

ANALISA DURASI LAMPU LALU LINTAS MENGGUNAKAN METODE SIMULASI

Ishardita Pambudi Tama¹⁾, Ratih Ardia Sari²⁾, Faishol Umar³⁾
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya^{1,2,3)}

Abstract With the growth of vehicle number every year, traffic congestion is an inevitable phenomena to be seen everywhere in the world. The congestion is sometime worsen due to the inaccurate duration of the traffic lamp. The goal of this research is to show how we could analyze the traffic condition of a junction using discrete simulation method and find the better traffic lamp duration. A busy junction which connect business district, suburb and educational district in Malang, was selected to be the object of this research. Models of existing system were developed using Arena, following data collection and observation on the object. Several scenarios based on various traffic light duration were analyzed. The best scenario found in this simulation analysis could predict the shorter vehicle queue on the junction

Key Words Simulation, traffic light duration, traffic congestion

1. Pendahuluan

Perkembangan kota di era globalisasi saat ini menunjukkan peningkatan yang signifikan. Pemerintah kota di berbagai negara di belahan dunia mulai mengembangkan kota mereka untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat yang hidup di kota tersebut. Pengembangan kota ditandai dengan dibangunnya infrastruktur pendukung seperti jalan raya, rumah sakit, sekolah dan lain sebagainya. Bahkan ada beberapa kota di Indonesia yang menjadikan kota mereka dengan ciri khas tertentu seperti kota pendidikan, kota wisata, kota batik dan lain sebagainya untuk menarik lebih banyak orang berkunjung ke kota mereka dengan harapan dapat menggerakkan roda perekonomian masyarakat.

Namun, seiring dengan perkembangan kota, muncul berbagai permasalahan baru yang menjadi pekerjaan baru bagi pemerintah kota, salah satunya adalah kemacetan lalu lintas. Kemacetan lalu lintas muncul akibat meningkatnya jumlah kendaraan yang melintasi jalan sedangkan kapasitas jalan yang tidak mencukupi.

Kemacetan lalu lintas menyebabkan kerugian berupa kerugian waktu, biaya dan polusi udara. Oleh karena itu dibutuhkan pengendalian lalu lintas yang optimal untuk menciptakan lingkungan kota yang nyaman untuk ditinggali.

Analisa kemacetan disebuah persimpangan jalan dapat dilihat sebagai sistem antrian entity berupa kendaraan yang

menunggu untuk dilayani oleh sistem persimpangan tersebut. Dengan dasar tersebut maka suatu persimpangan dapat dianalisa antrian kendaraannya menggunakan metode simulasi, terutama simulasi sistem diskrit. Selama ini simulasi sistem diskrit banyak digunakan untuk menganalisa antrian didalam suatu sistem produksi.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu layanan yang diberikan oleh sistem traffic light disebuah persimpangan jalan. Obyek penelitian ini adalah sebuah persimpangan jalan yang sering terjadi kemacetan di kota Malang. Persimpangan ini terletak di pertemuan antara Jalan Veteran, Jalan Bendungan Sigura-gura, Jalan Summersari dan Jalan Bendungan Sutami, atau sering disebut perempatan ITN.

Berdasarkan survey pendahuluan, kemacetan arus lalu lintas di persimpangan tersebut mencapai puncaknya ketika jam sibuk yaitu saat berangkat kantor (06.15 sampai 08.00 WIB), jam makan siang (12.00 sampai 13.00 WIB) dan pulang kantor (16.00 sampai 18.00 WIB). Kemacetan tersebut masih terjadi walaupun sudah ada lampu pengatur lalu lintas (traffic light) yang mengatur di masing-masing ruas persimpangan tersebut. Dengan analisa simulasi, dapat dibuat skenario untuk mencari durasi masing-masing lampu supaya antrian kendaraan yang terjadi bisa segera melewati persimpangan tersebut sehingga kemacetan bisa dikurangi. Software simulasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arena yang dibuat oleh Rockwell.

* Corresponding author. Email : kangdith@ub.ac.id

Published online at <http://Jemis.ub.ac.id>

Copyright ©2016 JTI UB Publishing. All Rights Reserved

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi dengan *software* ARENA untuk menentukan skenario terbaik untuk mengatasi kemacetan di perempatan ITN.

2.1 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan pada penelitian sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data yang berkaitan dengan pemodelan sistem dari obyek penelitian meliputi:

- a. Data waktu antar kedatangan
- b. Data jumlah antrian dalam sistem
- c. Denah lokasi obyek
- d. Data kebiasaan atau perilaku sistem

Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah Observasi. Observasi merupakan metode pengumpulan data dengan melakukan pengamatan langsung suatu kegiatan yang sedang dilakukan terhadap obyek penelitian. Observasi yang telah dilakukan yaitu mengamati perilaku sistem arus lalu lintas di perempatan ITN.

2. Pengolahan Data

Pada tahap ini merupakan pelaksanaan pemodelan sistem dari arus lalu lintas di perempatan ITN dengan bantuan *software* Arena. Pelaksanaan pemodelan sistem melalui beberapa tahap yaitu:

- a. Menentukan batasan dan asumsi sistem
- b. Melakukan *distribution fitting*
- c. Membangun model konseptual dengan diagram ACD (*Activity Cycle Diagram*)
- d. Membangun model sistem dengan *software* Arena
- e. Menentukan jumlah replikasi dan menjalankan simulasi
- f. Melakukan verifikasi dan validasi model

3. Pembahasan

Pada tahap ini akan dibahas hasil dari model yang sudah dijalankan dengan *software* Arena. Setelah model dijalankan, waktu tunggu rata-rata dan jumlah kendaraan rata-rata yang ada dalam sistem dapat diketahui. Kemudian melakukan analisis terhadap hasil simulasi untuk memperoleh jalur mana yang mempunyai waktu tunggu rata-rata dan jumlah kendaraan rata-rata yang tinggi untuk mengetahui jalur mana yang memerlukan penyelesaian signifikan untuk mengurangi

kemacetan di dalam sistem.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Gambaran Sistem

