

ANALISIS KINERJA SIMPANG BERSINYAL PADA SIMPANG EMPAT KETANDAN DAN SIMPANG EMPAT SANGKRAH KOTA SURAKARTA DENGAN PERANGKAT LUNAK PTV VISTRO

Budi Yulianto^{1*}, Uti Najwa Atras¹, Setiono¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta, Jawa Tengah 57126

*Corresponding author: budi_yulianto@hotmail.com

Abstract

The city of Surakarta, located in the southern part of Java island, is one of the cities that has become a trading node in the golden triangle area in the province of Central Java. This caused traffic jams at several points in Surakarta City such as the Simbang Empat Ketandan and Simbang Empat Sangkrah. An analysis is necessary for intersections where traffic conflicts occur in order to generate improved performance. PTV Vistro is a software used to analyze the performance of signalized intersections using the HCM 2010 method based on the degree of saturation (DS) and delay (D). Statistical Product and Service Solutions (SPSS) is used to validate base scenario modeling with the queue length parameter (m) to produce data that is representative of conditions in the field. The analysis was carried out under existing conditions and a single scenario. The results of the analysis at the two intersections produce a single scenario with the optimization type Minimize Critical Movement (Split & Cycle Time) having the best performance compared to other optimizations. Simbang Empat Ketandan during the morning rush hour produces DS = 0.36 and D = 36 sec/pcu and during the afternoon rush hour the values DS = 0.48 and D = 42 sec/pcu. The Simbang Empat Sangkrah intersection during the morning rush hour resulted in a value of DS = 0.24 and D = 14 sec/pcu and during the afternoon rush hour the value of DS = 0.45 and D = 18 sec/pcu.

Keywords: degree of saturation, delay, HCM 2010, PTV Vistro, signalized intersection.

Abstrak

Kota Surakarta yang terletak di jalur Selatan pulau Jawa, merupakan salah satu kota yang menjadi simpul perdagangan kawasan segitiga emas di provinsi Jawa Tengah. Hal tersebut menyebabkan kemacetan di beberapa titik Kota Surakarta seperti di Simbang Empat Ketandan dan Simbang Empat Sangkrah. Simbang yang terjadi konflik kemacetan perlu dilakukan analisis agar menghasilkan kinerja yang lebih baik. PTV Vistro merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal dengan metode HCM 2010 berdasarkan nilai derajat kejenuhan (DS) dan tundaan (D). Statistical Product and Service Solutions (SPSS) digunakan untuk validasi pemodelan base scenario dengan parameter panjang antrian (m) untuk menghasilkan data yang representatif dengan kondisi di lapangan. Analisis dilakukan dalam kondisi eksisting dan skenario tunggal. Hasil analisis pada kedua simpang menghasilkan skenario tunggal dengan tipe optimasi Minimize Critical Movement (Split & Cycle Time) memiliki kinerja terbaik dibanding optimasi lainnya. Simbang Empat Ketandan pada jam sibuk pagi menghasilkan nilai DS = 0,36 dan D = 36 det/smp serta pada jam sibuk sore nilai DS = 0,48 dan D = 42 det/smp. Simbang Empat Sangkrah pada jam sibuk pagi menghasilkan nilai DS = 0,24 dan D = 14 det/smp serta pada jam sibuk sore nilai DS = 0,45 dan D = 18 det/smp.

Kata Kunci : derajat kejenuhan, HCM 2010, PTV Vistro, simpang bersinyal, tundaan.

