

OPTIMASI SINYAL TERHADAP WAKTU TUNDAAN DI SIMPANG BERSINYAL YANG BERDEKATAN DENGAN MODEL TRANSMISI SEL (CELL TRANSMISSION MODEL) PADA RUAS JALAN AHMAD YANI KOTA MALANG

Rudy Bayu Hendri Ndolu

Mahasiswa Program Sarjana Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang

Jl. Sigura-gura no. 2, Malang

Email : rudindolu06@gmail.com

Telp. : 0341-551431

ABSTRACT

Increasing the need for transportation facilities makes the effectiveness of transportation infrastructure in the form of roads begin to decline, because it is not yet optimal in coordinating between adjacent intersections, this study was carried out to find the optimum offset between the two intersections by applying the cell transmission model, namely by dividing the road segments into several cells, and formulate time delays at these intersections, so that a minimum delay time can be obtained from various offset variations. The results of its application on the Ahmad Yani road section of Malang City are the optimum offset on the d1_2 segment for morning time is 39 seconds and the d2_1 segment is 96 seconds, with accumulated delays of 17235.3 seconds, for the afternoon offset the optimum offset of the d1_2 section is 78 seconds and the d2_1 segment 57 seconds with a total delay of 19225.5 seconds, and for the afternoon, the optimum offset occurs with a value in the d1_2 segment 48 seconds and a d2_1 segment of 87 seconds, with a total delay of 16893 seconds, while the ratio of the delay to the existing offset and offset after analysis is an average of 22,085%.

Keywords: Cell Transmission Model, Minimum Delay, *Offset* Optimum

ABSTRAK

Penambahan kebutuhan sarana transportasi membuat keefektifan prasarana transportasi berupa jalan mulai menurun, dikarenakan belum secara optimal pengkoordinasian antar simpang yang berdekatan maka penelitian ini dilaksanakan untuk mencari *offset* optimum antar kedua simpang tersebut dengan menerapkan model transmisi sel, yaitu dengan cara membagi ruas jalan menjadi beberapa sel, dan merumuskan waktu tundaan pada simpang tersebut, sehingga dapat diperoleh waktu tundaan minimum dari berbagai variasi *offset* yang ada. Hasil penerapannya pada ruas jalan Ahmad Yani Kota Malang adalah *offset* optimum pada ruas d1_2 untuk waktu pagi adalah 39 detik dan ruas d2_1 adalah 96 detik, dengan akumulasi tundaan sebesar 17235,3 detik, untuk *offset* siang diperoleh *offset* optimum ruas d1_2 sebesar 78 detik dan ruas d2_1 57 detik dengan total tundaan sebesar 19225,5 detik, dan untuk sore hari, *offset* optimum terjadi dengan nilai pada ruas d1_2 48 detik dan ruas d2_1 87 detik, dengan total tundaan sebesar 16893 detik, adapun perbandingan besar tundaan terhadap *offset* eksisting dan *offset* setelah dianalisa adalah rata-rata sebesar 22,085%.

Kata Kunci: Model Transmisi Sel, Tundaan Minimum, *Offset* Optimum

1. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur daerah selalu menjadi prioritas dari pembangunan daerah tersebut, salah satunya adalah prasarana transportasi berupa jalan, seiring waktu berjalan prasarana ini membawa salah satu permasalahan berupa kemacetan, dimana membuat mobilitas dan aksesibilitas pada jaringan daerah terganggu, kemacetan terjadi disebabkan banyak hal salah satu penyebab utamanya ialah kurang terkoordinasinya simpang yang berdekatan sehingga lajur kendaraan tidak berjalan secara efisien, bertolak hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi koordinasi *offset* sinyal pada simpang yang berdekatan .

Beberapa penelitian sebelumnya sudah dilakukan terkait dengan optimasi sinyal pada simpang bersinyal. Hasil penelitian koordinasi sinyal lampu isyarat lalu lintas pada suatu koridor jalan arteri yang dilakukan oleh Sebayang N, (1998) mengusulkan metode koordinasi sinyal lampu isyarat lalu lintas pada jalan dua arah dengan metode minimasi tundaan. Namun model yang dikembangkan tersebut masih memiliki keterbatasan yaitu hanya dapat digunakan pada suatu koridor ruas jalan poros (arterial), yang volume lalu lintas pada kondisi lalu lintas tidak jenuh (*undersaturated*).. Lin at al (2010), melakukan penelitian dengan fokus penelitian adalah meningkatkan arus lalu lintas menerus (*maximizing progression*) melintasi simpang yang dikoordinasikan. Model yang dikembangkan menggunakan model program non linier untuk mengoptimalkan green bandwidth. dan tidak dapat digunakan pada arus *oversaturated*. Algorithm (SGA). Li (2011) mengembangkan metode optimasi sinyal lampu isyarat lalu lintas menggunakan pendekatan Formulasi Transmisi Sel (*Cell*

Transmission Formulations). Metode yang diperkenalkan dapat melakukan optimasi sinyal pada volume lalu lintas kondisi tidak jenuh (*undersaturated*) dan kondisi lewat jenuh (*oversaturated*). Model ini memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan model TRANSYT dengan genetic algorithms (GA) dan algoritma Hill Climbing (HC). Optimasi sinyal ini akan ditinjau terhadap waktu tundaan kendaraan dan akan diambil pada saat simpang mengalami keadaan jenuh, untuk dapat melihat kondisi tersebut penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model transmisi sel (*Cell Transmission Model*)

2. METODOLOGI

Pelaksanaan penelitian dibuat dalam lima tahapan yaitu tahap pertama penelitian karakteristik arus lalu lintas, tahap kedua merumuskan tundaan pada simpang bersinyal, tahap ketiga merumuskan algoritma optimasi sinyal pada ATCS dan menyusun program computer optimasi sinyal optimum, tahap keempat menjalankan program menggunakan data artificial, tahap kelima menjalankan program optimasi sinyal dengan menggunakan data geometrik dan data arus lalu lintas di lokasi studi.

