

ANALISIS KINERJA SIMPANG BERSINYAL PADA JALUR FLYOVER PURWOSARI KOTA SURAKARTA DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK PTV VISTRO

Muhammad Fajar Nurraman, Budi Yulianto, dan Setiono

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126. Telp. 0271-634524
Email : budi_yulianto@hotmail.com

Abstract

The Purwosari Flyover is located between the Kerten Three Intersection and the Purwosari Four Intersection two signalized intersection on Jl. Slamet Riyadi in Surakarta City. There is fairly high level of traffic density at the Kerten Three Intersection, especially from the west and east. At the four intersection of Purwosari, there are many hotels and numerous community events. It is essential to assess the effectiveness of signalized intersections individually or jointly in order to reduce the excessive traffic flow. The purpose of this study was to evaluate the performance of the current intersections at Kerten Three Intersection and Purwosari Four Intersection and to conduct a single optimization based on the degree of saturation and delay parameters. PTV Vistro software with the HCM 2010 method approach were used to analyze intersection performance. According to the results, single optimization outperformed the default settings in terms of saturation and delay degrees. The Minimize Critical Movement Delay (Split and Cycle Time) approach of single optimization yields results.

Keywords: *Signalized intersection, optimization, delay, degree of saturation, PTV Vistro*

Abstrak

Simpang Tiga Kerten dan Simpang Empat Purwosari merupakan dua simpang bersinyal yang terletak Jl. Slamet Riyadi Kota Surakarta dimana diantara simpang tersebut terdapat *Flyover* Purwosari. Di simpang Tiga Kerten merupakan simpang dengan tingkat kepadatan volume lalu lintas yang cukup tinggi terutama dari arah barat dan timur. Sedangkan di Simpang Empat Purwosari terdapat beberapa hotel dan banyak aktivitas masyarakat di simpang tersebut. Untuk mengatasi volume lalu lintas yang cukup tinggi tersebut maka perlu dilakukan analisis kinerja simpang bersinyal secara tunggal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja simpang yang ada di Simpang Tiga Kerten dan Simpang Empat Purwosari dan melakukan optimasi simpang secara tunggal berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan tundaan. Analisis kinerja simpang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak PTV Vistro dengan metode HCM 2010. Hasil analisis menunjukkan bahwa optimasi tunggal menunjukkan nilai derajat kejenuhan dan tundaan yang lebih baik jika dibandingkan dengan kondisi eksisting. Hasil optimasi terbaik ditunjukkan pada optimasi tunggal dengan metode *Minimize Critical Movement Delay (Split and Cycle Time)*.

Kata Kunci : Simpang bersinyal, optimasi, tundaan, derajat kejenuhan, PTV Vistro

PENDAHULUAN

Kota Surakarta merupakan kota yang memiliki lokasi strategis karena terletak pada pertemuan jalur dari Semarang, Yogyakarta, dan Surabaya. Dengan kondisi yang strategis ini maka mobilisasi penduduk cukup tinggi terutama pada jam sibuk seperti pada jam sekolah maupun kantor. Kota Surakarta memiliki jumlah penduduk sebesar 522.728 jiwa pada tahun 2022 (Statistik, 2022). Kondisi ini menyebabkan pertumbuhan penduduk tidak sebanding dengan kapasitas jalan dan pada persimpangan tertentu sering terjadi kemacetan.

