

Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan pada Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta

Albanna Sayf Aladl*, Budi Yulianto, Setiono

Universitas Sebelas Maret

Abstrak: Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta menjadi pusat lalu lintas sebagai pertemuan jalur utama yang menghubungkan berbagai wilayah di Kota Yogyakarta. Kendaraan yang melintasi simpang ini menghasilkan kadar emisi gas buang kendaraan yang signifikan tiap harinya. Oleh karena itu, diperlukan kajian untuk mengoptimasi kinerja Simpang Empat Titik Nol KM sehingga dapat meminimalisir emisi gas buang kendaraan yang dihasilkan. Analisis kinerja simpang menggunakan perangkat lunak PTV Vistro metode *Highway Capacity Manual* (HCM) 2010 berdasarkan nilai derajat kejenuhan (DS) dan tundaan (D), pada kondisi eksisting dan setelah optimasi. Analisis emisi gas buang kendaraan menggunakan rumus dari LAPI-ITB. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan kinerja simpang yang ditandai dengan penurunan nilai tundaan simpang setelah dilakukan optimasi kinerja. Kinerja Simpang Empat Titik Nol KM menghasilkan nilai tundaan (D) = 30,18 det/smp menjadi 22,3 det/smp pada jam sibuk pagi serta nilai tundaan (D) = 50,47 det/smp menjadi 27,4 det/smp pada jam sibuk sore. Peningkatan kinerja simpang berpengaruh positif dengan menurunnya nilai emisi gas buang kendaraan yang dihasilkan. Emisi gas buang kendaraan mengalami penurunan sebesar 52,85% pada jam sibuk pagi dan 63,26% pada jam sibuk sore dalam semua jenis gas yang dianalisis.

Kata Kunci: PTV Vistro, Simpang Empat Titik Nol KM, Tundaan, Emisi Gas Buang Kendaraan

DOI:

<https://doi.org/10.47134/scbmej.v1i4.3165>

*Correspondence: Albanna Sayf Aladl

Email: albannasayf@gmail.com

Received: 01-08-2024

Accepted: 15-09-2024

Published: 30-10-2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The Four-Way Intersection at Kilometer Zero (KM Zero) in Yogyakarta serves as a central traffic hub, where main roads from various parts of the city converge. Vehicles passing through this intersection generate a significant amount of vehicle exhaust emissions daily. Therefore, a study is required to optimize the performance of the KM Zero Four-Way Intersection to minimize the emissions produced by vehicles. The performance analysis of the intersection utilizes PTV Vistro software and the Highway Capacity Manual (HCM) 2010 method, based on the values of degree of saturation (DS) and delay (D), both in the existing condition and after performance optimization. The analysis of vehicle exhaust emissions employs formulas from LAPI-ITB. The results of the analysis indicate an improvement in intersection performance, characterized by a reduction in intersection delay values after performance optimization. The KM Zero Four-Way Intersection's performance yields delay values (D) of 30.18 seconds/vehicle in the morning peak hours, decreasing to 22.3 seconds/vehicle. In the evening peak hours, the delay value decreases from 50.47 seconds/vehicle to 27.4 seconds/vehicle. The improved intersection performance has a positive impact on reducing the vehicle exhaust emissions. Vehicle exhaust emissions decrease by 52.85% during the morning peak hours and 63.26% during the evening peak hours for all analyzed types of gases.

Keywords: PTV Vistro, The Four-Way Intersection at KM Zero, Delay, Vehicle Exhaust Gas Emission

Pendahuluan

Perkembangan kendaraan bermotor di Indonesia, terutama di kota-kota besar seperti Yogyakarta, telah menghasilkan peningkatan lalu lintas yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Peningkatan ini berdampak langsung pada emisi gas buang, termasuk gas rumah kaca dan polutan udara seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), dan partikel debu. Emisi-emisi ini dapat merusak kualitas udara, memengaruhi kesehatan manusia, dan mengganggu ekosistem lokal (Imtiaz, 2023; Li, 2024; Vašalić, 2024).

Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta menjadi salah satu titik fokus karena merupakan pusat lalu lintas yang penting di kota ini. Simpang ini menjadi titik pusat bagi sejumlah jalur utama yang menghubungkan berbagai wilayah dalam kota ini dan juga menjadi gerbang masuk ke wilayah perkotaan. Kendaraan bermotor yang melintasi simpang ini menghasilkan emisi gas buang yang signifikan setiap hari.

Pentingnya mengkaji emisi gas buang kendaraan di Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta tidak hanya berkaitan dengan kualitas udara lokal, tetapi juga memiliki implikasi lebih luas terhadap kesehatan masyarakat dan pemeliharaan lingkungan. Oleh karena itu, analisis mendalam tentang emisi gas buang di simpang ini menjadi sangat penting. Dengan adanya perkembangan teknologi analisis transportasi telah memungkinkan pendekatan yang lebih canggih dan akurat dalam mengukur, memodelkan, dan mengelola emisi gas buang (Ismatov, 2023; Pobedinsky, 2022; Šarkan, 2022b).

Pada analisis kinerja simpang pada penelitian ini menggunakan bantuan perangkat lunak PTV Vistro dengan menggunakan pendekatan berupa metode *Highway Capacity Manual* (HCM 2010). Parameter kinerja simpang yang dianalisis dengan PTV Vistro berupa panjang antrean simpang, derajat kejenuhan, dan tundaan simpang pada kondisi eksisting dan setelah dioptimasi (Kęska, 2022; Šarkan, 2022a; Vijayaraghavan, 2022).

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Pada penelitian kali ini dilakukan analisis kinerja pada Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta. Untuk waktu pelaksanaan dari penelitian ini dilakukan pada jam sibuk hari kerja di pagi hari pukul 07.15-08.15 WIB dan di sore hari pukul 15.45-16.45 WIB.

Pengumpulan Data Penelitian

Pada penelitian ini diperlukan adanya data-data yang akan digunakan sebagai data masukan. Data yang digunakan dalam penelitian ini yakni data primer dan data sekunder.

Data primer merupakan data yang didapatkan melalui survei di lapangan secara langsung, yang terdiri dari:

- Data geometrik simpang
- Volume lalu lintas
- Panjang Antrean

Lalu, untuk data sekunder yang digunakan berupa waktu sinyal APILL yang diperoleh dari hasil survei di lapangan dan disesuaikan dengan data dari Dinas Perhubungan Kota Yogyakarta.

Analisis Kinerja Simpang dan Emisi Gas Buang Kendaraan

Analisis data dilakukan dengan bantuan perangkat lunak PTV Vistro dengan cara melakukan konfigurasi simpang serta memasukkan data geometri simpang, volume lalu lintas, dan waktu sinyal APILL dengan cermat dan teliti agar diperoleh hasil pemodelan yang representatif. Setelah itu dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan parameter-parameter kinerja simpang bersinyal yang ditunjukkan oleh PTV Vistro berupa derajat kejenuhan (*volume/capacity*), panjang antrean, tundaan (*delay*), dan tingkat pelayanan (LoS) (Auvinen, 2021; Gazea, 2021; Widodo, 2021).

Kemudian, hasil analisis kinerja simpang berupa panjang antrean dan tundaan digunakan untuk proses perhitungan emisi gas buang kendaraan yang dianalisis menggunakan rumus dari LAPI-ITB.

Validitas data dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS dengan cara membandingkan panjang antrean lapangan dengan panjang antrean hasil PTV Vistro pada persentil ke-95. Kinerja simpang dianalisis pada kondisi eksisting dan setelah dilakukan optimasi.

Hasil dan Pembahasan

Geometri Simpang Titik Nol KM

Pada survei ini dilakukan pengukuran lebar jalan pada masing-masing pendekat di Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta.



Gambar 1. Geometri Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta

Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas didapat dengan melakukan survei pencacahan lalu lintas secara manual. Survei dilakukan pada saat pagi (06.45-08.45 WIB) dan sore hari (15.45-17.45 WIB). Survei yang dilakukan dalam interval 15 menit. Kendaraan diklasifikasikan dalam beberapa jenis, yaitu sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV).

