

PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI *OFFSET* SINYAL LAMPU ISYARAT LALU LINTAS PADA JARINGAN ATCS (*AREA TRAFFIC CONTROL SYSTEM*) BERBENTUK *GRID* MENGGUNAKAN MODEL TRANSMISI SEL (*CELL TRANSMISSION MODEL*)

Nusa Sebayang

Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Jln. Mayjend M.T. Haryono No 167, Malang

Telp: (0341) 587710

nusasebayang@yahoo.com.au;

Harnen Sulistio

Promotor Program Doktor Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Jln. Mayjend M.T. Haryono No 167, Malang

Telp: (0341) 587710

Harnen@ub.ac.id

Ludfi Djakfar

Ko-Promotor Program Doktor Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Jln. Mayjend M.T. Haryono No 167, Malang

Telp: (0341) 587710

lu_jakfar@yahoo.com

Achmad Wicaksono

Ko-Promotor Program Doktor Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Jln. Mayjend M.T. Haryono No 167, Malang

Telp: (0341) 587710

wicaksono68@yahoo.com

Abstract

Some cities in Indonesia, has implemented ATCS system, but the utilization of ATCS has not been maximum because the signal arrangement between the intersections have not been coordinated. This research developed optimization offset signal model used Cell Transmission Model (CTM). The results of the application the model on a grid network with 9-intersection using the artificial data obtained the optimum offset signal is the offset signal 1_2 intersection 12 seconds, the offset signal on 1_3 intersection 39 seconds, the offset signal on 1_4 intersection 33 seconds, the offset signal on 1_5 intersection 3 seconds, the offset signal on 1_6 intersection 120 seconds, the offset signal on 1_7 intersection 72 seconds, the offset signal on 1_8 intersection 9 seconds, and the offset signal on 1_9 intersection 120 seconds with the minimum total delaying is 51033 seconds. Results of model testing on 2-intersection signal coordination in Malang found the differences model results with observations of 3%, so the proposed model can be used.

Keywords: ATCS, CTM, Offset Optimum, Minimum Delay

Abstrak

Beberapa kota di Indonesia, telah menerapkan system ATCS, namun pemanfaatannya belum optimal dikarenakan pengaturan sinyal antar simpang belum terkoordinasi. Penelitian ini mengembangkan model optimasi *offset* sinyal menggunakan *Cell Transmission Model (CTM)*. Hasil penerapan model pada jaringan berbentuk grid dengan 9 simpang bersinyal menggunakan data *artificial* didapatkan *offset* sinyal optimum yaitu *offset* sinyal simpang 1_2 sebesar 12 detik, *offset* sinyal simpang 1_3 sebesar 39 detik, *offset* sinyal simpang 1_4 sebesar 33 detik, *offset* sinyal simpang 1_5 sebesar 3 detik, *offset* sinyal simpang 1_6 sebesar 120 detik, *offset* sinyal simpang 1_7 sebesar 72 detik, *offset* sinyal simpang 1_8 sebesar 9 detik dan *offset* sinyal simpang 1_9 sebesar 120 detik dengan tundaan total minimum sebesar 51033 detik. Hasil pengujian model pada koordinasi sinyal 2-simpang di Kota Malang didapatkan perbedaan besar tundaan hasil model dengan hasil pengamatan sebesar 3%, sehingga model yang diusulkan tersebut dapat digunakan.

Kata Kunci: ATCS, CTM, *Offset* Optimum, Tundaan Minimum

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Permasalahan kemacetan lalu lintas di wilayah perkotaan di Indonesia cenderung mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan tingkat pertumbuhan kendaraan lebih tinggi dibandingkan dengan peningkatan prasarana jaringan jalan. Umumnya awal kemacetan terjadi pada persimpangan, hal ini disebabkan persimpangan yang ada sebagian besar merupakan persimpangan sebidang dan arus lalu lintas dikendalikan menggunakan lampu isyarat lalu lintas. Sistem pengaturan sinyal lampu isyarat lalu lintas yang saat ini sebagian besar menggunakan system *isolated*. Sistem ini memiliki kelemahan apabila jarak antar simpang yang dikendalikan dengan lampu isyarat lalu lintas tersebut berdekatan. Kendaraan akan berhenti secara berulang-ulang akibat mendapatkan sinyal merah ketika melintasi beberapa simpang bersinyal tersebut. Beberapa Kota di Indonesia saat ini telah melakukan upaya mengatasi kemacetan lalu lintas dengan menerapkan system ATCS (*Areal Traffic Control System*), namun pemanfaatan system ATCS tersebut belum optimal. Walaupun sudah digunakan system ATCS tetapi pada simpang-simpang yang berdekatan belum dilakukan koordinasi sinyal lampu isyarat lalu lintas.