Simpang yang akan dianalisis yaitu Simpang Empat Purwosari dan Simpang Tiga Kerten. Simpang Purwosari merupakan simpang bersinyal yang terletak di Jl. Slamet Riyadi Kota Surakarta. Simpang Purwosari memiliki empat lengan simpang dan terdapat lampu APILL(Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas) di setiap lengan simpangnya. Di daerah simpang ini terdapat banyak sekali aktifitas masyarakat baik masyarakat dalam kota maupun luar kota. Sedangkan Simpang Tiga Kerten merupakan simpang dengan tingkat kepadatan dan volume lalu lintas yang cukup tinggi dikarenakan di sekitar simpang tersebut terdapat pusat perbelanjaan dan rumah sakit. Selain itu, simpang tersebut juga merupakan jalur angkutan umum dalam kota maupun antar kota antar provinsi (AKAP) sehingga akan meningkatkan volume kendaraan pada jam jam sibuk. Diantara Simpang Empat Purwosari dan Simpang Tiga Kerten terdapat *fly over* yang menghubungkan kedua simpang tersebut. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan analisis kinerja simpang bersinyal secara tunggal dan koordinasi untuk mengurai kemacetan yang terjadi.

Seiring perkembangan teknologi, banyak sekali perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal, salah satunya adalah perangkat lunak yang berasal dari Jerman yaitu PTV Vistro. PTV Vistro

juga telah digunakan secara ekstensif untuk menganalisis masalah transportasi (Jadhav dkk., 2016; Samuel dkk., 2021; Matata dkk., 2021). PTV Vistro merupakan perangkat lunak komersial yang memiliki fitur lengkap yang bisa digunakan dalam menganalisis berbagai permasalahan lalu lintas termasuk pada simpang bersinyal yang ada di Kota Surakarta. Parameter yang digunakan dalam menganalisis kedua simpang menggunakan PTV Vistro adalah derajat kejenuhan dan tundaan.

Pengaturan Sim pang

Persimpangan jalan merupakan simpul transportasi yang terbentuk dari beberapa pendekatan dimana arus kendaraan dari beberapa pendekatan bertemu dan memencar meninggalkan persimpangan (Hobbs, 1995). Pengaturan simpang dilakukan melalui penetapan kebijakan penggunaan jaringan jalan dan gerakan lalu lintas pada jaringan jalan tertentu. Tujuan dari pengaturan simpang adalah untuk menjamin keamanan dan keselamatan seluruh pengguna jalan baik pengguna kendaraan bermotor maupun pejalan kaki (PerMenHub, 2015).

PTV VISTRO

PTV Vistro adalah sebuah program simulasi makroskopis yang dapat memodelkan simpang pada kawasan perkotaan. Metode HCM (*Highway Capacity Manual*) 2010 merupakan salah satu metode analisis yang terdapat pada perangkat lunak PTV Vistro. Beberapa peneliti telah membuktikan efektivitas metode HCM 2010 (Wei dan Grenard, 2012; Ozkul dkk., 2013, Elefteriadou dan Dowling, 2015). Data yang dibutuhkan dalam metode ini antara lain geometri persimpangan, volume lalu lintas, dan pengaturan waktu sinyal. Analisis menggunakan metode HCM 2010 didasarkan pada *lane group* atau kelompok jalur yang merupakan suatu jalur atau kumpulan jalur yang digunakan untuk analisis simpang secara terpisah (AG, 2017)

Uji T dengan SPSS

T-Test atau Uji "T" merupakan suatu uji statistik yang dipergunakan untuk menguji kebenaran atau kepaluan hipotesis nihil yang menyatakan bahwa diantara dua buah *mean sample* yang diambil secara random dari populasi yang sama, tidak terdapat perbedaan yang signifikan (Sudijono, 2010). SPSS (*Statistical Product and Services Solutions*) merupakan suatu perangkat lunak yang berfungsi dalam melakukan analisis statistik tingkat menengah sampai tinggi serta memiliki grafis dan menu yang menarik sehingga mudah untuk dioperasikan. Masukan data perangkat lunak SPSS adalah baris (*cases*) dan kolom (*variables*) serta dapat membaca berbagai jenis data dari tipe file apapun dalam SPSS *Data Editor*. SPSS merupakan salah satu perangkat lunak yang dapat melakukan analisis uji statistik terhadap data survei lalu lintas dengan data masukan berupa baris yang merupakan panjang antrean kendaraan (m) serta dengan kolom dengan data masukan berupa Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) dan arus jenuh dasar (S_0).

