

**KARAKTERISTIK ANTREAN DAN TINGKAT PELAYANAN  
PADA PERSIMPANGAN JALAN BERSINYAL**  
(Studi Kasus Persimpangan Jalan Galunggung, Kota Malang)

**SKRIPSI**

oleh:

**NIKE ARI SUSANTI**

**145090401111037**



**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



**KARAKTERISTIK ANTREAN DAN TINGKAT PELAYANAN  
PADA PERSIMPANGAN JALAN BERSINYAL**  
(Studi Kasus Persimpangan Jalan Galunggung, Kota Malang)

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Matematika

oleh:  
**NIKE ARI SUSANTI**  
**145090401111037**



**JURUSAN MATEMATIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**MALANG**  
**2018**



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK ANTREAN DAN TINGKAT PELAYANAN  
PADA PERSIMPANGAN JALAN BERSINYAL**  
(Studi Kasus Persimpangan Jalan Galunggung, Kota Malang)

oleh:  
**NIKE ARI SUSANTI**  
**145090401111037**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal 24 Agustus 2018  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
**Sarjana Matematika**

**Pembimbing**

**Dr. Sobri Abusini, M.T**  
**NIP. 196012071988021001**

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Matematika**  
**Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Ratno Bagus Edy Wibowo, S.Si, M.Si, Ph.D.**  
**NIP. 197509082000031003**



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nike Ari Susanti  
NIM : 145090401111037  
Penulis Skripsi berjudul : Karakteristik Antrean dan Tingkat Pelayanan pada Persimpangan Jalan Bersinyal (Studi Kasus Persimpangan Jalan Galunggung, Kota Malang)

dengan ini menyatakan bahwa:

1. isi skripsi yang saya buat ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, nama-nama yang termasuk dalam isi dan tertulis pada Daftar Pustaka skripsi ini hanya sebagai referensi.
2. Apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya bersedia menanggung segala risikonya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran.

Malang, 24 Agustus 2018  
yang menyatakan,

Nike Ari Susanti  
NIM. 145090401111037



repository.ub.ac.id

# KARAKTERISTIK ANTREAN DAN TINGKAT PELAYANAN PADA PERSIMPANGAN JALAN BERSINYAL

(Studi Kasus Persimpangan Jalan Galunggung, Kota Malang)

## ABSTRAK

Transportasi merupakan kegiatan yang sangat penting dalam menunjang kehidupan manusia, namun dalam praktiknya transportasi sering menimbulkan masalah, misalnya kemacetan di persimpangan bersinyal. Salah satu contoh persimpangan bersinyal adalah persimpangan Jalan Galunggung Kota Malang yang menerapkan sistem tiga fase. Teori yang dapat diterapkan untuk mengatasi kemacetan, khususnya kemacetan di persimpangan Jalan bersinyal adalah teori antrean dan teori transportasi dengan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).

Model antrean yang sesuai dengan kondisi persimpangan Jalan Galunggung adalah model antrean  $M/D/1$ . Hasil penghitungan karakteristik antrean pada persimpangan Jalan Galunggung diperoleh nilai rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem sebesar 0,322 kendaraan, waktu menunggu kendaraan dalam sistem sebesar 0,631 detik, waktu kendaraan menunggu dalam antrean sebesar 0,101 detik, dan jumlah kendaraan dalam antrean sebesar 0,050 kendaraan. Tingkat kegunaan fasilitas pelayanan persimpangan rata-rata adalah sebesar 0,27 atau 27% sibuk. Selanjutnya, dengan metode MKJI diperoleh nilai derajat kejenuhan tiap pendekatan yang terbilang besar dengan kapasitas jalan yang kurang maksimal.

Kata kunci: *Persimpangan Jalan Bersinyal, Model Antrean  $M/D/1$ , Karakteristik Antrean, Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*



# QUEUE CHARACTERISTICS AND SERVICE LEVEL ON THE SIGNAL ROAD INTERSECTION

(Case Study Intersection of Galunggung Street, Malang City)

## ABSTRACT

Transportation is a very important activity in supporting human life, but in practice transportation often causes problems, such as congestion at the signaled intersection. One of the signaled intersections is the intersection of Galunggung Street of Malang City which implemented a three phase system. Theory can be applied to overcome the congestion is queuing theory and transportation theory with method Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).