Penelitian optimasi sinyal lampu isyarat lalu lintas yang dipasang pada jarak yang berdekatan sudah banyak dilakukan. Hasil penelitian koordinasi sinyal lampu isyarat lalu lintas pada suatu koridor jalan poros yang dilakukan oleh **Sebayang N, (1998)** mengusulkan metode koordinasi sinyal lampu isyarat lalu lintas pada jalan dua arah dengan metode minimasi tundaan. Namun model tersebut masih memiliki keterbatasan penggunaan yaitu pada suatu koridor ruas jalan poros (*arterial*) dan dengan volume lalu lintas tidak jenuh (*undersaturated*). Selanjutnya **Girianna (2003)**, melakukan penelitian koordinasi sinyal pada ruas jalan dua arah untuk kondisi arus lalu lintas *oversaturated* menggunakan metode optimalisasi dinamis (*dynamic optimization*) dengan algoritma genetik (*Genetic Algorithms*). Selanjutnya, **Teklu at al. (2007)** melakukan penelitian optimasi waktu sinyal menggunakan algoritma genetik (GA), metode optimasi waktu sinyal dilakukan dengan mempertimbangkan pemilihan rute kendaraan. Selanjutnya **Kesur (2009)**, melakukan penelitian optimasi sinyal pada simpang bersinyal dengan waktu tetap, menggunakan algoritma genetik (GA) yang dimodifikasi. Hasil penelitian dapat mereduksi tundaan sebesar 13% sampai 30%. Selanjutnya **Lin at al (2010)**, melakukan penelitian memaksimalkan arus lalu lintas menerus (*maximizing progression*) melintasi simpang yang dikoordinasikan. Kelemahan model ini adalah dan tidak dapat digunakan pada arus lalu lintas kondisi *oversaturated*. Selanjutnya, **Zechman at al. (2010)**, melakukan penelitian koordinasi sinyal pada jaringan untuk kondisi lalu lintas *oversaturated*. Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan *Simple Genetic Algorithm* (SGA) dan pendekatan menggunakan algoritma **Ant Colony Optimization (ACO)**, namun hasil yang lebih baik adalah menggunakan algoritma **Ant Colony Optimization (ACO)**. Selanjutnya, **Li (2011)**, mengembangkan metode optimasi sinyal lampu isyarat lalu lintas menggunakan pendekatan **Formulasi Transmisi Sel (Cell Transmission Formulations)**. Penelitian dilakukan pada jalan poros dengan volume lalu lintas kondisi tidak jenuh (*undersaturated*) dan kondisi lewat jenuh (*oversaturated*). Penelitian selanjutnya dilakukan **Haldenbilen at al. (2013)**, yang mengembangkan penggunaan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dan TRANSYT-7F untuk

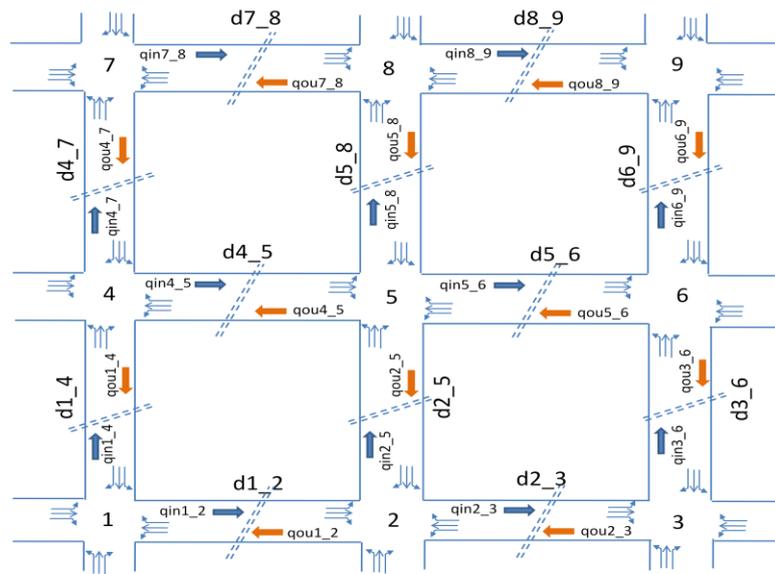
mengoptimalkan waktu sinyal pada kawasan pengendali lalu lintas (*Area Traffic Control System*). Model ini memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan model TRANSYT dengan *genetic algorithms* (GA) dan algoritma *Hill Climbing* (HC). Penelitian koordinasi sinyal lampu isyarat lalu lintas saat ini masih terbatas dilakukan pada jalan poros saja, sehingga lalu lintas di luar jalan poros tersebut mengalami tundaan yang besar. Pada penelitian ini, akan dikembangkan model optimasi *offset* sinyal pada jaringan simpang bersinyal yang berbentuk grid menggunakan model CTM, sehingga didapatkan tundaan minimal pada seluruh simpang pada ATCS tersebut.

