

OPTIMASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL DENGAN MENGGUNAKAN *SPREADSHEET*

Henny Sutjiono¹, Rudy Setiawan²

ABSTRAK : Salah satu kendala dalam perhitungan kinerja simpang bersinyal baik secara manual maupun dengan mempergunakan *software* Kapasitas Jalan Indonesia (KAJI) adalah untuk memperoleh nilai optimum dari berbagai nilai parameter seperti waktu hijau, lebar lajur belok kiri ($W_{L_{TOR}}$), lebar satu lajur lurus dan atau belok kanan, dan jumlah lajur setiap lengan pendekat terhadap nilai derajat kejenuhan (DS) tertentu, diperlukan perhitungan secara berulang secara manual yang membutuhkan waktu lama. Tujuan dari pembuatan aplikasi ini adalah membuat aplikasi *spreadsheet* dengan mempergunakan fasilitas *Add-in Solver* pada *Microsoft Excel*, untuk mempermudah memperoleh waktu hijau, $W_{L_{TOR}}$, lebar satu lajur lurus dan atau belok kanan, dan jumlah lajur setiap lengan pendekat yang memenuhi batas nilai DS tertentu berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Setelah dilakukan perbandingan antara perhitungan KAJI dengan perhitungan aplikasi *spreadsheet*, terdapat perbedaan pada nilai DS dan nilai tundaan total karena adanya perbedaan asumsi dalam perhitungan nilai faktor penyesuaian parkir (F_p).

KATA KUNCI: simpang bersinyal, Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997, aplikasi *spreadsheet*, *solver*

1. PENDAHULUAN

Kinerja sistem jaringan jalan tidak saja dipengaruhi oleh kinerja ruas jalannya, tetapi juga oleh kinerja setiap persimpangannya. Sebagaimana baiknya kinerja ruas jalan dari suatu sistem jaringan jalan, jika kinerja persimpangannya sangat rendah maka kinerja seluruh sistem jaringan jalan tersebut akan menjadi rendah pula (Tamin, 2000).

Berdasarkan MKJI 1997, analisis persimpangan dibagi menjadi tiga, yaitu persimpangan tak bersinyal, bagian jalinan dan persimpangan bersinyal. Penelitian ini fokus pada persimpangan bersinyal. Salah satu kendala dalam perhitungan kinerja simpang bersinyal baik secara manual maupun dengan mempergunakan *software* KAJI adalah untuk memperoleh nilai optimum dari berbagai nilai parameter seperti waktu hijau, $W_{L_{TOR}}$, lebar satu lajur lurus dan atau belok kanan, dan jumlah lajur setiap lengan pendekat terhadap nilai DS tertentu diperlukan perhitungan secara berulang secara manual yang membutuhkan waktu lama.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat aplikasi *spreadsheet* dengan mempergunakan fasilitas *Add-in Solver* pada *Microsoft Excel*, untuk mempermudah menentukan waktu hijau, $W_{L_{TOR}}$, lebar satu lajur lurus dan atau belok kanan, dan jumlah lajur setiap lengan pendekat yang memenuhi batas nilai DS tertentu. Pembuatan aplikasi ini terbatas pada simpang bersinyal dengan kondisi geometrik empat lengan dan tipe fase terlindung.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, hennysutjiono@yahoo.com

² Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, rudy@petra.ac.id

2. LANDASAN TEORI

Tujuan utama dalam sebuah sistem pengatur lalu lintas di persimpangan adalah untuk mengurangi jumlah titik konflik yang signifikan. Faktor yang mempengaruhi signifikan suatu titik konflik adalah tipe gerakan konflik, banyak kendaraan dan kecepatan kendaraan dalam arus lalu lintas yang mengalami konflik tersebut. Pergerakan konflik *crossing* memiliki dampak paling buruk sehingga harus dihindari dan diminimalkan (Garber dan Hoel, 2009).

Salah satu penggunaan komputer sebagai alat bantu dalam proses pengambilan keputusan adalah penggunaan berbagai jenis *Spreadsheet Solvers*. *Solver* adalah sebuah *spreadsheet optimizer* dan *goal-seeking* yang merupakan program *add-in* dalam *software Microsoft Excel* (Frontline Systems).