Perumusan tundaan pada simpang dilakukan dengan pendekatan Cell Transmission Model (CTM), yaitu metode baru dalam memprediksi besar tundaan simpang yang dapat diterapkan pada kondisi lalu lintas *undersaturated* dan kondisi *oversaturated*. Konsep tersebut dikembangkan dari penelitian yang dilakukan Daganzo (1994), yang mengembangkan konsep CTM untuk menganalisis tundaan yang terjadi akibat terjadi pengurangan kapasitas jalan pada satu titik di ruas jalan akibat terjadinya

kecelakaan lalu lintas. Pada metode CTM, ruas jalan dibagi atas beberapa sel, sedangkan kendaraan akan merambat dari satu sel ke sel lainnya sebagai fungsi waktu (clock tick). Pada gambar 1 berikut diilustrasikan ruas jalan yang dibagi atas 9 (sembilan) sel.



Gambar 1. Konsep Pembagian Ruas Jalan Atas Bagian Sel.

Persamaan CTM ditingkat sel dirumuskan Daganzo sebagai hukum konservasi arus lalu lintas adalah sebagai berikut:

$$n_i(t+1) = n_i(t) + y_i(t) - y_{i+1}(t) \quad (1)$$

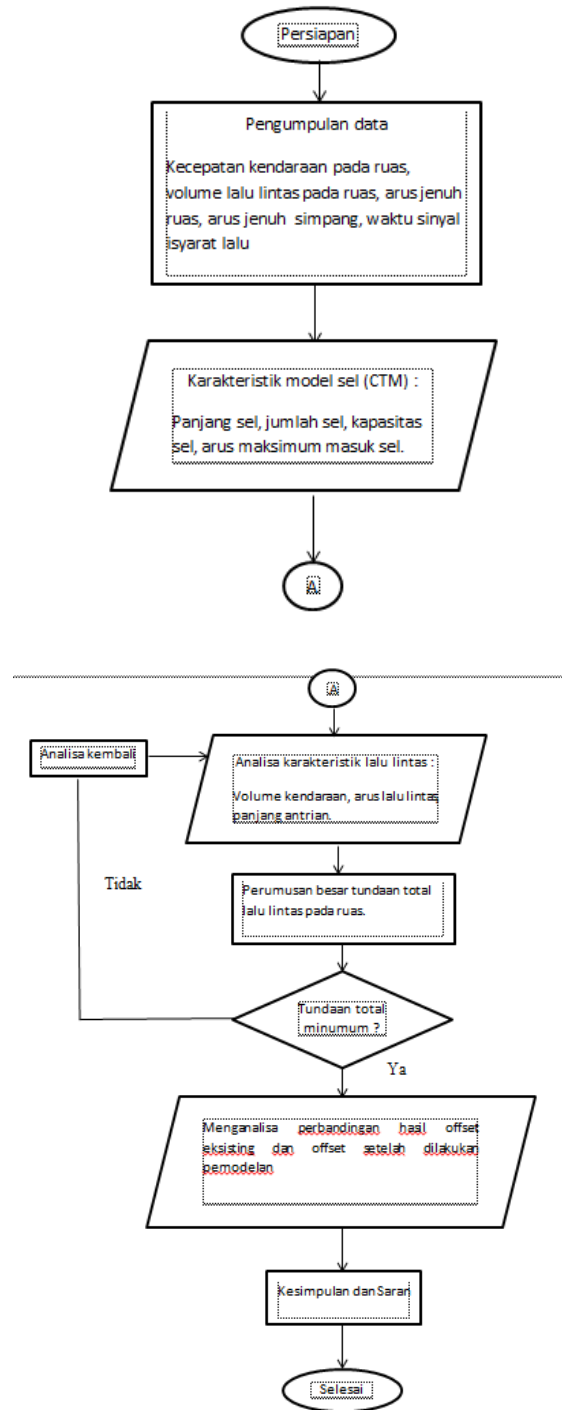
$$y_i(t) = \min \{n_{i+1}(t), Q_i(t), (w/v)[N_i(t) - n_i(t)]\} \quad (2)$$

$$y_{i+1}(t) = \min \{n_i(t), Q_{i+1}(t), (w/v)[N_{i+1}(t) - n_{i+1}(t)]\} \quad (3)$$