METODOLOGI

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model optimasi *offset* sinyal antar simpang pada system ATCS yang memiliki jaringan berbentuk grid. Pengembangan model optimasi sinyal dilakukan dengan penerapan model transmisi sel (*cell transmission model*) dalam perambatan kendaraan pada ruas antar simpang bersinyal. Pada model transmisi sel (CTM), ruas jalan antar simpang dibagi atas sel-sel, dimana masing-masing sel diisi oleh kendaraan. Kendaraan akan bergerak merambat dari sel hulu ke sel hilir. Model transmisi sel (CTM) ini pada awalnya digunakan untuk memprediksi tundaan yang dialami oleh kendaraan pada ruas jalan akibat terjadinya pengurangan kapasitas jalan pada suatu lokasi tertentu di ruas jalan tersebut yang diakibatkan oleh terjadinya kecelakaan lalu lintas ataupun akibat adanya gangguan lain yang mengakibatkan sebagian badan jalan ditutup (Daganzo, 1994). Konsep tersebut dikembangkan oleh Li, 2011 dalam mengoptimalkan waktu sinyal lampu isyarat lalu lintas yang dipasang pada jaringan jalan poros. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan penerapan model transmisi sel (CTM) pada optimasi *offset* sinyal antar simpang pada jaringan simpang yang berbentuk grid. Adapun tahapan pengembangan model optimasi *offset* sinyal antar simpang pada jaringan simpang berbentuk grid dengan 9 simpang bersinyal adalah sebagai berikut: (1) merumuskan model jaringan berbentuk grid dengan 9-simpang bersinyal, (2) Perumusan Waktu sinyal pada ATCS, (3) Merumuskan model perambatan kendaraan antar sel menggunakan model CTM, (4) Merumuskan besar tundaan yang dialami kendaraan akibat terhambat sinyal merah pada persimpangan, (5) merumuskan hubungan besar *offset* terhadap tundaan total pada keseluruhan simpang bersinyal, (6) merumuskan algoritma perhitungan mendapatkan *offset* optimum antar simpang dan program komputernya dan, (8) melakukan eksekusi program menggunakan data *artificial*.

Pemodelan Jaringan ATCS

Model jaringan ATCS yang dimodelkan terdiri dari 9-simpang dengan jaringan jalan berbentuk *grid* seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Jarak antar simpang bersinyal-1 dengan simpang Bersinyal-2 dinyatakan dengan notasi d_{1_2} dan dinyatakan dalam satuan meter. Sedangkan arus lalu lintas pada jaringan dinyatakan dengan notasi q_{in1_2} dan q_{ou1_2} . Notasi q_{in1_2} adalah besar arus lalu lintas dari arah Simpang-1 ke Simpang-2 (*inbound*), sedangkan q_{ou1_2} adalah besar arus lalu lintas dari arah Simpang-2 ke Simpang-1 (*outbound*) dan dinyatakan dalam satuan mobil penumpang per jam.



Gambar 1. Model Jaringan ATCS dengan 9 Simpang Bersinyal

Perumusan Sinyal Lampu Isyarat Lalu lintas Pada ATCS

Waktu sinyal lampu isyarat lalu lintas direncanakan sesuai dengan proporsi jumlah kendaraan pada masing masing pendekatan sesuai dengan fase pergerakan pendekatan tersebut. Namun untuk dapat dilakukan koordinasi sinyal dalam rangka mengoptimalkan waktu sinyal lampu isyarat lalu lintas pada ATCS tersebut, maka lama waktu sinyal untuk keseluruhan simpang pada ATCS tersebut harus sama besar dan disebut dengan waktu sinyal koordinasi. Apabila dalam simpang bersinyal pada ATCS tersebut terdapat simpang yang waktu siklusnya kecil dibanding dengan simpang lainnya, maka waktu sinyal simpang yang kecil tersebut dapat dibuat separuh dari waktu sinyal koordinasi.