The queue model is corresponding to the intersection of Galunggung Street is the  $M/D/1$  queue model. The result of calculation of queue characteristic at intersection of Galunggung Street obtained the average value of the number of vehicles in the system of 0,322 vehicles, the waiting time of the vehicle in the system of 0,631 seconds, the waiting time in queue of 0,101 seconds, and the number of vehicles in the queue of 0,050 vehicles. The average utility service junction usage rate is 0,27 or 27% busy. Furthermore, with MKJI method obtained the value of saturation degree of each approach that is large with less than the maximum capacity of the road.

Keywords: *Signal Road Intersection, M/D/1 Queue Model, Characteristics Queue, MKJI*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **KARAKTERISTIK ANTREAN DAN TINGKAT PELAYANAN PADA PERSIMPANGAN JALAN BERSINYAL** dengan baik dan lancar. Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Matematika.

Penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada

1. Bapak Dr. Sobri Abusini, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang menyempatkan waktunya untuk membimbing, memberi nasihat, saran, dan kritik yang sangat bermanfaat bagi penulis selama proses penyusunan hingga skripsi ini selesai.
2. Bapak Prof. Dr. Agus Widodo, M.Kes. dan Ibu Dra. Endang Wahyu Handamari, M.Si. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
3. Bapak Drs. Marsudi, M.S. selaku Dosen Penasehat Akademik penulis atas masukan dan arahan selama perkuliahan.
4. Bapak Ratno Bagus Edy Wibowo, S.Si, M.Si, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Matematika dan Ibu Dr. Isnani Darti, M.Si. selaku Ketua Program Studi Matematika atas segala bantuan yang diberikan.
5. Segenap dosen Matematika FMIPA Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat serta segenap karyawan Jurusan Matematika atas segala bantuannya.
6. Ayah (Kasipan), Ibu (Rebinah), Kakak (Eko Yuli dan Gunawan), Adik (Divano), Papi, Mami, dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa, semangat, serta dukungan kepada penulis.

7. Keluarga Besar Matematika 2014 yang telah berjuang bersama sejak awal hingga akhir dan selalu berbagi semangat serta bantuan satu sama lain.
8. Semua pihak yang telah memberikan doa dan motivasi atas kelancaran penulisan skripsi ini yang tidak dapat penulis tuliskan satu per satu.

Semoga Tuhan memberikan balasan kepada semua pihak yang turut membantu kelancaran penulisan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dapat dikirim melalui email [nike.arisusanti@yahoo.com](mailto:nike.arisusanti@yahoo.com). Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan menjadi sumber inspirasi untuk penulisan skripsi selanjutnya.

Malang, 24 Agustus 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>JUDUL</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xxi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxiii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xxv
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	xxvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Asumsi.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan.....	4
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 Antrean .....	5
2.1.1 Klasifikasi sistem antrean .....	6
2.1.2 Struktur antrean.....	6
2.1.3 Disiplin antrean.....	8
2.1.4 Notasi Kendal-Lee .....	8
2.1.5 Karakteristik sistem antrean.....	9
2.1.6 Model antrean $M/D/1$ .....	11
2.2 Distribusi Poisson.....	12
2.3 Uji Kolmogorov-Smirnov.....	13

2.4	Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).....	13
2.4.1	Arus lalu lintas .....	14
2.4.2	Arus jenuh dasar.....	15
2.4.3	Faktor-faktor Penyesuaian .....	15
2.4.4	Arus Jenuh.....	18
2.5	Fase Lampu Lalu Lintas .....	18
2.5.1	Pola fase gerak kendaraan.....	18
2.5.2	Waktu siklus dan waktu hijau efektif.....	19
2.6	Angka Henti.....	20
2.7	Kapasitas .....	20
2.8	Derajat Kejenuhan .....	21
2.9	Tundaan .....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....		23
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.2	Alat dan Bahan.....	23
3.3	Jenis dan Sumber Data.....	23
3.4	Langkah Penelitian .....	24
3.5	Metode Pengambilan Data.....	25
3.6	Metode Pengolahan Data .....	26
3.7	Diagram Alir .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....		29
4.1	Sistem Antrean di Persimpangan Jalan Galunggung .....	29
4.2	Penyajian Data Penelitian .....	30
4.3	Uji Kolmogorov-Smirnov .....	31
4.4	Karakteristik Sistem Antrean.....	32
4.5	Analisis dengan Metode MKJI .....	37
4.5.1	Arus jenuh dasar ( $S_0$ ).....	38
4.5.2	Arus jenuh ( $S$ ).....	38
4.5.3	Waktu hijau dan waktu siklus .....	40
4.5.4	Kapasitas ( $C$ ) .....	42
4.5.5	Derajat kejenuhan ( $DS$ ) .....	42
4.5.6	Angka henti ( $NS$ ).....	43
4.5.7	Tundaan ( $D$ ).....	43

