

ANALISIS BIAYA EMISI GAS BUANG KENDARAAN PADA SIMPANG BERSINYAL DI SIMPANG CIRACAS MENGUNAKAN APLIKASI *VERKEHR IN STÄDTEN - SIMULATIONSMODELL (VISSIM)*

COST OF VEHICLE GAS EMISSIONS ANALYZING AT SIGNAL INTERSECTIONS IN CIRACAS INTERSECTIONS USING VERKEHR IN STÄDTEN - SIMULATIONSMODELL SOFTWARE (VISSIM)

¹Bustomi, ²Nahdalina

^{1,2} Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Gunadarma, Depok, Jawa Barat

¹bustomiforeducation@gmail.com. ²Nahdalina@yahoo.com

Abstrak

*Simpang merupakan titik konflik pertemuan suatu kendaraan dari berbagai ruas jalan. Kondisi simpang akan mengalami kemacetan pada saat jam puncak, hal ini menandakan tingginya jumlah emisi gas buang kendaraan yang dihasilkan pada simpang tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja simpang dengan pengaturan fase sinyal kondisi eksisting, mengetahui emisi gas buang kendaraan dan biaya emisi yang dikeluarkan serta mengetahui solusi terbaik dari perbaikan simpang. Data primer didapatkan dengan melakukan survei langsung di lapangan yaitu yang berlokasi di Simpang Ciracas. Data primer yang digunakan adalah data arus lalu lintas, data waktu sinyal, data fase sinyal, data geometrik simpang, data panjang antrian dan data waktu tundaan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Verkehr In Städten - Simulationsmodell (Vissim)* yang mengacu pada pedoman MKJI, 1997. Hasil dari permodelan Vissim yang telah dikalibrasi dan uji validasi menggunakan variabel data panjang antrian dengan kinerja yang dilakukan melalui konfigurasi fase sinyal didapatkan bahwa nilai emisi gas buang CO dan NO_x mengalami penurunan rata-rata sebesar 12,24%. Sementara biaya emisi yang dihasilkan saat kondisi eksisting untuk emisi CO sebesar Rp. 123.605.508,37 ton/ tahun dan emisi NO_x sebesar Rp. 109.569.187,89 per ton/ tahun pada kondisi eksisting.*

Kata Kunci: *Simpang Bersinyal, Kinerja Simpang, Emisi Gas, Biaya Emisi, Vissim*

Abstract

*An Intersection is a conflict point where a vehicle meets various roads. The intersection will experience traffic jams during peak hours, this condition signify that the amount vehicle exhaust emissions produce at that intersection is high. The purpose of this research is to know the intersection performance with existing signal phase setting conditions, find out how much exhaust emissions and emissions costs is produces and find out the best solution of intersection improvement using Vissim software. Primary data obtained with doing a direct survey on site. Primary data consist of traffic flow data, signal time data, signal phase data, intersection geometric data, queue length data and delay time data. Calculaion was used with *Verkehr In Städten - Simulationsmodell* software (Vissim) that was based on 1997 MKJI guidelines. Result from vissim modeling that was calibrated and passed the validation test shows that the amount of vehicle exhaust emissions for CO and NO_x gas average decrease of 9,05%. Meanwhile emissions costs for CO is 123.605.508,37 IDR ton/ year and emissions costs for NO_x is 109.569.187,89 IDR ton/ year during existing conditions.*

Keywords: *Signal Intersections, Intersection Performance, Exhaust Emissions, Emissions Costs, Vissim*

PENDAHULUAN

Berdasarkan Permen RI Nomor 10 Tahun 2012 tentang Lingkungan Hidup dan Kehutanan menyebutkan bahwa “emisi gas buang yang dihasilkan kendaraan bermotor diantaranya HC (Hidrokarbon), CO (Karbon Monoksida), CO₂ (Karbon Dioksida) dan NO_x (Nitrogen Oksida)”. Emisi gas buang kendaraan akan semakin tinggi apabila jumlah kendaraan semakin tinggi pula. Kendaraan bermotor akan menghasilkan emisi gas buang yang lebih tinggi apabila kendaraan tersebut menempuh waktu perjalanan yang lebih lama.

Menurut penelitian Olja Cokorilo, *et al* pada tahun 2019, mengatakan bahwa polutan NO_x merupakan polutan yang menghasilkan biaya emisi terbesar pada sektor transportasi jalan raya. Kendaraan yang tersendat pada suatu persimpangan akan menghasilkan emisi gas buang yang lebih tinggi. Volume kendaraan sangat memengaruhi tingkat emisi masing-masing kendaraan (Dikutip dari penelitian Rizqi, F.A., dkk, Tahun 2022).

Persimpangan adalah elemen penting dari jaringan jalan dalam hal dampak kualitas udara, jenis kontrol dan konfigurasi geometrik dapat memengaruhi emisi kendaraan yang signifikan. Kendaraan yang tersendat pada suatu persimpangan akan menghasilkan emisi gas buang yang lebih tinggi. Emisi kendaraan tergantung pada karakteristik lalu lintas, jalan dan karakteristik kendaraan, serta perilaku berkendara. Nilai emisi gas buang kendaraan

dapat diukur dengan metode mikrosimulasi menggunakan aplikasi *Vissim*.

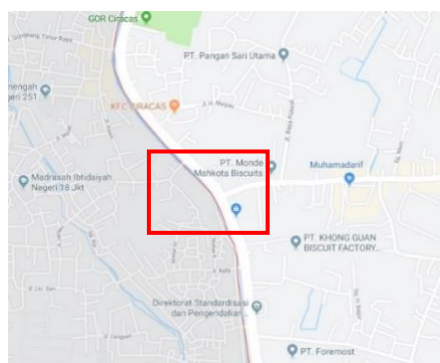
Vissim adalah alat yang paling canggih yang tersedia untuk mensimulasikan aliran-aliran lalu lintas multi-moda, termasuk mobil, angkutan barang, bus, *heavy rail*, *tram*, *LRT*, sepeda motor, sepeda, hingga pejalan kaki. Tiga parameter dalam proses kalibrasi *Vissim* yaitu, *Average Standstill Distance*, *Additive Part of Safety Distance* dan *Multiplicative Part off Safety Distance*.