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilakukan pada Simpang Empat Purwosari dan Simpang Tiga Kerten Kota Surakarta seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Rencana waktu penelitian dilakukan pada hari-hari kerja saat jam-jam sibuk di pagi hari dan sore hari, dimana jam sibuk di pagi hari pada pukul 06.30-08.30 WIB dan jam sibuk di sore hari pada pukul 15.30-17.30 WIB. Hal ini dilakukan guna mengefektifkan waktu dan tenaga surveyor yang dibutuhkan dalam pelaksanaan survei.

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu :

1. Metode pengumpulan data primer, berupa :
 - a. Survei Pendahuluan
 - b. Survei Geometrik
 - c. Survei Lalu Lintas
 - d. Survei Panjang Antrean
2. Metode pengumpulan data sekunder, berupa :
 - a. Data arus kendaraan melalui rekaman CCTV Dinas Perhubungan Kota Surakarta,
 - b. Data jumlah penduduk Kota Surakarta,
 - c. Data ruas jalan maupun simpang,
 - d. Sistem transportasi Kota Surakarta.

Analisis Data dengan Perangkat Lunak PTV Vistro

Analisis kinerja simpang dianalisis dengan menggunakan metode HCM 2010 yang ada pada perangkat lunak PTV Vistro. Terdapat dua skenario dalam penelitian ini yaitu skenario eksisting dan skenario optimasi simpang secara tunggal. Hasil dari tiga skenario tersebut kemudian dilakukan perbandingan guna mendapatkan hasil analisis paling optimal berdasarkan parameter derajat kejenuhan (DS) dan tundaan (D).

Analisis *T-test* dengan SPSS

T-Test digunakan untuk menguji pengaruh masing-masing variabel bebas terhadap variabel terikatnya. Signifikansi hasil analisis dengan data di lapangan serta hasil analisis dengan kedua metode dapat diketahui dengan metode *T-Test*. *T-Test* dilakukan dengan menu data *Analysis* lalu memilih *T-Test: Paired Two Sample for Means* pada SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Kondisi Eksisting PTV Vistro

Dalam analisis kondisi eksisting, didapatkan hasil analisis berupa derajat kejenuhan (DS), panjang antrean(QL), tundaan (D), tingkat pelayanan (LOS) yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Hasil analisis eksisting pada perangkat lunak PTV Vistro di Simpang Empat Purwosari

Waktu	Pendekat	Parameter Kinerja Simpang Bersinyal			
		DS (Derajat Kejenuhan)	QL (Panjang Antrian) (meter)	D (Tundaan) (det/smp)	Tingkat Pelayanan (Level of Service)
06.45 – 07.45	Utara	0,9	52,8	50,3	D
	Timur	0,8	105,9	46,7	D
	Barat	0,8	183,2	127,7	F
	Simpang	0,7	-	96,2	F
15.30 – 16.30	Utara	0,8	72,5	49,4	D
	Timur	0,6	100,9	38,9	D
	Barat	0,7	149,7	81,2	F
	Simpang	0,7	-	62,8	E

Tabel 2. Hasil analisis eksisting pada Perangkat Lunak PTV Vistro di Simpang Tiga Kerten

Waktu	Pendekat	Parameter Kinerja Simpang Bersinyal			
		DS (Derajat Kejenuhan)	QL (Panjang Antrian) (meter)	D (Tundaan) (det/smp)	Tingkat Pelayanan (Level of Service)
06.45 – 07.45	Utara	0,4	54,5	33,5	C
	Timur	0,8	108,9	26,4	C
	Barat	0,7	129,5	130,5	F
	Simpang	0,7	-	68,4	E
15.30 – 16.30	Utara	0,3	60,2	26,6	C
	Timur	0,9	176,2	49,0	D
	Barat	0,6	97,5	97,4	F
	Simpang	0,6	-	62,3	E

Dari tabel 1 dan 2 didapatkan perbandingan nilai parameter kinerja simpang bersinyal untuk hasil analisis eksisting pada perangkat lunak PTV pada 2 daerah yaitu Simpang Empat Purwosari dan Simpang Tiga Kerten.

