

Optimasi Offset Sinyal Simpang Bersinyal Pada ATCS (Area Traffic Control System)

Nusa Sebayang, Ir., MT¹, Harnen Sulistio, Ir., MSc., Ph.D, Prof.,², Ludfi Djakfar, Ir., MSCE., Ph.D³, Achmad Wicaksono, Ir., M.Eng., Ph.D⁴

¹Kandidat Doktor Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

²Promotor, ³Co-Promotor-1, ⁴Co-Promotor-2, Program Doktor Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

e-mail: ¹nusasebayang@yahoo.com.au

ABSTRAK

Permasalahan kemacetan lalu lintas pada sebagian besar Perkotaan di Indonesia adalah terjadi pada simpang bersinyal yang jaraknya berdekatan, sementara system pengendali simpang bersinyal yang digunakan sebagian besar adalah system *isolated*. Salah satu upaya mengurangi kemacetan lalu lintas yang dapat dilakukan adalah memperlancar pergerakan kendaraan dalam melintasi beberapa simpang bersinyal tersebut. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan menerapkan system pengendali simpang terpadu ATCS (*Area Traffic Control System*). Beberapa Kota di Indonesia telah pula mencoba menerapkan system tersebut namun pemanfaatan system ATCS belum optimal. Permasalahan yang dihadapi adalah kesulitan mengkoordinasikan sinyal antar simpang pada sistem ATCS tersebut. Penelitian ini mengembangkan metode praktis dalam mengkoordinasikan sinyal antar simpang pada ATCS. Pengembangan Model Optimasi Sinyal menggunakan pendekatan *Cell Transmission Model* (CTM). Model ini digunakan untuk mengoptimalkan *offset* sinyal pada ATCS sehingga tundaan pergerakan kendaraan dapat diminimalkan. Penelitian dilakukan di Kota Malang yaitu di Ruas Jalan Panji Suroso terhadap 4 simpang bersinyal yaitu (1) Simpang Jalan Panji Suroso-Jalan Panji Suroso, (1) Simpang Jalan Panji Suroso-Jalan Raya Golf Araya, (3) Simpang Jalan Panji Suroso_Jalan Plaosan, (4) Jalan Panji Suroso-Jalan Laksamana Adi Sucipto. Penerapan model optimasi sinyal pada 4 simpang bersinyal tersebut mendapatkan hasil yaitu *offset* sinyal Simpang-1 ke Simpang-2 sebesar 60 detik, *Offset* sinyal antara simpang-1 ke Simpang-3 adalah sebesar 18 detik dan besar *offset* sinyal antara simpang-1 ke simpang-4 adalah sebesar 57 detik. Sedangkan besar tundaan total yang dialami seluruh kendaraan yang melintasi simpang tersebut adalah sebesar 14.232,00 detik.

Kata Kunci: *Offset* Optimum, Minimasi Tundaan , ATCS, *Cell Transmission Model*

ABSTRACT

Traffic congestion problem in most cities in Indonesia occurs among short-distance signalized intersections, while the signalized intersection control system used is mostly isolated system. One effort to reduce traffic congestion that can be done is to facilitate the movement of vehicles in the crossing these intersections. Such efforts can be done by applying Area Traffic Control System. Some cities in Indonesia have also tried to apply the system but the utilization of ATCS has not been maximum. The problem faced is the difficulty in coordinating at the intersection of the ATCS system. This study developed a practical method in coordinating the signals at the intersection of ATCS. The Development of Signal Optimization Model used Cell Transmission Model (CTM) approach. This model is used to optimize signal offset in ATCS and thus the delay of the vehicle movement can be minimized. The research was conducted in 4 intersections Jalan Panji Suroso, Malang, namely (1) the Crossroads of Jalan Panji Suroso-Jalan Simpang Panji Suroso, (2) the crossroads of Jalan Panji Suroso-Jalan Golf Araya, (3) the crossroads of Jalan Panji Suroso-Jalan Plaosan, (4) the crossroads of Jalan Panji Suroso-Jalan Laksamana Adi Sucipto. The

application of optimization models in 4 intersection signals showed that the signal offset of intersection-1 to intersection-2 is 60 seconds, the signal offset between the intersection-1 and intersection-3 is 18 seconds and the signal offset between the intersection-1 to intersection-4 is 57 seconds. While the total delay experienced by all vehicles crossing the intersection is 14,232.00 seconds.