Dalam *solver* terdapat beberapa tahap (Hesse, 1997), yaitu:

- **Goal seeking**, berfungsi untuk mendapatkan suatu nilai dalam *target cell* yang harus sama dengan suatu nilai tertentu. Aplikasinya berupa penyelesaian terhadap permasalahan dalam *break-even analysis* atau *internal rate of return* atau persamaan simultan.
- **Unconstrained Optimization**, berfungsi untuk mendapatkan suatu nilai dalam satu *target cell* untuk dimaksimalkan atau diminimalkan. Aplikasinya berupa penyelesaian terhadap permasalahan dalam *inventory problem*.
- **Constrained Optimization**, *solver* memperbolehkan penetapan beberapa *constraint* bersama-sama dengan satu *target cell* agar nilainya dioptimumkan.

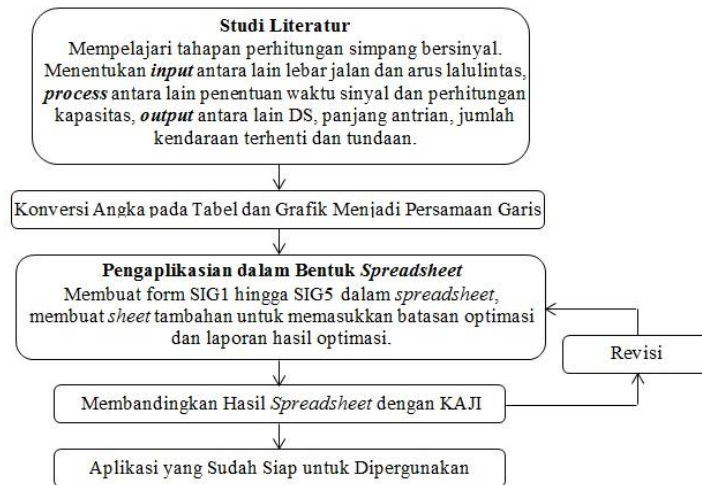
Menurut Hesse (1997) terdapat dua metode dalam *solver* untuk mendapatkan solusi, yaitu:

- **Gradient Search**, metode ini bekerja dengan cara menelusuri nilai yang lebih besar atau lebih kecil disekitar nilai awal berdasarkan batasan yang telah ditentukan, jika semua arah perubahan nilai sudah tidak dapat memperbaiki pencapaian *objective function* maka prosedur perhitungan akan dihentikan. Ahli matematik menyebutkan hasil dari metode ini dengan istilah *local optimum*, suatu titik yang mempunyai nilai lebih optimum dibandingkan titik lain disekitarnya. Hanya metode ini yang dapat dipergunakan pada permasalahan non-linear.
- **Simplex Algorithm**, metode ini merupakan suatu prosedur perhitungan yang sangat cepat untuk permasalahan linear dengan menggunakan algoritma matematika yang memungkinkan *solver* untuk mencari solusi optimum hanya dengan melihat beberapa kemungkinan. Metode ini hanya dapat dipergunakan untuk permasalahan dengan *linear constraints* dan *linear objective function*.

Dalam pembuatan aplikasi *spreadsheet* untuk perhitungan simpang bersinyal, variabel yang dapat dirubah antara lain adalah waktu hijau, $W_{L\text{TOR}}$, lebar satu lajur lurus dan atau belok kanan, dan jumlah lajur setiap pendekat, dengan diberi batasan nilai minimum dan maksimum. Sedangkan variabel target diambil seminimum mungkin dari selisih nilai DS maksimum dari keempat pendekat.