Dimana,

indeks i : menunjukkan sel- i , $(i+1)$, $(i-1)$: mewakili sel di hilir dan sel di hulu sel- i , V : kecepatan arus bebas (free flow speed), W : kecepatan gelombang kejut kearah belakang (backward shock wave speed), panjang sel: hasil perkalian kecepatan arus bebas dengan interval waktu t , N_i : kapasitas penyangga yang didefinisikan sebagai jumlah kendaraan maksimum yang dapat menempati sel- i pada waktu t , yang merupakan hasil kali panjang sel dengan kepadatan macet (jam density), Q_i : kapasitas pada waktu t , yang didefinisikan sebagai jumlah maksimum kendaraan yang dapat mengalir memasuki sel- i , yang dapat diperoleh dengan mengalikan arus jenuh sel (cell's saturated flow) dengan panjang interval waktu, y_{ij} : jumlah kendaraan yang meninggalkan sel- i dan memasuki sel- j pada waktu t , n_i : jumlah kendaraan pada sel- i dalam selang waktu t , t selang waktu $[\tau, (t+1)\tau]$, τ : konstanta selang waktu tetap, n_{i+1} : jumlah kendaraan pada sel- i dalam selang waktu $t+1$, y_{ki} : jumlah kendaraan yang meninggalkan sel- k dan masuk sel- i dalam waktu t , y_{tj} : jumlah kendaraan yang

meninggalkan sel- i dan masuk sel- j dalam waktu t .



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi offset sinyal pada simpang berdekatan



Gambar 3. Lokasi Penelitian

Penelitian tersebut berada pada ruas jalan Ahmad Yani, khususnya pada simpang jalan Ahmad Yani-jalan Borobudur (simpang 1) dan jalan A. Yani-jalan L.A Sucipto (simpang 2).

Dalam melakukan pengerjaannya didapatkan karakteristik lalu lintas seperti dibawah ini :

- Kecepatan lalu lintas = 20 Km/jam
- Kepadatan macet = 166 smp
- Kapasitas = 3000 smp/jam
- Arus jenuh = 3000

Data ini diambil berdasarkan mkji 1997

Dalam menentukan karakteristik sel maka direncanakan ;

- Clock tick = 3 detik
- Jumlah siklus = 100 siklus (5 menit)
- Panjang dan jumlah sel
Dikarenakan terdapat 4 lajur yang memiliki kecepatan yang berbeda, maka jumlah sel untuk setia laju adalah sebagai berikut;

Lajur 1 (Bagian kiri arah simpang 1-2)

- panjang sel 17 m dan jumlahnya 7
- Kapasitas :3 smp

Lajur 2 (Bagian kanan simpang 1-2)

- Panjang sel 12 m dan jumlahnya 10
- Kapasitas :2 smp

Lajur 3 (Bagian kanan simpang 2-1)

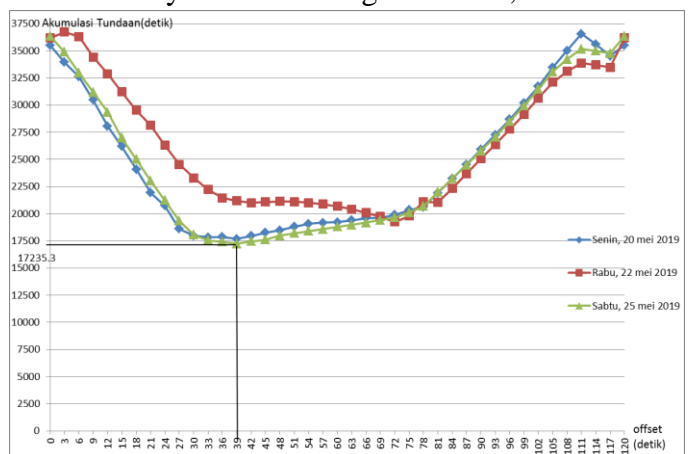
- Panjang sel 22 m dan jumlahnya 5
- Kapasitas :3 smp

Lajur 4 (Bagian kiri simpang 2-1)

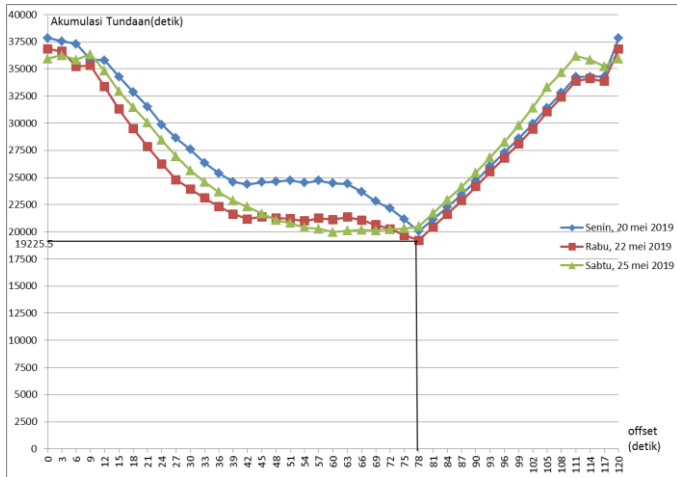
- Panjang sel 14 m dan jumlahnya 8
- Kapasitas :4 smp