Keywords: *Optimum Offset, Minimization Delay, ATCS, Cell Transmission Model*

Pendahuluan

Permasalahan kemacetan lalu lintas adalah permasalahan yang sudah biasa terjadi di perkotaan di Indonesia dan kondisi kemacetan lalu lintas cenderung semakin parah. Lokasi pada jaringan jalan yang menjadi titik rawan terjadinya kemacetan lalu lintas adalah persimpangan. Hal ini disebabkan sebagian besar simpang-simpang yang ada merupakan simpang sebidang, dan dikendalikan dengan lampu isyarat lalu lintas. Umumnya jenis alat pengendali simpang bersinyal yang digunakan adalah system *isolated*, sehingga pada simpang bersinyal yang lokasinya berdekatan mengakibatkan kendaraan yang keluar dari satu simpang kemungkinan besar akan terhambat sinyal merah pada simpang bersinyal berikut. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan upaya mengoptimalkan sinyal lampu isyarat lalu lintas dengan mengoordinasikan sinyal antar simpang 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*). Penelitian koordinasi sinyal lebih lanjut pada jalan dua arah untuk kondisi arus lalu lintas *oversaturated* dilakukan oleh Girianna (2003). Optimasi sinyal dilakukan dengan metode optimasi dinamis (*dynamic optimization*), dan menggunakan algoritma genetik (*Genetic Algorithms*). Teklu at al. (2007), melakukan penelitian dengan menggunakan algoritma genetik (GA) untuk mengoptimalkan waktu sinyal. Optimasi waktu sinyal dilakukan dengan dengan mempertimbangkan pemilihan rute kendaraan. Kesur (2009), melakukan optimasi sinyal pada simpang bersinyal dengan waktu tetap. Metode optimasi dilakukan dengan menggunakan algoritma genetik (GA) yang dimodifikasi. Hasil penelitian didapatkan hasil optimasi yang dapat mereduksi tundaan sebesar 13% sampai 30%. 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*. Zechman at al. (2010), melakukan koordinasi sinyal pada jaringan untuk kondisi lalu lintas *oversaturated*. Penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil optimasi koordinasi sinyal menggunakan pendekatan *Simple Genetic Algorithm (SGA)* dan pendekatan menggunakan algoritma **Ant Colony Optimization (ACO)**. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa metode **ACO** lebih baik dibandingkan dengan *Simple Genetic 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*). Prinsip optimasi sinyal dengan metode ini adalah meminimasi tundaan dan memaksimalkan kendaraan yang melintasi simpang yang dikoordinasikan. Haldenbilen at al. (2013), yang mengembangkan penggunaan algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)* dan TRANSYT-7F untuk mengoptimalkan waktu sinyal pada kawasan pengendali lalu lintas (*Area Traffic Control*

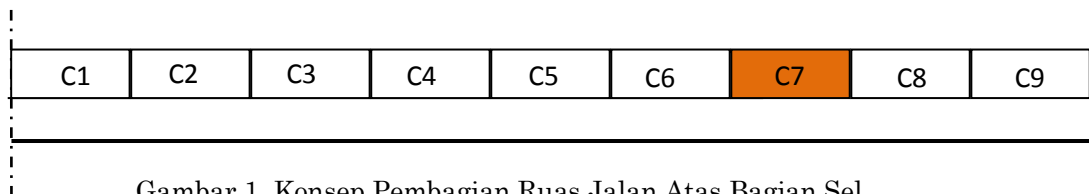
System). Penggunaan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) pada model TRANSYT-7F menghasilkan model baru yaitu model ACOTRANS. Model ini memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan model TRANSYT dengan *genetic algorithms* (GA) dan algoritma *Hill Climbing* (HC).

Secara umum penelitian optimasi sinyal pada saat ini mengarah pada optimasi sinyal pada kondisi *oversaturated*. Pada kenyataannya kondisi arus lalu lintas pada jam-jam puncak berada pada kondisi *oversaturated*, sedangkan pada jam non puncak kondisinya lalu lintas *undersaturated*. Pada saat ini beberapa kota di Indonesia sudah mulai menggunakan system ATCS (*Areal Traffic Control System*) dalam pengendalian simpang. Kota Malang adalah salah satu kota yang sudah menerapkan Sistem ATCS, namun pengelola ATCS Kota Malang (Dinas Perhubungan Kota Malang) merasakan pemanfaatan system tersebut belum optimal (*Personal Comunication*, 2014). Kelemahan yang dirasakan adalah belum dilakukan koordinasi sinyal secara baik sehingga tundaan yang dialami kendaraan belum dapat diminimalkan. Sistem ATCS tersebut pemanfaatannya masih terbatas sebagai alat pemantau kemacetan dari pusat kendali saja. Sehubungan dengan permasalahan tersebut pada penelitian ini, diangkat permasalahan optimasi *offset* sinyal lampu isyarat lalu lintas ATCS. Pada penelitian ini, dikembangkan metode mengoptimalkan sinyal lampu pada ATCS menggunakan pendekatan *Cell Transmission Model* sehingga dapat digunakan pada kondisi lalu lintas *undersaturated* dan kondisi *oversaturated*

