long traffic queues and exposure time to air pollution during the waiting time for the Trans Jogja bus at the Cik Di Tiro 1 stop. From the analysis, intake value obtained for both pollutants was 0,00034103 (mg/kg/day) for CO and 0,00003307 (mg/kg/day) for NO_x. The RQ value is 0,00034103 for carbon monoxide and 0,004426487 for nitrogen dioxide, meaning that both risk agents are safe ($RQ \leq 1$) or are still included in the safe category. The results of risk characterization showed that CO and NO_x risk agents at Cik Di Tiro 1 Bus Stop did not significantly affect the health of individual respondents. This low level of risk significance is due to good Trans Jogja service so that user waiting times are relatively short.</i>

Keywords: Trans Jogja, CO, NO_x

Abstrak

Karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NO_x) adalah polutan utama yang dihasilkan kendaraan bermotor. Paparan terhadap gas ini dapat berdampak buruk pada kesehatan, terutama bagi penderita asma dan anak-anak. Pengguna transportasi umum, seperti Trans Jogja, berisiko tinggi terpapar polusi udara karena halte bus umumnya terletak di tepi jalan dengan tingkat polusi yang tinggi. Berdasarkan survei tahun 2023, mayoritas pengguna Trans Jogja adalah mahasiswa, sehingga penelitian ini berfokus pada dampak polusi udara terhadap kelompok ini. Penelitian ini menggunakan pendekatan Environmental Health Risk Analysis untuk mengukur risiko kesehatan akibat antrian lalu lintas dan waktu paparan polusi saat menunggu di halte Cik Di Tiro 1. Hasil analisis menunjukkan nilai intake polutan CO sebesar 0,00034103 (mg/kg/hari) dan NO_x sebesar 0,00003307 (mg/kg/hari). Nilai RQ untuk CO adalah 0,00034103 dan untuk nitrogen dioksida adalah 0,0044, yang menunjukkan bahwa kedua polutan tersebut aman ($RQ \leq 1$). Karakterisasi risiko menunjukkan bahwa paparan CO dan NO_x di halte Cik Di Tiro 1 tidak berisiko signifikan terhadap kesehatan pengguna. Rendahnya tingkat risiko ini disebabkan oleh layanan Trans Jogja yang baik, sehingga waktu tunggu pengguna relatif singkat.

Kata kunci: Trans Jogja, CO, NO_x

1. PENDAHULUAN

Di daerah perkotaan di Indonesia terutama pada kota-kota besar, pencemaran udara telah menjadi suatu permasalahan lingkungan yang serius [1]. Tanpa disadari, kualitas udara yang buruk di perkotaan sebenarnya telah menurunkan kualitas hidup masyarakat kota, khususnya pada masyarakat yang bertempat tinggal sekitar kawasan industri dan dekat dengan sektor transportasi [2]. Polutan yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor antara lain karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), sulfur dioksida (SO₂), timah hitam (Pb) dan karbon dioksida (CO₂) [3]. Dampak pencemaran udara tidak hanya terbatas pada lingkungan, tetapi juga pada kesehatan manusia. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menyatakan bahwa polusi udara

telah berkontribusi terhadap 7,6% kematian dini setiap tahunnya dan juga mengurangi jumlah tahun harapan hidup [4][5].

Gas CO dan NO_x merupakan dua polutan yang akan diteliti dampaknya pada kesehatan. Kedua gas ini dipilih karena merupakan polutan yang paling banyak dihasilkan dari emisi gas kendaraan [6]. Emisi gas CO dapat memberikan dampak kesehatan serius. Ketika dihirup, CO mengikat hemoglobin dalam darah dan membentuk karboksihemoglobin (COHb), yang mengurangi kapasitas darah untuk mengangkut oksigen [7]. Orang dengan kondisi rentan seperti penderita penyakit jantung dan paru-paru, anak-anak, serta wanita hamil, memiliki risiko lebih tinggi terhadap efek buruk CO [8].

Selain itu, emisi gas dari kendaraan bermotor juga banyak mengandung nitrogen oksida (NO_x), yang terdiri dari dua komponen utama yaitu nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂). Pada saat pembakaran terjadi di mesin kendaraan, sebagian besar emisi NO_x yang dihasilkan adalah nitrogen monoksida (NO). Namun, ketika gas buangan ini dilepaskan ke atmosfer, NO dapat dengan cepat bereaksi dengan oksigen atau ozon di udara dan berubah menjadi nitrogen dioksida (NO₂) [9]. NO_x adalah gas yang berbahaya karena berkontribusi langsung terhadap pencemaran udara dan masalah kesehatan seperti gangguan pernapasan serta penurunan kualitas udara [10]. Keduanya berperan dalam membentuk ozon troposfer dan hujan asam, serta menyebabkan penurunan visibilitas dan dampak negatif bagi kesehatan manusia, terutama bagi penderita asma dan anak-anak [11].