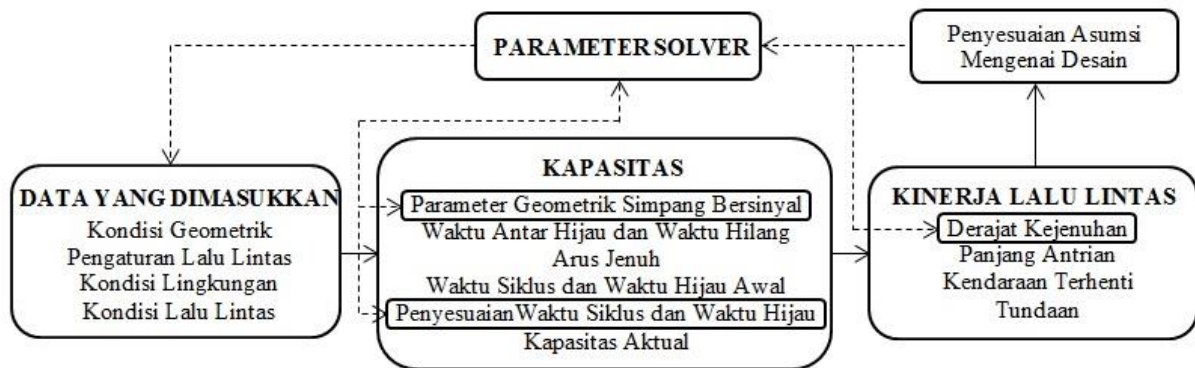
3. METODOLOGI PENELITIAN

Pertama kali yang dilakukan dalam pembuatan aplikasi adalah studi literatur terkait simpang bersinyal (termasuk MKJI 1997) dan terkait fasilitas *Add-in Solver*. Kemudian dilanjutkan dengan merubah gambar dan tabel dalam prosedur analisis simpang bersinyal menurut MKJI 1997 menjadi persamaan garis, tujuannya agar pengguna aplikasi tidak perlu membaca dan memasukkan angka pada tabel dan grafik. Setelah itu akan dibuat aplikasi *spreadsheet* dengan fasilitas *Add-in Solver*, kemudian dilakukan uji coba dengan membandingkan hasil perhitungan aplikasi *spreadsheet* terhadap hasil perhitungan *software KAJI*, untuk mengetahui apakah hasil perhitungan dengan aplikasi *spreadsheet* sudah sama dengan *KAJI*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Tahapan Pembuatan Aplikasi Spreadsheet

Analisis kinerja simpang bersinyal dilakukan berdasarkan MKJI 1997, dalam aplikasi spreadsheet digunakan fasilitas *Add-in Solver* pada *Microsoft Excel* untuk dilakukan optimasi terhadap parameter geometrik simpang bersinyal serta alokasi waktu lampu lalu lintas. Peran *solver* dalam aplikasi spreadsheet tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur Optimasi Kinerja Simpang Bersinyal dengan Menggunakan Solver

4. APLIKASI

4.1 Contoh Tampilan Aplikasi Spreadsheet

Tampilan penggunaan aplikasi spreadsheet dapat dilihat pada Gambar 3 hingga Gambar 12 berikut ini.

Tanggal:	21 September 2009				
Kota:	Surabaya				
Simpang:	Kertajaya				
Ukuran kota (juta jiwa):	3				
Perihal:	Presentasi				
Periode:	1				
Ditangani oleh:	Kelompok 1				
Tipe lingkungan jalan:		B	T	U	S
Tingkat hambatan samping:		COM	COM	COM	COM
Median:		Medium	Medium	Medium	Medium
Kelandaian:		Ya	Ya	Ya	Ya
Belok kiri langsung:		2	2	2	2
Jarak ke kendaraan parkir (m):		Ya	Ya	Ya	Ya
Urutan fase:		25	25	25	25
Waktu hijau (detik):		4	3	1	2
Waktu antar hijau (detik):		30	20	26	27
		5	5	5	5

Gambar 3. Tampilan Input Sheet INFORMASI UMUM pada Aplikasi Spreadsheet

KENDARAAN RINGAN (LV)				
kend/jam	B	T	U	S
B	x	83	104	95
T	78	x	195	170
U	178	109	x	195
S	63	50	72	x

KENDARAAN BERAT (HV)				
kend/jam	B	T	U	S
B	x	14	18	15
T	13	x	25	38
U	21	24	x	23
S	15	6	10	x

SEPEDA MOTOR (MC)				
kend/jam	B	T	U	S
B	x	12	45	20
T	48	x	78	95
U	19	45	x	26
S	38	58	72	x

KENDARAAN TAK BERMOTOR (UM)				
kend/jam	B	T	U	S
B	x	12	14	15
T	12	x	38	29
U	21	16	x	32
S	9	8	10	x

Gambar 4. Tampilan *Input Sheet* KONDISI LALU LINTAS pada Aplikasi *Spreadsheet*

Waktu kuning:	3			
Waktu hijau minimum (detik):	10			
Tipe pengaturannya	Waktu siklus yang layak (detik)			
Pengaturan dua-fase	40	-	80	
Pengaturan tiga-fase	50	-	100	
Pengaturan empat-fase	80	-	130	
Lebar lajur (m):	2.75	-	3.5	
Lebar median (m):	Barat	Timur	Utara	Selatan
	2.5	2.5	2.5	2.5
Jarak garis stop (m):	Barat	Timur	Utara	Selatan
	7.8	7.8	7.8	7.8