Metode Penelitian

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 terjadinya 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:

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

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

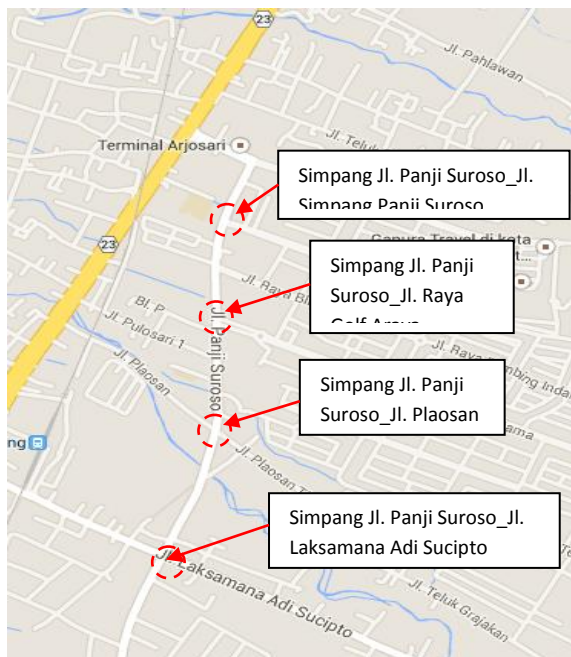
$$y_{i+1}(t) = \min \{n_i(t), Q_{i+1}(t), (w/v)[N_{i+1}(t)-n_{i+1}(t)]\} \tag{3}$$

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_t^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_t^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}^t : jumlah kendaraan yang meninggalkan sel- i dan memasuki sel- j pada waktu t , n_i^t : jumlah kendaraan pada sel- i dalam selang waktu t , t selang waktu $[\tau, (t+1)\tau]$, τ : konstanta selang waktu tetap, n_i^{t+1} : jumlah kendaraan pada sel- i dalam selang waktu $t+1$, y_{ki}^t : jumlah kendaraan yang meninggalkan sel- k dan masuk sel- i dalam waktu t , y_{ij}^t : jumlah kendaraan yang meninggalkan sel- i dan masuk sel- j dalam waktu t .

Pada penelitian ini, pergerakan kendaraan pada ATCS menggunakan konsep *CTM*, selanjutnya diprediksi besar tundaan yang dialami kendaraan saat melintasi ATCS tersebut. Modifikasi model Daganzo dilakukan dengan mengambil besar kapasitas sel berfluktuasi mengikuti sinyal lampu isyarat lalu lintas. Besar kapasitas pada pendekat simpang menjadi nol apabila terjadi sinyal merah dan pada waktu sinyal hijau kapasitas pada pendekat simpang sebesar arus jenuh simpang pada pendekat tersebut. Koordinasi sinyal dilakukan sehingga seluruh simpang bersinyal ada dalam satu system pengendalian simpang bersinyal yang terkoordinasi. Koordinasi sinyal pada ATCS dilakukan dengan mengatur *offset* sinyal antar simpang bersinyal sehingga tundaan total yang dialami keseluruhan kendaraan menjadi minimal. Untuk mendapatkan *offset* optimum dirumuskan algoritma optimasi *offset* sinyal sehingga didapatkan tundaan total keseluruhan simpang yang berada pada ATCS tersebut menjadi minimum. Selanjutnya disusun program komputernya mengikuti algoritma yang dikembangkan tersebut. Data masukan program adalah data lalu lintas pada simpang ATCS, data geometric simpang dan data karakteristik lalu lintas. Selanjutnya program akan melakukan eksekusi untuk mendapatkan *offset* sinyal yang optimal pada ATCS tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Penerapan Model Optimasi Sinyal Lampu Isyarat Lalu lintas Pada ATCS di Kota Malang