Pengguna angkutan umum bus seperti Trans Jogja berisiko tinggi terpapar polusi udara. Hal ini dikarenakan halte bus umumnya terletak di pinggir jalan yang merupakan area dengan tingkat polusi udara yang tinggi dan merupakan tempat yang sering digunakan untuk kendaraan berhenti [12][13]. Menurut Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 127 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Sistem Angkutan Perkotaan Bersubsidi Trans Jogja Dengan Sistem *Buy The Service*, Trans Jogja merupakan angkutan penumpang umum yang bersubsidi di Kawasan Perkotaan Yogyakarta. Saat ini Trans Jogja melayani 18 rute dengan sistem tarif flat, Rp 3600,- menggunakan pembayaran tunai atau *qris*, Rp 2700,- jika menggunakan pembayaran *e-wallet* atau *e-money* dan diskon sampai dengan Rp 60,- dengan menggunakan kartu pelajar [14]. Tarif diskon yang diberikan kepada pelajar ini dimaksudkan untuk menarik minat pelajar di Daerah Istimewa Yogyakarta untuk menggunakan angkutan umum Trans Jogja sebagai moda transportasi dalam kegiatan bersekolah. Karena dalam pemilihan moda transportasi, tarif yang murah atau adanya diskon merupakan salah satu atribut pelayanan bus yang dapat menarik penumpang [15][16].

Dari survei yang dilakukan pada tahun 2023 kepada 112 responden pengguna Trans Jogja diketahui bahwa sebagian besar pengguna Trans Jogja merupakan pelajar yaitu sebanyak 35,71% lalu disusul oleh wiraswasta (30,36%), pekerja paruh waktu (9,82%), serabutan (8,93%), ibu rumah tangga (6,25%) dan lainnya (8,93%) [17]. Salah satu yang perlu diperhatikan dalam hal keamanan pada aspek kesehatan pengguna angkutan umum yaitu pada hubungannya dengan paparan polusi kendaraan [18].

Tinjauan terhadap beberapa penelitian mengungkapkan bukti yang konsisten mengenai hubungan antara paparan polusi udara ambien dengan kesehatan anak-anak, terutama kesehatan pernapasan [4][19]. Polusi udara termasuk di dalamnya gas-gas seperti CO, NO_x, PM₁₀ dan SO₂ berdampak buruk pada kesehatan kardiorespirasi, termasuk peningkatan prevalensi asma pada anak sehingga harus dihindari [20][21].

Oleh karena itu, penelitian mengenai dampak intensitas polusi udara terhadap pelajar pengguna Trans Jogja yang menunggu di halte ini penting dilakukan, yaitu untuk lebih memahami dampak polusi udara terhadap kesehatan pengguna Trans Jogja. Selain itu juga untuk menyediakan data dan informasi yang dapat digunakan oleh pemerintah dan pemangku kepentingan lainnya untuk mengembangkan kebijakan dan program yang efektif untuk mengurangi polusi udara dan melindungi kesehatan manusia.

Identifikasi intensitas pencemaran udara CO dan NO_x di dalam halte Trans Jogja menjadi tujuan utama dalam penelitian ini untuk mengetahui dampak polusi terhadap kesehatan pengguna Trans Jogja. Hasil yang diperoleh digunakan untuk merumuskan rekomendasi kebijakan dan program-program untuk mengurangi pencemaran udara.