Gambar 5. Tampilan *Input Sheet* STANDAR pada Aplikasi *Spreadsheet*

Nilai Target							0.16			
HASIL OPTIMASI										
		Barat	Timur	Utara	Selatan					
Jumlah kendaraan antri (smp)		7.60	11.59	15.71	4.54					
Panjang antrian (m)		51.96	73.09	94.88	36.19					
Jumlah kendaraan terhenti (smp/jam)		235	358	485	140					
Tundaan total (smp.det)		13,845	19,766	27,373	7,673	Pembulatan				
Nilai Batasan			Barat	Timur	Utara	Selatan	Barat	Timur	Utara	Selatan
\bar{g} (detik)	Min	Max	15.0	25.0	30.0	15.0	15	25	30	15
W_{stop} (m)	2	3.5	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Lebar Satu Lajur (m)	2.75	3.5	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Jumlah Lajur	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2
W_{maks} (m)	2.75	17.5	5.00	5.00	5.00	5.00				
W_{min} (m)	-	-	7.50	7.50	7.50	7.50				
LEV (m)	-	-	19.05	19.05	19.05	19.05				
LAV (m)	-	-	11.55	11.55	11.55	11.55				
Derajat Kejenuhan (DS) yang diharapkan		0.65	0.65	0.65	0.65					
Derajat Kejenuhan (DS) sesuai perhitungan		0.66	0.67	0.71	0.49					
Barat		Timur		Utara		Selatan				
W1	2.50	W4	2.50	W7	2.50	W10	2.50			
W2	5.00	W5	5.00	W8	5.00	W11	5.00			
W3	7.50	W6	7.50	W9	7.50	W12	7.50			
LEV1	19.05	LEV3	19.05	LEV2	19.05	LEV4	19.05			
LAV4	11.55	LAV2	11.55	LAV1	11.55	LAV3	11.55			

Gambar 6. Tampilan *Input Sheet* SOLVER pada Aplikasi *Spreadsheet*

BARAT		TIMUR		UTARA		SELATAN	
W1	2.50	W4	2.50	W7	2.50	W10	2.50
W2	5.00	W5	5.00	W8	5.00	W11	5.00
W3	7.50	W6	7.50	W9	7.50	W12	7.50
LEV1	19.05	LEV3	19.05	LEV2	19.05	LEV4	19.05
LAV4	11.55	LAV2	11.55	LAV1	11.55	LAV3	11.55

Gambar 7. Tampilan Output Sheet KONDISI GEOMETRIK pada Aplikasi Spreadsheet

SIMPANG BERSINYAL							Tanggal:	21 September 2009	Ditangani oleh:	Kelompok 1	
Formulir SIG-I:							Kota:	Surabaya			
GEOMETRI							Simpang:	Kertajaya			
PENGATURAN LALU LINTAS							Ukuran kota:	3			
LINGKUNGAN							Perihal:	Presentasi			
FASE SINYAL YANG ADA							Periode:	1			
g =		30 g =		15 g =		25 g =		15		Waktu Siklus:	
										C =	105
IG =		5 IG =		5 IG =		5 IG =		5		Waktu Hilang Total:	
										LTI = Σ IG =	20
KONDISI LAPANGAN											
Kode pendekat	Tipe lingkungan jalan	Hambatan samping Inggil/Rendah	Median Ya/Tidak	Kelandaian +/- %	Belok kiri Langsung Ya/Tidak	Jarak ke kendaraan parkir (m)	Lebar pendekat (m)				
							Pendekat W _A	Masuk W _{MASUK}	Belok kiri langsung W _{LTOR}	Keluar W _{KELUAR}	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
B	COM	Medium	Ya	2	Ya	25	7.50	5.00	2.50	7.50	
T	COM	Medium	Ya	2	Ya	25	7.50	5.00	2.50	7.50	
U	COM	Medium	Ya	2	Ya	25	7.50	5.00	2.50	7.50	
S	COM	Medium	Ya	2	Ya	25	7.50	5.00	2.50	7.50	