Hasil survei volume kendaraan dikonversikan dalam satuan smp/jam dengan dikalikan nilai emp. Kemudian, data volume lalu lintas yang didapatkan akan dilakukan analisis untuk mendapatkan jam puncaknya. Pada penelitian ini diperoleh jam puncak pada pukul 07.15-08.15 WIB dan 15.45-16.45 WIB.

Tabel 1. Volume Lalu Lintas Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta

Pendekat	Pagi			Sore		
	Arah Pergerakan (smp/jam)			Arah Pergerakan (smp/jam)		
	Kiri	Lurus	Kanan	Kiri	Lurus	Kanan
Barat	0	726,7	86,5	0	559,1	93,6
Utara	321,2	268,6	231,9	544,5	555	401,9
Timur	87,1	403,8	0	146,8	618,1	0
Selatan	422,2	0	285,2	355,9	0	269,4
Total		2833,2			3544,3	

Panjang Antrean

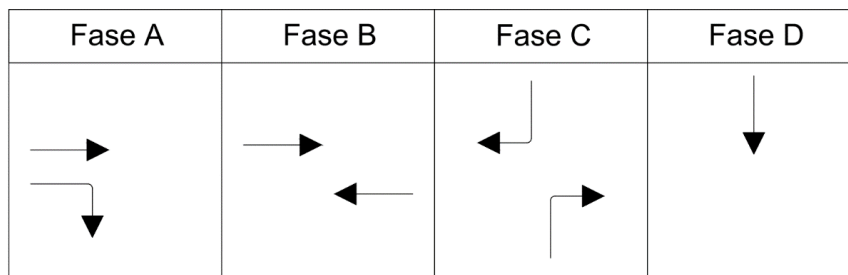
Data panjang antrean diperoleh dengan melakukan survei langsung di lapangan. Data yang diperoleh kemudian diubah menjadi persentil ke-95 agar bisa dibandingkan dengan data panjang antrean hasil analisis PTV Vistro.

Tabel 2. Panjang Antrean Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta

Waktu (WIB)	Pendekat	Panjang Antrean rata-rata (meter)	Panjang Antrean Persentil ke-95 (meter)
07.15 - 08.15	Timur	21,47	37
	Selatan	43,52	66,5
15.45 - 16.45	Timur	29	48
	Selatan	60,9	99,5

Fase dan Waktu Sinyal

Waktu sinyal merupakan lamanya nyala lampu hijau, kuning, dan merah pada satu periode. Data fase dan waktu sinyal diperoleh dengan melakukan survei langsung di lapangan. Perhitungan waktu sinyal dilakukan dengan menggunakan alat bantu *stopwatch*. Data fase dan waktu sinyal dapat dilihat pada gambar dan tabel di bawah ini.



Gambar 2. Fase Sinyal Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta

Tabel 3. Waktu Sinyal Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta

Waktu	Fase	Waktu Menyala (detik)		
		Hijau	Kuning	Merah
Pagi	A	22	2	3
	B	27	2	3
	C	21	2	3
	D	20	2	3
Sore	A	23	2	3
	B	28	2	3
	C	22	2	3
	D	21	2	3

Validasi Panjang Antrean

Validasi panjang antrean dilakukan dengan menggunakan Uji-T pada perangkat lunak SPSS untuk mengetahui adakah perbedaan *mean* antara panjang antrean lapangan dengan PTV Vistro pada persentil ke-95. Perbandingan panjang antrean lapangan dengan PTV Vistro dan hasil uji SPSS dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Perbandingan panjang antrean lapangan dengan PTV Vistro

Waktu	Pendekat	Lapangan (m)	PTV Vistro (m)
07.15 - 08.15	Timur	37	64,84
	Selatan	66,5	50,18
15.45 – 16.45	Timur	48	103,6
	Selatan	99,5	48,6

Tabel 5. Uji-T SPSS

Parameter	Pagi Hari	Sore Hari
T-hitung	0,261	0,044
df	1	1
Sig. (2-tailed)	0,838	0,972
T-tabel (2-tailed)	12,71	12,71