Tujuan dari penelitian ini berfokus untuk mengetahui biaya emisi gas buang kendaraan pada suatu persimpangan dengan melakukan evaluasi, analisis dan juga pemodelan untuk mengoptimasi persimpangan. Pemodelan yang dilakukan yaitu simulasi simpang bersinyal menggunakan aplikasi *Vissim 9.0* agar dapat mengetahui emisi gas buang kendaraan yang ada di lapangan. Optimasi tersebut diharapkan dapat menjadi solusi terbaik dalam mengurangi jumlah biaya emisi gas buang kendaraan yang berpengaruh pada biaya perjalanan pada simpang tersebut.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian mengenai perencanaan pengurangan emisi gas buang kendaraan pada simpang bersinyal menggunakan *Software Vissim* berada di Simpang Ciracas, Pasar Rebo, Jakarta Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Sumber: *Google Maps*, 2021

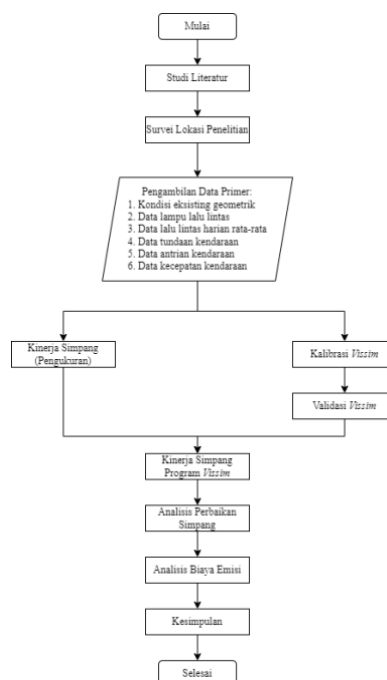
Penelitian ini menggunakan metode survei langsung di lapangan yang mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Data yang diperoleh pada pengukuran langsung meliputi data geometrik dan lingkungan simpang, data lampu lalu lintas, data volume lalu lintas, waktu tundaan, panjang antrian dan data kecepatan kendaraan. Data tersebut diambil pada hari Senin yang mewakili *weekday* dengan 3 periode, yaitu periode 1 jam 06.00 - 09.00 WIB, periode 2 jam 11.00 - 13.00 WIB dan periode 3 jam 15.00 - 18.00, untuk hari Sabtu yang mewakili *weekend* dengan 3 periode, yaitu periode 1 jam 07.00 - 09.00 WIB, periode 2 jam 10.00 - 13.00 WIB dan periode 3 jam 15.00 - 18.00 WIB. Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan dalam diagram alir sebagai berikut (Gambar 2).

Pemodelan Simulasi *Vissim*

Pemodelan simulasi menggunakan aplikasi *Vissim* digunakan agar dapat

mensimulasi keadaan kondisi eksisting di lapangan. Pemodelan pada program dimulai dengan membuat *link*, meng-*input* data hasil survei sampai proses *running*.

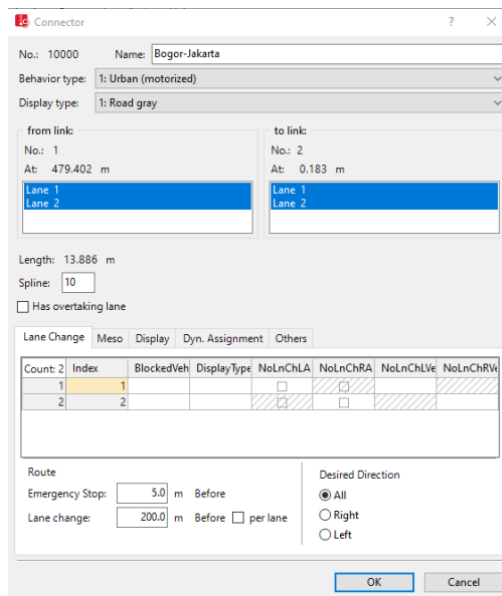
Membuat jaringan jalan pada *Vissim* dibuat dengan menggunakan *link* dan *connector*. *Link* digunakan untuk membuat jalan masing-masing lengan simpang dan *connector* digunakan untuk menyambungkan antar *link*. *Connectors* digunakan dengan menyambungkan *link* yang akan dihubungkan dengan *link* yang lain, contohnya seperti pada Gambar 3. *Vehicle Input* digunakan untuk memasukkan volume kendaraan pada *Vissim*. Volume kendaraan yang dimasukkan untuk pemodelan pada simulasi *Vissim* berdasarkan dari hasil pengukuran di lapangan. Tampilan jendela masukan data volume dalam satuan *unit* yang akan digunakan untuk pemodelan pada Simpang Ciracas dapat dilihat pada Gambar 4. Data yang akan digunakan pada *vehicle input* merupakan data dengan waktu per sepuluh menit.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. *Link* Simpang Ciracas

No Link	Nama Link	Lebar jalan (m)	Keterangan Link
1	Jl. Raya Bogor Selatan	7,00	Lajur Keluar
2	Jl. Raya Bogor Utara	7,00	Lajur Masuk
3	Jl. Raya Jakarta Utara	7,00	Lajur Keluar
4	Jl. Raya Jakarta Selatan	7,00	Lajur Masuk
5	Jl. Raya Ciracas 1	3,50	Lajur Masuk
6	Jl. Raya Ciracas 2	3,50	Lajur Keluar



Gambar 3. *Connector*

Vehicle Inputs / Vehicle Volumes By Time Interval					
Select layout...					
Coun	No	Name	Link	Volume(0)	VehComp(0)
1	1	1: Jl. Raya Bogor Selatan	881,0 1: Jl Raya Bogor-Jakarta		
2	2	3: Jl. Raya Jakarta Utara	1147,0 2: Jl Raya Jakarta-Bogor		
3	3	6: Jl. Raya Ciracas 2	225,0 3: Jl Raya Ciracas		

Count	1	Cont	TimeInt	Volume	VehComp	VolType
1	☐	0-MAX	881,0	1: Jl Raya Bogor-Jakarta	Stochastic	