Gambar 8. Tampilan Output Sheet SIG-1 pada Aplikasi Spreadsheet

SIMPANG BERSINYAL							Tanggal:	21 September 2009	Ditangani oleh:	Kelompok 1							
Formulir SIG-II:							Kota:	Surabaya									
ARUS LALU LINTAS							Simpang:	Kertajaya									
Perihal:							Presentasi										
Periode:							1										
Kode Pendekat	Arah	ARUS LALU LINTAS KENDARAAN BERMOTOR (MV)										KENDARAAN TAK BERMOTOR					
		Kendaraan ringan (LV)			Kendaraan berat (HV)			Sepeda motor (MC)			Kendaraan bermotor Total MV			Rasio berbelok UM	Rasio UM/MV		
		emp terlindung = 1,0	emp terlawan = 1,0	emp terlindung = 1,3	emp terlawan = 1,3	emp terlindung = 0,2	emp terlawan = 0,4										
Kend/jam	smp/jam Terlindung	smp/jam Terlawan	Kend/jam	smp/jam Terlindung	smp/jam Terlawan	Kend/jam	smp/jam Terlindung	smp/jam Terlawan	Kend/jam	smp/jam Terlindung	smp/jam Terlawan	P _{LT}	P _{RT}	Kend/jam			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
B	LT/LTOR	104	104	104	18	23	23	45	9	18	167	136	145	0.38		14	0.08
	ST	83	83	83	14	18	18	12	2	5	109	104	106			12	0.11
	RT	95	95	95	15	20	20	20	4	8	130	119	123		0.33	15	0.12
	Total	282	282	282	47	61	61	77	15	31	406	359	374			41	0.10
T	LT/LTOR	170	170	170	38	49	49	95	19	38	303	238	257	0.41		29	0.10
	ST	78	78	78	13	17	17	48	10	19	139	105	114			12	0.09
	RT	195	195	195	25	33	33	78	16	31	298	243	259		0.41	38	0.13
	Total	443	443	443	76	99	99	221	44	88	740	586	630			79	0.11
U	LT/LTOR	109	109	109	24	31	31	45	9	18	178	149	158	0.25		16	0.09
	ST	195	195	195	23	30	30	26	5	10	244	230	235			32	0.13
	RT	178	178	178	21	27	27	19	4	8	218	209	213		0.36	21	0.10
	Total	482	482	482	68	88	88	90	18	36	640	588	606			69	0.11
S	LT/LTOR	63	63	63	15	20	20	38	8	15	116	90	98	0.35		9	0.08
	ST	72	72	72	10	13	13	72	14	29	154	99	114			10	0.06
	RT	50	50	50	6	8	8	58	12	23	114	69	81		0.27	8	0.07
	Total	185	185	185	31	40	40	168	34	67	384	259	293			27	0.07

Gambar 9. Tampilan Output Sheet SIG-2 pada Aplikasi Spreadsheet

SIMPANG BERSINYAL		Tanggal: 21 September 2009				
Formulir SIG-III:		Ditangani oleh: Kelompok 1				
WAKTU ANTAR HIJAU		Kota: Surabaya				
WAKTU HILANG		Simpang: 3				
		Perihal: Presentasi				
LALU LINTAS BERANGKAT		LALU LINTAS DATANG				Waktu merah semua (det)
Pendekat	Kecepatan V_e m/det	Pendekat	B	T	U	S
		Kecepatan V_A m/det	10	10	10	10
		Jarak berangkat-datang (m)				19.1 5 11.6
B	10	Waktu berangkat-datang (det)				1.91 0.5 1.16
		Jarak berangkat-datang (m)			19.1 5 11.6	
T	10	Waktu berangkat-datang (det)			1.91 0.5 1.16	
		Jarak berangkat-datang (m)	19.1 5 11.6			
U	10	Waktu berangkat-datang (det)	1.91 0.5 1.16			
		Jarak berangkat-datang (m)		19.1 5 11.6		
S	10	Waktu berangkat-datang (det)		1.91 0.5 1.16		
Penentuan waktu merah semua:						
Fase 1 → Fase 2						2
Fase 2 → Fase 3						2
Fase 3 → Fase 4						2
Fase 4 → Fase 1						2
Waktu kuning total						12
Waktu hilang total (LTI) = Merah semua total + waktu kuning (det/siklus)						20