Kinerja Simpang Empat Titik Nol KM Kondisi Eksisting

Hasil analisis kinerja Simpang Empat Titik Nol KM pada kondisi eksisting dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 6. Hasil Analisis Kinerja Simpang Empat Titik Nol KM Kondisi Eksisting

Waktu	Pendekat	Parameter Kinerja Simpang		
		Derajat kejenuhan (DS)	Panjang antrean (QL) (m)	Tundaan (D) (det/smp)
07.15	Barat	0,3	47,35	18,85
	Timur	0,44	53,75	35,47
-	Utara	0,5	64,84	37,82
08.15	Selatan	0,48	50,18	42,46
	Simpang	0,399	-	30,18
15.45	Barat	0,27	40,68	18,34
	Timur	0,82	125,15	76,92
-	Utara	0,76	103,6	46,67
16.45	Selatan	0,45	48,59	43,1
	Simpang	0,499	-	50,47

Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Simpang Empat Titik Nol KM Kondisi Eksisting

Parameter kinerja simpang yang diperoleh yaitu panjang antrean dan tundaan digunakan dalam proses perhitungan emisi gas buang kendaraan. Hasil analisis emisi gas buang kendaraan Simpang Empat Titik Nol KM pada kondisi eksisting dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 7. Hasil Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Simpang Empat Titik Nol KM Kondisi Eksisting

Waktu	Pendekat	Nqmax (smp/jam)	Konsumsi Bahan Bakar (Liter/smp-jam)	Emisi (g)				
				Co	Hc	Nox	PM ₁₀	SO ₂
07.15	Barat	22,49	593,54	243234,37	24275,95	12167,65	59,35	178,06
	Timur	21,50	1067,65	437521,74	43666,76	21886,76	106,76	320,29
-	Utara	30,80	1630,75	668279,49	66697,49	33430,28	163,07	489,22
08.15	Selatan	15,81	939,61	385053,60	38430,19	19262,08	93,96	281,88
	Total		4231,55	1734089,2	173070,4	86746,78	423,16	1269,5
15.45	Barat	19,32	496,08	203292,10	20289,52	10169,57	49,61	148,82
	Timur	50,06	5390,65	2209086,7	220477,4	110508,2	539,06	1617,2
-	Utara	49,21	3215,28	1317622,9	131505,1	65913,30	321,53	964,58
16.45	Selatan	15,31	923,55	378472,83	37773,40	18932,88	92,36	277,07
	Total		10025,56	4108474,6	410045,4	205523,9	1002,6	3007,7

Kinerja Simpang Empat Titik Nol KM Skenario Optimasi Tunggal

Hasil analisis kinerja Simpang Empat Titik Nol KM pada Skenario Optimasi Tunggal dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 8. Hasil Analisis Kinerja Simpang Empat Titik Nol KM Skenario Optimasi Tunggal

Waktu Pendekat		Derajat Kejenuhan (DS)				Panjang Antrean (QL) (m)				Tundaan (D) (det/smp)			
		V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay		V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay		V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay	
		Split Split & Cycle Time		Split Split & Cycle Time		Split Split & Cycle Time		Split Split & Cycle Time		Split Split & Cycle Time		Split Split & Cycle Time	
		Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time
07.15	Barat	0,32	0,37	0,42	0,41	49,18	38,78	60,19	39,34	20,25	18,58	30,25	20,5
	Timur	0,39	0,46	0,57	0,57	59,26	41,97	62,37	43,58	31,03	24,66	34,72	27,91
	Utara	0,28	0,39	0,37	0,37	34,94	32,46	43,44	28,13	34,02	22,71	26,63	19,86
08.15	Selatan	0,46	0,46	0,43	0,43	49,31	32,97	44,75	29,25	41,23	28,89	34,94	25,83
	Simpang	0,399	0,399	0,399	0,399	-	-	-	-	28,84	22,3	30,91	22,59
15.45	Barat	0,41	0,36	0,36	0,36	48,32	35,56	51,37	35,56	25,38	19,95	28,63	19,95
	Timur	0,59	0,74	0,74	0,74	91,27	75,84	96,72	75,84	35,25	33,89	40,02	33,89
	Utara	0,55	0,64	0,58	0,64	87,26	68,13	86,48	68,13	29,95	27,12	31,99	27,12
16.45	Selatan	0,58	0,46	0,40	0,46	53,34	33,59	46,35	33,59	50,56	31,57	39,77	31,57
	Simpang	0,495	0,498	0,497	0,498	-	-	-	-	32,29	27,4	33,94	27,4

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa metode optimasi tunggal yang terbaik yaitu *V/C Balancing (Split & Cycle Time)*.

Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Simpang Empat Titik Nol KM Skenario Optimasi Tunggal

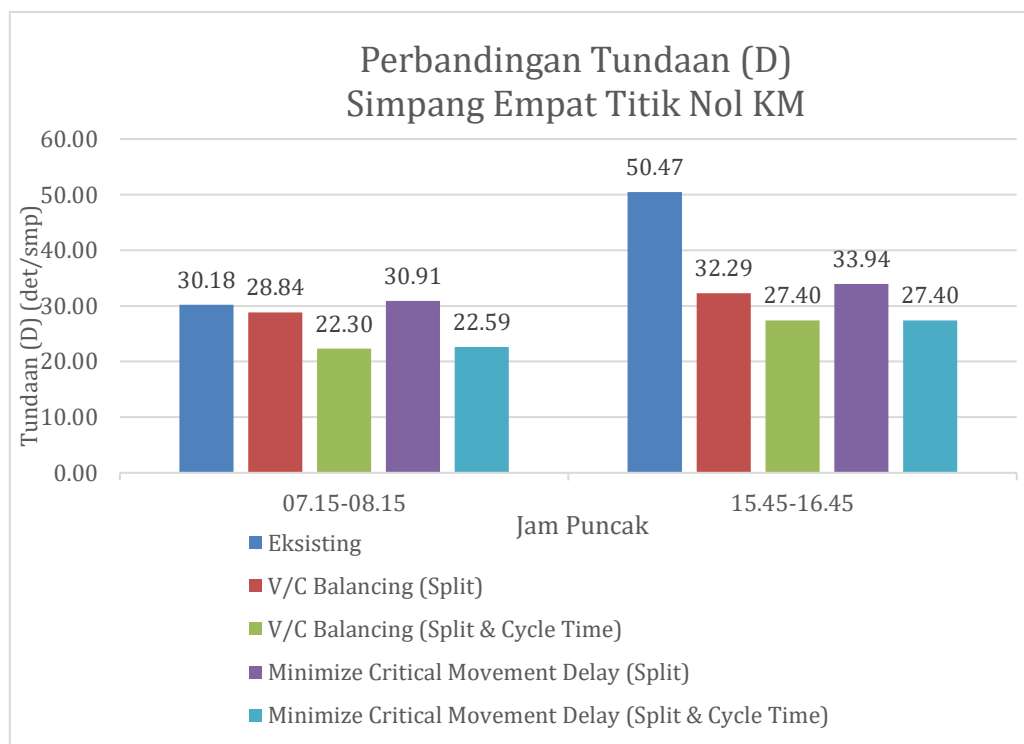
Analisis emisi gas buang kendaraan skenario optimasi tunggal dihitung berdasarkan data metode optimasi tunggal yang terbaik yaitu *V/C Balancing (Split & Cycle Time)*. Parameter kinerja simpang yang digunakan dalam perhitungan emisi gas buang kendaraan adalah panjang antrean dan tundaan. Hasil analisis emisi gas buang kendaraan Simpang Empat Titik Nol KM pada optimasi tunggal *V/C Balancing (Split & Cycle Time)* dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 9. Hasil Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Simpang Empat Titik Nol KM
Skenario *V/C Balancing (Split & Cycle Time)*