- Jumlah maksimum kendaraan memasuki sel (Q) adalah 2 smp setiap lajur

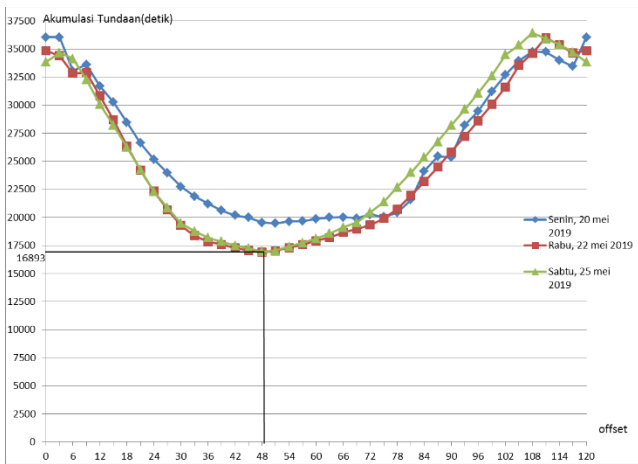
Untuk menguji model optimasi offset sinyal menggunakan data diatas. Hasil pemodelan optimasi offset sinyal pada ruas jalan tersebut dengan mengambil satuan clock tick (t) sebesar 3 detik dan didapatkan grafik variasi tundaan terhadap perubahan offset sinyal adalah sebagai berikut ;



Gambar 4. Grafik akumulasi tundaan (Pagi)



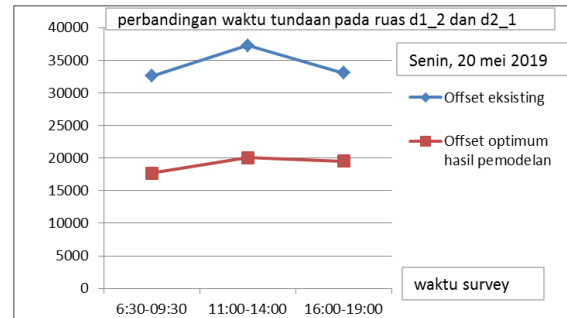
Gambar 5. Grafik akumulasi tundaan (Siang)



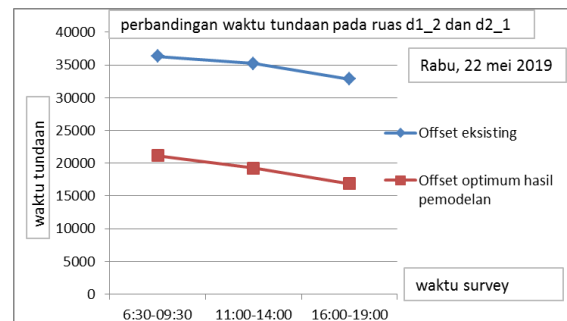
Gambar 6. Grafik akumulasi tundaan (Sore)

Dari hasil grafik diatas didapatkanlah waktu offset optimum, offset optimum pagi (06:30-09:30) pada ruas d1_2 adalah 39 detik dan ruas d2_1 adalah 96 detik, dengan akumulasi tundaan minimum sebesar 17235.3 detik. Offset optimum siang pada ruas d1_2 adalah 78 detik dan ruas d2_1 adalah 57 detik dengan tundaan minimum sebesar 19225.5 detik. Offset optimum sore pada ruas d1_2 adalah 48 detik dan ruas d2_1 adalah 87 detik dengan tundaan minimum sebesar 16893 detik.

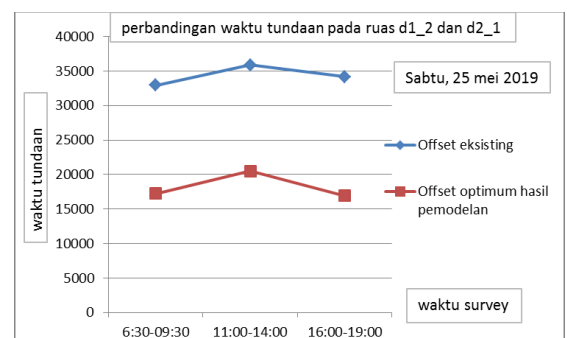
Dan juga dari hasil yang didapatkan dilakukan perbandingan dengan offset eksisting.



Gambar 7. Perbandingan total tundaan terhadap offset eksisting dan hasil pemodelan (Hari 1)



Gambar 8. Perbandingan total tundaan terhadap offset eksisting dan hasil pemodelan (Hari 2)



Gambar 9. Perbandingan total tundaan terhadap offset eksisting dan hasil pemodelan (Hari 3)

Berdasarkan gambar 7-9 terlihat adanya pengurangan (persentase) waktu tundaan pada kondisi offset lapangan terhadap offset optimum hasil pemodelan, untuk hari senin adalah 22.66%, hari selasa sebesar 22.21%, dan hari sabtu sejumlah 21.39% jika dirata-ratakan persentase penurunan waktu tundaan sebesar 22.085%. Dengan penguraian seperti pada tabel dibawah.

Tabel 1. Persentase berkurangnya waktu tundaan pemodelan terhadap tundaan eksisting