Pemodelan Perambatan Lalu lintas Pada Jaringan ATCS

Pergerakan lalu lintas pada kawasan pengendalian simpang ATCS dimodelkan menggunakan model transmisi sel (*cell transmission model*). Ruas jalan antar simpang bersinyal pada jaringan ATCS dibagi atas beberapa sel. Panjang sel adalah jarak perjalanan yang ditempuh kendaraan dalam satu *clock tick* (t). Sedangkan jumlah sel pada masing-masing ruas adalah hasil pembagian panjang ruas dengan panjang sel. Lalu lintas pada ruas jalan akan merambat dari sel ke sel. Perambatan pergerakan kendaraan antar sel pada CTM yang dirumuskan Daganzo (1994) adalah sebagai berikut:

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

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

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

dimana:

indeks i : menunjukkan sel- i

t : selang waktu dinyatakan dalam *clock tick*

$n_i(t)$: jumlah kendaraan di sel- i pada waktu t

$n_i(t+1)$: jumlah kendaraan pada sel- i pada waktu $(t+1)$

$y_i(t)$: jumlah kendaraan yang memasuki sel- i pada waktu t

- $y_{i+1}(t)$: jumlah kendaraan yang memasuki sel-(i+1) pada waktu t
- V : kecepatan arus bebas (*free flow speed*)
- W : kecepatan gelombang kejut kearah belakang (*backward shock wave speed*)
- $N_i(t)$: jumlah kendaraan maksimum yang dapat menempati sel-i pada waktu t.
- $Q_i(t)$: jumlah maksimum kendaraan yang dapat mengalir memasuki sel-i.

Penerapan konsep CTM pada pergerakan kendaraan antar sel pada ruas jaringan simpang bersinyal (Li, 2011), membagi ruas antar simpang dalam empat zona yaitu zona penggabungan (*merging*), zona perambatan (*propagation*), zona penyebaran (*diverging*) dan zona keberangkatan (*departure*). Kendaraan dari satu sel berpindah ke sel berikutnya mengikuti persamaan keseimbangan sel rumus (1) di atas. Sedangkan untuk sel di zona *departure*, kendaraan akan dapat berpindah ke sel berikut di ruas berikutnya apabila sinyal hijau menyala, dan kendaraan tidak bisa keluar apabila sinyal merah menyala. Selama sinyal lampu merah menyala maka jumlah kendaraan di dalam sel tersebut akan terus bertambah hingga sel tersebut penuh. Apabila sinyal lampu masih tetap merah, sedangkan sel di ujung sudah penuh, maka jumlah kendaraan di dalam sel pada sel sebelum ujung akan bertambah, demikian seterusnya hingga sinyal hijau menyala. Ketika sinyal hijau menyala maka sel ujung akan mengeluarkan kendaraan dari sel departure sebesar arus jenuh dari pendekat simpang tersebut.

Perumusan Besar Tundaan

Besarnya tundaan yang dialami kendaraan pada simpang bersinyal dapat dihitung dengan menghitung lama waktu kendaraan tertahan pada suatu sel. Apabila pada sel, jumlah kendaraan yang masuk dan jumlah kendaraan yang keluar dalam interval waktu t (*clock tick*) adalah sama besar dan tidak ada kendaraan yang tertinggal di sel maka kendaraan pada sel tersebut tidak mengalami tundaan. Sebaliknya apabila jumlah kendaraan yang keluar sel lebih kecil dari jumlah kendaraan yang masuk sel sehingga ada sejumlah kendaraan tertinggal didalam sel tersebut, maka kendaraan tersebut mengalami tundaan. Dengan pendekatan tersebut, besar tundaan yang dialami kendaraan dapat diestimasi dengan mengitung pertambahan waktu kendaraan pada seluruh sel di seluruh ruas jalan. Jumlah kendaraan yang mengalami tundaan di tingkat sel dirumuskan (Lo, 2001), sebagai berikut:

$$d_{ij}(t) = n_{ij}(t) - y_{i,j+1}(t) \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

$d_{ij}(t)$ = jumlah kendaraan yang mengalami tundaan pada sel-j ruas-i pada waktu t.