Waktu	Pendekat	Nqmax (smp/jam)	Konsumsi Bahan Bakar (Liter/smp-jam)	Emisi (g)				
				Co	Hc	Nox	PM ₁₀	SO ₂
07.15	Barat	18,42	479,15	196357,33	19597,40	9822,66	47,92	143,75
	Timur	12,98	412,81	169170,89	16884,06	8462,67	41,28	123,84
	Utara	19,94	688,26	282049,70	28149,91	14109,4	68,83	206,48
08.15	Selatan	10,26	414,96	170049,69	16971,77	8506,63	41,50	124,49
	Total		1995,19	817627,61	81603,15	40901,3	199,5	598,56
15.45	Barat	16,89	471,77	193329,56	19295,21	9671,20	47,18	141,53
	Timur	27,25	1034,63	423990,55	42316,29	21209,9	103,5	310,39
	Utara	36,02	1709,19	700427,99	69906,06	35038,5	170,9	512,76
16.45	Selatan	10,58	467,65	191643,96	19126,98	9586,87	46,77	140,30
	Total		3683,24	1509392,1	150644,6	75506,4	368,3	1104,9

Perbandingan Kinerja Simpang Empat Titik Nol KM Kedua Kondisi

Pada penelitian ini, perbandingan analisis kinerja Simpang Empat Titik Nol KM dilakukan dengan menggunakan dua kondisi yang berbeda, yakni kondisi eksisting dan skenario optimasi tunggal. Kinerja Simpang Empat Titik Nol KM dilakukan perbandingan berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut ini merupakan perbandingan kinerja Simpang Empat Titik Nol KM dalam dua skenario pada jam puncak.



Gambar 3. Hasil perbandingan tundaan kedua kondisi

Dari hasil perbandingan di atas menyatakan bahwa terjadi penurunan tundaan pada Simpang Empat Titik Nol KM setelah dilakukan pemodelan skenario optimasi tunggal. Berdasarkan grafik, metode optimasi terbaik yaitu *V/C Balancing (Split & Cycle Time)* dengan nilai tundaan 22,3 det/smp pada jam puncak pagi dan 27,4 det/smp pada jam puncak sore.

Tabel 10. Hasil perbandingan panjang antrean kedua kondisi

Waktu	Pendekat	Panjang Antrean (QL)				
		(m)				
		Eksisting	Optimasi Tunggal			
			V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay	
			Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time
07.15 - 08.15	Barat	47,35	49,18	38,78	60,19	39,34
	Timur	64,84	59,26	41,97	62,37	43,58
	Utara	53,75	34,94	32,46	43,44	28,13
	Selatan	50,18	49,31	32,97	44,75	29,25
15.45 - 16.45	Barat	40,68	48,32	35,56	51,37	35,56
	Timur	103,60	91,27	75,84	96,72	75,84
	Utara	125,15	87,26	68,13	86,48	68,13
	Selatan	48,59	53,34	33,59	46,35	33,59

Dari hasil perbandingan di atas menyatakan bahwa terjadi penurunan panjang antrean pada Simpang Empat Titik Nol KM setelah dilakukan pemodelan skenario optimasi tunggal dibandingkan kondisi eksisting.

Tabel 11. Hasil perbandingan emisi gas buang kendaraan kedua kondisi

Waktu	Gas	Emisi Gas Buang Kendaraan (g)	
		Eksisting	Optimasi V/C Balancing (Split & Cycle Time)
07.15	Co	1734089,20	817627,61
	Hc	173070,40	81603,15
	Nox	86746,78	40901,33
08.15	PM ₁₀	423,16	199,52
	SO ₂	1269,47	598,56
15.45	Co	4108474,59	1509392,06
	Hc	410045,41	150644,55
	Nox	205523,98	75506,44
16.45	PM ₁₀	1002,56	368,32
	SO ₂	3007,67	1104,97

Dari hasil perbandingan di atas menyatakan bahwa terjadi penurunan nilai kadar emisi gas buang kendaraan pada Simpang Empat Titik Nol KM setelah dilakukan pemodelan skenario optimasi tunggal dibandingkan kondisi eksisting.

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan di atas, maka dapat dikatakan bahwa kinerja Simpang Empat Titik Nol KM mengalami peningkatan setelah dilakukan optimasi kinerja skenario tunggal dengan metode terbaik *V/C Balancing (Split & Cycle Time)*. Peningkatan kinerja ditandai dengan adanya penurunan nilai dua parameter yaitu tundaan dan panjang antrean. Penurunan nilai kedua parameter tersebut berpengaruh pada turunnya nilai kadar emisi gas buang kendaraan pada jam sibuk pagi maupun sore.