2. METODE

Penelitian ini dirancang secara observasional deskriptif atau survei deskriptif, yaitu pengamatan sederhana terhadap suatu fenomena secara objektif tanpa menganalisis hubungan sebab dan akibatnya. Penelitian ini menggunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) sebagai metode untuk mengidentifikasi dan mengukur risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh panjangnya antrian lalu lintas di ruas jalan Cik Di Tiro terhadap waktu paparan polusi udara saat jam tunggu Bus Trans Jogja. Dalam peraturan perundang-undangan Indonesia, metode ARKL ini merupakan pendekatan dari ADKL atau Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan. Landasan hukum ARKL untuk ADKL antara lain yaitu PerMenLH No 08/2006 tentang Pedoman Penyusunan Amdal, dan KepMenKes No 876/Menkes/SK/VIII/2001 tentang Pedoman Teknis ADKL. ARKL ini dilakukan dengan empat tahap kajian, pertama dilakukan identifikasi bahaya agen risiko yang telah ditentukan, setelah itu dilakukan analisis dosis-respon pada rata-rata sub-populasi sasaran, analisis pajanan dilakukan setelahnya untuk mengetahui besar pajanan yang terjadi, lalu dilakukan karakterisasi risiko untuk melihat bagaimana pajanan tersebut berdampak pada sub-populasi sasaran. Setelah diketahui karakter risikonya, analisis dilanjutkan dengan melakukan manajemen risiko dan komunikasi risiko [22].

Data antropometri diambil dari survei wawancara kepada pelajar sekolah di sekitar Halte Cik Di Tiro 1 yang menggunakan Transjogja sebagai moda transportasi. Data dikumpulkan menggunakan instrumen kuisioner. Sedangkan untuk data emisi gas CO dan NO_x diambil dari pemodelan lalu lintas menggunakan perangkat lunak simulasi lalu lintas PTV VISSIM. Untuk dapat memodelkan lalu lintas menggunakan perangkat lunak ini, diperlukan data-data lalu lintas seperti volume lalu lintas, kecepatan kendaraan, panjang antrian, geometri jalan dan perilaku pengemudi. Sehingga dilakukan survei lalu lintas dan geometri jalan pada simpang terdekat dari lokasi survei yaitu simpang Gramedia Sudirman.

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di Halte Trans Jogja Cik Di Tiro 1 Terban, Kecamatan Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu halte dengan di Kota Yogyakarta yang memiliki tingkat penggunaan yang sangat tinggi dengan mayoritas pengguna adalah pelajar. Keberadaan Halte Trans Jogja Cik Di Tiro 1 di antara sejumlah sekolah menjadikan halte tersebut sebagai pusat aktivitas bagi para pelajar, baik sebagai titik keberangkatan maupun tujuan akhir perjalanan. Letak halte yang berdekatan dengan sebuah APILL (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas) menyebabkan tingginya volume kendaraan yang berhenti di sekitar halte. Survei lalu lintas dan pengguna halte dilakukan pada sore hari pukul 15.00 – 17.00 WIB untuk mendapatkan kondisi lalu lintas yang padat dan pengguna halte selaku pelajar.

2.2 Populasi dan Sampel

Sugiyono (2013) mendefinisikan populasi sebagai area generalisasi yang terdiri atas barang atau orang dengan atribut dan fitur tertentu yang dipilih oleh peneliti untuk diinvestigasi dan kemudian ditarik kesimpulannya [23]. Radius layanan Halte Trans Jogja dengan faktor anggapan toleransi pengguna berjalan kaki menuju halte adalah 400 m [24]. Pada penelitian ini populasi yang digunakan adalah pelajar DIY yang bersekolah di SMAN

6 Yogyakarta, SMPN 8 Yogyakarta, SMAN 9 Yogyakarta, dan SMPN 1 Yogyakarta. Beberapa sekolah tersebut merupakan sekolah yang berada pada radius layanan Halte Cik Di Tiro. Jumlah pelajar tiap sekolah ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Jumlah Pelajar Tiap Sekolah di Radius Layanan Halte Cik Di Tiro

Nama Sekolah	Jumlah Pelajar
SMAN 6 Yogyakarta	859
SMPN 8 Yogyakarta	928
SMAN 9 Yogyakarta	754
SMPN 1 Yogyakarta	767
Total	3308

Sumber : Data Pokok Pendidikan Direktorat Jenderal Pendidikan Anak Usia Dini

Berdasarkan tabel di atas maka diperoleh jumlah pelajar yang berada dalam radius layanan Halte Cik Di Tiro 1 adalah sebanyak 3308 pelajar. Populasi yang diambil pada penelitian ini merupakan pelajar yang masuk dalam kriteria inklusi yaitu merupakan pelajar dalam radius layanan halte, menggunakan Bus Trans Jogja dan bersedia menjadi responden. Risdiyanto, *et al.* (2022) menyatakan bahwa sebanyak 15,2% pelajar di Kota Yogyakarta menggunakan Bus Trans Jogja sebagai kendaraan harian, selain itu sebanyak 67,2% menggunakan sepeda motor dan 17,6% menggunakan ojek online [25]. Dari persentase tersebut diperoleh sebanyak 497 pelajar menjadi populasi penelitian.