Sistem yang diamati dalam penelitian ini adalah sistem arus lalu lintas yang terdapat di perempatan ITN di Kota Malang. Kendaraan yang masuk ke perempatan ITN dari tiap ruas jalan akan berhenti apabila lampu arus lalu lintas menyala merah dan akan berjalan jika lampu lalu lintas menyala hijau. Dari keempat ruas jalan di perempatan ITN, hanya jalan Sumbersari yang tidak memiliki lampu lalu lintas yang menyala karena kebijakan yang berlaku di jalan tersebut adalah semua kendaraan dari jalan tersebut langsung belok kiri masuk ke jalan Veteran. Dengan demikian, di jalan Sumbersari tidak terjadi antrian kendaraan. Proses yang terjadi dalam sistem ini adalah saat kendaraan yang mengantri melewati garis henti saat lampu lalu lintas menyala hijau untuk keluar dari perempatan ITN. Lama waktu proses untuk tiap ruas jalan cenderung konstan karena kendaraan melintasi jarak yang sama dengan kecepatan yang relatif sama.

Dalam penelitian ini, *resource* yang melayani entitas yang masuk dalam sistem adalah ruas jalan masuk ke perempatan tersebut yang diatur secara terjadwal oleh lampu lalu lintas sesuai dengan durasi waktu sinyal sesuai Tabel 1. Dengan kata lain, apabila lampu lalu lintas berwarna merah maka *resource* tidak tersedia untuk melayani entitas yang sedang mengantri. Lalu, saat lampu lalu lintas berwarna hijau maka *resource* tersedia untuk melayani entitas sehingga kendaraan yang mengantri dapat keluar dari antrian menuju arah yang diinginkan dan entitas dianggap telah keluar dari sistem.

3.2 Model Konseptual

Model konseptual tentang sistem arus lalu lintas di perempatan ITN dalam penelitian ini menggunakan model *Activity Cycle Diagram* (ACD). Model konseptual yang dibuat berbeda untuk masing-masing ruas jalan di perempatan tersebut karena setiap ruas jalan di perempatan ITN mempunyai perilaku sistem yang berbeda. Walaupun begitu, pembuatan ACD terpisah ini tetap memodelkan satu sistem yang sama karena pada dasarnya *resources* yang digunakan pada model ini sama untuk tiap ruas jalan.

Model ACD selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 1 Durasi Waktu Sinyal di Perempatan ITN

Jam	Fase 1 (Jalan Bendungan Sutami) (detik)	Fase 2 (Jalan Bendungan Sigura-gura) (detik)	Fase 3 (Jalan Veteran) (detik)
05.00 – 06.00 WIB	15	15	15
06.00 – 09.00 WIB	35	30	35
09.00 – 12.00 WIB	30	30	40
12.00 – 18.00 WIB	33	25	57
18.00 – 22.00 WIB	30	30	35
22.00 – 24.00 WIB	20	20	20

3.3 Penentuan Parameter Distribusi Waktu Antar Kedatangan

Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi pola distribusi dari data waktu antar kedatangan. Langkah awal yang dilakukan dalam menentukan distribusi adalah dengan menduga suatu distribusi berdasarkan karakteristik dari macam-macam jenis distribusi yang sesuai dengan penerapannya dalam suatu aplikasi. Selanjutnya akan dilakukan uji *Goodness of Fit* untuk mengetahui apakah data berdistribusi eksponensial atau tidak. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut (contoh perhitungan untuk waktu antar kedatangan kendaraan roda 4 atau lebih di Jalan Bendungan Sigura-gura saat puncak pagi):

- Merumuskan hipotesis dan kriteria pengujian
 Hipotesis H_0 : Data berdistribusi eksponensial
 Hipotesis H_1 : Data tidak berdistribusi eksponensial
 Dengan kriteria pengujian sebagai berikut:
 H_0 diterima jika X^2 hitung $> X^2$ tabel
 H_0 ditolak jika X^2 hitung $< X^2$ tabel

- Membuat tabel distribusi frekuensi dari data waktu antar kedatangan
 Range = 101 detik
 Jumlah Kelas = $1 + 3,3 \log n$
 $= 1 + 3,3 \log 619 = 10,3 \approx 11$ kelas
 Rata-rata data = $\frac{\text{total data}}{\text{jumlah data}} = \frac{9849}{619} = 15,54$ detik
 Panjang kelas = $\frac{\text{Range}}{\text{Jumlah Kelas}} = \frac{101}{11} = 9,2$

Tabel 2 Distribusi Frekuensi Waktu Antar Kedatangan

Roda 4 atau Lebih di Jalan Bendungan Sigura-gura saat Puncak Pagi

Kelas	Kelas (dalam detik)	Frekuensi
1	0,0 - 9,2	283
2	9,3 - 18,4	155
3	18,5 - 27,6	65
4	27,7 - 36,8	48
5	36,9 - 46,0	38
6	46,1 - 55,2	9
7	55,3 - 64,4	8
8	64,5 - 73,6	7
9	73,7 - 82,8	3
10	82,9 - 92,0	1
11	92,1 - 101,2	2
TOTAL		619

- Menentukan probabilitas dan *expected frequencies* untuk tiap kelas. Probabilitas untuk tiap kelas didapatkan dari fungsi densitas dari distribusi eksponensial atau dengan menggunakan rumus $= \text{EXPONDIST}(x; \lambda; \text{TRUE})$ pada Microsoft Excel dan *expected frequencies* didapatkan dengan mengkalikan probabilitas dengan jumlah data yang telah dikumpulkan.
- Jika terdapat kelas dengan *expected frequencies* kurang dari 5, maka kelas-kelas tersebut digabung sehingga semua kelas mempunyai *expected frequencies* ≥ 5 dan kemudian menghitung nilai X^2 hitung. Karena pada langkah sebelumnya terdapat kelas yang mempunyai *expected frequencies* kurang dari 5, maka kelas ke-8, ke-9, ke-10 dan ke-11 digabung menjadi satu kelas menjadi Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Tabel Perhitungan X^2 Hitung