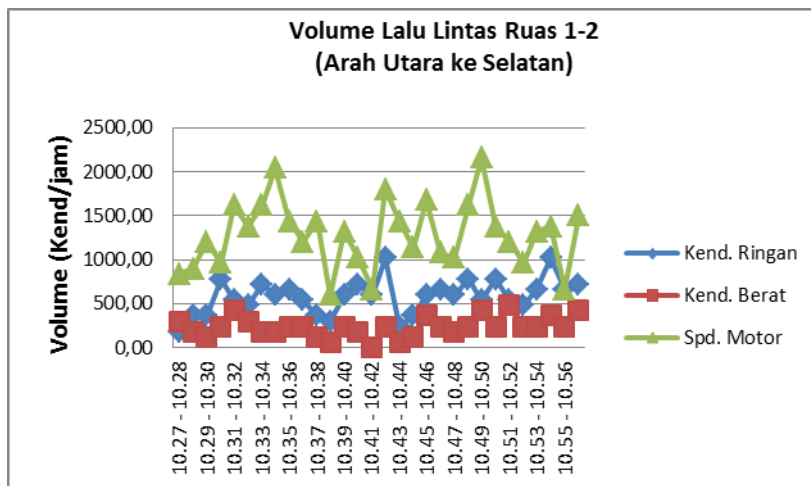


Penerapan Model Optimasi sinyal lampu isyarat lalu lintas dilakukan pada Ruas Jalan Panji Suroso Kota Malang. Adapun jaringan simpang bersinyal diperlihatkan pada Gambar-1 dan Gambar-2 berikut. Ada empat simpang bersinyal yang berdekatan yaitu (1) simpang Jl. Panji Suroso-Jl. Simpanan Panji Suroso, (2) simpang Panji Suroso-Simpang Jl Raya Golf Araya, (3) Simpang Jl Panji Suroso_Jl. Plaosan, (4) Simpang Jl. Panji Suroso-Jl. Laksamana Adi Sucipto. Sedangkan ruas jalan sejumlah 3 ruas yaitu ruas-1 menghubungkan simpang 1 ke simpang-2, ruas-2 menghubungkan simpang-2 ke simpang-3, dan ruas-3 menghubungkan simpang-3 ke simpang-4.

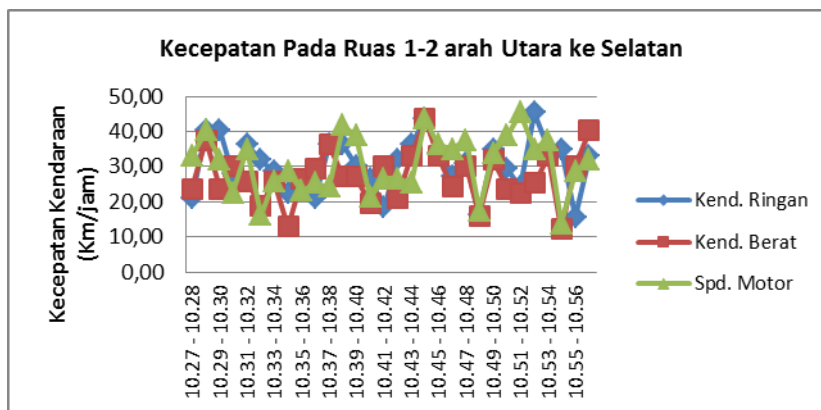
Gambar 2 Peta Lokasi Simpang Bersinyal (ATCS) Pada Jalan Panji Suroso Kota Malang

Karakteristik Arus Lalu Lintas

Karakteristik arus lalu lintas yang diamati pada penelitian ini adalah volume dan kecepatan pergerakan kendaraan pada ruas jalan. Penelitian dilakukan dengan merekam data lalu lintas pada dua titik pada pangkal dan ujung setiap ruas jalan. Pada Gambar berikut diperlihatkan karakteristik arus lalu lintas dan kecepatan kendaraan pada ruas-1 arah Utara ke Selatan.