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN** ..... 47

5.1 Kesimpulan..... 47

5.2 Saran..... 48

**DAFTAR PUSTAKA** ..... 49





## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Nilai EMP Berbagai Jenis Kendaraan .....	14
Tabel 2.2 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota ( $F_{CS}$ ) .....	15
Tabel 2.3 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping ( $F_{SF}$ ) .....	16
Tabel 2.4 Kategori Tingkat Pelayanan.....	22
Tabel 4.1 Data Volume Kendaraan Total .....	30
Tabel 4.2 Uji Distribusi Tingkat Kedatangan Kendaraan.....	31
Tabel 4.3 Karakteristik Sitem Antrean pada Persimpangan Jalan Galunggung.....	35
Tabel 4.4 Hasil Penghitungan Arus Jenuh ( $S$ ) .....	38
Tabel 4.5 Rasio Arus Simpang ( $FR$ ).....	39
Tabel 4.6 Derajat Kejenuhan ( $DS$ ) .....	41
Tabel 4.7 Hasil Penghitungan Angka Henti ( $NS$ ).....	43
Tabel 4.8 Nilai Tundaan ( $D$ ).....	45





## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses Antrean .....	5
Gambar 2.2 <i>Single Channel Single Phase</i> .....	7
Gambar 2.3 <i>Single Channel Multi Phase</i> .....	7
Gambar 2.4 <i>Multi Channel Single Phase</i> .....	7
Gambar 2.5 <i>Multi Channel Multi Phase</i> .....	8
Gambar 2.6 Faktor Penyesuaian Gradien ( $F_G$ ).....	17
Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian .....	26





## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Data Jumlah Kendaraan ..... 51
Lampiran 2	Data Nilai Rata-rata Kendaraan ..... 101
Lampiran 3	Data Geometri Jalan dan Gambar Persimpangan Galunggung ..... 113
Lampiran 4	Data Waktu Lampu Sinyal, Waktu Siklus, dan Fase Sinyal..... 115
Lampiran 5	<i>Output</i> SPSS Uji Kolmogorov-Smirnov ..... 117





## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
$P_n$	Probabilitas terdapat ( $n$ ) pelanggan dalam sistem
$P_0$	Probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem
$\lambda$	Rata-rata tingkat kedatangan per satuan waktu
$\mu$	Rata-rata tingkat pelayanan per satuan waktu
$L_s$	Jumlah rata-rata pelanggan dalam sistem
$L_q$	Jumlah rata-rata pelanggan dalam antrian
$W_s$	Rata-rata waktu menunggu dalam sistem
$W_q$	Rata-rata waktu menunggu dalam antrian
$\rho$	Tingkat kegunaan fasilitas pelayanan
$LV$	<i>Light Vehicle</i> (kendaraan ringan)
$HV$	<i>Heavy Vehicle</i> (kendaraan berat)
$MC$	<i>Motorcycle</i> (sepeda motor)
$UM$	<i>Unmotorcycle</i> (kendaraan tak bermotor)
EMP	Ekuivalensi Mobil Penumpang
smp	satuan mobil penumpang
$Q$	Arus lalu lintas (smp/jam)
$LT$	Indeks untuk lalu lintas yang belok kiri
$LTOR$	Indeks untuk lalu lintas yang belok kiri langsung
$ST$	Indeks untuk lalu lintas yang lurus
$RT$	Indeks untuk lalu lintas yang belok kanan
$W_A$	Lebar pendekat (meter)
$W_e$	Lebar efektif (meter)
$W_{MASUK}$	Lebar masuk (meter)
$W_{KELUAR}$	Lebar keluar (meter)
$W_{LTOR}$	Lebar lajur lalu lintas belok kiri langsung (meter)
$S_0$	Arus jenuh dasar (smp/jam hijau)
$S$	Arus jenuh (smp/jam hijau)
$F_{CS}$	Faktor penyesuaian ukuran kota
$F_{SF}$	Faktor penyesuaian hambatan samping