Kelas	O	E	(O-E)	(O-E) ²	$\frac{(O-E)^2}{E}$
0,0 - 9,2	283	276,6	6,4	40,96	0,148
9,3 - 18,4	155	153	2	4	0,026
18,5 - 27,6	65	84,7	-19,7	388,09	4,582
27,7 - 36,8	48	46,9	1,1	1,21	0,026
36,9 - 46,0	38	26	12	144	5,538
46,1 - 55,2	9	14,4	-5,4	29,16	2,025
55,3 - 64,4	8	8	0	0	0
Lebih dari 64,4	13	9,6	3,4	11,56	1,204
X^2 Hitung					13,549

- Menentukan nilai X^2 berdasarkan pada tabel *Chi-Square* dengan *significance level* 5% dan derajat bebas = jumlah kelas - 2
 $= 8 - 2 = 6$.

$$X^2_{(0.05,6)} = 12,592$$

- Menentukan apakah hipotesis diterima atau tidak
 Karena X^2 Hitung $> X^2$ Tabel, maka H_0 diterima yang berarti bahwa data waktu antar kedatangan kendaraan roda 4 atau

lebih di Jalan Bendungan Sigura-gura saat puncak pagi berdistribusi eksponensial.

Langkah 1 sampai dengan dengan langkah 6 diulangi untuk semua data waktu antar kedatangan sehingga mendapatkan hasil uji *Goodness of Fit* seperti yang tertera pada Lampiran 1.

3.4 Perancangan Model Dengan ARENA

Dalam model yang digambarkan pada ARENA digunakan beberapa modul diantaranya modul *Create*, *Process*, *Decide*, *Assign*, *Station*, *Route* dan *Dispose*. Gambar model pada ARENA dapat dilihat pada Lampiran 1.

a. Modul *Create*

Modul *Create* digunakan untuk mendefinisikan kedatangan dari kendaraan-kendaraan bermotor yang masuk ke ke perempatan ITN melalui masing-masing ruas jalan. Untuk kolom *Expression* pendefinisian distribusi waktu kedatangan disesuaikan dengan distribusi waktu kedatangan untuk tiap waktu puncak yang telah dihitung pada subbab sebelumnya. Untuk kolom *Units* diisikan *seconds* karena satuan waktu yang dipakai di dalam pembangkitan entitas dalam model ini adalah detik. *Entities per Arrival* atau Jumlah entitas tiap kedatangan adalah 1 entitas dengan maksimal kedatangan yang tak terhingga.

b. Modul *Process*

Modul *Process* digunakan untuk mendefinisikan antrian kendaraan-kendaraan bermotor yang masuk ke ke perempatan ITN melalui masing-masing ruas jalan.

c. Modul *Decide*

Modul ini untuk menggambarkan arah pergerakan kendaraan bermotor yang melintasi perempatan ITN di masing-masing ruas. Persentase pergerakan kendaraan bermotor yang didefinisikan pada modul *Decide* berdasarkan data survey arus kendaraan di perempatan ITN yang diperoleh dari Laboratorium Transportasi Teknik Sipil UB. Persentase tersebut diperoleh dengan membandingkan jumlah kendaraan bermotor yang berbelok ke satu arah dengan jumlah kendaraan yang melintas di jalan tersebut. Jumlah kendaraan yang dihitung adalah jumlah

kendaraan yang melintas saat waktu pengamatan di tiap waktu puncak.

d. Modul *Station*

Modul *Station* untuk mendefinisikan lajur jalan yang dilewati kendaraan untuk masuk maupun keluar dari perempatan ITN.

e. Modul *Route*

Modul *Route* untuk menggambarkan pergerakan kendaraan saat keluar dari perempatan ITN berdasarkan arah pergerakan kendaraan yang telah didefinisikan sebelumnya. Dalam modul ini terdapat kolom *Route Time* yang menunjukkan waktu yang diperlukan untuk sebuah entitas ditransfer menuju *station* yang dituju. Dalam model lalu lintas perempatan ITN ini *Route Time* diartikan sebagai waktu yang diperlukan kendaraan untuk melewati perempatan dari ujung ruas jalan asal menuju ujung ruas jalan yang menjadi tujuannya. Sehingga untuk menentukan waktu tersebut, maka diperlukan data jarak yang ditempuh dari ruas jalan satu ke ruas jalan lainnya dan kecepatan kendaraan yang melintas. Dalam penelitian ini, kecepatan kendaraan menggunakan kecepatan normal saat melintasi perempatan yaitu 36 km/jam dan jarak yang ditempuh diperoleh dengan mengukur jarak mulut ruas jalan dengan mulut ruas jalan lainnya.

f. Modul *Dispose*

Modul *Dispose* untuk menggambarkan kendaraan keluar dari perempatan ITN sehingga modul yang digunakan adalah Keluar Veteran, Keluar Sutami, Keluar Sumbersari dan Keluar Sigura2.

3.5 Penentuan Jumlah Replikasi dan *Run Length*

Untuk mengurangi variansi maka simulasi harus dilakukan sebanyak n kali replikasi. Untuk mendapatkan nilai n maka perlu dilakukan replikasi awal n_0 yaitu sebanyak 5 kali replikasi. Hasil dari 5 replikasi tersebut terdapat dalam Tabel 4. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai N_m (n replikasi yang dibutuhkan) maka dilakukan perhitungan sebagai berikut.

Tabel 4 Hasil Simulasi tiap Replikasi

Replikasi	Number Out Simulasi
1	22473
2	23069
3	23072
4	22881
5	23087
Standar Deviasi	261,9442689
Rata-rata	22916,4

Langkah selanjutnya adalah menghitung *standard error* dari data menggunakan rumus di bawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Standard Error} &= \frac{t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} \times \text{std.deviation}}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{2,776 \times 261,944}{\sqrt{5}} \\ &= 325,247 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapat nilai *standard error* sebesar 325,247 atau jika dihitung presentase *error* terhadap rata-rata dari data adalah sebesar

$$\begin{aligned} &= \frac{325,247}{22916,4} \times 100\% \\ &= 1,42\% \end{aligned}$$

Karena nilai *error* tersebut lebih kecil dari *error* yang ditentukan di awal, yakni 5% maka nilai replikasi tersebut dinyatakan telah cukup.