Gambar 10. Tampilan Output Sheet SIG-3 pada Aplikasi Spreadsheet

SIMPANG BERSINYAL		Tanggal: 21 September 2009		Ditangani oleh: Kelompok 1																		
Formulir SIG-IV: PENENTUAN WAKTU SINYAL DAN KAPASITAS		Kota: Surabaya		Perihal: Presentasi																		
Simpang: Kertajaya		Simpang: Kertajaya		Periode: 1																		
Distribusi arus lalu lintas (smp/jam)		Fase 1		Fase 2																		
		Fase 3		Fase 4																		
Kode pen-dekat	Hijau dalam fase no.	Tipe pen-dekat	Rasio kendaraan berbelok	Arus RT smp/jam	Lebar efektif (m)	Arus jenuh smp/jam hijau	Arus lalu lintas smp/jam	Rasio arus FR	Rasio fase PR = FRcrit	Waktu hijau det	Kapasitas smp/jam S x g/c	Derajat kejenuhan										
			P_{LTD} P_{LT} P_{RT}	Q_{RT} Q_{RTD}	W_e	Nilai dasar smp/jam hijau S_0	Semua tipe pendekatan	Nilai disesuaikan smp/jam hijau S														
							Hanya tipe P															
							Ukuran kota F_{CS}															
							Hambatan Sampung F_{SP}															
							Kelandaian F_e															
							Parkir F_p															
							Belok kanan F_{RT}															
							Belok kiri F_{LT}															
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)
B	4	P	0.38	0.33	119	5.00	3,000	1.00	0.91	0.98	0.88	1.00	1.00	2,355	222	0.09	0.18	15	336	0.66		
T	3	P	0.41	0.41	243	5.00	3,000	1.00	0.91	0.98	0.82	1.00	1.00	2,191	348	0.16	0.30	25	522	0.67		
U	1	P	0.25	0.36	209	5.00	3,000	1.00	0.91	0.98	0.81	1.00	1.00	2,150	439	0.20	0.39	30	614	0.71		
S	2	P	0.35	0.27	69	5.00	3,000	1.00	0.92	0.98	0.88	1.00	1.00	2,388	169	0.07	0.13	15	341	0.49		
Waktu hilang total LTI (det)			20 Waktu siklus pra penyesuaian			C_{sa} (det)	75	Waktu siklus disesuaikan			c (det)	105	IFR =			0.53	Σ FRcrit					

Gambar 11. Tampilan Output Sheet SIG-4 pada Aplikasi Spreadsheet

SIMPANG BERSINYAL		Tanggal: 21 September 2009		Ditangani oleh: Kelompok 1											
Formulir SIG-V		Kota: Surabaya		Perihal: Presentasi											
PANJANG ANTRIAN		Simpang: Kertajaya		Periode: 1											
Jumlah kendaraan terhenti		Simpang: Kertajaya		Periode: 1											
TUNDAAN		Waktu siklus: 105													
Kode pendekat	Arus lalu lintas smp/jam	Kapasitas smp/jam	Derajat kejenuhan	Rasio hijau	Jumlah kendaraan antri (smp)	Panjang antrian (m)	Rasio kendaraan stop/smp	Jumlah kendaraan terhenti smp/jam	Tundaan lalu lintas rata-rata det/smp	Tundaan geometrik rata-rata det/smp	Tundaan rata-rata det/smp	Tundaan total smp.det			
	Q	C	DS = Q/C	GR = g/c	Total $NQ_1 + NQ_2 = NQ$	NQ_{MAX}	QL	NS	N_{sv}	DT	DG	D + DG			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
B	222	336	0.66	0.14	1.47	6.13	7.60	12.99	51.96	1.06	235	58.34	4.00	62.34	13,845
T	348	522	0.67	0.24	2.41	9.18	11.59	18.27	73.09	1.03	358	52.87	4.00	56.87	19,766
U	439	614	0.71	0.29	4.21	11.50	15.71	23.72	94.88	1.10	485	58.32	4.00	62.32	27,373
S	169	341	0.49	0.14	0.00	4.54	4.54	9.05	36.19	0.83	140	41.50	3.95	45.45	7,673
LTOR (semua)															
Arus kor. Qkor.															
Arus total. Qtot.															
Kendaraan terhenti rata-rata stop/smp:															
Tundaan simpang rata-rata stop/smp:															