Perbandingan Analisis Kondisi Eksisting PTV Vistro dan Data Lapangan

Untuk mengetahui signifikansi data antara kondisi eksisting PTV Vistro dengan data di lapangan maka perlu dilakukan uji t dengan menggunakan perangkat lunak SPSS dengan parameter panjang antrean. Perbandingan analisis panjang antrean dilakukan dalam bentuk persentil ke-95 yang ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Perbandingan panjang antrean kondisi eksisting PTV Vistro dengan data lapangan

Waktu	Simpang	Pendekat	Panjang Antrean (meter)	
			Eksisting	Lapangan
06.45-07.45 WIB	Kerten	Utara	54,5	77,8
		Barat	129,5	97,5
	Purwosari	Utara	52,8	91
		Timur	105,9	70,2
15.30-16.30 WIB	Kerten	Utara	60,2	102,2
		Barat	97,5	75,1
	Purwosari	Utara	72,5	117
		Timur	100,9	86,8

Tabel 4. Hasil uji T perangkat lunak SPSS kondisi eksisting PTV Vistro dengan data lapangan

Simpang Tiga Kerten				
Parameter	Pagi		Sore	
	Kondisi Eksisting	Data Lapangan	Kondisi Eksisting	Data Lapangan
T_{hitung}	0,16		0,30	
Nilai P (<i>two-tailed</i>)	0,9		0,81	
T_{tabel} (<i>two-tailed</i>)	1		1	

Simpang Empat Purwosari				
Parameter	Pagi		Sore	
	Kondisi Eksisting	Data Lapangan	Kondisi Eksisting	Data Lapangan
T_{hitung}	0,035		0,52	
Nilai P (<i>two-tailed</i>)	0,98		0,69	
T_{tabel} (<i>two-tailed</i>)	1		1	

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa $T_{hitung} < T_{tabel}$ (*two-tailed*) baik pada jam sibuk pagi maupun sore pada kedua simpang sehingga hipotesis awal diterima. Maka dapat disimpulkan bahwa hasil analisis PTV Vistro Simpang Tiga Kerten dengan skenario Eksisting dengan data di lapangan tidak signifikan.

Hasil Analisis Skenario Optimasi Tunggal PTV Vistro

Skenario optimasi tunggal perangkat lunak PTV Vistro memiliki beberapa metode, yaitu *V/C Balancing (Split)*, *V/C Balancing (Split and Cycle Time)*, *Minimize Critical Movement Delay (Split)* dan *Minimize Critical Movement Delay (Split and Cycle Time)*. Dari hasil analisis pada skenario optimasi tunggal dengan perangkat lunak PTV Vistro didapatkan hasil analisis berupa derajat kejenuhan (DS), tundaan (D), panjang antrian (QL), dan tingkat pelayanan (LOS).

Tabel 5. Hasil analisis skenario optimasi tunggal PTV Vistro Simpang Tiga Kerten

Waktu	Pendekat	DS				QL				D				LOS			
		V/C Balancing		Minimize Delay		V/C Balancing		Minimize Delay		V/C Balancing		Minimize Delay		V/C Balancing		Minimize 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
06.45	U	0,5	0,5	0,6	0,6	67	63,3	63,04	53,5	52	48,8	45,9	44,2	D	D	D	D
-	T	0,7	0,7	0,8	0,8	89,9	88,9	101,8	84,2	20,2	20,8	25,9	23,9	C	C	C	C
07.45	B	0,5	0,5	0,5	0,5	69,7	64,9	63,4	48,3	38	34,8	30,7	25,2	D	C	C	C
WIB	Simpang	0,7	0,7	0,7	0,7	-	-	-	-	33,7	32,08	31,9	28,6	C	C	C	C
15.30	U	0,5	0,4	0,4	0,4	55,5	51,6	46,4	34,3	53,8	50,5	36,7	29,6	D	D	D	C
-	T	0,7	0,7	0,4	0,8	87,6	81,6	123,4	88,1	14,5	13,8	25,5	20,5	B	D	C	C
17.30	B	0,5	0,5	0,8	0,4	64	59	60,2	40,7	39,6	36,9	34,6	23,2	D	B	C	C
WIB	Simpang	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-	-	-	29,8	28,07	30,6	22,9	C	C	C	C