Pada saat awal simulasi, sistem yang ada masih kosong, artinya tidak ada entitas yang masuk dan semua sumber daya dalam keadaan *idle*. Hal ini tentu saja tidak sesuai dengan keadaan nyata sehingga perlu adanya waktu bagi sistem untuk mencapai keadaan *steady state* untuk dapat mendekati keadaan yang sebenarnya dan bisa mengetahui hasil simulasi setelah keadaan tersebut dicapai. Waktu yang dimaksud dapat juga disebut sebagai *warm-up period*. Tidak ada rumus pasti untuk menentukan kapan sistem akan masuk fase *steady state* namun biasanya para peneliti menggunakan cara *plotting* hasil *output* sistem pada grafik untuk mengetahui kapan sistem akan mulai memasuki fase *steady state*. Gambar 1 menunjukkan pola *waiting time* di 3 ruas jalan di perempatan ITN.

Dari pola di atas diketahui bahwa sistem memasuki fase *steady state* saat memasuki waktu 30 menit. Dengan waktu *running simulation* saat fase *steady state* yaitu 2,5 jam

ditambah dengan 30 menit *warm-up period* maka total waktu *running* simulasi adalah 3jam.

3.6 Verifikasi dan Validasi Model

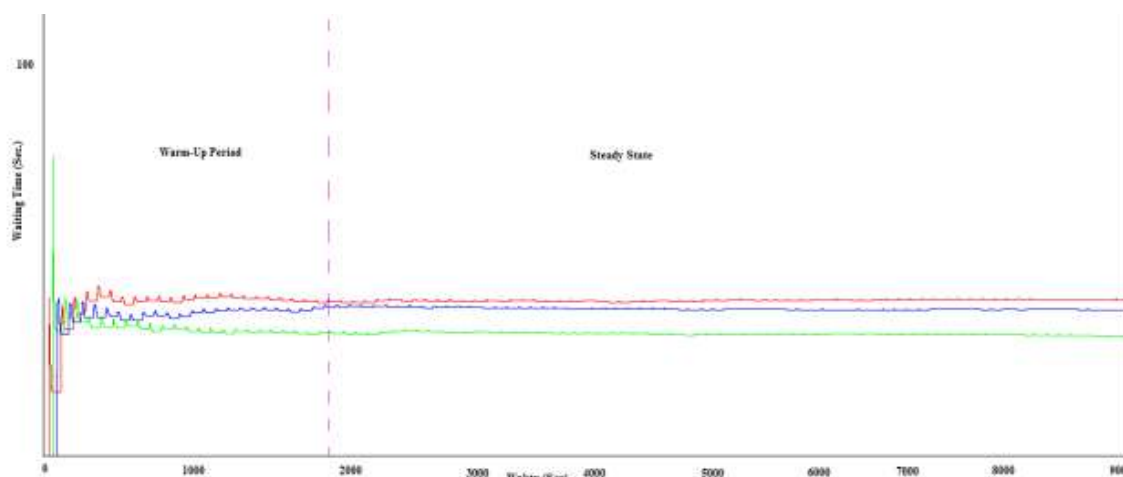
Untuk menguji apakah model pada *software* ARENA mendekati atau merepresentasikan keadaan nyata (*valid*), maka perlu dilakukan verifikasi dan validasi. Apabila model sudah dinyatakan *valid*, maka model tersebut dapat digunakan untuk menyimulasikan skenario-skenario perbaikan terhadap permasalahan dalam sistem. Namun, apabila model tersebut dinyatakan tidak *valid*, maka perlu dilakukan revisi terhadap model tersebut sehingga model menjadi *valid*.

3.6.1 Verifikasi Model

Verifikasi dilakukan untuk menguji apakah model di *software* ARENA apakah sesuai dengan model konseptual yang sudah dirancang sebelumnya. Verifikasi dilakukan dengan tiga cara, yakni:

1. Ketika seluruh model ARENA telah selesai dibuat, dilakukan pengecekan satuan waktu yang ada pada masing-masing modul, agar sesuai dengan satuan waktu pada sistem nyata.
2. Menekan F4 ketika Jendela ARENA masih aktif untuk mengecek ada atau tidaknya *error* pada sistem pemodelan tersebut.
3. Membandingkan model ARENA dengan model ACD yang telah dirancang sebelumnya.

Setelah dilakukan pengecekan satuan waktu yang ada pada masing-masing modul, dapat diketahui bahwa satuan waktu yang ada dalam model telah sesuai dengan sistem nyata. Lalu setelah itu dilakukan pengecekan dengan menekan F4 pada Jendela ARENA masih aktif dan diketahui bahwa tidak ada *error* yang terjadi pada model yang telah dibuat. Selanjutnya adalah dengan membandingkan model ACD dengan model yang telah dibuat di ARENA. Pada ACD dijelaskan bahwa antrian terjadi pada saat menunggu sinyal lampu lalu lintas menyala hijau di salah satu ruas jalan atau dengan kata lain lampu lalu lintas menyala



Gambar 1 Pola *Waiting Time* di 3 Ruas Jalan perempatan ITN

merah di ruas jalan lainnya. Antrian terjadi pada saat menunggu lampu lalu lintas menyala hijau (*resource* jalan tersedia untuk dilewati) pada satu ruas jalan dan menyala merah pada ruas jalan yang lain. Hal ini sama dengan apa yang terjadi pada sistem nyata. Maka dari itu, model atau program ini sudah terverifikasi karena apa yang tergambar pada ARENA sudah sesuai dengan keadaan sistem nyata.