Gambar 3. Volume Lalu lintas (Kendaraan/Jam) Yang melintasi Ruas-1 (Arah Utara ke Selatan)



Gambar 4. Kecepatan Masing-masing Jenis Kendaraan Yang melintasi Ruas-1 (Arah Utara ke Selatan)

Karakteristik lalu lintas yang melintasi ruas-1 arah pergerakan dari Utara ke Selatan diperlihatkan pada grafik di disamping adalah sebagai berikut: (1) Jumlah kendaraan yang melintasi ruas didominasi oleh sepeda motor (61,01 %), kemudian kendaraan ringan (27,94 %) dan yang paling sedikit adalah kendaraan berat (11,05 %), (2) volume rata-rata lalu lintas dalam satuan smp/jam adalah sebesar 1187 smp/jam. (3) Kecepatan kendaraan yang melintasi ruas-1 tertinggi adalah sepeda motor (30,71 km/jam), kendaraan ringan (30,53 km/jam) dan kendaraan berat (27,14 km/jam), (4) Kecepatan rata-rata keseluruhan jenis kendaraan adalah sebesar 29,46 km/jam

Optimasi Simpang Bersinyal Pada ATCS Jalan Panji Suroso Kota Malang

Optimasi waktu sinyal dilakukan dengan menggunakan model optimasi sinyal yang dikembangkan pada ATCS. Adapun data waktu sinyal simpang bersinyal pada rencana ATCS ditampilkan terstruktur pada Tabel 3 berikut.

Offset sinyal dihitung sedemikian sehingga tundaan pada ATCS tersebut menjadi minimal. Perhitungan *offset* sinyal dilakukan dengan mencoba berbagai nilai, selanjutnya nilai *offset* yang memberikan nilai tundaan minimal, digunakan sebagai *offset optimum*.

Tabel 3. Lama Waktu sinyal hijau, Panjang siklus waktu sinyal Pada Simpang Bersinyal.

Simpang Bersinyal (m)	G1U _m (detik)	G1S _m (detik)	G2T _m (detik)	G2B _m (detik)	Panjang Siklus (c _m)	Total Waktu Hilang (detik)
1	58	58	12	-	82	12
2	58	84	26	-	119	9
3	55	55	15	15	80	10
4	50	40	38	38	94	6

Data masukan untuk eksekusi program computer untuk menghitung besar tundaan dengan metode *CTM* pada suatu pendekatan simpang bersinyal dan menghitung *offset* optimum adalah sebagai berikut.

a. Kecepatan Arus Bebas

Besar kecepatan arus bebas v (*free flow speed*) pada masing-masing ruas diperlihatkan pada Tabel berikut.

Tabel 4. Kecepatan Arus Bebas Pada Jaringan ATCS

Nama ruas	Ruas (i)	Pajang Ruas (m)	Kecepatan Arus Bebas (Km/jam)	
			Arah U-S	Arah T-B
1-2	1	363	50.35	50.35
2-3	2	391	46.08	46.08
3-4	3	453	45.6	45.6

b. Kepadatan Macet (*Jam Density*)

Kepadatan macet adalah kepadatan lalu lintas yang terjadi pada kondisi terjadi kemacetan lalu lintas yang mengakibatkan terjadinya antrian pada sepanjang panjang ruas jalan. Kepadatan macet adalah jumlah kendaraan yang menempati ruas dalam satuan panjang (km). Besar kepadatan macet (*jam density*) dalam satuan smp/km dapat diprediksi dengan mengambil asumsi terjadi kondisi macet total sehingga kendaraan pada ruas dipenuhi kendaraan. Pada kondisi yang demikian maka jumlah kendaraan ringan yang dapat terisi untuk panjang 1 kilo meter ruas jalan adalah merupakan kepadatan macet (*jam density*). Dengan memperhitungkan ukuran panjang kendaraan ringan sebesar 5,4 m dan jarak antar kendaraan sebesar 1 m, maka didapatkan jumlah kendaraan sebesar 156 kendaraan ringan per kilometer. Dengan demikian kepadatan lala lintas maksimum tersebut belum mencapai *jam density*.

c. Arus Jenuh (*saturation flow*)

Besar arus jenuh dibedakan atas arus jenuh ruas dan arus jenuh pendekatan simpang. Arus jenuh ruas adalah jumlah lalu lintas maksimum yang dapat dilewatkan melintasi suatu penampang ruas jalan (lajur jalan). Sedangkan arus jenuh pendekatan simpang adalah jumlah kendaraan maksimum yang dapat dilewatkan melintasi pendekatan simpang. Hasil analisis besar arus jenuh ruas dan arus jenuh simpang menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) Tahun 1997 untuk dimensi ruas sesuai hasil survey didapatkan sebagai berikut.