PENDAHULUAN

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik 2022 jumlah penduduk Kota Surakarta pada tahun 2022 mencapai 523.008 jiwa dan mengalami laju pertumbuhan mencapai 0,05% per tahun 2021-2022. Seiring dengan pertumbuhan penduduk tersebut tentunya juga disertai dengan peningkatan kebutuhan akan mobilitas. Volume kendaraan bermotor yang melaju di jalanan Kota Surakarta berkisar antara 500.000-1 juta unit per hari. Hal tersebut menunjukkan bahwa pesatnya pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor berdampak terhadap kemacetan lalu lintas di beberapa titik Kota Surakarta pada saat *peak hour*. Kemacetan lalu lintas menyebabkan penundaan yang berlebihan, berkurangnya keamanan dan peningkatan pencemaran lingkungan. Simbang merupakan daerah umum di mana dua jalan atau lebih bergabung, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu lintas (Noronha, 2011).

Jaisyurrahman (2022) melakukan penelitian tentang analisis kinerja simpang bersinyal Simbang Empat Gading dan Simbang Empat Baturono menggunakan perangkat lunak PTV Vistro. Analisis dilakukan dengan metode *Highway Capacity Manual* (HCM) 2010 yang sesuai dengan kondisi Indonesia, pemodelan dan perbandingan

dilakukan dengan tiga skenario yaitu kondisi eksisting, skenario optimasi tunggal, serta skenario optimasi terkoordinasi berdasarkan parameter tundaan (*delay*) dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*). Beberapa penelitian telah melakukan analisis simpang yang bertujuan untuk menurunkan tundaan pada simpang seperti yang dilakukan oleh Hayati et al. (2016) melakukan penelitian dengan judul “Simulasi Dampak Lalu Lintas Pengoperasian Jember Sport Garden Menggunakan PTV Vistro”. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kinerja simpang di sekitar Jember Sport Garden menggunakan PTV Vistro dan menentukan metode penanganan untukantisipasi dampak lalu lintas.

Volume lalu lintas yang relatif tinggi berdampak terhadap kinerja simpang, sehingga perlu dianalisis kembali kinerja simpang tersebut untuk mengetahui tingkat pelayanan jalan untuk kondisi sekarang. Sama seperti yang dilakukan oleh Arifin et al. (2016) melakukan penelitian dengan judul “Optimasi Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas Simpang pada Jalur Utama Antar Kota Kabupaten Lumajang Menggunakan PTV Vistro”. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui hasil analisis kinerja simpang menggunakan PTV Vistro pada kondisi eksisting 2015, tahun rencana 2021, dan tahun rencana 2026. Penggunaan perangkat lunak PTV Vistro dalam perencanaan transportasi dapat membantu dalam menyimpan data masukan simpang untuk digunakan pada waktu yang lain.

PTV Vistro menghasilkan level of service (LoS) pada tiap pendekatan simpang bersinyal, seperti yang dilakukan oleh Geladi et al. (2018) melakukan penelitian dengan judul “Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 dan Perangkat Lunak PTV Vistro (Studi Kasus Simpang Empat Ngemplak dan Simpang Tiga Gilingan Kota Surakarta)”. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja simpang bersinyal dengan metode MKJI 1997 dan perangkat lunak PTV Vistro. Dengan mengubah nilai base saturation flow (So) dan nilai Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) untuk sepeda motor, hasil analisis panjang antrean mendekati kondisi eksisting. Setelah dikalibrasi dengan uji T, hasil pemodelan dan kondisi eksisting tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perangkat lunak PTV Vistro cenderung menghasilkan parameter derajat kejenuhan (DS), tundaan (D), serta tingkat pelayanan (LoS) yang lebih baik dibandingkan dengan metode MKJI 1997. Kriswardhana & Sulistyono (2019) melakukan penelitian yang berjudul “Intersection Performance Study Using PTV Vistro (Case Study: Jember)” dengan tujuan mengetahui kinerja berbagai simpang di Kabupaten Jember menggunakan perangkat lunak PTV Vistro berdasarkan nilai tundaan.