$F_G$	Faktor penyesuaian gradien atau kelandaian jalan
$F_P$	Faktor penyesuaian parkir
$L_P$	Jarak antara garis henti dengan kendaraan yang parkir pertama (meter)
$G$	Waktu hijau sebenarnya (detik)
$F_{RT}$	Faktor penyesuaian belok kanan
$P_{RT}$	Rasio kendaraan belok kanan
$F_{LT}$	Faktor penyesuaian belok kiri
$P_{LT}$	Rasio kendaraan belok kiri
$c_{ua}$	Waktu siklus sebelum penyesuaian (detik)
$LTI$	Waktu hilang per siklus atau total waktu merah dan kuning tiap fase (detik)
$FR$	Rasio arus
$FR_{crit}$	Nilai $FR$ tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada suatu fase sinyal
$IFR$	Rasio arus simpang
$c$	Waktu siklus yang telah disesuaikan (detik)
$g$	Waktu hijau efektif (detik)
$C$	Kapasitas (smp/jam)
$DS$	Derajat kejenuhan
$D$	Tundaan (detik/smp)
$DT$	Rata-rata tundaan lalu lintas (detik/smp)
$DG$	Rata-rata tundaan geometri (detik/smp)
$D_I$	Tundaan seluruh simpang (detik/smp)
$GR$	Rasio waktu lampu hijau
$NQ$	Jumlah rata-rata antrean pada awal sinyal hijau (smp)
$NQ_1$	Jumlah smp yang tertinggal pada fase hijau sebelumnya (smp)
$NQ_2$	Jumlah smp yang datang selama fase merah (smp)
$NS$	Angka henti
$P_{SV}$	Rasio kendaraan terhenti pada suatu pendekat
$P_T$	Rasio kendaraan membelok pada suatu pendekat

## DAFTAR ISTILAH

Istilah	Keterangan
Simpang bersinyal	Persimpangan yang dikendalikan oleh sinyal atau lampu lalu lintas.
Simpang tak bersinyal	Persimpangan yang tidak dikendalikan oleh sinyal.
Pendekat	Daerah lengan/cabang persimpangan jalan untuk kendaraan menunggu keberangkatan sebelum keluar melewati garis henti.
Lebar pendekat ( $W_A$ )	Lebar bagian pendekat yang diperkeras, yang digunakan oleh lalu lintas buangan setelah melewati persimpangan jalan.
Lebar masuk ( $W_{MASUK}$ )	Lebar bagian pendekat yang diperkeras, diukur pada garis henti.
Lebar keluar ( $W_{KELUAR}$ )	Lebar bagian pendekat yang diperkeras, yang digunakan oleh lalu lintas buangan setelah melewati persimpangan jalan.
Lebar efektif ( $W_e$ )	Lebar bagian pendekat yang diperkeras (dengan pertimbangan terhadap $W_A$ , $W_{MASUK}$ , $W_{KELUAR}$ , dan gerakan membelok.
EMP (Ekuivalensi Mobil Penumpang)	Faktor dari berbagai tipe sehubungan dengan keperluan waktu hijau untuk keluar dari antrean apabila dibandingkan dengan sebuah kendaraan ringan.
smp (satuan mobil penumpang)	Satuan arus lalu lintas dari berbagai tipe kendaraan yang diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan faktor EMP.
Tipe O	Keberangkatan dengan konflik antara gerak belok kanan dan gerak lurus/belok kiri dari bagian pendekat dengan lampu hijau pada fase yang sama.