Gambar 4. *Vehicle Input*

Static Vehicle Routing Decisions / Static Vehicle Routes													
Select layout...													
Static vehicle routes													
Coun	No	Name	Link	Pos	AllVehTypes	VehClasses	Count:2	VehRouteDec	No	Name	DestLink	DestPos	RelFlow(0)
1	1	1: Jl. Raya Bogor Selatan	6,360	☒	70,80,90,100		1	1	2: Jl. Raya Bogor Utara	508,148	0,868		
2	2	3: Jl. Raya Jakarta Utara	11,572	☒	70,80,90,100		2	1	5: Jl. Raya Ciracas 1	582,714	0,132		
3	3	6: Jl. Raya Ciracas 2	7,504	☒	70,80,90,100								

Gambar 5. *Vehicle Routes*

Rute kendaraan (*Vehicle Routes*) merupakan arah jalan kendaraan yang akan digunakan dalam pemodelan simulasi *Vissim*. Simpang Ciracas memiliki 3 lengan yang masing-masing lengan memiliki 2 rute kendaraan. Tampilan jendela *Vehicle Routes*

untuk memasukkan data rute Simpang Ciracas pada *Vissim* terdapat pada Gambar 5.

Kecepatan kendaraan yang dimasukkan kedalam pemodelan *Vissim* menggunakan kecepatan aktual yang telah diukur di lapangan untuk simulasi pada Simpang Ciracas dapat

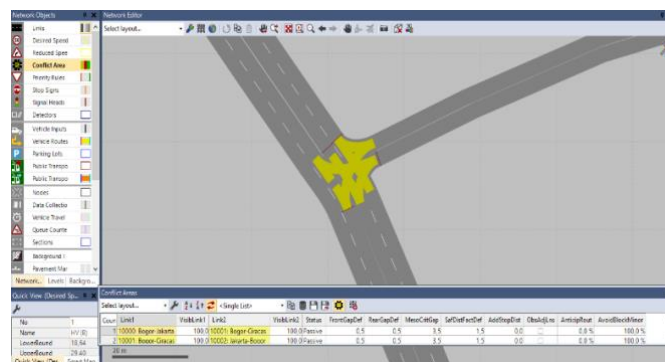
dilihat pada Gambar 6 yang merupakan data dan keterangan kecepatan kendaraan yang digunakan untuk pemodelan Simpang Ciracas batas bawah kecepatan (*lowerbound*) dan batas atas kecepatan (*upperbound*).

Conflict Area merupakan daerah konflik yang digunakan untuk mengontrol kendaraan agar tidak saling bertabrakan satu sama lain. *Conflict Area* pada Simpang Ciracas terjadi di antara pertemuan antara masing-masing lengan. *Conflict area* pada Simpang Ciracas

dapat dilihat pada Gambar 7. *Vehicle Composition* digunakan untuk memasukan komposisi kendaraan yang melewati masing-masing lengan simpang. Tampilan jendela untuk masukan data *vehicle compositions* pada *Vissim* yang sudah dikelompokkan menjadi per satu jam dengan *desired speed distribution* (kecepatan) yang sudah dimasukan dan *Rel flow* (rasio jenis kendaraan) yang terdapat pada masing-masing lengan dapat dilihat pada Gambar 8.

Coun	No	Name	LowerBound	UpperBound
1	1	HV (B)	18,64	29,40
2	2	LV (B)	20,22	27,16
3	3	MC (B)	28,66	42,01
4	4	UM (B)	5,00	15,00
5	5	HV (J)	20,44	31,06
6	6	LV (J)	23,44	37,02
7	7	MC (J)	29,70	45,86
8	8	UM (J)	5,00	15,00
9	9	HV (C)	25,13	28,19
10	10	LV (C)	29,10	38,16
11	11	MC (C)	32,98	40,27
12	12	UM (C)	5,00	15,00

Gambar 6. *Desired Speed Distribution*



Gambar 7. *Conflict Area Simpang Ciracas*

Coun	No	Name	Count	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	1	Jl Raya Bogor-Jakarta	1	630: HV	1: HV (B)	0,008
2	2	Jl Raya Jakarta-Bogor	2	640: LV	1: HV (B)	0,185
3	3	Jl Raya Ciracas	3	650: MC	1: HV (B)	0,805
			4	660: UM	1: HV (B)	0,002

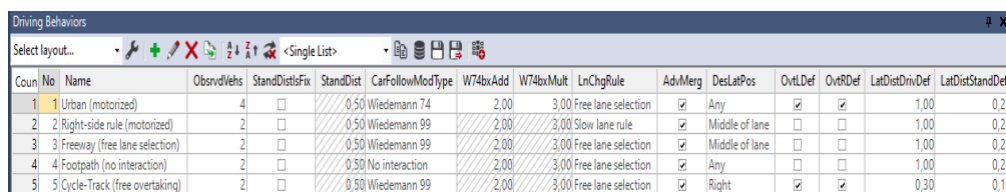
Gambar 8. *Vehicle Compositions*

Driving Behavior adalah perilaku pengemudi yang dimasukkan kedalam pemodelan simulasi *Vissim*. Perilaku pengemudi pada Simpang Ciracas dapat ditentukan dengan menggunakan data yang telah dikalibrasi. Tampilan masukan data kalibrasi *driving behavior* yang akan digunakan untuk pemodelan pada Simpang Ciracas dapat dilihat pada Gambar 9. *Signal Controllers* merupakan pengaturan *Traffic Light* pada simpang. *Signal* pada Simpang Ciracas memiliki waktu siklus yang berbeda selama pelaksanaan survei di lapangan. Salah satu contoh *signal* program untuk simpang Ciracas dapat dilihat pada Gambar 10. Proses simulasi pada program *Vissim* versi *student* hanya berdurasi 600 detik dengan interval waktu 0-3600 detik. Proses *running* yang dilakukan pada program *Vissim student version* dapat dilihat pada Gambar 11.

Kalibrasi Program *Vissim*

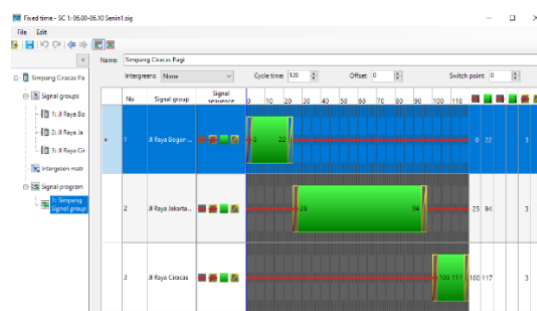
Kalibrasi merupakan proses pengecekan dan pengaturan akurasi dari hasil program *Vissim* dengan membandingkannya berdasarkan hasil pengukuran lapangan. Nilai yang digunakan untuk proses kalibrasi adalah nilai panjang antrian yang diperoleh dari lapangan dan hasil program.

Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan beberapa kombinasi, yaitu *default*, penelitian terdahulu yang dilakukan oleh In Irawati dalam penelitiannya yang berjudul Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Pada Kawasan Pasar Tradisional Dengan Pendekatan Mikrosimulasi dan kombinasi *trial & error*. Parameter yang diubah serta nilai kombinasi yang dilakukan pada pemodelan simulasi *Vissim* Simpang Ciracas dapat dilihat pada Tabel 2.

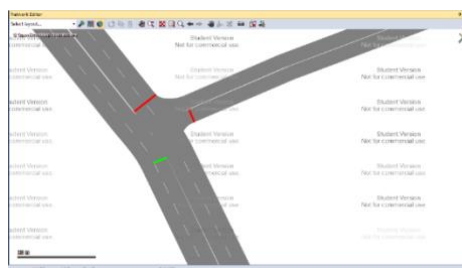


Count	No	Name	Observed	StandDistFix	StandDist	CarFollowModType	W74bxAdd	W74bxMult	LnChgRule	AdvMerg	DesLatPos	OvtLDef	OvtRDef	LatDistDrivDef	LatDistStandDef
1	1	Urban (motorized)	4	☐	0.50	Wiedemann 74	2.00	3.00	Free lane selection	☒	Any	☒	☒	1.00	0.20
2	2	Right-side rule (motorized)	2	☐	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Slow lane rule	☒	Middle of lane	☐	☐	1.00	0.20
3	3	Freeway (free lane selection)	2	☐	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	☒	Middle of lane	☐	☐	1.00	0.20
4	4	Footpath (no interaction)	2	☐	0.50	No interaction	2.00	3.00	Free lane selection	☒	Any	☐	☐	1.00	0.20
5	5	Cycle-Track (free overtaking)	2	☐	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	☒	Right	☒	☒	0.30	0.10

Gambar 9. *Driving Behavior* Simpang Ciracas



Gambar 10. *Signal Program* Simpang Ciracas



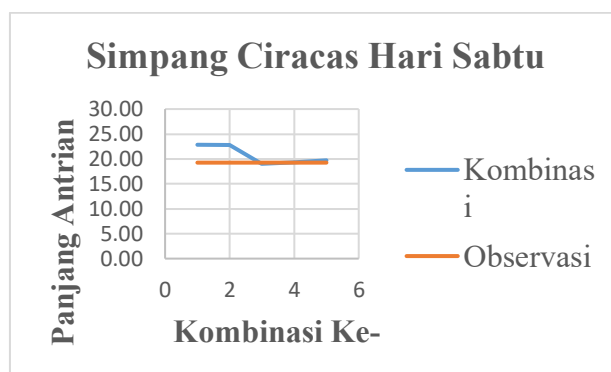
Gambar 11. Proses *Running*

Tabel 2 Kalibrasi Program Vissim

Paramater	Kombinasi				
	1	2	3	4	5
	<i>Default</i>	<i>Terdahulu</i>	<i>Trial & Error</i>		
<i>Average standstil distance</i>	2	2,25	1	1	1
<i>Additive part of safety distance</i>	2	2	2	2	2
<i>Multiplicative part off safety distance</i>	3	3	3	2	1



Gambar 12. Kumulatif Panjang Antrian Simpang Ciracas Hari Senin



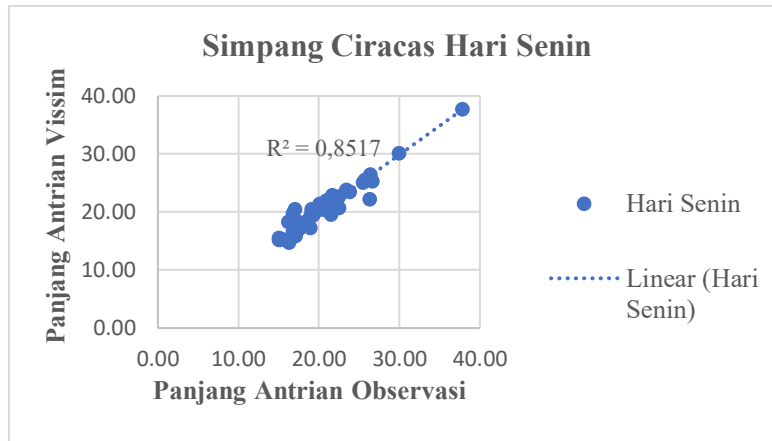
Gambar 13. Kumulatif Panjang Antrian Simpang Ciracas Hari Sabtu

Maka dapat disimpulkan hasil kombinasi yang mendekati hasil panjang antrian di lapangan adalah kombinasi ke-4, yaitu menggunakan kombinasi *trial & error* ke-2. (Lihat Gambar 12 dan 13).

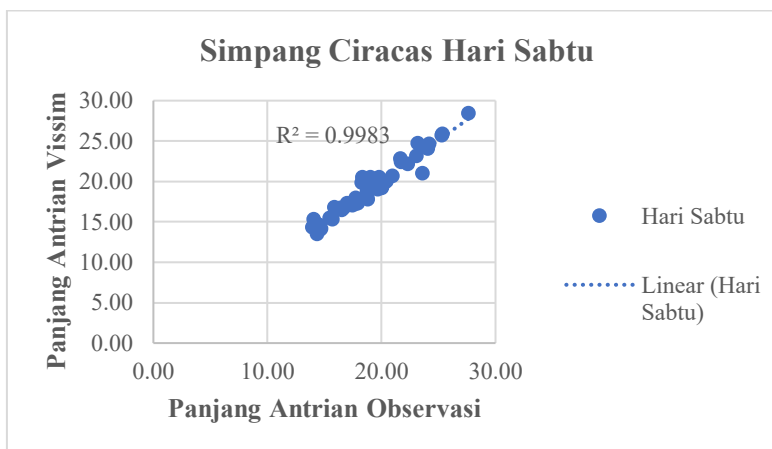
Validasi Hasil Program *Vissim*

Validasi merupakan proses pengukuran sejauh mana perbedaan nilai hasil simulasi program *Vissim* dengan hasil observasi yang menunjukkan tingkat kevalidan suatu data. Nilai kolerasi antara panjang antrian program