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No PM 96 Tahun 2015, pengaturan simpang dilakukan berdasarkan klasifikasi jaringan jalan dan gerakan lalu lintas yang terjadi di tiap pendekatan maupun persimpangan. Simpang Empat Ketandan merupakan kawasan pusat perdagangan masyarakat Surakarta untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Terdapat jalur lintas angkutan barang yaitu dari jalur pendekatan utara ke selatan, kemudian banyak angkutan barang yang melakukan pelanggaran-pelanggaran melewati jalur yang tidak boleh dilewati oleh kendaraan tersebut yaitu jalur dari pendekatan timur ke selatan sehingga menjadi pemicu terjadinya kepadatan lalu lintas. Pada Simpang Empat Sangkrah merupakan kawasan wisata bangunan peninggalan sejarah *Fort Vastenburg*, serta dekat dengan Luwes Loji Wetan yang merupakan tempat masyarakat melakukan aktivitas berbelanja. Arus lalu lintas pada simpang ini cukup sibuk dikarenakan berdekatan dengan Simpang Empat Ketandan. Permasalahan yang terjadi pada kedua simpang tersebut berdampak pada tundaan kendaraan di simpang dan kemacetan pada jam-jam sibuk, sehingga penelitian ini mengenai masalah tersebut.

PTV Vistro

Planung Transport Verkehr Vistro atau PTV Vistro merupakan perangkat lunak yang dikembangkan di Jerman. PTV Vistro memiliki fitur-fitur lengkap dalam memodelkan dan menganalisis lalu lintas di persimpangan jalan, termasuk simpang bersinyal. Analisis simpang bersinyal dilakukan menggunakan PTV Vistro berdasarkan parameter derajat kejenuhan (DS) dan tundaan (D) (PTV Vistro, 2023). Diperlukan proses kalibrasi dan validasi agar hasil yang didapat mendekati dengan keadaan aktual di lapangan, sebagai syarat dilakukannya optimasi (Komala, 2022). Data lapangan yang dapat diukur adalah panjang antrean dalam satuan meter (m) yang dikonversi ke persentil-95 (Wu, 2014).

HCM 2010

Metode analisis yang digunakan harus disesuaikan dengan kondisi transportasi di Indonesia. Metode HCM 2010 didasarkan pada *lane group* yang merupakan suatu lajur atau kumpulan lajur yang ditujukan untuk analisis secara terpisah. Setiap pendekatan pada simpang memiliki satu atau lebih untuk *lane group*. PTV Vistro menghasilkan *level of*

service (LoS) pada tiap pendekat simpang bersinyal, sehingga dibutuhkan acuan seperti yang dilakukan oleh Geladi *et al.* (2018). *Level of Service* (LoS) ditentukan untuk setiap lajur dan simpang secara keseluruhan sebagaimana disajikan pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Tingkatan pelayanan simpang bersinyal berdasarkan metode HCM 2010

Level of Service (LoS)	Tundaan (D) (detik/kendaraan)	Deskripsi Umum
LoS A	≤ 10	Arus bebas
LoS B	$> 10-20$	Arus stabil (tundaan sedikit)
LoS C	$> 20-35$	Arus stabil (tundaan dapat diterima)
LoS D	$> 35-55$	Mendekati arus stabil (toleransi tundaan, sesekali menunggu lebih dari satu siklus sinyal sebelum melanjutkan perjalanan)
LoS E	$> 55-80$	Arus tidak stabil (tundaan tidak dapat diterima)
LoS F	> 80	Arus terhambat (macet dan antrean panjang)

Sumber: (US-HCM, 2010)