Tabel 5. Besar Arus Jenuh Pendekat Simpang (smp/jam)

Arus Jenuh (smp/jam hijau)	Simpang-1	Simpang-2	Simpang-3	Simpang-4
Arah Utara ke Selatan	3299	3046	3164	3164
Arah Selatan ke Utara	3409	3045	3400	3638

Tabel 6. Besar arus jenuh ruas jalan (smp/jam)

Nama ruas	Ruas (i)	Pajang Ruas (m)	Arah Ke	Lebar jalur lalu lalulintas (m)	Jumlah lajur	Besar Arus maksimum (Smp/jam)
1-2	1	353	Selatan	6	2	2735
			Utara	6	2	2735
2-3	2	391	Selatan	6	2	2515
			Utara	6	2	2515
3-4	3	453	Selatan	6	1	1670
			Utara	6	1	1670

d. Model CTM Pada Jaringan ATCS

Karakteristik CTM meliputi panjang sel, interval waktu τ (*clock tick*), kapasitas arus masuk sel (Q), jumlah maksimum kendaraan pada sel (N). Dalam menentukan karakteristik CTM langkah pertama yang harus ditentukan panjang siklus dan selanjutnya menentukan interval waktu (*clock tick*).

Panjang Siklus Koordinasi Sinyal

Berdasarkan hasil survey didapatkan waktu sinyal simpang bersinyal eksisting adalah seperti pada Tabel berikut.

Tabel 7. Waktu sinyal pada kondisi eksisting

Simpang Bersinyal	Panjang Siklus (detik)	Waktu sinyal (detik)		
		Fase-1	Fase-2	Fase-3
1	82	58	12	-
2	120	58	26	26
3	80	55	15	-
4	94	50	38	-

Untuk melakukan koordinasi sinyal pada ATCS maka salah satu persyaratan yang harus dipenuhi adalah panjang siklus simpang bersinyal harus sama besar atau separuh dari yang lainnya. Oleh karena itu panjang siklus waktu sinyal pada ATCS tersebut dirobah menjadi sama besar pada keseluruhan simpang bersinyal. Penyesuaian waktu sinyal dilakukan secara proporsional terhadap waktu sinyal eksisting dan didapatkan hasil seperti pada Tabel berikut.

Tabel 8. Panjang Waktu Sinyal Pada ATCS

Simpang Bersinyal	Panjang Siklus Koordinasi (detik)	Waktu sinyal Hijau (detik)			Waktu Hilang (detik)
		Fase-1	Fase-2	Fase-3	
1	96	69	15	-	12
2	96	45	21	21	9
3	96	69	18	-	9
4	96	48	39	-	9

Unit interval waktu (*clock tick*)

Besar interval waktu τ (*clock tick*) ditentukan sedemikian sehingga panjang waktu siklus sinyal merupakan kelipatan besar unit waktu τ (*clock tick*). Besar unit waktu τ (*clock tick*) direncanakan sebesar 3 detik. Dengan mengambil besar unit waktu τ (*clock tick*) sebesar 3 detik maka waktu sinyal pada ATCS adalah seperti pada Tabel berikut.

Tabel 9. Waktu sinyal dalam unit satuan (*clock tick*)

Simpang Bersinyal	Panjang Siklus Koordinasi (unit <i>clock tick</i>)	Waktu sinyal Hijau (unit <i>clock tick</i>)			
		Fase-1	Fase-2	Fase-3	Waktu Hilang
1	32	23	5	-	4
2	32	15	7	7	3
3	32	23	6	-	3
4	32	16	13	-	3

Panjang Sel Pada Metode CTM

Besarnya panjang sel pada metode CTM merupakan hasil perkalian kecepatan arus bebas dengan unit waktu τ (*clock tick*). Panjang sel = kecepatan arus bebas x interval waktu τ (*clock tick*) = 50.35 km/jam x 3 detik = 50.350 m/jam x 3/3600 jam = 42 meter. Dengan cara perhitungan yang sama didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 10. Jumlah Sel Pada Ruas Jaringan ATCS

Ruas	Panjang (m)	Kecepatan (km/jam)	Panjang Sel (m)	Jumlah sel	Jumlah Lajur
1	363	50.35	42	9	2
2	396	46.08	38	10	2
3	462	45.6	38	12	2

Kapasitas Kendaraan Pada Sel (N)

Kapasitas sel adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat terisi pada sel. Kapasitas sel merupakan hasil perkalian panjang sel (*cell length*) dengan kepadatan macet (*jam density*). $N_i = \text{panjang sel} \times \text{kepadatan macet} \times \text{jumlah lajur} = 42 \text{ m} \times 156 \text{ smp/Km} \times 2 \text{ lajur} = 42 \text{ m} \times 156/1000 \times 2 \text{ smp/m} = 13.1 \sim 13 \text{ smp}$ untuk 2 lajur.