Penelitian terhadap seluruh responden seringkali tidak mungkin dilakukan karena keterbatasan sumber daya yang dimiliki. Oleh karena itu diperlukan penentuan sampel penelitian. Penentuan besarnya sampel dengan menggunakan rumus *Slovin*, yaitu:

$$n = \frac{497}{1 + 497(0,10)(0,10)^2} = 83,227 \quad (1)$$

Berdasarkan hasil perhitungan sampel dengan persentase kesalahan 10%, diperlukan hasil sebanyak 84 sampel penelitian. Dalam penelitian ini diambil data sebanyak 85 responden sehingga memenuhi nilai minimal sampel pada populasi yang diperhitungkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemodelan dengan PTV VISSIM

Kondisi lalu lintas di Jalan Cik Di Tiro dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Pemodelan dilakukan dengan menginput data survei lalu lintas, data survei geometri jalan dan data survei perilaku berkendara yang sudah diolah ke dalam perangkat lunak. Setelah seluruh data sudah di-input maka dapat dilakukan simulasi pemodelan (*running*). Hasil pemodelan untuk kondisi eksisting harus dilakukan kalibrasi dan validasi untuk memastikan hasil pemodelan dapat merepresentasikan keadaan sebenarnya [26]. Proses kalibrasi dan validasi dilakukan dengan mengubah parameter-parameter perilaku pengemudi atau *driving behavior* secara *trial and error* dengan mengacu pada nilai parameter pada data hasil survei ditambah penelitian-penelitian sebelumnya. Selanjutnya, data hasil simulasi dilakukan analisa dengan Uji GEH (Geoffrey E. Havers) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) hingga mendapatkan nilai hasil kalibrasi yang baik. Hasil kalibrasi dengan uji GEH untuk semua pendekatan simpang sudah memenuhi syarat, dimana nilai yang diperoleh <5 yang berarti model simulasi sudah dapat diterima atau sudah dapat merepresentasikan keadaan sebenarnya [27]. Sedangkan analisis hasil pemodelan memiliki kemampuan yang baik dengan batas nilai maksimal < 50% pada analisis MAPE [28].



Gambar 1. Hasil Pemodelan Lalu Lintas Simpang Gamedia

Berdasarkan analisis kinerja mikrosimulasi lalu lintas pada simpang bersinyal Gamedia Sudirman dengan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM diperoleh output berupa perkiraan emisi gas CO dan NO_x yang ditimbulkan dari lalulintas di simpang tersebut. Besarnya perkiraan emisi gas CO dan NO_x dari hasil simulasi Simpang Gamedia Sudirman adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Emisi Gas CO dan NO_x dari hasil pemodelan VISSIM

Pergerakan	Emission CO (miligram)	Emission NO _x (miligram)
7: Jl Cik Di Tiro - 3: Jl Suroto	2203.407	428.703
2: Jl Jendral Sudirman - 8: Jl Jendral Sudirman	4069.129	791.705
2: Jl Jendral Sudirman - 6: Jl Cik Di Tiro	1040,917	202.525
2: Jl Jendral Sudirman - 3: Jl Suroto	1126.211	219.12
4: Jl Suroto - 6: Jl Cik Di Tiro	2168.168	421.847
4: Jl Suroto - 8: Jl Jendral Sudirman	107.993	21.011
1: Jl Suroto - 3: Jl Suroto	1558.904	303.306
1: Jl Suroto - 6: Jl Cik Di Tiro	431.573	83.968
1: Simpang Gamedia (Total)	12680,042	2467.075

Pada penelitian ini akan diteliti emisi gas buang kendaraan yang dapat mempengaruhi kesehatan pengguna Transjogja di Halte Cik Di Tiro 1, sehingga digunakan data perkiraan emisi gas CO dan NO_x pada pergerakan 7: Jl Cik Di Tiro - 3: Jl Suroto yaitu sebesar 2203,407 gram gas CO dan 428,704 gram gas NO_x.