Tabel 6. Hasil Analisis Skenario Optimasi Tunggal PTV Vistro Simpang Empat Purwosari

Waktu	Pendekat	DS				QL				D				LOS			
		V/C Balancing		Minimize Delay		V/C Balancing		Minimize Delay		V/C Balancing		Minimize Delay		V/C Balancing		Minimize 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
06.45 –	U	0,5	0,5	0,5	0,5	68,8	62,3	55,9	69,2	86,8	73,2	56,9	70,6	F	F	E	E
07.45	T	0,9	0,9	0,9	0,9	98,5	130,3	128,7	146,9	90,1	74	70,4	74,2	F	E	E	E
WIB	B	0,6	0,6	0,6	0,6	89,4	93,9	103,2	108,7	32,7	37,3	43,3	37,4	D	D	D	D
	Simpang	0,7	0,8	0,7	0,7	-	-	-	-	55	51,6	52,7	51,4	E	E	D	D
15.30 –	U	0,9	0,9	0,8	0,8	92,9	95,8	76,6	78	82,2	86,5	55,5	57,2	F	F	E	E
17.30	T	0,9	0,9	0,9	0,9	124,4	118,49	124,4	118,5	60,7	54,3	60,7	54,34	F	E	E	D
WIB	B	0,5	0,5	0,5	0,5	76,22	78,24	83,8	86,5	27,6	28,7	32,7	34,4	C	D	C	C
	Simpang	0,7	0,7	0,7	0,7	-	-	-	-	45,9	44,9	45,1	44,1	D	E	D	D

Dari Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan bahwa metode *Minimize Delay* memiliki nilai tundaan yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode *V/C Balancing*. Hal ini dikarenakan pada metode *Minimize Delay*, PTV Vistro berfokus untuk mengurangi tundaan secara signifikan pada tiap pendekat.

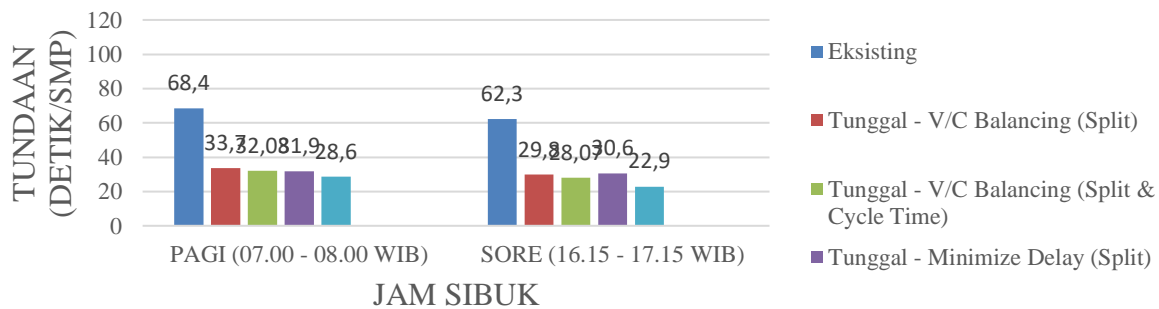
Perbandingan Analisis Skenario Kondisi Eksisting dan Optimasi Tunggal PTV Vistro

Hasil analisis PTV Vistro dengan tiga skenario yang disajikan dalam Tabel 9 dan Tabel 10 berupa skenario eksisting, skenario optimasi tunggal, skenario optimasi terkoordinasi akan dibandingkan satu sama lain guna mendapatkan hasil optimasi terbaik berdasarkan skenario yang telah dilakukan. Parameter yang digunakan dalam perbandingan tiga skenario yaitu derajat kejenuhan (DS) dan tundaan (D).