$n_{ij}(t)$ = jumlah kendaraan pada sel-j ruas-i

$y_{i,j+1}(t)$ = arus keluar dari sel-j pada ruas-i

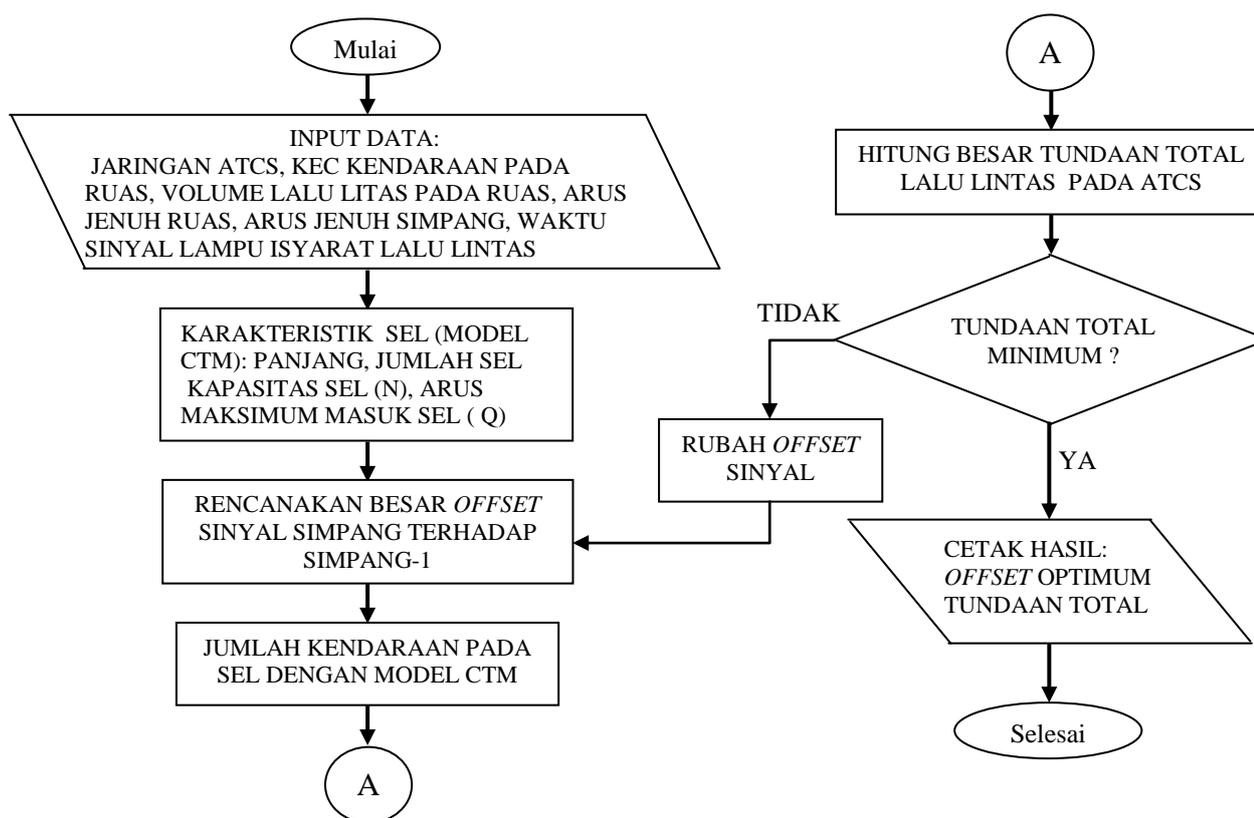
Perumusan Hubungan *Offset* sinyal Antar Simpang Terhadap Tundaan

Dalam melakukan koordinasi sinyal antar simpang pada ATCS, maka perlu dibangun hubungan besar *offset* sinyal antar simpang dengan besar tundaan. Dalam melakukan koordinasi sinyal antar simpang pada ATCS, maka sebagai acuan koordinasi sinyal digunakan simpang-1. Dengan demikian dalam koordinasi sinyal antar simpang untuk 9

simpang bersiyal tersebut, perlu dicari besar *offset* optimum antar simpang-1 dengan simpang-simpang lainnya, yaitu *Offset1_2*, *Offset1_3*, *Offset1_4*, *Offset1_5*, *Offset1_6*, *Offset1_7*, *Offset1_8*, dan *Offset1_9* yang memberikan tundaan total yang minimum.