Perhitungan nilai konsentrasi agen risiko (C) dari masing-masing agen risiko mengacu hasil pemodelan lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM yaitu 2203,4 mg untuk CO dan 428,7 mg untuk NO_x. Hasil pemodelan tersebut lalu diolah untuk mendapatkan konsentrasi agen risiko per meter kubik dengan asumsi panjang jalan Cik Di Tiro ke Jalan Suroto dengan adalah 50,5 meter, lebar jalan 5,5 meter dan tinggi sebaran polutan diasumsikan 1,5 meter. Sehingga diperoleh nilai C untuk agen risiko CO yaitu 5,29 mg/m³ dan untuk agen risiko NO_x yaitu 1,029 mg/m³.

3.2 Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya pada penelitian ini tertuju pada pencemaran karbon monoksida dan NO_x yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor disekitar halte bus Transjogja. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, halte TransJogja di Jalan Cik Di Tiro memiliki beberapa sumber potensi paparan yang mempengaruhi kesehatan masyarakat, terutama pengguna halte. Sumber-sumber tersebut mencakup:

- Emisi kendaraan bermotor: Jalan Cik Di Tiro merupakan jalur lalu lintas padat yang menjadi sumber utama pencemaran udara. Emisi gas buang kendaraan, terutama CO dan NO_x, merupakan ancaman kesehatan bagi masyarakat yang sering menggunakan halte.
- Kepadatan pengguna halte: Kondisi padat pengguna, terutama pada jam sibuk, dapat meningkatkan risiko paparan aerosol dan mikroorganisme patogen melalui udara.
- Kondisi fisik halte: Kurangnya fasilitas ventilasi alami di dalam halte meningkatkan risiko konsentrasi polutan yang lebih tinggi di area tersebut, sehingga memperpanjang waktu pajanan bagi pengguna.

Tabel 3. Identifikasi Bahaya Agen Risiko di Halte Cik Di Tiro 1

Agen Risiko	Konsentrasi	NAB (PP No. 22 Tahun 2021)	Identifikasi Bahaya	Bahaya Kesehatan yang Potensial
Karbon Monoksida (CO)	5,29 mg/m ³	10 mg/m ³	Aman	CO mempunyai daya ikat yang tinggi terhadap Hb pada aliran darah sehingga dapat menjadi penyebab terhalangnya O ₂ masuk ke dalam darah [7].
Nitrogen Dioksida (NO _x)	1,029 mg/m ³	0,2 mg/m ³	Tidak aman	Paparan NO _x dikaitkan dengan penurunan fungsi paru-paru terutama bagi penderita asma dan anak-anak [11].

3.3 Dosis Referensi

Dosis Referensi (RfC) dilakukan dengan membandingkan kadar polutan di lokasi penelitian dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah Indonesia. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, batas maksimum kadar polutan yang diperbolehkan dalam udara selama 24 jam adalah 10,000 mikrogram per meter kubik (µg/m³) untuk karbon monoksida. Untuk memudahkan perhitungan, nilai ini kemudian diubah menjadi 10 miligram per meter kubik (mg/m³). Sedangkan standar baku mutu untuk Nitrogen Dioksida (NO_x) adalah sebesar 150 mikrogram per meter kubik (µg/m³), nilai ini diubah menjadi 0,15 miligram per meter kubik (mg/m³). Perhitungan dosis referensi dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$RfC_{CO} = \frac{CxRxt_Exf_ExD_t}{W_bxt_{avg}} \quad (2)$$

Keterangan:

RfC : Nilai referensi dari agen risiko

C : Baku Mutu Konsentrasi Karbon Monoksida (10 mg/m³ untuk CO dan 0,15 mg/m³ untuk NO)

- R : Laju inhalasi ($0,5 \text{ m}^3/\text{Jam}$)
 T_e : Lama dari pajanan selama 8 (jam/hari)
 f_e : Frekuensi dari pajanan 250 (hari/tahun)
 D_t : Durasi pajanan 30 (tahun)
 W_b : Berat badan rata rata masyarakat asia 55 (Kg)
 t_{avg} : Rata-rata periode efek non-karsinogenik 30 tahun x 365 (hari)

Sehingga didapatkan nilai RfC adalah sebesar sebesar $0,49813200 \text{ mg/kg/hari}$ untuk karbon monoksida dan $0,00747198 \text{ mg/kg/hari}$ untuk nitrogen dioksida.