Offset eksisting						Offset optimum							Total Penurunan (detik)	Persentase %
No.	Offset d1_2 (detik)	Waktu Tundaan (detik)	Offset d2_1 (detik)	Waktu Tundaan (detik)	Total Waktu Tundaan (detik)	Hari	No.	Offset d1_2 (detik)	Waktu Tundaan (detik)	Offset d2_1 (detik)	Waktu Tundaan (detik)	Total Waktu Tundaan (detik)		
3	6	1999.8	6	30653.4	32593.2	Pagi	14	39	1156.8	96	16525.8	17682.6	14810.6	21.86
3	6	2145	6	35145.6	37290.6	Siang	27	78	533.4	57	19519.8	20053.2	17237.4	21.63
3	6	2361.6	6	30367	33048.6	Sore	17	48	2717.1	87	16830.6	19547.7	13500.9	24.48
						Hari 2								
3	6	2194.8	6	34111.8	36306.6	Pagi	14	39	1267.2	96	19913.4	21180.6	15126	24.00
3	6	1956	6	33271.2	35227.2	Siang	27	78	469.8	57	18755.7	19225.5	16001.7	22.01
3	6	1753.5	6	31071.9	32825.4	Sore	17	48	1953.6	87	14939.4	16893	15932.4	20.60
						Hari 3								
3	6	1237.2	6	31702.8	32940	Pagi	14	39	1298.1	96	15937.2	17235.3	15704.7	20.97
3	6	2758.5	6	33093.3	35851.8	Siang	27	78	636	57	19864.8	20500.8	15351	23.35
3	6	3212.1	6	30924	34136.1	Sore	17	48	1646.4	87	15285.6	16932	17204.1	19.84
												rata-rata	15663.2	22.085

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa yang di lakukan pada simpang bersinyal yang berdekatan pada Jl Ahmad Yani, Jl, Borobudur dan Jl. L. A. Sucipto diperoleh:

- Optimasi offset sinyal pada simpang jl. Ahmad Yani dan jl. Bodobudur, dan jl. L.A. Sucipto dengan pemodelan Cell Transmission Model (CTM) memperoleh hasil sebagai berikut;

- Offset optimum pagi (06:30-09:30) pada ruas d1_2 adalah 39 detik dan ruas d2_1 adalah 96 detik, dengan akumulasi tundaan minimum sebesar 17235.3 detik.

- Offset optimum siang pada ruas d1_2 adalah 78 detik dan ruas d2_1 adalah 57 detik dengan tundaan minimum sebesar 19225.5 detik.
- Offset optimum sore pada ruas d1_2 adalah 48 detik dan ruas d2_1 adalah 87 detik dengan tundaan minimum sebesar 16893 detik.

- Persentase berkurangnya waktu tundaan setelah dilakukan optimasi offset sinyal dengan pemodelan Cell Transmission Model adalah 22.66% untuk hari senin, hari selasa sebesar 22.21%, dan hari sabtu sejumlah 21.39% jika dirata-ratakan persentase penurunan waktu tundaan sebesar 22.085%.

5. LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh penentuan offset sinyal



Lampiran 2. Waktu sinyal per fase

(Senin, 20 mei 2019/06:30-09:30)

Simpang 1	M	K	H	Jumlah lajur	Tipe	
Jl. Borobudur	91	3	26	2	Komersial	
Jl. A. Yani simpang 1 (pendekat selatan)	91	3	26	2	Komersial	
Jl. A. Yani simpang 1 (pendekat utara)	69	3	48	2	Komersial	Ditinjau
Simpang 2						
Jl. A. Yani simpang 2 (pendekat selatan)	84	3	33	2	Komersial	Ditinjau
Jl. L. A. Sucipto	96	3	30	2	Komersial	
Jl. A. Yani simpang 2 (pendekat utara)	71	3	46	2	Komersial	

Lampiran 3. Contoh perambatan kendaraan dalam sel

Waktu (s)	clock tick	Motor	Emp	Mobil	EMP	Kand. Besar	Emp	Jumlah (EMP)	Sat-10	Sat-9	Sat-8	Sat-7	Sat-6	Sat-5	Sat-4	Sat-3	Sat-2	Sat-1	Okular	Tenda	Akumulasi	Tun
3537	1193	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3600	1200	1	0.2	0	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.0	2.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3603	1201	1	0.2	0	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.0	2.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3606	1202	1	0.2	1	1	0	0	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	2.0	2.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3609	1203	2	0.4	1	1	0	0	1.4	1.2	0.2	0.0	0.0	0.2	2.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3612	1204	2	0.4	1	1	0	0	1.4	0.8	1.2	0.2	0.0	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3615	1205	2	0.4	1	1	0	0	1.4	1.2	0.8	1.2	0.2	0.2	0.0	0.2	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3618	1206	2	0.4	1	1	0	0	1.4	0.8	1.2	0.8	1.2	0.2	0.2	0.0	0.2	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
3621	1207	2	0.4	1	1	0	0	1.4	1.2	0.8	1.2	0.8	1.2	0.2	0.2	0.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3624	1208	2	0.4	0	0	0	0	0.4	0.8	1.2	0.8	1.2	0.2	0.2	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3627	1209	2	0.4	0	0	0	0	0.4	0.4	0.8	1.2	0.8	1.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3630	1210	2	0.4	0	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.8	1.2	0.8	1.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3633	1211	2	0.4	0	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	1.2	0.8	1.2	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3636	1212	2	0.4	0	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	1.2	0.8	1.2	0.2	0.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3639	1213	1	0.2	0	0	0	0	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	1.2	0.8	1.2	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3642	1214	1	0.2	0	0	0	0	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	1.2	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3645	1215	1	0.2	0	0	0	0	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	1.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3648	1216	1	0.2	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	1.4	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Lampiran 4. Hubungan offset sinyal d1_2 dan d2_1