Algoritma Mendapatkan *Offset* Optimum Dan Program Komputernya

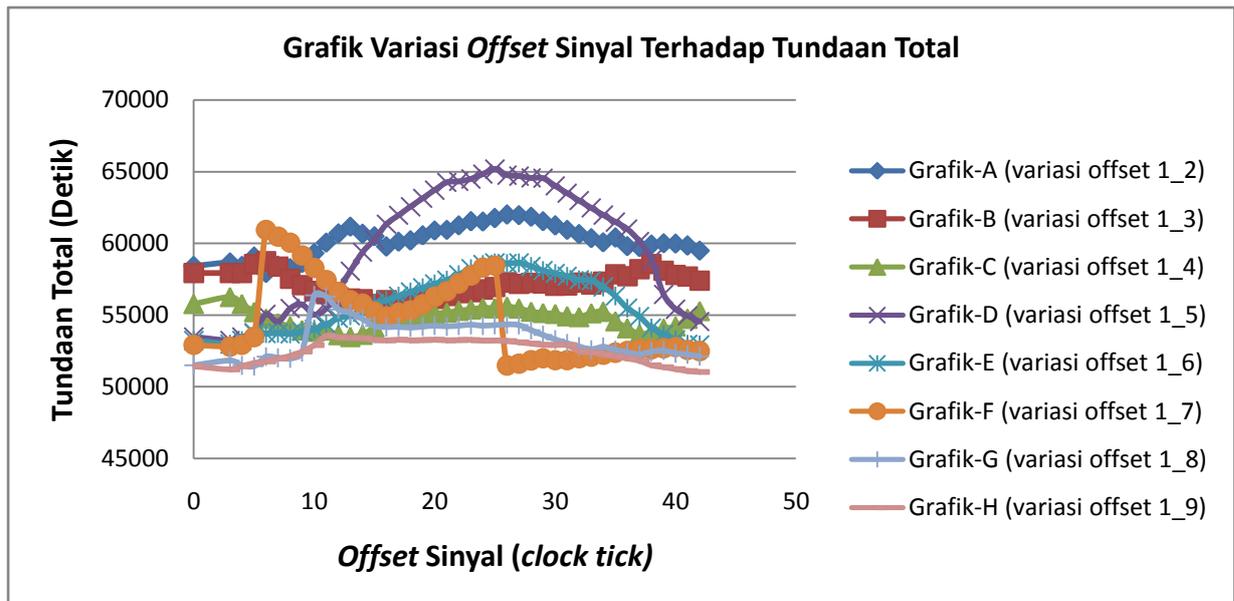
Offset optimum adalah besar *offset* yang memberikan besar tundaan total pada ATCS menjadi minimum. Untuk mendapatkan *offset* optimum, disusun algoritma *Hill Climbing* seperti diperlihatkan pada Gambar-2 berikut. Selanjutnya berdasarkan algoritma tersebut disusun program komputer menggunakan Compact Visual Fortran Versi 6.6.



Gambar 2. Bagan Alir Algoritma Perhitungan *Offset* Sinyal Optimum Pada ATCS

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menguji model optimasi *offset* sinyal pada ATCS dengan 9-simpang berbentuk *grid*, digunakan data *artificial* seperti diperlihatkan pada Lampiran. Hasil pemodelan optimasi *offset* sinyal pada ATCS dengan 9-simpang berbentuk *grid* menggunakan data *artificial* dengan mengambil satuan *clock tick* (t) sebesar 3 detik dan *clock tick* sejumlah 123 didapatkan hasil seperti diperlihatkan pada grafik Gambar 3 berikut.

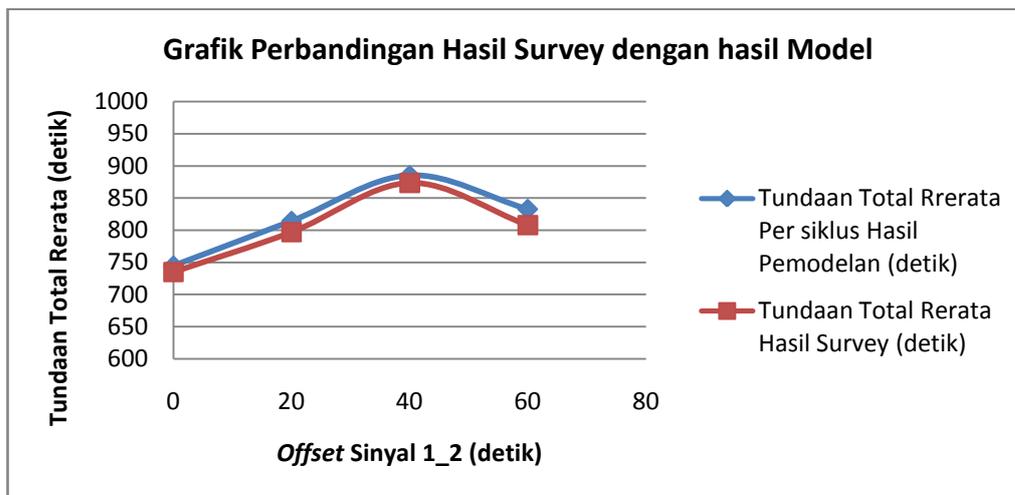


Gambar 3. Grafik hubungan variasi *offset* sinyal antar simpang terhadap tundaan total