3.4 Intake atau Asupan

Intake atau asupan dihitung pada masing-masing tingkat individu yang menjadi responden pada penelitian ini. Setiap variabel disesuaikan dengan masing masing responden, seperti berat badan, waktu pajanan, durasi pajanan, dan frekuensi pajanan. Perhitungan *intake* atau nilai asupan akan dibutuhkan data – data yang perlu didapatkan saat melakukan survei dengan mengisi kuesioner oleh responden. Berikut merupakan ringkasan atau nilai rata – rata data antropometri berdasarkan tanggapan dan informasi dari responden, yakni pelajar dari sekolah yang berada pada radius layanan Halte Cik Di Tiro.

Tabel 4. Data antropometri dan pola aktivitas responden

Karakteristik Individu	Nilai
Berat badan (W_b)	49.18 kg
Durasi Pajanan (D_t)	3 tahun
Waktu Pajanan (t_E)	0,23 jam/hari
Frekuensi Pajanan (f_E)	190 hari/tahun
Laju Inhalasi (R)	$0,5 \text{ mg/m}^3$

Nilai asupan atau *intake* yang dihitung dalam penelitian ini adalah intake non karsinogenik dengan perhitungan sebagai berikut baik agen risiko CO dan Nox.

$$Int = \frac{CxRxt_E}{W_b} \quad (3)$$

Berikut hasil perhitungan nilai intake agen risiko CO dan NOx pada Halte Cik Di Tiro

Tabel 5. Nilai Intake

Titik Lokasi	Intake atau Nilai Asupan	
	CO	NOx
Halte	0,00016987	0,00003307
Cik Di Tiro 1	mg/kg/hari	mg/kg/hari

3.5 Karakterisasi Risiko

Nilai risiko atau *Risk Quotient* digunakan untuk mengukur bagaimana tingkat bahaya yang diterima oleh responden. Nilai risiko ini didapatkan dengan membandingkan jumlah zat berbahaya yang masuk kedalam tubuh seseorang atau *Intake* dengan dosis referensi atau RfD.

$$RQ = \frac{1}{RfC} \quad (4)$$

Keterangan :

- RQ : *Risk Quotient* atau Tingkat Risiko
 I : Asupan yang Telah Dihitung

RfC : Nilai Referensi dari Agen Risiko

Berikut adalah tabel nilai karakteristik risiko atau *Risk Quotient* (RQ) pada setiap agen risiko.

Tabel 6. Karakterisasi Agen Risiko

Agen Risiko	Intake (mg/kg/hari)	RfC (mg/kg/hari)	RQ	Karakterisasi Risiko
CO	0,00016987	0,49813200	0,00034103	Tidak Berisiko
NOx	0,00003307	0,00747198	0,004426487	Tidak Berisiko

Berdasarkan tabel diatas analisis risiko menunjukkan bahwa paparan gas karbon monoksida (CO) dan nitrogen dioksida (NOx) pada penumpang Trans Jogja di Halte Cik Di Tiro tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan. Nilai Risiko untuk kedua gas tersebut berda di bawah ambang batas aman yaitu $RQ \leq 1$.

4. KESIMPULAN

Terdapat kandungan yang menjadi polutan bagi udara dan menumpuk pada halte dikarenakan adanya kemacetan saat waktu tunggu APILL. Perkiraan pencemaran yang didapatkan melalui pemodelan PTV VISSIM antara lain kandungan karbon monoksida dan nitrogen dioksida. Perhitungan asupan polusi udara atau Nilai Intake pada penelitian ini mendapatkan hasil 0,00034103 (mg/kg/hari) untuk karbon monoksida dan 0,00003307 (mg/kg/hari) untuk nitrogen dioksida. Nilai RQ atau Tingkat Risiko sebesar 0,00034103 untuk karbon monoksida dan 0,004426487 untuk nitrogen dioksida, artinya kedua agen risiko aman ($RQ \leq 1$) atau masih termasuk kedalam kategori aman.

Hasil karakterisasi risiko didapatkan bahwa agen risiko CO dan NOx di Halte Cik Di Tiro tidak secara signifikan mempengaruhi kesehatan individu responden. Tingkat signifikansi risiko yang rendah ini dikarenakan pelayanan Trans Jogja yang baik sehingga waktu tunggu pengguna relatif singkat. Namun, dari langkah identifikasi bahaya, diketahui bahwa konsentrasi agen risiko NOx melewati nilai ambang batas yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 sehingga masih perlu pengelolaan risiko Kesehatan di Halte Cik Di Tiro.