Tipe P	Keberangkatan tanpa konflik antara gerakan lalu lintas belok kanan dan lurus.
Arus jenuh ( $S$ )	Besarnya keberangkatan antrean di dalam suatu pendekat selama kondisi yang ditentukan.
Arus jenuh dasar ( $S_0$ )	Besarnya keberangkatan antrean di dalam suatu pendekat selama kondisi ideal.
Rasio arus ( $FR$ )	Rasio arus terhadap arus jenuh ( $Q/S$ ) dari suatu pendekat.
Rasio arus simpang ( $IFR$ )	Rasio arus kritis (tertinggi) untuk semua fase sinyal yang berurutan dalam satu siklus.
Kapasitas ( $C$ )	Jumlah arus maksimum yang dapat melewati suatu persimpangan.
Derajat kejenuhan ( $DS$ )	Nilai perbandingan antara arus lalu lintas yang ada pada setiap jalur dengan kapasitas dari masing-masing jalur pada persimpangan.
Tundaan ( $D$ )	Waktu tambahan yang diperlukan untuk melalui persimpangan jika dibandingkan dengan tanpa melalui suatu persimpangan.
Angka henti ( $NS$ )	Jumlah rata-rata berhenti per kendaraan (termasuk berhenti berulang-ulang dalam antrean).
Rasio kendaraan terhenti ( $P_{SV}$ )	Rasio dari arus lalu lintas yang terpaksa berhenti sebelum melewati garis henti akibat pengendalian sinyal.
Antar hijau ( $IG$ )	Periode jumlah waktu kuning dan semua merah antara dua fase sinyal yang berurutan.
Waktu hilang ( $LTI$ )	Jumlah semua periode antar hijau dalam siklus yang lengkap.

Sumber: *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997)*



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan kegiatan yang sangat penting dalam kehidupan manusia untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Dalam sebuah kiasan bahkan dikatakan bila transportasi berhenti maka kehidupan juga akan berhenti. Menurut Nasution (1996), transportasi diartikan sebagai pemindahan barang dan manusia dari tempat asal ke tempat tujuan. Dengan kata lain, transportasi dapat dikatakan sebagai pergerakan benda dari satu titik ke titik yang lain. Akibat adanya kebutuhan transportasi, maka timbullah tuntutan untuk menyediakan sarana dan prasarana yang memadai agar pergerakan tersebut berlangsung dengan aman, nyaman, dan lancar. Akan tetapi, terkadang berbagai masalah muncul berkaitan dengan transportasi, salah satunya adalah kemacetan lalu lintas yang terjadi di daerah persimpangan.

Kemacetan timbul akibat adanya konflik pergerakan yang ada di persimpangan. Menurut Warpani (1985), persimpangan menempati proporsi utama dalam hal hambatan perjalanan. Penggunaan lampu lalu lintas sebagai alat kendali arus merupakan solusi yang cukup efisien dalam mengatasi masalah tersebut. Persimpangan jalan yang dikendalikan oleh lampu lalu lintas disebut sebagai simpang bersinyal. Meskipun telah dikendalikan oleh lampu lalu lintas, antrean kendaraan masih akan terjadi di persimpangan jika jumlah kendaraan pada simpang tersebut besar. Akibatnya, tingkat pelayanan akan berkurang dan merugikan pengguna jalan.

Kota Malang memiliki cukup banyak titik kemacetan, baik di persimpangan bersinyal maupun tidak. Berdasarkan pengamatan, persimpangan Jalan Galunggung merupakan salah satu contoh persimpangan bersinyal di Kota Malang yang sering mengalami kemacetan. Besarnya volume kendaraan di simpang tersebut dan penerapan fase lampu lalu lintas yang kurang tepat menjadi penyebab terjadinya penumpukan kendaraan. Kejadian yang menarik

perhatian adalah dalam fase yang sama lampu hijau di kedua lengan yang saling berlawanan menyala hampir bersamaan. Hal ini tentunya akan mempengaruhi kelancaran arus belok kanan pada setiap lengan dan menimbulkan tumpukan kendaraan, serta mengganggu arus berangkat pada fase lampu hijau berikutnya.

Ilmu matematika memiliki peran besar dalam mengatasi masalah yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari, misalnya teori antrean dan teori transportasi. Berbagai model antrean dan metode transportasi telah banyak dikembangkan dan seringkali kedua teori tersebut dikolaborasikan untuk menyelesaikan masalah kemacetan. Metode transportasi yang cukup terkenal adalah metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) yang dibahas dalam buku terbitan Direktorat Jenderal Bina Marga Jakarta (1993) yang kemudian diperbarui pada tahun 1997.