Pada Gambar 3 diperlihatkan perubahan besar tundaan akibat perubahan *offset* sinyal antar simpang. Grafik-A menunjukkan perubahan besar tundaan untuk *offset* 1_2 bervariasi dari 0 hingga 41 satuan *clock tick*, sedangkan *offset* 1_3, *offset* 1_4, *offset* 1_5, *offset* 1_6, *offset* 1_7, *offset* 1_8 dan *offset* 1_9 diambil sebesar nol *clock tick*. Tundaan total minimum sebesar 57945 detik pada *offset* 1_2 sebesar 4 *clock tick*. Grafik-B adalah besar tundaan total untuk besar *offset* 1_3 bervariasi dari 0 hingga 41 satuan *clock tick*, sedangkan *offset* 1_2 diambil 4 *clock tick*, sedangkan *offset* 1_4, *offset* 1_5, *offset* 1_6, *offset* 1_7, *offset* 1_8 dan *offset* 1_9 diambil sebesar nol *clock tick*, didapatkan tundaan minimum sebesar 55779 detik pada *offset* 1_3 sebesar 15 *clock tick*. Grafik-C adalah besar tundaan total untuk besar *offset* 1_4 bervariasi dari 0 hingga 41 satuan *clock tick*, sedangkan *offset* 1_2 diambil 4 *clock tick*, *offset* 1_3 sebesar 15 *clock tick*, sedangkan *offset* 1_5, *offset* 1_6, *offset* 1_7, *offset* 1_8 dan *offset* 1_9 diambil sebesar nol *clock tick*, didapatkan tundaan total minimum sebesar 53475 detik pada *offset* 1_4 sebesar 13 *clock tick*. Dengan cara yang sama didapatkan didapatkan Grafik-D, grafik-E, Grafik-F, Grafik-G, Grafik-H. Grafik-H adalah grafik besar tundaan untuk *offset* 1_2, *offset* 1_3, *offset* 1_4, *offset* 1_5, *offset* 1_6, *offset* 1_7, *offset* 1_8, diambil *offset* optimum, sedangkan *offset* 1_9 diambil bervariasi dari 0 hingga 41 satuan *clock tick* didapatkan tundaan total minimum sebesar 51033 detik. Hasil pemodelan optimasi *offset* ini didapatkan *offset* optimal sebagai berikut: *offset* 1_2 sebesar 12 detik, *offset* 1_3 sebesar 39 detik, *offset* 1_4 sebesar 33 detik, *offset* 1_5 sebesar 3 detik, *offset* 1_6 sebesar 120 detik, *offset* 1_7 sebesar 72 detik, *offset* 1_8 sebesar 9 detik dan *offset* 1_9 sebesar 120 detik.

Pengujian validasi Model Optimasi *Offset* sinyal dilakukan survey lapangan di ruas Jalan S. Prio Sudarmo yaitu Persimpangan Jl. Sulfat - Jl. Prio S. Sudarmo dan Persimpangan Jl. Ciliung – Jl. Prio S. Sudarmo di Kota Malang. Pelaksanaan survey bekerjasama dengan

Dinas Perhubungan Kota Malang. Kedua simpang bersinyal tersebut dikoordinasikan dengan mengambil panjang siklus 84 detik dan *offset* sinyal diatur dari ruang kendali ATCS Kota Malang. *Offset* sinyal antar simpang-1 (Simpang Jl. S. Prio Sudarmo – Jl. Sulfat) dengan simpang-2 (Simpang Jl. S. Prio Sudarmo – Jl. Ciliung) dirancang bervariasi yaitu Jam 07.00 sampai 08.00 dengan *offset* sinyal 0 detik, jam 08.00 sampai 09.00 dengan *offset* sebesar 20 detik, jam 09.00 sampai 10.00 dengan *offset* sebesar 40 detik, dan jam 10.00-11.00 dengan *offset* sinyal sebesar 60 detik. Hasil perbedaan besar tundaan antara hasil survey lapangan dengan hasil model diperlihatkan pada Gambar 4 berikut. Besar perbedaan antara tundaan hasil survey dengan hasil model didapatkan kurang dari 3%.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Besar Tundaan Hasil Pemodelan Dengan Hasil Survey