METODE

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode HCM 2010 dengan analisis dalam empat optimasi. Dalam penelitian ini data yang dibutuhkan adalah data primer yaitu geometrik simpang, arus lalu lintas, dan panjang antrean (m), serta data sekunder yaitu fase sinyal dan waktu sinyal. Data geometri simpang diukur menggunakan *measuring wheel*. Jarak antara Simpang Empat Ketandan dan Simpang Empat Sangkráh adalah 390 meter. Pengumpulan data arus lalu lintas dilakukan observasi di lapangan pada jam sibuk, yaitu pagi hari pukul 06.30-08.30 WIB dan sore hari pukul 15.30-17.30 WIB, data arus lalu lintas diambil tiap interval 15 menit. Data arus lalu lintas yang disurvei terdiri dari lima jenis kendaraan, yaitu kendaraan tidak bermotor (UM), sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), kendaraan berat (HV), dan bus. Nilai data arus lalu lintas yang didapat memiliki satuan kendaraan per jam (kend/jam), kemudian diubah menjadi satuan mobil penumpang (smp/jam) dengan mengalikan nilai total tersebut dengan nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP). Data fase sinyal dan waktu sinyal diperoleh dari Dinas Perhubungan Kota Surakarta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Simpang Empat Ketandan yaitu persimpangan antara Jalan Kapten Mulyadi dan Jalan RE Martadinata, dan Simpang Empat Sangkráh merupakan persimpangan antara Jalan Kapten Mulyadi, Jalan Mayor Sunaryo dan Jalan Demangan, Kota Surakarta. Berikut detail lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. berikut.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Analisis Jam Puncak Pagi dan Sore

Analisis jam puncak dikategorikan dalam interval setiap satu jam. Jumlah arus tiap simpang kemudian dijumlah untuk mendapat interval jam dengan arus tertinggi. Jam puncak dihitung selama 60 menit karena PTV Vistro hanya dapat menganalisis arus dalam interval maksimal satu jam. Hasil analisis jam puncak simpang bersinyal disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis jam puncak pagi dan sore

Simpang		Ketandan (smp/jam)	Sangkrah (smp/jam)	Total (smp/jam)	
Waktu	Pagi (WIB)	06.30 - 07.30	2363	564	2926
		06.45 - 07.45	2334	768	3102
		07.00 - 08.00	2268	492	2760
		07.15 - 08.15	2193	399	2592
		07.30 - 08.30	2080	586	2666
	Sore (WIB)	15.30 - 16.30	2263	920	3182
		15.45 - 16.45	2318	1301	3619
		16.00 - 17.00	2175	815	2990
		16.15 - 17.15	2080	682	2762
		16.30 - 17.30	1968	693	2660

Berdasarkan Tabel 2. menunjukkan bahwa jam sibuk pagi terjadi pada rentang waktu antara pukul 06.35-07.45 WIB dengan total kendaraan pada kedua simpang 3102 smp/jam, sedangkan jam sibuk sore terjadi pada rentang waktu antara pukul 15.45-16.45 WIB dengan total kendaraan 3619 smp/jam.

Analisis Kinerja Simpang Bersinyal dalam Kondisi Eksisting

Analisis kinerja simpang bersinyal dalam kondisi eksisting menggunakan data arus lalu lintas dan waktu sinyal yang didapat dari hasil survei di lapangan. Berdasarkan metode HCM 2010, nilai arus jenuh (S_0) yang digunakan dalam analisis adalah 1900 kendaraan per jam hijau. Menyesuaikan metode HCM 2010, maka data arus lalu lintas dalam pemodelan menggunakan satuan mobil penumpang (smp/jam). Hasil analisis kinerja simpang bersinyal dalam kondisi eksisting disajikan dalam Tabel 3. dan Tabel 4. berikut.

Tabel 3. Hasil analisis PTV Vistro dalam kondisi eksisting di simpang empat Ketandan

Waktu	Pendekat	Parameter Kinerja Simpang Bersinyal			
		Derajat Kejujahan (DS)	Panjang Antrean (QL) (m)	Tundaan (D) (det/smp)	Tingkat Pelayanan (LoS)
06.45	Barat	0,24	30	49	D
	Utara	0,52	61	58	E
	Timur	0,12	10	56	E
07.45	Selatan	0,46	90	32	C
	Simpang	0,36	48	42	D
15.45	Barat	0,54	79	47	D
	Utara	0,47	60	48	D
	Timur	0,13	9	54	D
16.45	Selatan	0,62	103	41	D
	Simpang	0,48	63	45	D