Pada penelitian sebelumnya, Gaus (2011) menggunakan teori antrean untuk menentukan model lama waktu tunggu kendaraan dalam antrean dengan pola kedatangan kendaraan tertentu di persimpangan lampu lalu lintas. Selanjutnya, Babicheva (2015) dalam artikelnya menggunakan teori antrean pada penelitian dan optimalisasi lalu lintas persimpangan jalan bersinyal. Berikutnya pada tahun yang sama, Putri (2015) menggunakan model antrean  $M/D/1$  dan metode MKJI untuk menganalisis tingkat pelayanan persimpangan jalan dengan studi kasus persimpangan ITN Kota Malang. Kemudian pada skripsi ini, penelitian yang dilakukan oleh Putri (2015) digunakan sebagai bahan acuan dengan melakukan pengembangan terhadap penggunaan model antrean yang digunakan.

Perbedaan skripsi ini dengan skripsi sebelumnya terletak pada pengaplikasian model antrean yang dilakukan pada studi kasus yang berbeda. Pada skripsi ini, akan dibahas bagaimana karakteristik antrean pada persimpangan jalan bersinyal menggunakan model antrean  $M/D/1$ , kemudian dilakukan analisis terhadap tingkat pelayanan pada persimpangan tersebut menggunakan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia dengan studi kasus persimpangan Jalan Galunggung. Karakteristik antrean yang dimaksud, meliputi tingkat

kegunaan fasilitas pelayanan, jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem, jumlah rata-rata kendaraan dalam antrean, rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam sistem, dan rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam antrean. Data yang dibutuhkan dalam skripsi ini, meliputi jumlah kendaraan yang melewati persimpangan, geometri jalan, fase lampu lalu lintas, dan waktu siklus. Harapannya, hasil dari skripsi ini dapat menjadi perbandingan terhadap skripsi sebelumnya dan dimanfaatkan untuk memperbaiki kinerja persimpangan jalan bersinyal di Kota Malang.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik antrean pada persimpangan jalan Galunggung menggunakan model antrean  $M/D/1$ ?
2. Bagaimana tingkat pelayanan persimpangan jalan Galunggung berdasarkan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)?

## **1.3 Asumsi**

Asumsi-asumsi yang digunakan pada penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Karakteristik antrean dan tingkat pelayanan simpang yang diperoleh hanya berlaku saat hari normal atau hari kerja. Hasil berbeda akan ditunjukkan saat hari libur atau saat ada kegiatan besar tertentu di sekitar simpang.
2. Tingkat kedatangan kendaraan bersifat acak.
3. Kapasitas sistem dan antrean tidak terbatas.
4. Pengguna jalan mematuhi peraturan lalu lintas.
5. Pejalan kaki dan kendaraan tidak bermotor diabaikan.

#### 1.4 Batasan Masalah

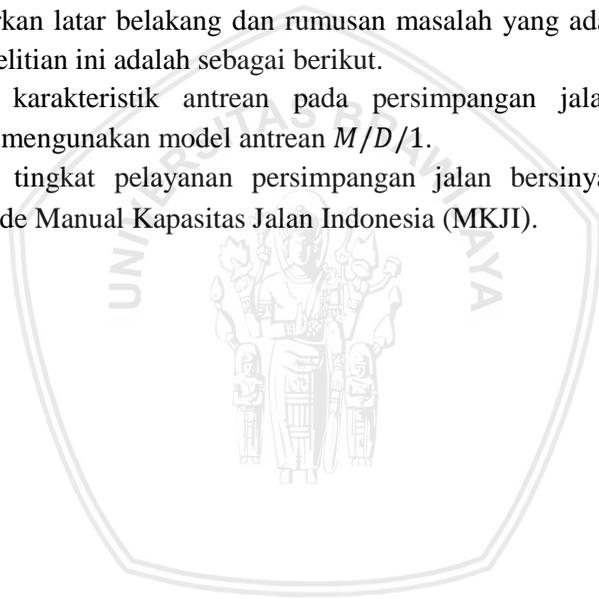
Batasan masalah dalam skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Pengambilan data dilakukan pada waktu sibuk, yaitu saat jam berangkat kerja/sekolah dan jam pulang kerja/sekolah.
2. Persimpangan hanya dikendalikan oleh lampu lalu lintas sebagai penentu waktu tunggu.
3. Pelayanan persimpangan bergantung pada kapasitas simpang, derajat kejenuhan, tundaan, dan arus total.