Gambar 12. Tampilan Output Sheet SIG-5 pada Aplikasi Spreadsheet

4.2 Perbedaan Hasil Perhitungan KAJI dengan Aplikasi *Spreadsheet*

Setelah dilakukan perbandingan antara perhitungan aplikasi *spreadsheet* dengan KAJI, didapat perbedaan antara nilai DS perhitungan KAJI dengan perhitungan aplikasi *spreadsheet* sebagaimana terlihat pada **Tabel 1**. Perbedaan tersebut disebabkan oleh karena adanya perbedaan nilai faktor penyesuaian parkir (F_P). Nilai F_P perhitungan KAJI adalah 0,82 untuk semua pendekat, karena KAJI menghitung nilai F_P selalu berdasarkan waktu hijau 26 detik, seharusnya berdasarkan waktu hijau tiap pendekat. Oleh karena itu pada aplikasi *spreadsheet* tetap digunakan nilai F_P berdasarkan persamaan (21) pada bagian simpang bersinyal MKJI 1997.

Tabel 1. Perbandingan Nilai DS pada Sheet SIG4 Akibat Nilai F_P

	Nilai DS		Selisih Mutlak	(%)
	KAJI	Aplikasi <i>Spreadsheet</i>		
Barat	0,726	0,660	0,066	9,09
Timur	0,682	0,666	0,016	2,35
Utara	0,717	0,715	0,002	0,28
Selatan	0,538	0,495	0,043	7,99

Perbedaan nilai DS antara KAJI dan aplikasi *spreadsheet* pada **Tabel 1** juga berdampak terhadap perhitungan pada *Sheet SIG5*, yaitu menyebabkan perhitungan nilai jumlah antrian (NQ_1) yang dipengaruhi oleh nilai DS menjadi berbeda juga sehingga berdampak timbulnya perbedaan nilai tundaan total antara KAJI dengan aplikasi *spreadsheet* sebagaimana terlihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Tundaan Total pada Sheet SIG5

	Tundaan Total (smp.det)		Selisih Mutlak	(%)
	KAJI	Aplikasi <i>Spreadsheet</i>		
Barat	12.607	11.463	1.144	9,07
Timur	15.464	15.217	247	1,60
Utara	18.493	18.444	49	0,26
Selatan	7.815	7.673	142	1,82

Berdasarkan perbandingan nilai DS dan nilai tundaan total antara hasil perhitungan KAJI dan aplikasi *spreadsheet* (**Tabel 1** dan **Tabel 2**), dapat disimpulkan bahwa aplikasi *spreadsheet* dapat digunakan untuk mempermudah dan mempercepat proses penentuan waktu hijau, $W_{L\text{TOR}}$, lebar satu lajur lurus dan atau belok kanan, dan jumlah lajur setiap lengan pendekat yang memenuhi nilai DS tertentu, meskipun masih terdapat perbedaan hasil perhitungan antara *software* KAJI dan aplikasi *spreadsheet* karena adanya perbedaan asumsi dalam perhitungan nilai faktor penyesuaian parkir (F_P).

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan perbandingan antara perhitungan KAJI dengan perhitungan aplikasi *spreadsheet* yang telah dibuat, secara umum dapat ditarik kesimpulan bahwa aplikasi *spreadsheet* dapat meningkatkan efisiensi proses perhitungan kinerja simpang bersinyal, dimana proses perhitungan tidak membutuhkan waktu yang lama seperti ketika menghitung manual dengan *trial and error*. Selain itu aplikasi *spreadsheet* mempermudah perhitungan kinerja simpang bersinyal, terutama dalam hal menentukan waktu hijau, lebar belok kiri, lebar lajur untuk lurus dan atau belok kanan, dan jumlah lajur berdasarkan nilai DS tertentu, sesuai dengan ruang lingkup yang telah ditentukan.

6. DAFTAR REFERENSI

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, SWEROAD & PT. Bina Karya, Bandung.
- Frontline Systems, Inc., <<http://www.solver.com>> (Februari 25, 2015)
- Garber, N.J., dan Lester A.H. (2009). *Traffic & Highway Engineering, fourth edition*, Cengage Learning, Toronto.
- Hesse, R. (1997). *Managerial Spreadsheet Modeling and Analysis*, Irwin, Chicago.
- Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, edisi ke-2, Penerbit ITB, Bandung.