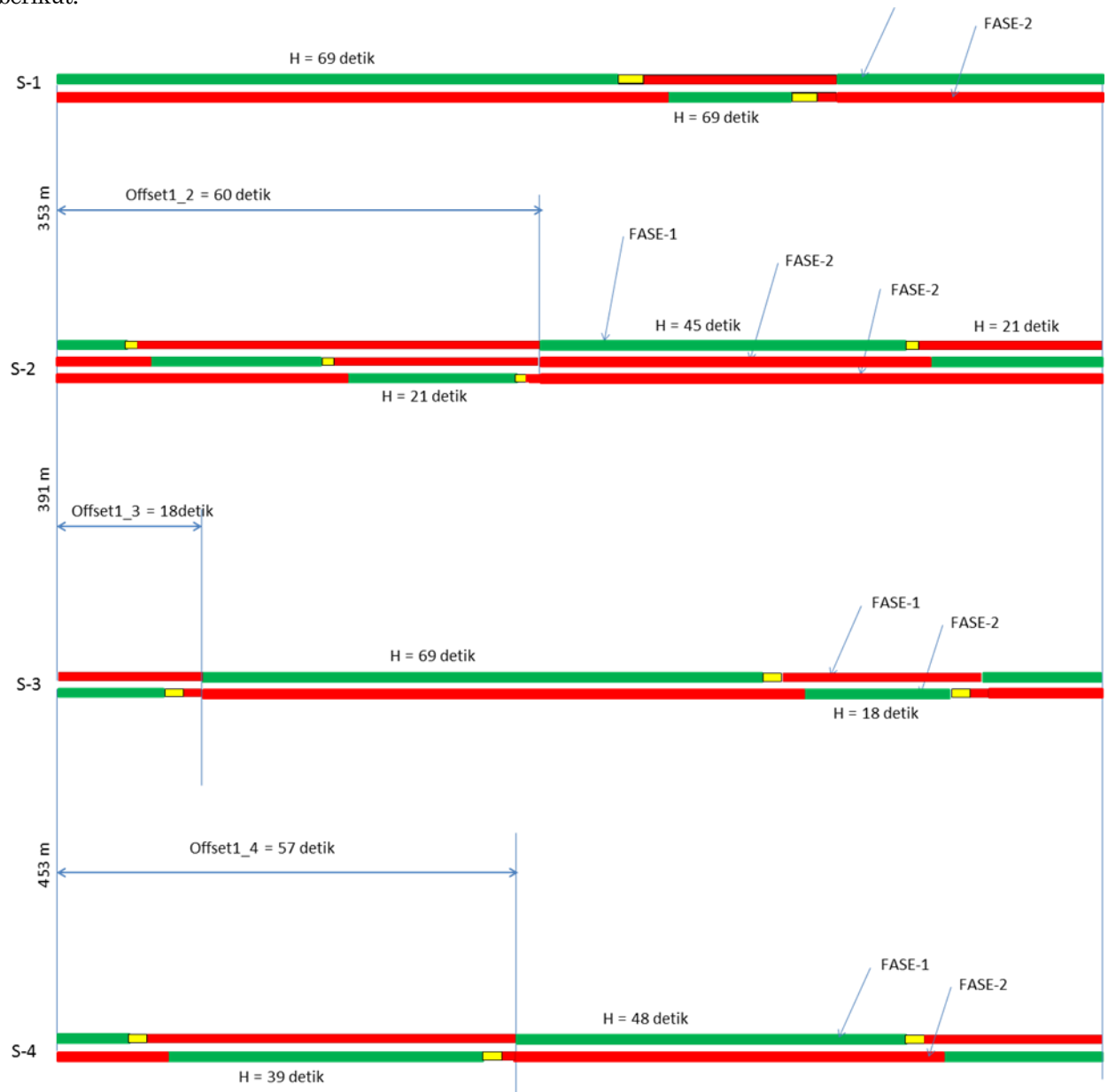
Jumlah Maksimum Kendaraan Memasuki Sel (Q)