Tabel 4. Hasil analisis PTV Vistro dalam kondisi eksisting di simpang empat Sangkrah

Waktu	Pendekat	Parameter Kinerja Simpang Bersinyal			
		Derajat Kejujahan (DS)	Panjang Antrean (QL) (m)	Tundaan (D) (det/smp)	Tingkat Pelayanan (LoS)
06.45	Barat	0,18	15	28	C
	Utara	0,34	41	18	B
	Timur	0,21	14	31	C
07.45	Selatan	0,10	8	6	A
	Simpang	0,24	19	19	B
15.45	Barat	0,50	56	44	D
	Utara	0,37	55	18	B
	Timur	0,91	74	69	E
16.45	Selatan	0,16	15	7	A
	Simpang	0,44	50	35	D

Berdasarkan kondisi eksisting, pada Simpang Empat Ketandan di jam sibuk pagi dan sore menghasilkan parameter D yang berarti mendekati arus stabil. Sedangkan pada Simpang Empat Sangkrah di jam sibuk pagi menghasilkan kinerja dengan parameter B yang berarti arus stabil dengan tundaan sedikit dan jam sibuk sore dengan parameter D. Selanjutnya dilakukan Uji T dengan perangkat lunak *Statistical Product and Service Solutions* (SPSS), syarat model simulasi dapat dikatakan merepresentasikan kondisi di lapangan dengan baik yaitu nilai hasil analisis dengan SPSS menunjukkan nilai $T_{hitung} < T_{tabel} (two-tailed) = 1$ dan nilai $P (two-tailed) > 0,05$. Perbandingan hasil analisis Uji T antara pemodelan dan data lapangan dapat dilihat pada Tabel 5. sampai dengan Tabel 6.

Tabel 5. Perbandingan panjang antrean pemodelan PTV Vistro dengan data lapangan

Waktu	Lokasi	Pendekat	Hasil Data	
			Model (m)	Lapangan (m)
06.45 - 07.45	Simpang Empat Ketandan	Barat	30	28
		Selatan	61	74
	Simpang Empat Sangkrah	Barat	15	11
		Selatan	41	45
15.45 - 16.45	Simpang Empat Ketandan	Barat	78	38
		Selatan	60	102
	Simpang Empat Sangkrah	Barat	56	50
		Selatan	55	63

Tabel 6. Hasil Uji T antara pemodelan PTV Vistro dengan data lapangan menggunakan perangkat lunak SPSS

Parameter	Simpang Empat Ketandan		Simpang Empat Sangkrah	
	Pagi	Sore	Pagi	Sore
T_{hitung}	0,681	0,024	0,013	0,202
T_{tabel}	1	1	1	1
Nilai P	0,619	0,984	0,992	0,873

Berdasarkan Tabel 6. didapatkan hasil jam sibuk pagi maupun sore $T_{tabel} (two-tailed) = 1$, yang berarti nilai T_{hitung} pada kedua simpang sudah memenuhi syarat karena kurang dari nilai $T_{tabel} (two-tailed) = 1$. Selanjutnya untuk Nilai P kedua simpang sudah memenuhi syarat karena lebih besar dari 0,05. Dapat disimpulkan bahwa model simulasi perangkat lunak PTV Vistro tidak mempunyai perbedaan yang signifikan dengan kondisi di lapangan.