No.	Offset d1_2 (detik)	Offset d2_1 (detik)	No.	Offset d1_2 (detik)	Offset d2_1 (detik)
1	0	12	21	60	75
2	3	9	22	63	72
3	6	6	23	66	69
4	9	3	24	69	66
5	12	0	25	72	63
6	15	120	26	75	60
7	18	117	27	78	57
8	21	114	28	81	54
9	24	111	29	84	51
10	27	108	30	87	48
11	30	105	31	90	45
12	33	102	32	93	42
13	36	99	33	96	39
14	39	96	34	99	36
15	42	93	35	102	33
16	45	90	36	105	30
17	48	87	37	108	27
18	51	84	38	111	24
19	54	81	39	114	21
20	57	78	40	117	18
			41	120	15

Lampiran 5. Hubungan offset dan perubahan tundaan

No.	Offset d1_2	Waktu Tundaan	Offset d2_1	Waktu Tundaan	Total Waktu Tundaan
1	0	477.6	12	35033.4	35511
2	3	1050	9	32895	33945
3	6	1939.8	6	30653.4	32593.2
4	9	1909.2	3	28557.9	30467.1
5	12	1831.8	0	26221.8	28053.6
6	15	1756.8	120	24426.6	26183.7
7	18	1681.8	117	22393.8	24075.6
8	21	1606.8	114	20301.9	21908.7
9	24	1531.8	111	19193.4	20725.2
10	27	1456.8	108	17134.8	18591.6
11	30	1381.8	105	16593.9	17975.7
12	33	1306.8	102	16507.2	17814
13	36	1231.8	99	16606.5	17838.3
14	39	1156.8	96	16525.8	17682.6
15	42	1081.8	93	16853.1	17934.9
16	45	1006.8	90	17239.2	18246
17	48	931.8	87	17527.5	18459.3
18	51	856.8	84	17929.8	18786.6
19	54	781.8	81	18273	19054.8
20	57	706.8	78	18446.4	19153.2
21	60	631.8	75	18569.4	19201.2
22	63	556.8	72	18831.6	19388.4
23	66	481.8	69	19110.9	19592.7
24	69	406.8	66	19212.9	19619.7
25	72	331.8	63	19540.8	19872.6
26	75	256.8	60	20066.7	20323.5
27	78	181.8	57	20430.6	20612.4
28	81	113.4	54	21788.4	21901.8
29	84	51.6	51	23146.2	23197.8
30	87	20.4	48	24502.8	24523.2
31	90	14.4	45	25867.2	25881.6
32	93	13.2	42	27241.8	27255
33	96	21	39	28660.8	28681.8
34	99	27.6	36	30126.6	30154.2
35	102	39	33	31656.6	31695.6
36	105	43.8	30	33416.4	33460.2
37	108	55.2	27	34940.4	34995.6
38	111	59.4	24	36474	36533.4
39	114	118.2	21	35477.4	35595.6
40	117	236.1	18	34278.6	34514.7
41	120	477.6	15	35033.4	35511

Lampiran 6. Hubungan offset dan perubahan tundaan

(Rabu, 22 mei 2019/06:30-09:30)

No.	Offset d1_2	Waktu Tundaan	Offset d2_1	Waktu Tundaan	Total Waktu Tundaan
1	0	599.4	12	35583	36182.4
2	3	1135.2	9	35583	36718.2
3	6	2194.8	6	34111.8	36306.6
4	9	2085	3	32337	34422
5	12	1996.2	0	30880.2	32876.4
6	15	1915.2	120	29298.6	31213.8
7	18	1834.2	117	27679.2	29513.4
8	21	1753.2	114	26376	28129.2
9	24	1672.2	111	24610.8	26283
10	27	1591.2	108	22928.7	24519.9
11	30	1510.2	105	21772.8	23283
12	33	1429.2	102	20776.2	22205.4
13	36	1348.2	99	20099.4	21447.6
14	39	1267.2	96	19913.4	21180.6
15	42	1186.2	93	19807.2	20993.4
16	45	1105.2	90	19962	21067.2
17	48	1024.2	87	20100	21124.2
18	51	943.2	84	20166	21109.2
19	54	862.2	81	20148.6	21010.8
20	57	781.2	78	20103.6	20884.8
21	60	700.2	75	19977	20677.2
22	63	619.2	72	19785.6	20404.8
23	66	538.2	69	19553.4	20091.6
24	69	457.2	66	19269.6	19726.8
25	72	376.2	63	18859.2	19235.4
26	75	295.2	60	19498.8	19794
27	78	214.2	57	20877.6	21091.8
28	81	133.2	54	20877.6	21015
29	84	68.4	51	22253.4	22321.8
30	87	40.2	48	23635.2	23675.4
31	90	40.2	45	24997.8	25038
32	93	49.2	42	26316	26365.2
33	96	71.4	39	27697.8	27769.2
34	99	86.4	36	29031	29117.4
35	102	113.4	33	30518.1	30631.5
36	105	121.2	30	31984.2	32105.4
37	108	125.4	27	32972.1	33097.5
38	111	127.8	24	33738	33865.8
39	114	129.6	21	33552	33681.6
40	117	295.8	18	33182.4	33478.2
41	120	599.4	15	35583	36182.4

Lampiran 7. Hubungan offset dan perubahan tundaan

(Sabtu, 25 mei 2019/06:30-09:30)