Vissim dengan hasil observasi merupakan parameter yang digunakan untuk menguji seberapa jauh keakuratan nilai validitas hasil kalibrasi. Gambar 14 dan Gambar 15 menjelaskan nilai kolerasi antara panjang antrian hasil simulasi program *Vissim* dengan hasil observasi dengan menggunakan *trendline* linear dan nilai R^2 yang mendekati angka 1,0 yaitu 0,8517 untuk Simpang Ciracas pada hari senin dan 0,9983 untuk Simpang Ciracas pada hari sabtu, yang artinya nilai tersebut cukup bagus karena mendekati angka 1.



Gambar 14. Grafik Panjang Antrian Hari Senin



Gambar 15. Grafik Panjang Antrian Hari Sabtu

Tabel 3 Skenario Penyesuaian Waktu Siklus

Waktu	Skenario	Waktu Siklus
06.00-06.10	1	75 Detik
	2	80 Detik
	3	85 Detik
	4	90 Detik
	5	95 Detik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Pengurangan Emisi Gas Buang

Nilai emisi gas buang kendaraan pada Simpang Ciracas masih dikategorikan cukup tinggi, oleh karena itu perlu adanya optimasi pada kinerja simpang agar dapat memberikan kinerja dengan baik dan dapat mengurangi nilai emisi gas buang yang dihasilkan oleh

kendaraan yang melewati simpang tersebut. Pengolahan data untuk proses optimasi menggunakan data pada menit yang mempunyai volume kendaraan sangat tinggi, yaitu hari Senin pada jam 06.00 - 06.10 WIB. Optimasi kinerja simpang dalam mengurangi emisi gas buang kendaraan yaitu dengan menyesuaikan waktu siklus. Penyesuaian waktu siklus yang dilakukan dalam optimasi

dengan 5 skenario yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Setelah melakukan skenario penyesuaian waktu siklus di atas, maka diperoleh nilai emisi gas buang kendaraan sebelum dan setelah skenario yang dapat

dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4 bahwa skenario penyesuaian waktu siklus dalam optimalisasi pengurangan emisi gas buang kendaraan terjadi pada skenario ke-2, dengan penurunan nilai emisi rata-rata sebesar 12,24%.

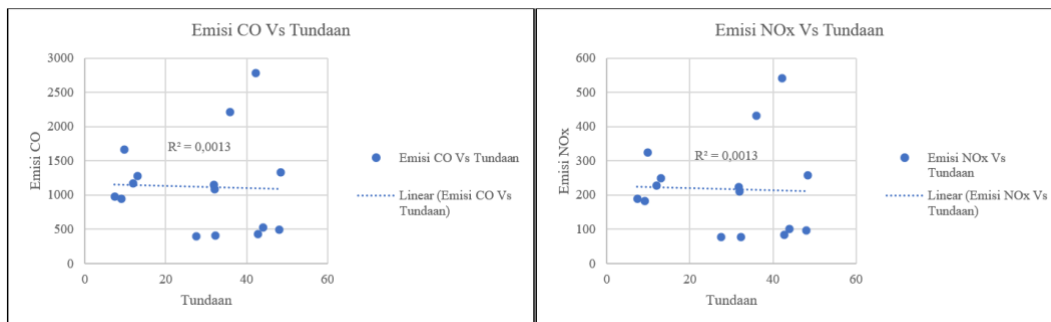
Tabel 4. Hasil Skenario Penyesuaian Waktu Siklus

Sebelum Optimasi									
Lengan	All Red	Merah	Kuning	Hijau	Antrian	Tundaan	LOS	CO	NO _x
Jl Raya Bogor	3	95	3	19	22,87	38,33	D	70,32	13,68
Jl Raya Jakarta	3	48	3	66	12,33	12,75	B	166,54	32,40
Jl Raya Ciracas	3	100	3	14	20,60	38,58	D	29,73	5,78
Waktu Siklus	120								
Optimasi 1									
Jl Raya Bogor	3	55	3	10	15,40	30,05	C	67,88	13,21
Jl Raya Jakarta	3	18	3	37	12,23	8,61	A	160,66	31,26
Jl Raya Ciracas	3	50	3	10	22,42	22,61	C	22,79	4,43
Waktu Siklus	75								
Optimasi 2									
Jl Raya Bogor	3	55	3	10	19,79	31,53	C	66,48	12,93
Jl Raya Jakarta	3	18	3	42	11,52	6,86	A	150,43	29,27
Jl Raya Ciracas	3	50	3	10	14,84	32,86	C	23,31	4,54
Waktu Siklus	80								
Optimasi 3									
Jl Raya Bogor	3	55	3	12	16,75	30,76	C	68,74	13,37
Jl Raya Jakarta	3	18	3	43	12,19	8,85	A	160,07	31,14
Jl Raya Ciracas	3	50	3	12	17,65	41,68	D	23,32	4,54
Waktu Siklus	85								
Optimasi 4									
Jl Raya Bogor	3	55	3	12	18,68	34,66	C	70,22	13,66
Jl Raya Jakarta	3	18	3	50	11,23	9,22	A	159,10	30,96
Jl Raya Ciracas	3	50	3	10	17,93	27,25	C	22,79	4,43
Waktu Siklus	90								
Optimasi 5									
Jl Raya Bogor	3	55	3	15	23,52	32,89	C	67,43	13,12
Jl Raya Jakarta	3	18	3	50	12,59	9,02	A	157,30	30,61
Jl Raya Ciracas	3	50	3	12	14,84	36,02	D	24,50	4,77
Waktu Siklus	95								