Risiko ini terutama berpotensi bagi kelompok rentan dan mereka yang sering terpapar. Oleh karena itu, penting untuk dilakukan langkah-langkah mitigasi guna mengurangi konsentrasi polutan di sekitar halte. Beberapa solusi yang dapat diusulkan meliputi antara lain memperbaiki desain halte agar memiliki ventilasi lebih baik guna mengurangi konsentrasi polutan di area tunggu, penambahan *green area* untuk membantu peresapan polusi udara di sekitar halte, mengurangi jumlah kendaraan bermotor yang melintasi Jalan Cik Di Tiro, terutama pada jam-jam sibuk, atau memperkenalkan kebijakan low-emission zone (LEZ) di area tersebut dan penggiatan penggunaan angkutan umum bus, mengedukasi masyarakat terkait risiko kesehatan dari paparan polusi udara dan cara mengurangi paparan, seperti menggunakan masker.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyelesaian penelitian ini. Penelitian ini tidak akan terwujud tanpa kontribusi dari berbagai pihak. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan, terutama di bidang kesehatan lingkungan dan transportasi.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Priyana, “Studi Kausalitas antara Polusi Udara dan Kejadian Penyakit Saluran Pernapasan pada Penduduk Kota Bogor, Jawa Barat, Indonesia,” *Jurnal Multidisiplin West Science*, vol. 2, no. 06, 2023, doi: 10.58812/jmws.v2i6.434.
- [2] A. Abdillah, G. Saragih, M. Z. Akbari, and V. Purwandari, “PEMBUATAN PENYERAP GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR BERBASIS LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT,” *JURNAL KIMIA SAINTEK DAN PENDIDIKAN*, vol. 7, no. 1, pp. 21–26, Jun. 2023, doi: 10.51544/kimia.v7i1.3904.
- [3] M. Syafrizal, D. Despa, R. Widyawati, and A. Yoga, “Analisis Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Menggunakan Standar Euro 2 dan Euro 4: Studi Kasus ada Pengujian Tipe/Type Approval di Indonesia,” *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)*, vol. 3, no. 1, May 2023, doi: 10.23960/snip.v3i1.378.
- [4] J. T. Lee, “Review of epidemiological studies on air pollution and health effects in children,” *Clin Exp Pediatr*, vol. 64, no. 1, pp. 3–11, Jan. 2020, doi: 10.3345/CEP.2019.00843.
- [5] M. Greenstone and Q. (Claire) Fan, “Kualitas udara Indonesia yang memburuk dan dampaknya terhadap harapan hidup,” *Air Quality Life Index*, 2019.
- [6] I. Ismiyati, D. Marlita, and D. Saidah, “Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor,” *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*, vol. 1, no. 3, 2014, doi: 10.54324/j.mtl.v1i3.23.
- [7] M. A. Rizaldi, R. Azizah, M. T. Latif, L. Sulistyorini, and B. P. Salindra, “Literature Review: Dampak Paparan Gas Karbon Monoksida Terhadap Kesehatan Masyarakat yang Rentan dan Berisiko Tinggi,” *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, vol. 21, no. 3, 2022, doi: 10.14710/jkli.21.3.253-265.
- [8] A. Vural and T. Dolanbay, “Early and late adverse clinical outcomes of severe carbon monoxide intoxication: A cross-sectional retrospective study,” *PLoS One*, vol. 19, no. 8, p. e0301399, Aug. 2024, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0301399.
- [9] J. A. Lasek and R. Lajnert, “On the Issues of NO_x as Greenhouse Gases: An Ongoing Discussion...,” 2022. doi: 10.3390/app122010429.
- [10] Y. Cao, Q. Ma, B. Chu, and H. He, “Homogeneous and heterogeneous photolysis of nitrate in the atmosphere: state of the science, current research needs, and future prospects,” 2023. doi: 10.1007/s11783-023-1648-6.
- [11] A. Rodriguez-Alvarez, “Air pollution and life expectancy in Europe: Does investment in renewable energy matter?,” *Science of the Total Environment*, vol. 792, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148480.
- [12] Q. Yu, L. Lu, T. Li, and R. Tu, “Quantifying the Impact of Alternative Bus Stop Platforms on Vehicle Emissions and Individual Pollution Exposure at Bus Stops,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 11, 2022, doi: 10.3390/ijerph19116552.
- [13] S. Mahesh, “Exposure to fine particulate matter (PM_{2.5}) and noise at bus stops in Chennai, India,” *J Transp Health*, vol. 22, 2021, doi: 10.1016/j.jth.2021.101105.
- [14] Dinas Perhubungan DIY, *Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 127 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Sistem Angkutan Perkotaan Bersubsidi Trans Jogja Dengan Sistem Buy The*