No.	Offset d1_2	Waktu Tundaan	Offset d2_1	Waktu Tundaan	Total Waktu Tundaan
1	0	721.8	12	35621.4	36343.2
2	3	1237.2	9	33641.4	34878.6
3	6	1237.2	6	31702.8	32940
4	9	1929.3	3	29251.2	31180.5
5	12	2008.8	0	27334.8	29343.6
6	15	1924.5	120	25056	26980.5
7	18	1846.2	117	23143.8	24990
8	21	1767.9	114	21238.8	23006.7
9	24	1689.6	111	19541.4	21231
10	27	1611.3	108	17727.6	19338.9
11	30	1533	105	16521.6	18054.6
12	33	1454.7	102	16082.4	17537.1
13	36	1376.4	99	16020	17396.4
14	39	1298.1	96	15937.2	17235.3
15	42	1219.8	93	16236	17455.8
16	45	1141.5	90	16452	17593.5
17	48	1063.2	87	16897.8	17961
18	51	984.9	84	17203.2	18188.1
19	54	906.6	81	17478	18384.6
20	57	828.3	78	17742	18570.3
21	60	750	75	18035.4	18785.4
22	63	671.7	72	18288.6	18960.3
23	66	593.4	69	18568.8	19162.2
24	69	515.1	66	18893.4	19408.5
25	72	436.8	63	19186.2	19623
26	75	358.5	60	19743	20101.5
27	78	280.2	57	20396.4	20676.6
28	81	201.9	54	21758.4	21960.3
29	84	124.8	51	23083.8	23208.6
30	87	54	48	24431.4	24485.4
31	90	18.6	45	25752	25770.6
32	93	13.2	42	27053.4	27066.6
33	96	22.2	39	28468.2	28490.4
34	99	31.2	36	29895	29926.2
35	102	42.6	33	31417.2	31459.8
36	105	50.4	30	33007.2	33057.6
37	108	65.4	27	34155	34220.4
38	111	64.8	24	35094.6	35159.4
39	114	76.2	21	34894.2	34970.4
40	117	312	18	34456.2	34768.2
41	120	721.8	15	35621.4	36343.2

Lampiran 8. Hubungan offset dan perubahan tundaan
(Senin, 20 mei 2019/11:00-14:00)

No.	Offset d1_2	Waktu Tundaan	Offset d2_1	Waktu Tundaan	Total Waktu Tundaan
1	0	541.2	12	37311	37852.2
2	3	1317	9	36226.2	37543.2
3	6	2145.6	6	35145.6	37280.6
4	9	2145.6	3	33705.9	35850.9
5	12	3797.4	0	31983.3	35780.7
6	15	3702.3	120	30585	34287.3
7	18	3551.4	117	29223.5	32874.9
8	21	3400.5	114	28111.2	31511.7
9	24	3249.6	111	26617.8	29867.4
10	27	3098.7	108	25524	28622.7
11	30	2947.8	105	24619.5	27567.3
12	33	2796.9	102	23562	26358.9
13	36	2646	99	22744.2	25390.2
14	39	2495.1	96	22082.7	24577.8
15	42	2344.2	93	22014	24358.2
16	45	2193.3	90	22382.4	24575.7
17	48	2042.4	87	22580.1	24622.5
18	51	1891.5	84	22836.3	24727.8
19	54	1740.6	81	22766.7	24507.3
20	57	1589.7	78	23129.7	24719.4
21	60	1438.8	75	23026.8	24465.6
22	63	1287.9	72	23134.8	24422.7
23	66	1137	69	22545	23682
24	69	986.1	66	21810.9	22797
25	72	835.2	63	21318.6	22153.8
26	75	684.3	60	20469.9	21154.2
27	78	533.4	57	19519.8	20053.2
28	81	393.9	54	20722.2	21116.1
29	84	267	51	21991.8	22258.8
30	87	161.7	48	23278.8	23440.5
31	90	114.9	45	24568.2	24683.1
32	93	133.5	42	25876.8	26010.3
33	96	138	39	27175.5	27313.5
34	99	178.2	36	28394.1	28572.3
35	102	168.6	33	29769.9	29938.5
36	105	169.8	30	31241.7	31411.5
37	108	175.5	27	32628.9	32804.4
38	111	207.9	24	34062.9	34270.8
39	114	216.6	21	34072.8	34289.4
40	117	229.2	18	34048.8	34278
41	120	541.2	15	37311	37852.2

Lampiran 9. Hubungan offset dan perubahan tundaan

(Rabu, 22 mei 2019/11:00-14:00)