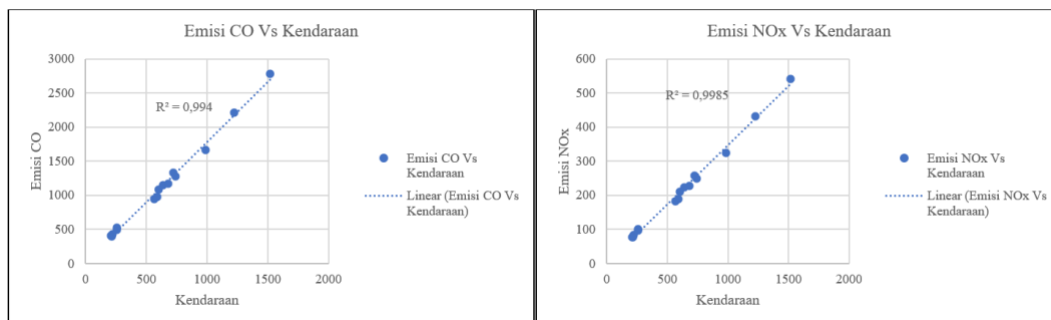
Analisis Biaya Emisi

Beban emisi yang dihasilkan oleh *software vissim* pada kondisi eksisting saat *peak hour* (hari senin pada pukul 06.00 WIB – 08.00 WIB, pukul 17.00 WIB – 18.00 WIB) dan *off peak* (hari senin pada pukul 11.00 WIB – 13.00 WIB). Beban emisi yang dihasilkan disajikan dalam bentuk grafik untuk diketahui hubungan hasil nilai emisi terhadap kondisi

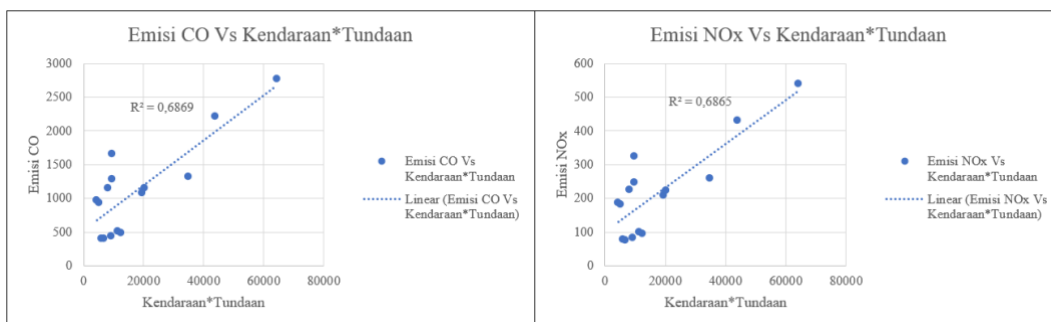
lalu lintas pada simpang tersebut. Berdasarkan Gambar 16 sampai Gambar 18 diketahui bahwa korelasi antara emisi dengan tundaan kendaraan adalah sebesar 0,13%, korelasi antara emisi dengan jumlah kendaraan adalah sebesar 99,85%, sedangkan korelasi antara emisi dengan jumlah kendaraan yang sudah dikalikan dengan waktu tundaan kendaraan adalah sebesar 68,69%.



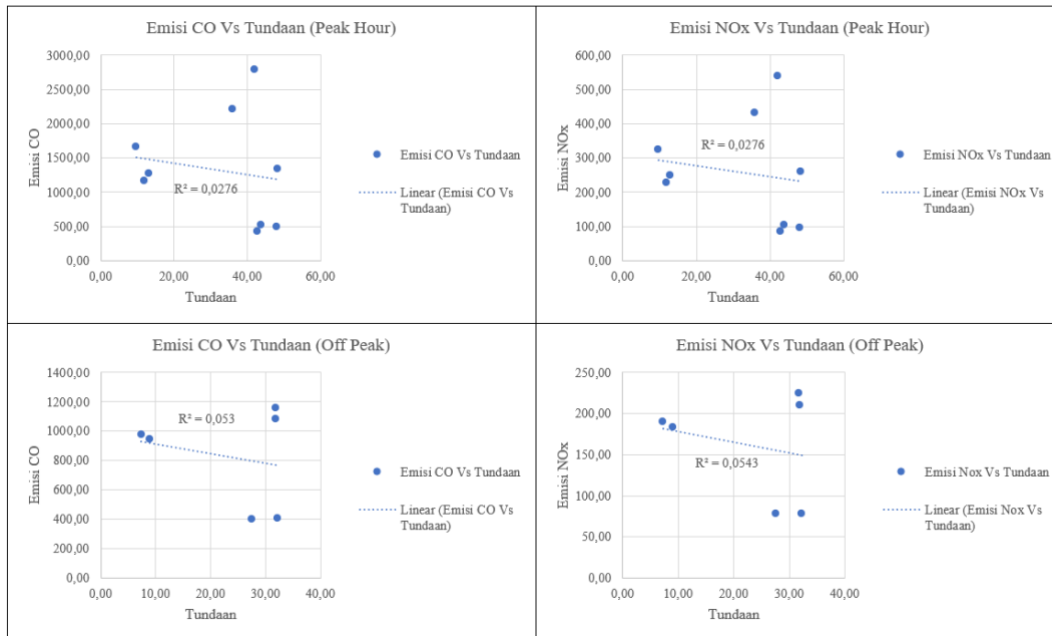
Gambar 16. Grafik Gabungan Hubungan Emisi Vs Tundaan