Analisis Kinerja Simpang Bersinyal dalam Skenario Tunggal

Optimasi kinerja simpang bersinyal dalam skenario tunggal dilakukan untuk mendapatkan waktu hijau dan waktu siklus terbaik pada masing-masing simpang bersinyal tanpa memperhatikan koordinasi kedua simpang yang dianalisis. Skenario tunggal dilakukan dengan dua tipe *Objective Function* yaitu *V/C Balancing* (menyetarakan rasio volume dan kapasitas) dan *Minimize Critical Movement Delay* (meminimalkan pergerakan yang memiliki tundaan besar dalam kondisi eksisting), masing-masing dilakukan dengan dua tipe optimasi yaitu *Split* dan *Split and Cycle Time*. Sehingga pada optimasi tunggal menghasilkan empat tipe optimasi. Dalam tipe optimasi *Split*, perangkat lunak akan mencari waktu hijau optimal tiap fase sinyal dalam waktu siklus yang sama dengan kondisi eksisting. Sementara itu, tipe optimasi *Split and Cycle Time* memberi keleluasaan bagi PTV Vistro untuk menentukan waktu hijau sekaligus waktu siklus optimal bagi simpang yang ditinjau.

Perbandingan Kinerja Simpang Bersinyal pada Kondisi Eksisting dan Skenario Tunggal

Optimasi dengan skenario tunggal menghasilkan derajat kejenuhan (DS) dan tundaan (D) yang lebih baik dibandingkan dengan optimasi dengan skenario eksisting. Perbandingan nilai Derajat Kejenuhan (DS) pada kondisi eksisting dan setelah di optimasi dengan skenario tunggal disajikan pada Tabel 7. sampai dengan Tabel 8.

Tabel 7. Hasil analisis Derajat Kejenuhan (DS) di simpang empat Ketandan

Waktu	Pendekat	Derajat Kejenuhan (DS)					
		Eksisting	Optimasi Tunggal				
			V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay		
			Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time	
06.45	Barat	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
	Utara	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
	- Timur	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
07.45	Selatan	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
	Simpang	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
15.45	Barat	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
	Utara	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
	- Timur	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
16.45	Selatan	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
	Simpang	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabel 8. Hasil analisis Derajat Kejenuhan (DS) di simpang empat Sangkrah

Waktu	Pendekat	Derajat Kejenuhan (DS)					
		Eksisting	Optimasi Tunggal				
			V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay		
			Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time	
06.45	Barat	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Utara	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
	- Timur	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
07.45	Selatan	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Simpang	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
15.45	Barat	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	Utara	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
	- Timur	0,9	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6
16.45	Selatan	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
	Simpang	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Berdasarkan Tabel 7. sampai dengan Tabel 8., nilai derajat kejenuhan (DS) pada kedua simpang menghasilkan nilai rata-rata yang relatif stabil. Simpang Empat Ketandan yaitu sebesar 0,4 pada jam sibuk pagi dan 0,5 pada jam sibuk sore. Simpang Empat Sangkrah yaitu 0,2 pada jam sibuk pagi dan 0,4 pada jam sibuk sore. Syarat nilai derajat kejenuhan untuk simpang adalah $\leq 0,85$ sebagai batas kelayakan jalan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2014).

Perbandingan nilai tundaan (D) pada kondisi eksisting dan setelah di optimasi dengan skenario tunggal dengan perangkat lunak PTV Vistro disajikan pada Tabel 9. sampai dengan Tabel 10.

Tabel 9. Hasil analisis Tundaan (D) di simpang empat Ketandan

Waktu	Pendekat	Tundaan (D)					
		Eksisting	Optimasi Tunggal				
			V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay		
			Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time	
06.45	Barat	49	61	37	50	37	37
	Utara	58	53	42	49	39	39
	- Timur	56	56	35	49	35	35
07.45	Selatan	32	26	31	45	34	34
	Simpang	42	40	35	47	36	36
15.45	Barat	47	48	45	47	42	42
	Utara	48	58	54	49	44	44
	- Timur	54	51	42	51	35	35
16.45	Selatan	41	36	35	44	40	40
	Simpang	45	45	43	46	42	42

Tabel 10. Hasil analisis Tundaan (D) di simpang empat Sangkrah

Waktu	Pendekat	Tundaan (D)					
		Eksisting	Optimasi Tunggal				
			V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay		
Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time		
06.45	Barat	28	31	33	31	21	
	Utara	18	10	10	10	12	
	- Timur	31	34	36	34	23	
	07.45 Selatan	6	5	5	5	6	
	Simpang	19	14	15	14	14	
15.45	Barat	44	23	24	22	18	
	Utara	18	24	26	25	20	
	- Timur	69	26	27	26	21	
	16.45 Selatan	7	15	18	16	10	
	Simpang	35	23	25	23	18	