#### 1.5 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang ada, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik antrean pada persimpangan jalan Galunggung menggunakan model antrean  $M/D/1$ .
2. Menentukan tingkat pelayanan persimpangan jalan bersinyal dengan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).



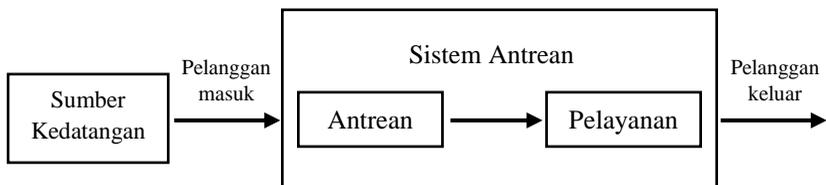
## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Antrean

Analisis antrean pertama kali diperkenalkan oleh Agner Kraup Erlang pada tahun 1909. A. K. Erlang merupakan seorang insinyur dan ahli matematika berkebangsaan Denmark yang bekerja di suatu perusahaan telepon di Kopenhagen. Erlang melakukan penelitian tentang fluktuasi permintaan fasilitas telepon yang berhubungan dengan peralatan penyambungan telepon secara otomatis. Menurut Mulyono (2017), analisis antrean dapat memberikan informasi probabilitas yang dinamakan *operating characteristics*, yang dapat membantu pengambil keputusan dalam merancang fasilitas pelayanan antrean untuk mengatasi permintaan pelayanan yang fluktuatif secara acak dan menjaga keseimbangan antara biaya pelayanan dan biaya menunggu.

Antrean merupakan barisan pelanggan yang sedang menunggu untuk mendapatkan pelayanan yang diinginkan. Istilah pelanggan bukan hanya mengarah kepada manusia, tetapi bisa juga ditujukan untuk barang-barang, misalnya paket yang menunggu giliran dikirimkan. Dalam praktiknya, antrean membentuk suatu sistem yang merupakan himpunan pelanggan, pelayanan, dan aturan. Proses antrean dimulai dari kedatangan pelanggan dalam sistem, menunggu untuk dilayani, dan meninggalkan sistem setelah mendapatkan pelayanan. Gambaran terhadap proses antrean ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut.



**Gambar 2.1** Proses Antrean

### 2.1.1 Klasifikasi sistem antrean

Antrean merupakan fenomena yang sering kali terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Menurut Hillier dan Lieberman (2005), terdapat berbagai contoh sistem antrean yang sering dijumpai, yaitu:

#### 1. Sistem pelayanan komersial

Sistem pelayanan komersial melibatkan pelanggan yang menerima pelayanan dari organisasi komersial maupun pelayanan dari orang ke orang. Contoh sistem pelayanan komersial adalah kasir swalayan, pelayanan di SPBU, pelayanan pada *teller bank*, dan lain sebagainya.

#### 2. Sistem pelayanan transportasi

Sistem antrean pada pelayanan transportasi merupakan sistem antrean yang berkaitan dengan transportasi, di mana kendaraan bertindak sebagai pelanggan. Contoh sistem pelayanan transportasi adalah mobil yang menunggu giliran jalan di persimpangan bersinyal, kapal yang menunggu bongkar muatan, pesawat yang menunggu *take off*, dan lain sebagainya.

#### 3. Sistem pelayanan bisnis dan industri

Contoh sistem pelayanan bisnis dan industri adalah antrean bahan baku yang akan diproses pada sistem produksi, di mana mesin bertindak sebagai *server* dan bahan baku merupakan pelanggan yang mengantre.

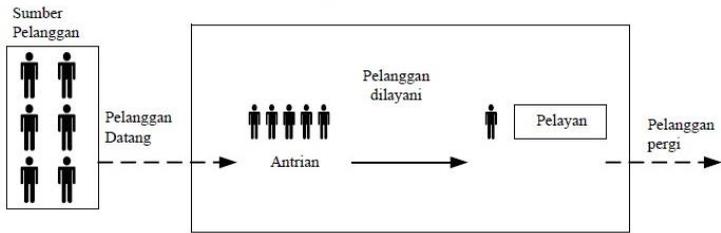
#### 4. Sistem pelayanan sosial

Teori antrean berlaku juga dalam sistem pelayanan sosial. Sistem pelayanan sosial merupakan sistem pelayanan yang dikelola oleh kantor dan perusahaan lokal maupun nasional, seperti kantor registrasi SIM dan STNK, kantor pos, kantor imigrasi, rumah sakit, dan lain-lain.