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis data serta pembahasan yang telah dilakukan terhadap kinerja Simpang Empat Titik Nol KM baik pada kondisi eksisting, maupun pada skenario optimasi tunggal dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Pada kondisi eksisting, kinerja Simpang Empat Titik Nol KM menghasilkan nilai derajat kejenuhan (DS) = 0,399, dan tundaan (D) = 30,18 det/smp, pada jam sibuk pagi (07.15-08.15), serta derajat kejenuhan (DS) = 0,499, dan tundaan (D) = 50,47 det/smp pada jam sibuk sore (15.45-16.45). Kadar emisi gas buang kendaraan di Simpang Empat Titik Nol KM menghasilkan nilai Co sebesar 1734089,20 g, Hc 173070,40 g, Nox 86746,78 g, PM₁₀ 423,16 g, dan SO₂ 1269,47 g pada jam sibuk pagi, sedangkan pada jam sibuk sore menghasilkan nilai Co sebesar 4108474,59 g, Hc 410045,41 g, Nox 205523,98 g, PM₁₀ 1002,56 g, dan SO₂ 3007,67g.
- b. Optimasi skenario tunggal dilakukan dengan empat metode yaitu *V/C Balancing (Split dan Split & Cycle Time)* dan *Minimize Critical Movement Delay (Split dan Split & Cycle Time)*. Dari keempat metode tersebut diperoleh metode optimasi kinerja terbaik yaitu *V/C Balancing (Split & Cycle Time)* dengan menghasilkan nilai derajat kejenuhan (DS) = 0,399, dan tundaan (D) = 22,3 det/smp pada jam sibuk pagi (07.15-08.15), serta derajat kejenuhan (DS) = 0,498, dan tundaan (D) = 27,4 det/smp pada jam sibuk sore (15.45-16.45). Kadar emisi gas buang kendaraan di Simpang Empat Titik Nol KM setelah dilakukan optimasi kinerja menghasilkan nilai Co sebesar 817627,61 g, Hc 81603,15 g, Nox 40901,33 g, PM₁₀ 199,52 g, dan SO₂ 598,56 g pada jam sibuk pagi, sedangkan pada jam sibuk sore menghasilkan Co sebesar 1509392,06 g, Hc 150644,55 g, Nox 75506,44 g, PM₁₀ 368,32 g, dan SO₂ 1104,97 g.
- c. Kinerja Simpang Empat Titik Nol KM (simpang bersinyal) mengalami peningkatan setelah dilakukan optimasi dengan skenario tunggal menggunakan metode *V/C Balancing (Split & Cycle Time)* ditandai dengan penurunan nilai lama tundaan (D) sebesar 7,88 det/smp pada jam sibuk pagi, serta penurunan lama tundaan (D) sebesar 23,07 det/smp pada jam sibuk sore. Peningkatan kinerja pada Simpang Titik Nol KM menghasilkan penurunan nilai kadar emisi gas buang kendaraan sebesar 52,85% (jam sibuk pagi) dan 63,26% (jam sibuk sore) dalam semua jenis gas.