Berdasarkan Tabel 9. sampai dengan Tabel 10, hampir semua hasil analisis yaitu tundaan (D) dalam optimasi tunggal menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi eksisting. Skenario tunggal dengan tipe optimasi *Minimize Critical Movement Delay (Split)* pada Simpang Empat Ketandan menghasilkan nilai yang lebih besar dari pada kondisi eksisting, hal ini dapat terjadi karena pada kondisi eksisting simpang pada pendekat utara dan pendekat timur memiliki tundaan (D) yang lebih besar. Sehingga ketika simpang di analisis, simpang yang memiliki tundaan yang lebih besar akan menjadi prioritas PTV Vistro untuk dilakukan penurunan nilai tundaan. Sedangkan pada pendekat selatan yang memiliki arus kendaraan lebih besar, nilai tundaan (D) akan mengalami kenaikan karena tidak menjadi prioritas analisis PTV Vistro. Hal ini berpengaruh langsung terhadap hasil akhir analisis simpang.

Setelah dilakukan analisis dengan perangkat lunak PTV Vistro dengan optimasi tunggal, didapatkan parameter kinerja pada tiap pendekat simpang yang disajikan pada Tabel 11. sampai dengan Tabel 12.

Tabel 11. Hasil analisis Tingkat Pelayanan (LoS) di simpang empat Ketandan

Waktu	Pendekat	Tingkat Pelayanan (LoS)					
		Eksisting	Optimasi Tunggal				
			V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay		
Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time		
06.45	Barat	D	E	D	D	D	
	Utara	E	D	D	D	D	
	- Timur	E	E	C	D	C	
	07.45 Selatan	C	C	C	D	C	
	Simpang	D	D	D	D	D	
15.45	Barat	D	D	D	D	D	
	Utara	D	E	D	D	D	
	- Timur	D	D	D	D	C	
	16.45 Selatan	D	D	D	D	D	
	Simpang	D	D	D	D	D	

Tabel 12. Hasil analisis Tingkat Pelayanan (LoS) di simpang empat Sangkrah

Waktu	Pendekat	Tingkat Pelayanan (LoS)					
		Eksisting	Optimasi Tunggal				
			V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay		
Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time		
06.45	Barat	C	C	C	C	C	
	Utara	B	A	B	A	B	
	- Timur	C	C	D	C	C	
	07.45 Selatan	A	A	A	A	A	
	Simpang	B	B	B	B	B	
15.45	Barat	D	C	C	C	B	
	Utara	B	C	C	C	B	
	- Timur	E	C	C	C	C	
	16.45 Selatan	A	B	B	B	A	
	Simpang	D	C	C	C	B	