Services. Accessed: Oct. 16, 2024. [Online]. Available: <https://jdih.jogjaprovo.go.id/hukum/peraturan-gubernur-daerah-istimewa-yogyakarta-nomor-127-tahun-2021-tentang-penyelenggaraan-sistem-an>

- [15] C. Nickel, G. Eldeeb, and M. Mohamed, "Perceived Quality of Bus Transit Services: A Route-Level Analysis," <https://doi.org/10.1177/0361198120904380>, vol. 2674, no. 2, pp. 79–91, Jan. 2020, doi: 10.1177/0361198120904380.
- [16] J. Brown, D. B. Hess, and D. Shoup, "Unlimited Access".
- [17] N. O. Widiastuti, M. Z. Irawan, and T. Rahman, "Analisis Diskriptif Eksplorasi Loyalitas Pengguna Transjogja dalam Perspektif Masa Depan di Masa Setelah Pandemi," in *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur Yogyakarta*, 2024.
- [18] J. Y. T. Wang *et al.*, "Walking school bus line routing for efficiency, health and walkability: A multi-objective optimisation approach," *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 30, no. 3–4, 2023, doi: 10.1002/mcda.1803.
- [19] J. Sun, Z. Zhou, J. Huang, and G. Li, "A bibliometric analysis of the impacts of air pollution on children," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, no. 4, Feb. 2020, doi: 10.3390/ijerph17041277.
- [20] M. Pedersen *et al.*, "Early-Life Exposure to Ambient Air Pollution from Multiple Sources and Asthma Incidence in Children: A Nationwide Birth Cohort Study from Denmark," *Environ Health Perspect*, vol. 131, no. 5, May 2023, doi: 10.1289/EHP11539.
- [21] R. Melaram, "Early life exposures of childhood asthma and allergies—an epidemiologic perspective," *Frontiers in Allergy*, vol. 5, Aug. 2024, doi: 10.3389/FALGY.2024.1445207.
- [22] J. F. Louvar and B. Diane. Louvar, "Health and environmental risk analysis: fundamentals with applications," p. 678, 1998, Accessed: Nov. 05, 2024. [Online]. Available: https://books.google.com/books/about/Health_and_Environmental_Risk_Analysis.html?hl=id&id=x9QeAQAAIAAJ
- [23] Prof. DR. Sugiyono, *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta, 2013. Accessed: Nov. 05, 2024. [Online]. Available: [//digilib.unigres.ac.id%2Findex.php%3Fp%3Dshow_detail%26id%3D43](http://digilib.unigres.ac.id%2Findex.php%3Fp%3Dshow_detail%26id%3D43)
- [24] V. Valentine, M. K. Devi, and A. Y. E. Pramana, "JANGKAUAN LAYANAN TRANS JOGJA TERHADAP SEBARAN AKTIVITAS DI KAWASAN PERKOTAAN YOGYAKARTA," *Jurnal Transportasi*, vol. 20, no. 3, pp. 171–180, 2020, doi: 10.26593/JTRANS.V20I3.4464.171-180.
- [25] Risdiyanto, A. Munawar, M. Z. Irawan, M. Fauziah, and P. F. Belgiawan, "Why Do Students Choose Buses over Private Motorcycles and Motorcycle-Based Ride-Sourcing? A Hybrid Choice Approach," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 9, May 2022, doi: 10.3390/SU14094959.
- [26] J. Wang, D. Chen, M. Pang, and Y. Huang, "Parameter Calibration of VISSIM Based on Genetic Algorithm," *Proceedings - 2023 11th International Conference on Information Systems and Computing Technology, ISCTech 2023*, pp. 338–342, 2023, doi: 10.1109/ISCTECH60480.2023.00068.
- [27] M. Friedrich, E. Pestel, C. Schiller, and R. Simon, "Scalable GEH: A Quality Measure for Comparing Observed and Modeled Single Values in a Travel Demand Model Validation," <https://doi.org/10.1177/0361198119838849>, vol. 2673, no. 4, pp. 722–732, Mar. 2019, doi: 10.1177/0361198119838849.

- [28] F. Huang, P. Liu, H. Yu, and W. Wang, "Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections," *Accid Anal Prev*, vol. 50, pp. 1014–1024, Jan. 2013, doi: 10.1016/J.AAP.2012.08.018.

Halaman ini sengaja dikosongkan