KESIMPULAN

1. Untuk memperlancar pergerakan lalu lintas melintasi kawasan simpang bersinyal (ATCS) yang berbentuk *grid* dapat dilakukan dengan melakukan koordinasi sinyal.
2. Optimasi *offset* sinyal pada ATCS berbentuk *grid* dengan 9-simpang menggunakan model yang diusulkan didapatkan hasil: *offset* 1_2 sebesar 12 detik, *offset* 1_3 sebesar 39 detik, *offset* 1_4 sebesar 33 detik, *offset* 1_5 sebesar 3 detik, *offset* 1_6 sebesar 120 detik, *offset* 1_7 sebesar 72 detik, *offset* 1_8 sebesar 9 detik dan *offset* 1_9 sebesar 120 detik, dengan tundaan total minimum sebesar 51033 detik.
3. Hasil uji validasi model yang dikembangkan, yang dilakukan pada dua simpang berdekatan di ruas Jl. Prio S. Sudarmo di Kota Malang yaitu Simpang Jl. S. Prio Sudarmo – Jl. Sulfat dengan Simpang Jl. S. Prio Sudarmo – Jl. Ciliung menunjukkan bahwa model yang dikembangkan dapat diterima dengan besar perbedaan maksimum 3% antara hasil model dengan hasil survey.

4. Model Optimasi *Offset* sinyal pada jaringan ATCS yang dikembangkan menggunakan model transmisi sel (CTM) dapat digunakan dalam melakukan optimasi sinyal pada ATCS.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Panjang Ruas Pada Jaringan ATCS

Ruas	Panjang (m)						
1_2	300	2_5	300	5_6	300	6_9	300
2_3	300	3_6	300	4_7	300	7_8	300
1_4	300	4_5	300	5_8	300	8_9	300

Lampiran 2. Data *Artificial* Waktu Sinyal Pada ATCS

Simpang	Fase	Waktu Sinyal (detik)			Simpang	Fase	Waktu Sinyal (detik)		
		Hijau	Merah	Kuning			Hijau	Merah	Kuning
1	1	63	57	3	6	1	57	63	3
	2	48	72	3		2	54	66	3
2	1	57	63	3	7	1	51	69	3
	2	54	66	3		2	60	60	3
3	1	54	66	3	8	1	57	63	3
	2	57	63	3		2	54	66	3
4	1	60	60	3	9	1	60	60	3
	2	51	69	3		2	51	69	3
5	1	51	69	3					
	2	60	60	3					

Lampiran 3. Data *Artificial* Kecepatan, Besar Arus, Kepadatan Jenuh ruas dan Jumlah lajur

Ruas	Kecepatan (Km/jam)		Arus Jenuh Ruas (smp/jam)		Volume Lalu lintas (smp/jam)		Kepadatan Macet (smp/km)		Jumlah Lajur Lalu lintas	
	<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>
1-2	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
2-3	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
1-4	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
2-5	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
3-6	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
4-5	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
5-6	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
4-7	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
5-8	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
6-9	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
7-8	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2
8-9	40	40	1800	1800	1600	1600	156	156	2	2

Lampiran 4. Arus Lalu lintas Memasuki Simpang Pada ATCS

Simpang/ Pendekat	Volume Lalu lintas ke Arah (smp/jam)				
	Utara	Selatan	Timur	Barat	
1	S	1200	-	150	-
	B	200	-	1200	-
2	S	1200	-	120	120
3	S	1300	-	-	120
	T	120	-		1200
4	B	150	150	1200	-
6	T	200	150	-	1200
7	U	-	1200	150	-
	B	-	150	1200	-
8	U	-	1200	150	150
9	U	-	1200	-	150
	T	-	150	-	1200

DAFTAR PUSTAKA

- Daganzo CF (1994) *The cell transmission model: a simple dynamic representation of highway traffic*. Transp Res Part B 28(4):269-287.
- Hisai, M. (1987), “*Delay-Minimizing Control and Bandwidth-Maximizing Control of Coordinated Traffic Signals by Dynamic Programming*”, Transportation and Traffic Theory, Editor Gartner, N.H. Elsevier.
- Li Zichuan, (2011), “*Modeling Arterial Signal Optimization with Enhanced Cell Transmission Formulations*”, Journal of Transportation Engineering, Vol. 137, No. 7 Juli 1, 2011.
- 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.
- Lo HK (2001), *A cell-based traffic control formulation: strategies and benefits of dynamic timing plans*. Transportation Science©2001 INFORMS Vol. 35, No. 2, May 2001 pp. 148–164
- Mc Shane, W.R. and Roess, R.P. (1990), *Traffic Engineering*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- 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.