Berdasarkan Tabel 11. sampai dengan Tabel 12, parameter rata-rata hasil analisis tingkat pelayanan dalam optimasi tunggal dengan tipe *Minimize Critical Movement Delay (Split & Cycle Time)* menghasilkan parameter yang lebih baik dibandingkan dengan optimasi lainnya. Pada Simpang Empat Ketandan menghasilkan parameter LoS D pada jam sibuk pagi dan sore, sedangkan pada Simpang Empat Sangkrah menghasilkan parameter LoS B pada jam sibuk pagi dan sore yang berarti arus stabil dengan tundaan sedikit. Sedangkan pada kondisi eksisting kedua simpang memiliki kinerja rata-rata dengan parameter LoS D yang berarti mendekati arus stabil.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian yaitu optimasi dalam skenario tunggal dengan tipe *Minimize Critical Movement Delay (Split & Cycle Time)* menghasilkan kinerja yang lebih baik pada kedua simpang, dengan hasil kinerja Simpang Empat Ketandan pada jam sibuk pagi menghasilkan nilai DS = 0,36 dan D = 36 det/smp serta pada jam sibuk sore nilai DS = 0,48 dan D = 42 det/smp dengan rata-rata parameter kinerja simpang D yang berarti mendekati arus stabil. Sementara itu, Simpang Empat Sangkrah pada jam sibuk pagi menghasilkan nilai DS = 0,24 dan D = 14 det/smp serta pada jam sibuk sore nilai DS = 0,45 dan D = 18 det/smp dengan rata-rata parameter kinerja simpang B yang berarti arus stabil. Pada kondisi eksisting, kinerja Simpang Empat Ketandan pada jam sibuk pagi menghasilkan nilai DS = 0,36 dan D = 42 det/smp serta pada jam sibuk sore nilai DS = 0,48 dan D = 45 det/smp dengan parameter kinerja simpang D. Sementara itu, Simpang Empat Sangkrah pada jam sibuk pagi menghasilkan nilai DS = 0,24 dan D = 19 det/smp serta pada jam sibuk sore nilai DS = 0,44 dan D = 35 det/smp dengan parameter kinerja simpang D. Sehingga skenario tunggal dengan tipe *Minimize Critical Movement Delay (Split & Cycle Time)* dapat menjadi solusi atas permasalahan lalu lintas yang terjadi pada jam sibuk pagi maupun sore di Simpang Empat Ketandan dan Simpang Empat Sangkrah, Kota Surakarta.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada seluruh dosen, mahasiswa, dan laboran di Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret yang telah membantu dalam kegiatan penelitian dan penulisan artikel ini..

REFERENSI

- Arifin, S., Sulistyono, S., Hayati, N. N., Kriswardhana, W., & Yasthofi, M. (2016). *Optimasi Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas Simpang pada Jalur Utama antar Kota Kabupaten Lumajang Menggunakan PTV Vistro*. 1224–1232.
- BPS, B. P. S. K. S. (2022). *Kota Surakarta Dalam Angka 2022* (Vol. 6, Issue August).
- Geladi, E. G., Yulianto, B., & Purwanto, E. (2018). Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 dan Perangkat Lunak PTV Vistro (Studi Kasus Simpang Empat Ngemplak dan Simpang Tiga Gilingan Kota Surakarta). *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 495–501.
- Hayati, N. N., Sulistyono, S., Koesoemawati, D. J., & Kuncoro, F. T. (2016). Simulasi Dampak Lalu Lintas Pengoperasian Jember Sport Garden Menggunakan PTV Vistro. *Proceedings of the 19th International Symposium of FSTPT Islamic University of Indonesia, October*, 1196–1205.
- Jaisyurrahman, M. L. (2022). *Analisis Kinerja Simpang Bersinyal pada Pusat Perdagangan Kota Surakarta Menggunakan Perangkat Lunak PTV Vistro (Studi Kasus Simpang Empat Gading dan Simpang Empat Baturono Kota Surakarta)*. Universitas Sebelas Maret.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2014). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia. PKJI*.
- Komala, I. M. E. D. (2022). *Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Perangkat Lunak PTV Vistro (Studi Kasus Simpang Empat Ngapeman dan Simpang Empat Timuran Kota Surakarta)*.
- Kriswardhana, W., & Sulistyono, S. (2019). *Intersection Performance Study Using PTV VISTRO (Case Study: Jember)*. 186(January 2013), 196–201.
- Noronha, L. (2011). A Policy on Geometric Design of Highway and Streets. In *AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials: Vol. Edition 6*.
- PTV Vistro. (2023). *User Manual PTV Vistro 2023*.
- US-HCM. (2010). *Highway Capacity Manual (HCM) 2010 National Research Council Board, Transportation Research*.
- Wu, N. (2014). *Estimation of Queue Lengths and Their Percentiles at Signalized Intersections*.