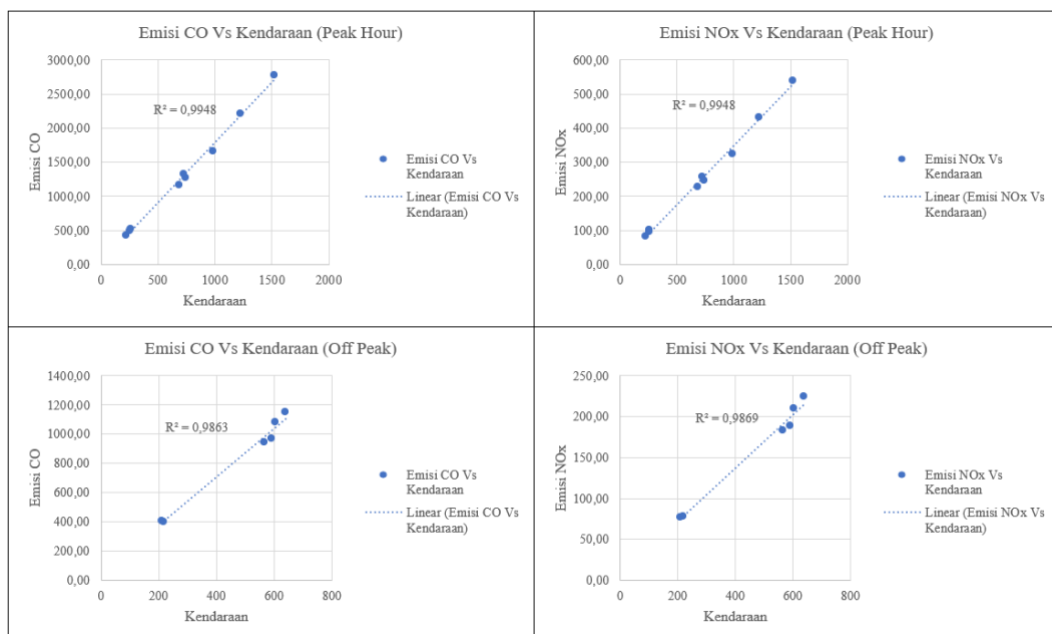
Gambar 17. Grafik Gabungan Hubungan Emisi Vs Kendaraan



Gambar 18. Grafik Gabungan Hubungan Emisi Vs Kendaraan*Tundaan



Gambar 19. Grafik Hubungan Emisi Vs Tundaan Kondisi *Peak Hour* dan *Off Peak*



Gambar 20. Grafik Hubungan Emisi Vs Kendaraan Kondisi *Peak Hour* dan *Off Peak*

Berdasarkan Gambar 19 sampai Gambar 21 diketahui bahwa korelasi antara emisi dengan tundaan kendaraan adalah sebesar 2,76% untuk kondisi *peak hour* dan 5,43% untuk kondisi *off peak*, korelasi antara emisi dengan jumlah kendaraan adalah sebesar 99,48% untuk kondisi *peak hour* dan 98,69% untuk kondisi *off peak*, sedangkan korelasi antara emisi dengan jumlah kendaraan yang

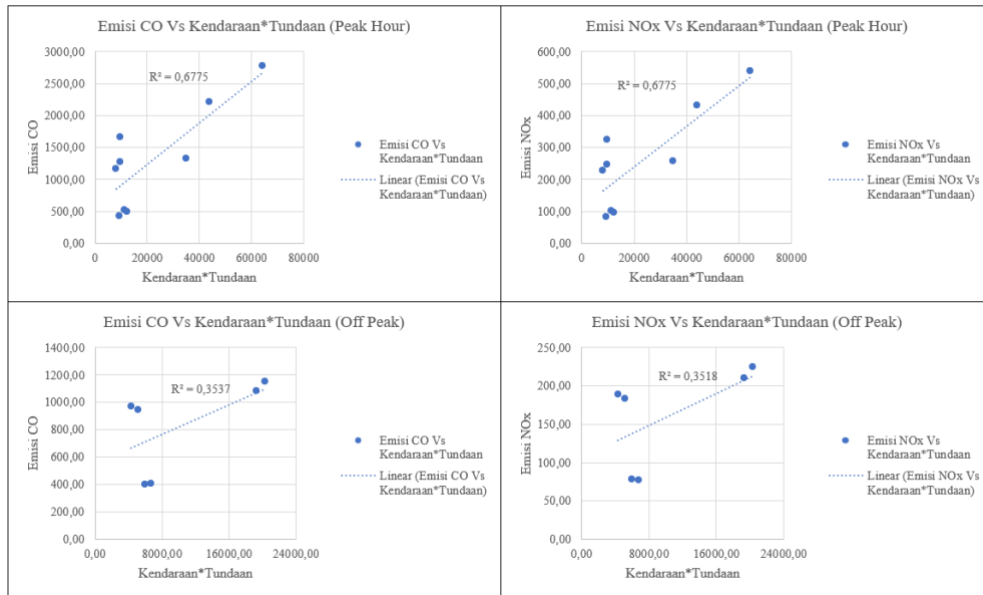
sudah dikalikan dengan waktu tundaan kendaraan adalah sebesar 67,75% untuk kondisi *peak hour* dan 35,37% untuk kondisi *off peak*.

Berdasarkan analisa tersebut dapat disimpulkan bahwa beban emisi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh jumlah kendaraan yang melewati suatu persimpangan. Biaya emisi dihasilkan dengan memperkirakan

biaya per ton emisi dari masing-masing polutan yang dihasilkan dari kendaraan menggunakan asumsi biaya berdasarkan polutan yang dipakai pada penelitian *Victoria Transport Policy Institute* seperti pada Tabel 5.

Berikut merupakan hasil analisa biaya emisi yang dihasilkan dalam kondisi eksisting saat *peak hour* (diasumsikan kondisi satu jam

saat *peak hour* untuk mewakili kendaraan yang melintas pada Simpang Ciracas) dalam bentuk tabel konversi satuan yang dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa biaya emisi untuk polutan CO adalah sebesar Rp. 123.605.508,37 ton/ tahun dan untuk polutan NOx adalah sebesar Rp. 109.569.187,89 ton/ tahun.



Gambar 21. Grafik Hubungan Emisi Vs Kendaraan*Tundaan Kondisi *Peak Hour* dan *Off Peak*

Tabel 5. Biaya Polutan Per Ton

Zat Pencemar (Emisi)	Biaya Per Ton (\$)
CO	\$ 205,00
HC	\$ 44,00
NOx	\$ 934,00
PM ₁₀	\$ 3,17
CO ₂	\$ 205,00
SO ₂	\$ 1.000,00

Sumber: *Victoria Transport Policy Institute*, 2011

Tabel 6. Konversi Biaya Emisi

TABEL KONVERSI		
CO	NOx	SATUAN
4546,257	884,528	Gram/ Jam
39,825	7,748	Ton/ Tahun
\$ 8.164,17	\$ 7.237,07	(\$) Ton/ Tahun
Rp123.605.508,37	Rp109.569.187,89	(Rp) Ton/ Tahun