Tabel 9. Perbandingan hasil derajat kejenuhan Simpang Tiga Kerten berdasarkan skenario kondisi eksisting dan optimasi tunggal.

Waktu	Pendekat	Eksisting	Optimasi Tunggal			
			V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay	
			Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time
06.45-07.45 WIB	Utara	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
	Timur	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8
	Barat	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5
	Simpang	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
15.30-16.30 WIB	Utara	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4
	Timur	0,9	0,7	0,7	0,4	0,8
	Barat	0,6	0,5	0,5	0,8	0,4
	Simpang	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

TUNDAAN SIMPANG TIGA KERTEN PADA JAM SIBUK PAGI DAN SORE

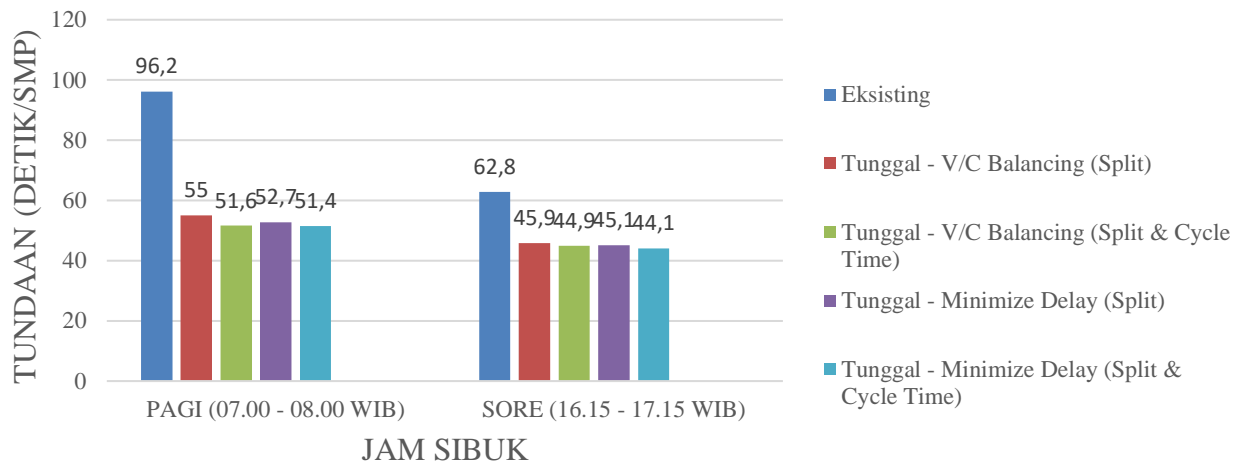


Gambar 2. Grafik Perbandingan Tundaan (D) Simpang Tiga Kerten

Tabel 10. Perbandingan hasil derajat kejenuhan Simpang Empat Purwosari berdasarkan skenario kondisi eksisting dan optimasi tunggal.

Waktu	Pendekat	Eksisting	Optimasi Tunggal			
			V/C Balancing		Minimize Critical Movement Delay	
			Split	Split & Cycle Time	Split	Split & Cycle Time
06.45-07.45 WIB	Utara	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5
	Timur	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
	Barat	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6
	Simpang	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7
15.30-16.30 WIB	Utara	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8
	Timur	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9
	Barat	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5
	Simpang	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

TUNDAAN SIMPANG TIGA PURWOSARI PADA JAM SIBUK PAGI DAN SORE



Gambar 3. Grafik Perbandingan Tundaan (D) Simpang Empat Purwosari

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 2 dan Gambar 3, optimasi tunggal memiliki nilai tundaan (D) yang lebih baik jika dibandingkan dengan kondisi eksisting. Hasil optimasi kedua simpang akan optimal jika menggunakan skenario optimasi tunggal tanpa terkoordinasi. Hal ini disebabkan karena *Flyover* Purwosari memiliki panjang kurang lebih 800m, dimana syarat koordinasi kedua simpang memiliki panjang optimal 500 m. Dengan hasil optimasi koordinasi tunggal yang lebih baik dibandingkan dengan eksisting maka Simpang Tiga Kerten dan Simpang Empat Purwosari perlu dilakukan koordinasi simpang unuk mengatasi berbagai permasalahan kondisi lalu lintas yang ada.