3.6.2 Validasi Model

Validasi dilakukan untuk menguji apakah model yang telah dibuat merupakan representasi yang akurat dari sistem nyata. Validasi dilakukan dengan membandingkan *output* dari simulasi dengan *output* sistem nyata menggunakan Uji sampel independen T-test. Langkah pertama adalah dengan melakukan *running* simulasi sebanyak 5 kali replikasi dan membandingkan hasil *output* simulasi dengan sistem nyata seperti pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5 Perbandingan *Output* Simulasi dengan Sistem Aktual

Replikasi	Number Out Simulasi	Number Out Sistem Nyata
1	22473	24111
2	23069	22450
3	23072	23500
4	22881	23250
5	23087	23480

Selanjutnya dilakukan pengujian data yang terdapat pada Tabel 6 dengan menggunakan *software* SPSS. Pengujian tersebut diawali dengan pengujian kenormalan

data. Hasil uji kenormalan data dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini.

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

Tabel 6 Hasil Uji Kenormalan Data

	Group	Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Statistic	df	Sig.
Output	Simulasi	,320	5	,104
	Aktual	,228	5	,200

H_0 diterima jika nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* $\geq \alpha/2$, dan H_0 ditolak jika nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* $< \alpha/2$. Dari tabel 4.17 yang menyajikan *output* uji kenormalan untuk data *number out* dapat dilihat bahwa nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* = $0,104/2 = 0,052 > \alpha/2 = 0,025$ maka H_0 diterima. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk data *number out* berdistribusi normal.

Karena data berdistribusi normal, maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji homogenitas data untuk mengetahui apakah data hasil simulasi dan sistem nyata memiliki variansi yang sama. Langkah ini dapat dilakukan secara bersamaan dengan *Independent Samples T-test* dengan menggunakan SPSS 20. Hasil dari uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 7.

Formulasi hipotesis untuk kolom *Levene's Test for Equality of Variances* adalah sebagai berikut:

H_0 : variansi data homogen

H_1 : variansi data tidak homogen

Dengan kriteria pengujian jika nilai *Sig.* $\geq \alpha$ (0,05) maka H_0 diterima, sedangkan jika *Sig.* $< \alpha$ (0,05) maka H_0 ditolak.

Tabel 7 Hasil Uji Sampel Independen T-Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					
		Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
Output	Equal variances assumed							Lower	Upper
		,284	-1,510	8	,170	-441,800	292,630	-1116,606	233,006

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui nilai $Sig. = 0,284 \geq 0,05$, maka H_0 diterima yang berarti bahwa variansi data homogen. Selanjutnya untuk kolom *t-test for Equality Means* formulasi hipotesisnya adalah sebagai berikut:

H_0 : tidak ada perbedaan rata-rata yang signifikan antara hasil simulasi dengan hasil sistem nyata

H_1 : ada perbedaan rata-rata yang signifikan antara hasil simulasi dengan hasil sistem nyata

Dengan kriteria pengujian jika nilai $Sig./2 \geq \alpha/2$ maka H_0 diterima, sedangkan jika $Sig./2 < \alpha/2$ maka H_0 ditolak karena pengujian ini merupakan pengujian dua arah sehingga nilai $Sig.$ harus dibagi 2.

Dari Tabel 4.18 di atas maka dapat diketahui nilai $Sig. = 0,170$ Hal itu berarti bahwa $Sig./2 (0,085) > \alpha/2 (0,025)$ sehingga H_0 diterima. Maka, simulasi dapat dikatakan valid karena uji statistik membuktikan bahwa tidak ada perbedaan rata-rata yang signifikan antara hasil simulasi dengan hasil sistem nyata.

3.7 Analisis Hasil Simulasi Keadaan Existing

Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa kemacetan terjadi di jalan Bendungan Sigura-gura dengan jumlah rata-rata kendaraan yang masuk sebesar 592 mobil dan 3902 motor pada pagi hari. Keadaan ini terjadi karena lingkungan di sekitar jalan Bendungan Sigura-gura adalah pemukiman yang padat penduduk mulai dari mahasiswa sampai karyawan kantor. Hal itu menyebabkan jumlah kendaraan yang melintas di pagi hari sangat tinggi karena bertepatan dengan jam berangkat menuju tempat bekerja dan untuk berangkat ke kampus dan sekolah bagi para siswa dan mahasiswa. Karena jalan Veteran merupakan jalur utama untuk menuju tempat kerja maupun tempat pendidikan maka kendaraan yang melintasi jalan Bendungan Sigura-gura didominasi kendaraan yang akan mengarah ke jalan Veteran. Jalan Bendungan Sigura-gura

mempunyai *waiting time* yang tertinggi diantara tiga ruas jalan di perempatan ITN karena waktu sinyal yang berlaku di Jalan Bendungan Sigura-gura belum mampu melayani kendaraan dengan maksimal sehingga menyebabkan *waiting time* rata-rata sebesar 608,94 detik.

Sedangkan keadaan berbeda terjadi di waktu puncak siang. Secara umum terjadi penurunan jumlah kendaraan yang melewati perempatan ITN di setiap ruas jalan, namun kemacetan terjadi di ruas jalan Bendungan Sutami. Hal ini ditandai dengan *waiting time* yang tinggi dibanding dengan 2 ruas jalan yang lain sehingga menyebabkan jumlah antrian yang lebih tinggi dibandingkan kedua ruas jalan lain. Dari Tabel 10 menunjukkan bahwa kemacetan terjadi di jalan Bendungan Sutami dengan jumlah rata-rata kendaraan yang masuk sebesar 642 mobil dan 3640 motor pada siang hari.

Keadaan ini terjadi karena di saat puncak siang hari merupakan saat untuk istirahat makan siang dan jam pulang bagi siswa-siswa sekolah. Jalan Bendungan Sutami mempunyai *waiting time* yang tertinggi diantara tiga ruas jalan di perempatan ITN karena waktu sinyal yang berlaku di Jalan Bendungan Sutami belum mampu melayani kendaraan dengan maksimal sehingga menyebabkan *waiting time* rata-rata sebesar 701,17 detik.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kemacetan terjadi di jalan Bendungan Sutami ditandai dengan *waiting time* yang tinggi dibanding dengan 2 ruas jalan yang lain sehingga menyebabkan jumlah antrian yang lebih tinggi dibandingkan kedua ruas jalan lain. Jumlah rata-rata kendaraan yang masuk sebesar 461 mobil dan 3263 motor pada sore hari yang didominasi oleh kendaraan yang mengarah ke jalan Sumbersari sebanyak 56,85% dari total kendaraan yang masuk berdasarkan persentase arah gerakan kendaraan pada Tabel 4.10 sebelumnya. Hal ini terjadi karena pada saat puncak sore hari bertepatan dengan jam pulang kantor bagi para karyawan yang bekerja maupun jam pulang kuliah bagi mahasiswa.