No.	Offset d1_2	Waktu Tundaan	Offset d2_1	Waktu Tundaan	Total Waktu Tundaan
1	0	881.4	12	35967.6	36849
2	3	1956	9	34668.6	36624.6
3	6	1956	6	33271.2	35227.2
4	9	3594	3	31717.8	35311.8
5	12	3523.8	0	29818.8	33342.6
6	15	3380.4	120	27920.7	31301.1
7	18	3241.8	117	26266.5	29508.3
8	21	3103.2	114	24718.5	27821.7
9	24	2964.6	111	23281.2	26245.8
10	27	2826	108	21971.1	24797.1
11	30	2687.4	105	21255	23942.4
12	33	2548.8	102	20549.4	23098.2
13	36	2410.2	99	19906.5	22316.7
14	39	2271.6	96	19366.5	21638.1
15	42	2133	93	19032.9	21165.9
16	45	1994.4	90	19392.3	21386.7
17	48	1855.8	87	19406.4	21262.2
18	51	1717.2	84	19480.2	21197.4
19	54	1578.6	81	19430.1	21008.7
20	57	1440	78	19802.7	21242.7
21	60	1301.4	75	19834.5	21135.9
22	63	1162.8	72	20179.5	21342.3
23	66	1024.2	69	20055	21079.2
24	69	885.6	66	19764.9	20650.5
25	72	747	63	19521	20268
26	75	608.4	60	19046.4	19654.8
27	78	469.8	57	18755.7	19225.5
28	81	331.2	54	20090.7	20421.9
29	84	198.6	51	21425.1	21623.7
30	87	80.4	48	22767.6	22848
31	90	40.2	45	24117.3	24157.5
32	93	43.8	42	25464	25507.8
33	96	55.2	39	26735.7	26790.9
34	99	73.2	36	27997.2	28070.4
35	102	73.2	33	29399.4	29472.6
36	105	94.2	30	30943.2	31037.4
37	108	82.8	27	32306.4	32389.2
38	111	71.4	24	33822.6	33894
39	114	73.2	21	34029.9	34103.1
40	117	91.2	18	33760.2	33851.4
41	120	881.4	15	35967.6	36849

Lampiran 10. Hubungan offset dan perubahan tundaan
(Sabtu, 25 mei 2019/11:00-14:00)

No.	Offset d1_2	Waktu Tundaan	Offset d2_1	Waktu Tundaan	Total Waktu Tundaan
1	0	521.1	12	35427.9	35949
2	3	2004.6	9	34227.3	36231.9
3	6	2758.5	6	33093.3	35851.8
4	9	4389	3	31955.7	36344.7
5	12	4457.4	0	30945.3	34802.7
6	15	4277.4	120	28639.8	32917.2
7	18	4104	117	27378.3	31482.3
8	21	3930.6	114	26109.6	30040.2
9	24	3757.2	111	24675.9	28433.1
10	27	3583.8	108	23360.7	26944.5
11	30	3410.4	105	22245.9	25556.3
12	33	3237	102	21356.1	24593.1
13	36	3063.6	99	20598.9	23662.5
14	39	2890.2	96	19956.3	22846.5
15	42	2716.8	93	19581.9	22298.7
16	45	2543.4	90	19126.5	21669.9
17	48	2370	87	18714.6	21084.6
18	51	2196.6	84	18601.8	20798.4
19	54	2023.2	81	18362.7	20385.9
20	57	1849.8	78	18429.6	20279.4
21	60	1676.4	75	18295.5	19971.9
22	63	1503	72	18599.7	20102.7
23	66	1329.6	69	18831.6	20161.2
24	69	1156.2	66	18962.4	20118.6
25	72	982.8	63	19237.8	20220.6
26	75	809.4	60	19481.1	20290.5
27	78	636	57	19864.8	20500.8
28	81	466.8	54	21235.5	21702.3
29	84	306	51	22616.4	22922.4
30	87	165.6	48	23965.5	24131.1
31	90	93.6	45	25340.4	25434
32	93	123.6	42	26723.7	26847.3
33	96	126.6	39	28123.2	28249.8
34	99	180	36	29611.2	29791.2
35	102	166.8	33	31252.8	31419.6
36	105	189	30	33148.8	33337.8
37	108	190.5	27	34476	34666.5
38	111	214.2	24	35987.4	36201.6
39	114	222.9	21	35623.8	35846.7
40	117	283.2	18	34949.1	35232.3
41	120	521.1	15	35427.9	35949

Babba D.T. Analisa Kinerja Simpang Bersinyal Dengan Menggunakan

- Metode CTM (Cell Transmission Model) Pada Ruas Jl. Basuki Rachmat.*
- Daganzo, C. F., (1994), *The cell-transmission model: Network Traffic*. Department of Civil Engineering and Institute Of Transportation Studies University of California (hal. 5-15).
- Elmanda A. P., Zulfhazli, and Said Jalalul Akbar. (2016). *ANALISA KOORDINASI SINYAL ANTAR SIMPANG DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE TRANSYT 14 (Studi Kasus Simpang Empat dan Simpang BPD Kota Lhokseumawe)*.
- Fanani A. *Optimasi Waktu Tunggu Lalu Lintas Dengan Menggunakan Graf Kompatibel Sebagai Upaya mengurangi Kemacetan* (hal. 45-49). Tahun 2016. UIN Sunan Ampel, Surabaya.
- Pratama, Y. B. V. (2011) *ANALISIS SIMPANG BERSINYAL DENGAN METODE MKJI 1997*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Republik Indonesia 2009. Undang-undang no.22 tahun 2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan, pasal 47. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Sebayang N., Sulistio H., Djakfar L., Wicaksono A. (2015). *Optimasi Offset Sinyal Lampu Isyarat Lalu Lintas Pada Jaringan ATCS (Area Traffic Control Syste) Berbentuk Grid Menggunakan Model Transmisi Sel (Cell Transmission Model)*. Program Doktor Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil , Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. (hal. 881-889).
- Lo HK (2001), *A Cell-Based Tracffic Control Formulation:Strategies and Benefits For Dynamic Timeing Plans*. Transportation Science 2001 INFORMS Vol. 35 no.2, May 2001 pp. 148-164
- Wicaksono A. et al (2013) *Manajemen Lalun Lintas Pada Simpang Borobudur Kota Malang*