SIMPULAN

1. Analisis kinerja simpang bersinyal menggunakan perangkat lunak PTV Vistro pada Simpang Tiga Kerten dan Simpang Empat Purwosari ditinjau berdasarkan parameter derajat kejenuhan dan tundaan
2. Analisis kinerja simpang menggunakan PT Vistro dengan skenario optimasi tunggal memiliki dua *objective function*, yaitu V/C Balancing dan *Minimize Critical Movement Delay* serta terdapat dua tipe optimasi yang dapat dilakukan, yaitu *Split* dan *Split & Cycle Time*. Hasil terbaik pada optimasi tunggal didapatkan dengan metode *Minimize Critical Movement Delay (Split and Cycle Time)* dengan nilai di Simpang Tiga Kerten menghasilkan nilai DS = 0,7 dan D = 28,6 det/smp pada jam sibuk pagi serta nilai DS = 0,6 dan D = 22,9 det/smp pada jam sibuk sore. Simpang Empat Purwosari menghasilkan nilai DS = 0,7 dan D = 51,8 det/smp pada jam sibuk pagi serta nilai DS = 0,7 dan D = 51,8 det/smp pada jam sibuk sore.
3. Berdasarkan hasil analisis perangkat lunak PTV Vistro dengan skenario eksisting dan optimasi tunggal didapatkan hasil terbaik berdasarkan nilai derajat kejenuhan (DS) dan tundaan (D) yaitu dengan metode *Minimize Critical Movement Delay* dengan opsi *Split and Cycle Time*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak-pihak terkait di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret yang telah membantu, memfasilitasi, dan mendukung penelitian ini.

REFERENSI

- Badan Pusat Statistik, 2022, "Surakarta Dalam Angka 2022". Surakarta.
 Elefteriadou, L. and Dowling, R.G., 2015. Exploring multimodal analysis in the highway capacity manual 2010. *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*, 85(2), p.27.
 Hobbs, F., 1995, "Perencanaan dan Teknik lalu lintas (Edisi Kedua)", Gadjah Mada University Press. Yogyakarta

- Jadhav, A., Anchule, D., Bade, S. and Pansare, A., 2016. Optimized Solutions for Resolving Traffic congestion At University Circle. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(2), pp.278-289.
- Matata, F., Mwauzi, A. and Bwire, H., 2021. *Evaluating the Variability of Public Transport Travel Time: A Case Study of Dar es Salaam Paratransit System* (No. TRBAM-21-02959). Sudijono, A., 2010, "Pengantar Statistik Pendidikan", PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Ozkul, S., Washburn, S.S. and McLeod, D.S., 2013. Revised version of the automobile level-of-service methodology for urban streets in the highway capacity manual 2010. *Transportation Research Record*, 2395(1), pp.66-72.
- Peraturan Menteri Perhubungan, 2015, "Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas", Kementerian Perhubungan. Jakarta.
- PTV Group, 2017, "PTV Vistro User Manual", PTV Group. Jerman.
- Samuel, L., Shibil, M., Nasser, M., Shabir, N. and Davis, N., 2021, May. Sustainable Planning of Urban Transportation Using PTV VISSIM. In *International Conference on Structural Engineering and Construction Management* (pp. 889-904). Springer, Cham.
- Wei, T. and Grenard, J.L., 2012. Calibration and validation of highway capacity manual 2010 capacity model for single-lane roundabouts. *Transportation research record*, 2286(1), pp.105-110.