Selain itu, jalan Bendungan Sutami merupakan jalan penghubung antara wilayah Malang Selatan dan sekitarnya dengan Kota Batu maupun dengan wilayah Malang Utara sehingga kendaraan yang melintas didominasi dengan kendaraan yang akan mengarah ke jalan Sumbersari yang mengarah ke kedua wilayah tersebut. Jalan Bendungan Sutami mempunyai *waiting time* yang tertinggi diantara tiga ruas jalan di perempatan ITN karena waktu sinyal yang berlaku di Jalan Bendungan Sutami belum mampu melayani kendaraan dengan maksimal sehingga menyebabkan *waiting time* rata-rata sebesar 66,82 detik.

Rekap hasil simulasi dapat dilihat pada Lampiran 2.

3.8 Analisis Usulan Perbaikan

Kemungkinan solusi yang *feasible* untuk dilakukan dalam jangka pendek di perempatan ITN adalah dengan perubahan durasi waktu fase sinyal dan merekayasa arah lalu lintas. Hal itu dikarenakan untuk penambahan lebar ruas jalan akan lebih sulit dilakukan dalam jangka pendek dikarenakan sudah tidak adanya lahan yang tersisa di lingkungan perempatan ITN. Namun, untuk solusi jangka panjang diharapkan kemungkinan solusi pertama dapat dilakukan oleh Pemerintah Kota Malang karena setiap tahun jumlah kendaraan bermotor yang melintasi jalan-jalan di Kota Malang akan meningkat seiring dengan pesatnya pembangunan Kota Malang sebagai kota yang nyaman untuk ditinggali, nyaman untuk kegiatan pendidikan maupun untuk wisata. Dengan 2 kemungkinan solusi yang *feasible* di atas, maka disusunlah 3 skenario perbaikan antara lain:

1. Skenario pertama mengubah durasi waktu sinyal tanpa merubah arah fase
2. Merubah arah kendaraan pada fase 2 dengan pelarangan gerakan belok kanan sehingga pada fase 2 kendaraan dari jalan Bendungan Sigura-gura dan kendaraan dari jalan Veteran yang bergerak lurus dapat berjalan bersamaan, sedangkan kendaraan dari jalan Veteran yang belok kanan berangkat pada fase 3.
3. Sama dengan skenario 2 namun pada fase 3 kendaraan yang berangkat adalah kendaraan yang belok kanan dan kendaraan yang bergerak lurus.

3.9 Penentuan Skenario Terbaik

Setelah dilakukan analisis hasil simulasi dari skenario-skenario perbaikan yang sudah dirumuskan, maka langkah yang paling penting selanjutnya adalah menentukan skenario terbaik yang dapat digunakan untuk mengatasi kemacetan lalu lintas yang ada di perempatan ITN. Analisis keadaan awal menunjukkan ruas-ruas jalan di perempatan ITN yang mengalami kemacetan pada tiap waktu puncak yang diteliti. Dengan demikian, penentuan skenario terbaik untuk mengatasi kemacetan di perempatan ITN pada penelitian ini didasarkan pada kemampuan skenario-skenario tersebut untuk mengurangi *waiting time* dan panjang antrian pada ruas jalan yang mengalami kemacetan pada tiap waktu puncak yang diteliti.

Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk waktu puncak pagi skenario terbaik untuk mengatasi kemacetan di perempatan ITN khususnya di jalan Bendungan Sigura-gura adalah skenario ketiga. Rincian lengkap skenario terbaik dapat dilihat pada Lampiran 2.

Skenario ini berhasil menurunkan *waiting time* di jalan Bendungan Sigura-gura sebesar 97% dari keadaan semula menjadi 13,76 detik sehingga panjang antrian yang terjadi juga berhasil diturunkan.

Sedangkan pada waktu puncak siang skenario terbaik untuk mengatasi kemacetan di perempatan ITN khususnya di jalan Bendungan Sutami adalah skenario ketiga. Skenario ini berhasil menurunkan *waiting time* di jalan Bendungan Sutami sebesar 98% dari keadaan semula menjadi 7,89 detik sehingga panjang antrian yang terjadi juga berhasil diturunkan.

Untuk waktu puncak sore skenario terbaik untuk mengatasi kemacetan di perempatan ITN khususnya di jalan Bendungan Sutami adalah skenario ketiga. Skenario ini berhasil menurunkan *waiting time* di jalan Bendungan Sutami sebesar 89% dari keadaan semula menjadi 6,89 detik sehingga panjang antrian yang terjadi juga berhasil diturunkan.

4. Penutup

Dari hasil simulasi yang dilakukan dapat diketahui bahwa di waktu puncak pagi kemacetan terjadi di jalan Bendungan Sigura-gura dengan *waiting time* rata-rata sebesar 608,94 detik dan panjang antrian sebesar 256,5 m. Sedangkan pada waktu puncak siang

kemacetan terjadi di jalan Bendungan Sutami dengan *waiting time* rata-rata sebesar 701,17 detik dan panjang antrian sebesar 280,976 m. Lalu, pada waktu puncak ore kemacetan terjadi di jalan Bendungan Sutami dengan *waiting time* rata-rata sebesar 66,82 detik dan panjang antrian sebesar 22,927 m.