Jumlah maksimum kendaraan memasuki sel dalam satu satuan waktu τ (*clock tick*). Jumlah maksimum kendaraan memasuki sel diperoleh dengan mengalikan besar arus jenuh sel (*cell's saturated flow*) dengan satu satuan waktu τ (*clock tick*). $Q_i = \text{ arus jenuh sel (cell's saturated flow)} \times \text{ interval waktu (clock tick)}$. Untuk ruas-1, $Q_i = 2735 \text{ smp/jam} \times 3/3600 \text{ jam} = 2.28 \text{ smp}$ untuk 2 lajur

Offset Optimum Hasil Eksekusi Program

Offset optimum yang didapat dari eksekusi program adalah offset sinyal simpang-1 dengan simpang ke-2 adalah 60 detik, offset simpang-1 dengan simpang ke-3 adalah 18 detik dan offset simpang-1 dengan simpang ke-4 adalah sebesar 57 detik. Sedangkan Tundaan Total yang dialami oleh kendaraan yang melintasi ke empat simpang tersebut adalah 14.232 detik.

Hasil koordinasi sinyal dapat digambarkan dalam diagram waktu sinyal diperlihatkan pada Gambar berikut.



Gambar 5. Koordinasi Sinyal Pada Offset Optimum

Kesimpulan

Optimasi sinyal lampu isyarat lalu lintas pada ATCS dapat dilakukan menggunakan pendekatan *Cell Transmission Model (CTM)* untuk mendapatkan *offset* optimum. Pengaturan koordinasi sinyal antar simpang dilakukan dengan menggunakan *offset* optimum sehingga kendaraan dapat melintasi simpang dengan lancar dengan tundaan yang minimum. Hasil penelitian pada ATCS di Ruas Jalan Panji Suroso Kota Malang yaitu (1) Simpang Jalan Panji Suroso-Jalan Panji Suroso, (1) Simpang Jalan Panji Suroso-Jalan Raya Golf Araya, (3) Simpang Jalan Panji Suroso-Jalan Plaosan, (4) Jalan Panji Suroso-Jalan Laksamana Adi Sucipto didapatkan hasil yaitu *offset* sinyal Simpang-1 ke Simpang-2 sebesar 60 detik, *Offset* sinyal



antara simpang-1 ke Simpang-3 adalah sebesar 18 detik dan besar *offset* sinyal antara simpang-1 ke simpang-4 adalah sebesar 57 detik. Sedangkan besar tundaan total yang dialami seluruh kendaraan yang melintasi simpang tersebut adalah sebesar 14.232 detik.

Ucapan TerimaKasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih disampaikan kepada Dinas Perhubungan Kota Malang atas bantuan data dan informasi terkait dengan penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. Daganzo, C. F., (1994), The cell-transmission model: A simple dynamic representation of highway traffic. *Transportation Res.* 28B(4) 269–287.
2. Girianna Montty, Rahim F. Benekohal, (2003), Signal Coordination For A Two-way Street Network With Oversaturated Intersections, *Transportation Research Board Annual Meeting Submitted for publication in the proceeding of the 82*
3. Haldenbilen S., Ozgur Baskan and Cenk Ozan, (2013), “An Ant Colony Optimization Algorithm for Area Traffic Control”, *InTech Creative Commons Attribution License*, (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>).
4. Kesur K. B., (2009), “Advances in Genetic Algorithm Optimization of Traffic Signals”, *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING © ASCE / APRIL 2009*.
5. Li Zichuan, (2011), “Modeling Arterial Signal Optimization with Enhanced Cell Transmission Formulations”, *Journal of Transportation Engineering, Vol. 137, No. 7 Juli 1, 2011*.
6. Lin Liang-Tay, Li-Wei _Chris_ Tung, A.M.ASCE, Hsin-Chuan Ku, (2010), “Synchronized Signal Control Model for Maximizing Progression along an Arterial”, *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING © ASCE / AUGUST 2010 / 727*.
7. Sebayang. N., (1998), “Pengembangan Model Analisis Performansi Koordinasi Sinyal Lalu Lintas Pada Suatu Jalan Dua Arah”, *Tesis Magister, Bidang Khusus Rekayasa Transportasi, Program Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana ITB Bandung*.
8. Teklu F., Agachai Sumalee, David Watling, (2007), “A Genetic Algorithm Approach for Optimizing Traffic Control Signals Considering Routing”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 22 (2007) 31–43.
9. Zechman E, Luca Quadrifoglio, Rahul Putha, (2010), Ant Colony Optimization Algorithm For Signal Coordination of Oversaturated Traffic Networks, *NTIS: National Technical Information Service 5285 Port Royal Road Springfield, Virginia 22161*.