Daftar Pustaka

- Aidita, U. (2021). Pengaruh Tundaan Kendaraan dan Panjang Antrian Terhadap Kadar Emisi Gas Karbon Monoksida (Co) Kendaraan.
- Auvinen, P. (2021). A detailed study on regeneration of SO₂ poisoned exhaust gas after-treatment catalysts: In pursuance of high durability and low methane, NH₃ and N₂O emissions of heavy-duty vehicles. *Fuel*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120223>
- Gazea, B. (2021). Effect of fuel type and active substance addition on exhaust gas emissions from vehicles powered by a spark ignition engine. *Przemysl Chemiczny*, 100(1), 73–78. <https://doi.org/10.15199/62.2021.1.8>
- Hellinga, B, Hesham Rakha, et al (1996) systematic Verification, Validation and Calibration of Traffic Simulation Models, Presented at the 1996 Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC
- Hadis, C. S., & Sumarsono, Agus. (2013). Hubungan Tundaan dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Akibat Penutupan Pintu Perlindungan Kereta Api (Studi Kasus Pada Perlindungan Kereta Api di Surakarta). *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1(2).
- Imtiaz, H. H. (2023). A Gas Imaging Sensor System of Automotive Exhaust Plumes for Remote Emission Sensing Application Basing on Schlieren Imaging An Approach to Visualize and Size Vehicle Exhaust Plumes. *Proceedings of IEEE Sensors*. <https://doi.org/10.1109/SENSOR556945.2023.10325203>
- Ismatov, J. (2023). Provision of carbon-free emission of exhaust gases on vehicles. *E3S Web of Conferences*, 419. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341901009>
- Kęska, A. (2022). Assessment of the Actual Toxicity of Engine Exhaust Gas Emissions from Euro 3 and Euro 6 Compliant Vehicles with the BAT-CELL Method Using In Vitro Tests. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21). <https://doi.org/10.3390/ijerph192114138>
- Kimber, R. M., & Hollis, E. M. (1979). *Traffic Queues and Delays at Road Junctions*(No. LR909 Monograph).
- Li, J. (2024). Non-exhaust gas and particle emissions of light-duty vehicles – Quantification under driving conditions in a sealed cabin. *Atmospheric Environment*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120308>
- Pobedinsky, A. (2022). Assessment of the influence of air temperature and cargo weight on fuel consumption and emissions of harmful substances with vehicle exhaust gases. *Transportation Research Procedia*, 63, 2687–2694. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.310>
- Şarkan, B. (2022a). Comparison of the exhaust emissions of heavy-duty vehicle engines powered by diesel fuel (DF) and natural gas (LNG) in real operation conditions. *Przemysl Chemiczny*, 101(1), 37–41. <https://doi.org/10.15199/62.2022.1.2>
- Şarkan, B. (2022b). Emissions Production by Exhaust Gases of a Road Vehicle's Starting Depending on a Road Gradient. *Sensors*, 22(24). <https://doi.org/10.3390/s22249896>
- Sauri, S., Sulistyono, S. dan Hasanuddin, A.. 2014. Analisis Kinerja Simpang Menggunakan Perangkat Lunak KAJI dan PTV Vistro (Studi Kasus: Simpang

- Bersinyal dan Tak Bersinyal Perkotaan Jember), Prosiding FSTPT, Simposium Internasional FSTPT ke-17 di Universitas Jember, 24 Agustus 2014, Volume 2 Nomor 1, ISSN: 2356-0509. Hal.1498-1507.
- Sinambela, T. P., Kumaat, M., & Pandey, S. V. (2021). Analisa Hubungan Kinerja Simpang Bersinyal Dengan Konsumsi Bahan Bakar (Studi Kasus: Simpang Jl. AA Maramis – Jl. Ringroad II). *TEKNO*, 19(78).
- Suhadi, D. R., & Febrina, Anissa S. (2013). Pedoman Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan. Asdep Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Bergerak Deputi Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup.
- Sulistiyono, S., Hayati, N. N., Kriswardhana, W., dan Destiyanto, I.. 2016. Perbandingan Kinerja Simpang Menggunakan PTV Vistro dan MKJI pada Kawasan Perkotaan Lumajang. *Prosiding FSTPT*, Simposium Internasional FSTPT ke-19 di Universitas Jember, 11-13 Oktober 2016, Chapter 8, ISBN: 979-95721-2-19. Jember: Hal.1186-1195.
- Vašalić, D. (2024). Prediction of Fuel and Exhaust Emission Costs of Heavy-Duty Vehicles Intended for Gas Transportation. *Sustainability (Switzerland)*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/su16135407>
- Vijayaraghavan, P. (2022). Analysis of titanium coated silencer exhaust gas emission in automobile vehicle using artificial neural network. *Materials Today: Proceedings*, 69, 732–738. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.148>
- Widodo, S. (2021). Study design and development gas sensor technology for motor vehicle exhaust emissions. *Key Engineering Materials*, 900, 85–93. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.900.85>