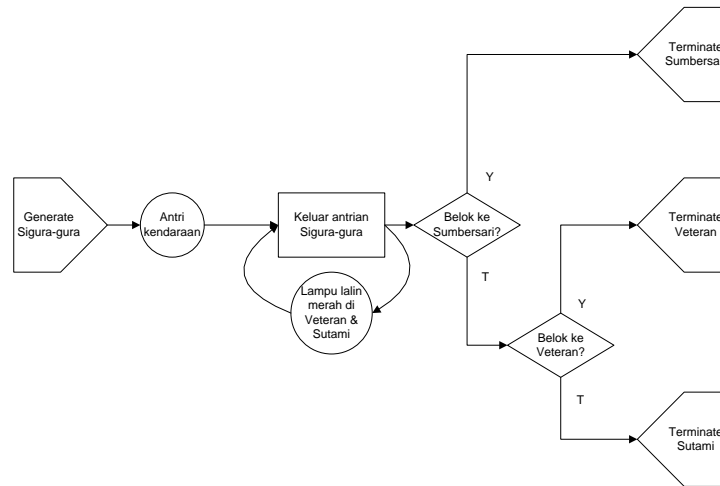
Hasil simulasi usulan skenario perbaikan menunjukkan bahwa skenario terbaik untuk mengatasi kemacetan di perempatan ITN adalah dengan mengubah durasi lampu lalu lintas dan mengubah arah pergerakan kendaraan dengan pemberlakuan larangan belok kanan di jalan Bendungan Sigura-gura. Skenario ini berhasil menurunkan *waiting time* di jalan Bendungan Sigura-gura sebesar 97% dari keadaan semula menjadi 13,76 detik sehingga panjang antrian yang terjadi juga berhasil diturunkan di waktu puncak pagi. Untuk waktu puncak siang hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario ini berhasil menurunkan *waiting time* di jalan Bendungan Sutami sebesar 98% dari keadaan semula menjadi 7,89 detik. Sedangkan untuk waktu puncak sore hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario ini berhasil menurunkan *waiting time* di jalan Bendungan Sutami sebesar 89% dari keadaan semula menjadi 6,89 detik.

Untuk mengatasi kemacetan di perempatan ITN Kota Malang sebaiknya diterapkan skenario terbaik yang sudah dirumuskan di dalam penelitian ini. Penelitian ini hanya mempertimbangkan faktor teknis dari sebuah perempatan sedangkan di dalam keadaan nyata yang mempengaruhi keberhasilan dari solusi yang ditawarkan dalam pelaksanaannya, misalnya kesadaran pengguna jalan untuk tertib berlalu-lintas dan menjaga kesopanan dalam berlalu-lintas. Dengan demikian, sangat dimohon kepada semua pengguna jalan di perempatan ITN untuk tetap mematuhi peraturan lalu lintas dan pengaturan lalu lintas yang diterapkan. Diharapkan ada penelitian lanjutan yang akan membahas mengenai skenario pengaturan arus lalu lintas di perempatan ITN Kota Malang selama 12 atau 24 jam karena dinamika lalu lintas selalu berubah setiap waktu seiring pertambahan jumlah kendaraan.

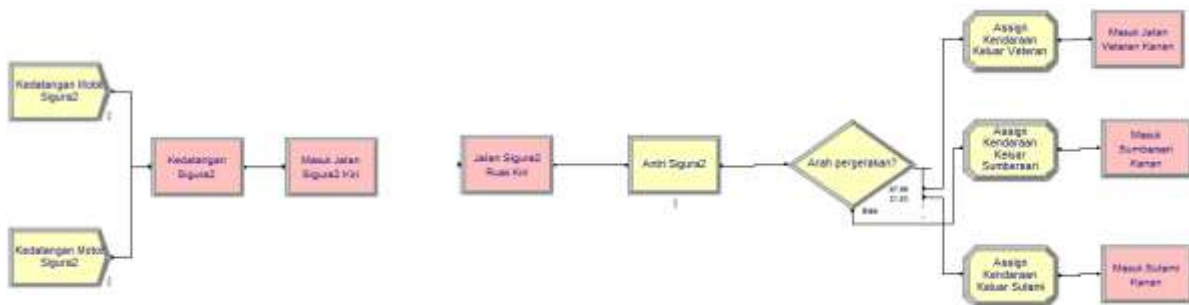
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arifin, Miftahol. 2009. *Simulasi Sistem Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- [2] Asmungi. 2007. *Simulasi Komputer Sistem Diskrit*. Yogyakarta: Penerbit ANDI
- [3] Davis, Gordon B. 1984. *Sistem Informasi Manajemen*. Jakarta: Penerbit Pustaka Binaan Pressindo
- [4] Ditjen Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Ditjen Bina Marga
- [5] Hoover, Stewart V & Perry, Ronald F. 1989. *Simulation: A Problem Solving Approach*. Boston, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc
- [6] Hussey, J. & Husser, R. 1997. *Business Research: A Practical Guide for Undergraduate and Postgraduate Students*. London: Macmillan Press, Ltd
- [7] Kamrani, M., Abadi, Sayyed M. H. E. & Golroudbary, S. R. 2014. Traffic Simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using Arena software. *Simulation Modelling Practice and Theory* page 167-179. San Diego: Elsevier. Inc
- [8] Law, Averill & Kelton, W. David. 1999. *Simulation Modelling and Analysis (Industrial Engineering and Management Science Series)*. Edisi Ketiga. North America: The McGraw-Hill Companies, Inc
- [9] McLeod, Raymond Jr. 2001. *Sistem Informasi Manajemen Edisi 7 Jilid 2*. Jakarta: Prenhallindo
- [10] Putri, Dea Berinda A. R. & Abusini, Sobri. 2015. Analisis Tingkat Pelayanan Persimpangan Jalan dengan Model Antrian M/D/1 dan Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia. *Jurnal Mahasiswa Matematika Vol. 3 No. 2 hal 109-112*. Malang: Universitas Brawijaya
- [11] Rockwell Software. 2005. *Arena User's Guide*. USA: Rockwell Software. Inc
- [12] Siagian, P. 1987. *Penelitian Operasional: Teori dan Praktek*. Jakarta: Penerbit UI
- [13] Sridadi, Bambang. 2009. *Pemodelan dan Simulasi Sistem: Teori, Aplikasi dan Contoh Program dalam Bahasa C*. Bandung: Informatika