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kemacetan yang terjadi pada kondisi eksisting diukur berdasarkan data yang diambil secara langsung diperoleh nilai antrian rata-rata sebesar 19,95 meter dan waktu tunda rata-rata sebesar 12,12 detik.
2. Hasil kalibrasi program *Vissim* dengan kondisi eksisting di lapangan terhadap tiga parameter *driving behaviour* dengan kombinasi 4, yaitu *trial & error* 2 mendekati hasil observasi dan nilai validasi menggunakan *trendline* dengan kolerasi nilai R^2 yang mendekati angka 1,0, yaitu 0,8517 untuk Simpang Ciracas pada hari senin dan 0,946 untuk Simpang Ciracas pada hari sabtu, yang artinya nilai tersebut cukup bagus karena mendekati angka 1.
3. Besarnya nilai emisi gas buang kendaraan pada jam puncak yaitu pada lengan Jalan Raya Bogor untuk gas CO sebesar 70,32 gram dan NO_x sebesar 13,68 gram, pada lengan Jalan Raya Jakarta untuk gas CO sebesar 166,54 gram dan NO_x sebesar 32,40 gram, pada lengan Jalan Raya Ciracas untuk gas CO sebesar 29,73 gram dan NO_x sebesar 5,78 gram yang dilakukan pada simulasi program *Vissim*.
4. Optimasi pengurangan emisi gas buang kendaraan menggunakan pemodelan *Vissim* dilakukan dengan melakukan 5 skenario penyesuaian waktu siklus, yaitu 75 detik, 80 detik, 85 detik, 90 detik dan 95 detik.
5. Alternatif yang paling optimum dalam mengurangi emisi gas buang kendaraan yaitu pada skenario 2 dengan penyesuaian waktu siklus menjadi 80 detik dengan hasil

penurunan emisi gas bunag pada lengan Jalan Raya Bogor untuk gas CO sebesar 66,48 gram dan NO_x sebesar 12,93 gram, pada lengan Jalan Raya Jakarta untuk gas CO sebesar 150,43 gram dan NO_x sebesar 29,27 gram, pada lengan Jalan Raya Ciracas untuk gas CO sebesar 23,31 gram dan NO_x sebesar 4,54 gram atau atau penurunan rata-rata sebesar 12,24%.

6. Biaya emisi yang dihasilkan untuk polutan CO saat kondisi eksisting adalah sebesar Rp. 123.605.508,37 ton/ tahun, sedangkan untuk polutan NO_x saat kondisi eksisting adalah sebesar Rp. 109.569.187,89 ton/ tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, A. A. (2008). *Rekayasa Lalu Lintas Edisi Revisi*. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Aryandi R. D., Munawar. (2014). Penggunaan *Software Vissim* untuk Analisis Simpang Bersinyal (Studi Kasus: Simpang Mirota Kampus Terban Yogyakarta). *Jurnal The 17th FSTPT International Symposium*, Vol.2, No.1: 22–24.
- Bina Marga, (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Dinas Pekerjaan Umum.
- Csikos, Alfred dan Istvan Varga. (2012). Real-Time Modeling And Control Objective Analysis Of Motorway Emissions. *Jurnal Transportation Research Procedia*, Vol 54, No.12: 1027-1036.
- Deka, H., Ihksan, T. Dan Muchlisin (2017). *Modul Pembelajaran Traffic Micro-Simulation Program PTV Vissim* 9. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Gastaldi, M., Meneguzzer, C., Rossi, R., Lucia, L. D. And Gecchele, G. (2014). *Evaluation Of Air Pollution Impacts Of A Signal Control To Roundabout Conversion Using Microsimulation*.

- Jurnal Transportation Research Procedia, Vol. 3, No.14: 1031-1040.
- Irawati, I. (2015). Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Pada Kawasan Pasar Tradisional Dengan Pendekatan Mikrosimulasi. Jurnal Universitas Semarang. Semarang.
- Ismayanti, R. I., Boedisantoso, R., Assomadi, A. F. (2011). Kajian Emisi CO₂ Menggunakan Persamaan Mobile 6 Dan Mobile Combustion Dari Sektor Transportasi Di Kota Surabaya. Jurnal Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Marissa, U. (2017). Mikrosimulasi Lalu Lintas Pada Simpang Tiga Dengan Software Vissim (Studi Kasus: Simpang Jl. A. P. Pettarani – Jl. Let. Jend. Hertasning Dan Simpang Jl. A. P. Pettarani – Jl. Rappocini Raya). Skripsi Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Meneguzzar, C., Gastaldi, M., Rossi, R. And Gecchele, G. (2017). Comparison Of Exhaust Emissions At Intersections Under Traffic Signal Versus Roundabout Control Using An Instrumented Vehicle. Jurnal Transportation Research Procedia. Vol. 25, No.17: 1597-1609.
- Nahdalina., Hadiwardoyo, S. P., and Nahry (2017). Impact Of Traffic Composition On Accessibility As Indicator Of Transport Sustainability. IOP Conference Series : Earth And Environment Science 67.
- Nisatun, M. (2019). Perencanaan Kinerja Simpang Bersinyal Stagger Menggunakan Software Vissim (Studi Kasus: Simpang Manunggal, Kota Bogor). Skripsi Universitas Gunadarma. Jakarta.
- Olja, C., Ivan, I., And Snezana, K. (2019). Prediction of Exhaust Emission Costs in Air and Road Transportation. Jurnal Sustainability. No. 11: 4688.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI. (2012). Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori L3 Tahun 2012, Nomor 10.
- PTV GROUPS. (2021). Planung Transport Verkehr AG. Available at: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/product/ptv-vissim/> [diakses 19/06/2021].
- Rista, D. L., dan Imam, B. (2018). Analisis Emisi Gas Buang Di Sektor Transportasi Studi Kasus Daerah Istimewa Yogyakarta. Jurnal Konfrensi Nasional Teknik Sipil, Vol. 12, No. 7: 185-194.
- Rizqi, F. A., Rahayu, S., Siti, A. M. P. O., dan Dwi, H. (2022). Analisis Kerugian Biaya Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Akibat Volume Lalu Lintas di Ruas Jalan Kota Bandar Lampung. Jurnal Rekaya Sipil dan Desain, Vol. 10, No. 3: 433-440.
- Victoria Transport Policy Institute, (2011). Transportation Cost and Benefit Analysis II. Australia.