Lampiran 1. Model Konseptual, Model ARENA dan Hasil Simulasi



Activity Cycle Diagram untuk Jalan Bendungan Sigura-gura



Model ARENA untuk Jalan Bendungan Sigura-gura

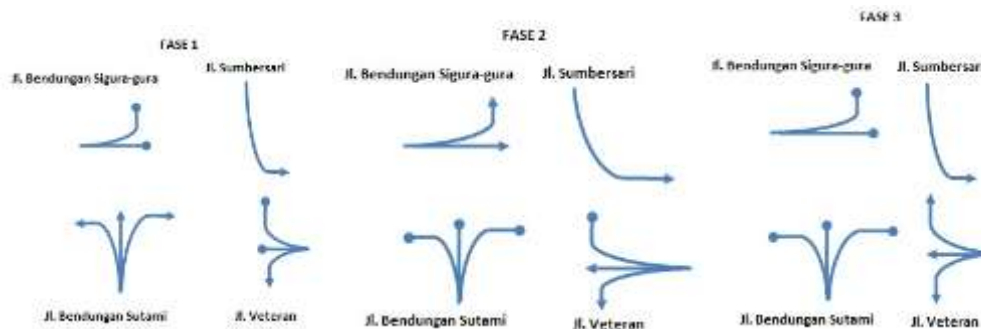
Distribusi Data Waktu Antar Kedatangan

Jenis Kendaraan	Waktu	Ruas Jalan	Distribusi Data	Jenis Kendaraan	Waktu	Ruas Jalan	Distribusi Data
Kendaraan Roda 4 atau Lebih	Pagi	Jalan Bendungan Sigura-gura	EXPO (15,54)	Kendaraan Roda 2	Pagi	Jalan Bendungan Sigura-gura	EXPO (2,3)
		Jalan Sumbersari	EXPO (12,04)			Jalan Sumbersari	EXPO (2,15)
		Jalan Veteran	EXPO (5,4)			Jalan Veteran	EXPO (1,34)
		Jalan Bendungan Sutami	EXPO (16,12)			Jalan Bendungan Sutami	EXPO (1,95)
	Siang	Jalan Bendungan Sigura-gura	EXPO (20,23)		Siang	Jalan Bendungan Sigura-gura	EXPO (3,67)
		Jalan Sumbersari	EXPO (12,97)			Jalan Sumbersari	EXPO (1,96)
		Jalan Veteran	EXPO (6,87)			Jalan Veteran	EXPO (1,48)
		Jalan Bendungan Sutami	EXPO (14,07)			Jalan Bendungan Sutami	EXPO (2,22)
	Sore	Jalan Bendungan Sigura-gura	EXPO (32,68)		Sore	Jalan Bendungan Sigura-gura	EXPO (3,79)
		Jalan Sumbersari	EXPO (16,44)			Jalan Sumbersari	EXPO (2,76)
		Jalan Veteran	EXPO (8,0)			Jalan Veteran	EXPO (1,58)
		Jalan Bendungan Sutami	EXPO (20,01)			Jalan Bendungan Sutami	EXPO (2,48)

Lampiran 2 Gambaran Lengkap Skenario Terbaik

Hasil Simulasi Skenario Perbaikan

Kategori	Name	Rata-rata(detik)			
		Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Waiting Time	Antri Sigura2.Queue	608,94	57,97	30,43	13,76
	Antri Sutami.Queue	106,17	220,23	24,81	10,75
	Antri Veteran.Queue	25,86	54,83	30,34	5,89
	Antri Veteran Belok Kanan.Queue	***	***	30,50	51,70
Number In	Mobil Masuk Sigura2	592	567	570	578
	Mobil Masuk Sumbersari	731	761	750	758
	Mobil Masuk Sutami	566	546	557	569
	Mobil Masuk Veteran	1664	1667	1645	1656
	Motor Masuk Sigura2	3902	3925	3925	3839
	Motor Masuk Sumbersari	4220	4164	4184	4190
	Motor Masuk Sutami	4623	4593	4650	4581
	Motor Masuk Veteran	6668	6750	6752	6742
Number Out	Mobil Masuk Sigura2	542	564	569	578
	Mobil Masuk Sumbersari	732	761	750	758
	Mobil Masuk Sutami	566	539	558	570
	Mobil Masuk Veteran	1660	1664	1639	1655
	Motor Masuk Sigura2	3352	3890	3910	3887
	Motor Masuk Sumbersari	4220	4164	4185	4188
	Motor Masuk Sutami	4613	4510	4670	4585
	Motor Masuk Veteran	6653	6734	6728	6737
Number Waiting	Antri Sigura2.Queue	305,19	29,06	15,21	6,84
	Antri Sutami.Queue	61,39	125,72	24,32	6,15
	Antri Veteran.Queue	12,85	27,48	5,67	1,08
	Antri Veteran Belok Kanan.Queue	***	***	9,60	16,61



Gerakan Kendaraan dalam Setiap Fase pada Skenario Terbaik

Rincian Durasi Waktu Skenario Terbaik

Waktu	Fase	Waktu Hijau (detik)	Keterangan
Pagi	1	24	Kendaraan dari Jalan Bendungan Sutami berangkat
	2	20	Kendaraan dari Jalan Bendungan Sigura-gura dan kendaraan dari Jalan Veteran yang bergerak lurus berangkat
	3	10	Kendaraan dari Jalan Veteran berangkat
Siang	1	28	Kendaraan dari Jalan Bendungan Sutami berangkat
	2	15	Kendaraan dari Jalan Bendungan Sigura-gura dan kendaraan dari Jalan Veteran yang bergerak lurus berangkat
	3	11	Kendaraan dari Jalan Veteran berangkat
Sore	1	18	Kendaraan dari Jalan Bendungan Sutami berangkat
	2	11	Kendaraan dari Jalan Bendungan Sigura-gura dan kendaraan dari Jalan Veteran yang bergerak lurus berangkat
	3	10	Kendaraan dari Jalan Veteran berangkat