### 2.1.2 Struktur antrean

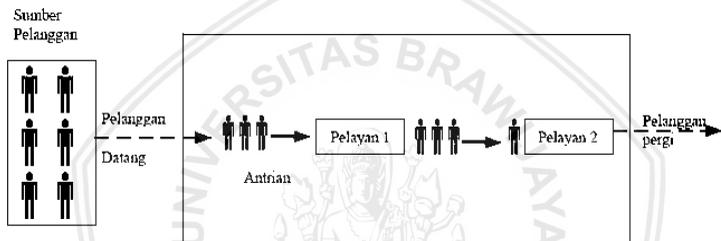
Menurut Heizer dan Render (2004), berdasarkan susunan *channel*, proses antrean dibagi menjadi empat struktur sebagai berikut.

1. *Single channel single phase*, yaitu sistem antrean satu jalur pelayanan dengan satu tahapan pelayanan.



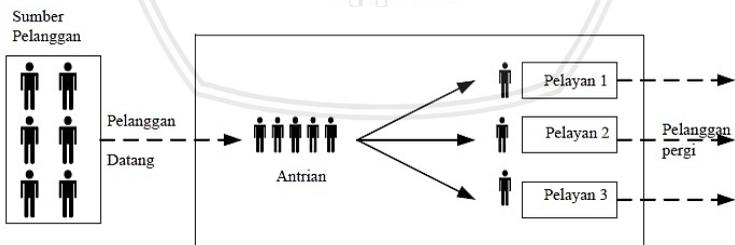
**Gambar 2.2** *Single Channel Single Phase*

2. *Single channel multi phase*, yaitu sistem antrean satu jalur pelayanan dengan dua atau lebih tahapan pelayanan.



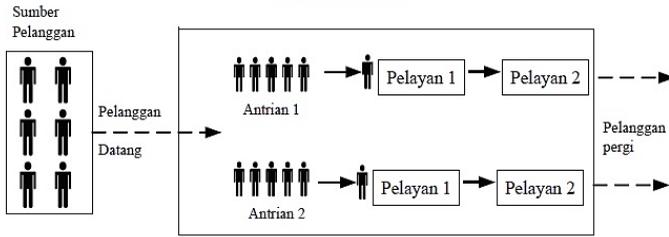
**Gambar 2.3** *Single Channel Multi Phase*

3. *Multi channel single phase*, yaitu sistem antrean yang memiliki dua atau lebih jalur pelayanan dengan satu tahapan pelayanan.



**Gambar 2.4** *Multi Channel Single Phase*

4. *Multi channel multi phase*, yaitu sistem antrean yang memiliki dua atau lebih jalur dan tahapan pelayanan.



**Gambar 2.5** *Multi Channel Multi Phase*

### 2.1.3 Disiplin antrean

Disiplin antrean merupakan aturan pelayanan pelanggan dalam antrean yang menjadi acuan bagi fasilitas pelayanan. Bentuk disiplin antrean yang terjadi tentu bermacam-macam. Menurut Taha (2007), terdapat beberapa disiplin antrean yang cukup dikenal dan mudah ditemui dalam kehidupan sehari-hari, yaitu sebagai berikut.

- 1) *First Come First Serve* (FCFS) atau *First In First Out* (FIFO), yaitu pelayanan yang didasarkan pada urutan pertama kedatangan pelanggan, di mana yang pertama datang akan dilayani terlebih dahulu. Contohnya, antrean kendaraan ketika membayar tiket tol.
- 2) *Last Come First Serve* (LCFS), yaitu pelanggan yang terakhir datang akan mendapatkan pelayanan terlebih dahulu. Contohnya, sistem bongkar muat barang dalam truk kontainer.
- 3) *Service in Random Order* (SIRO), yaitu pelayanan dilakukan secara acak tanpa melihat waktu kedatangan pelanggan yang pertama maupun terakhir. Contohnya, antrean kendaraan keluar dari lahan parkir, pelanggan yang pertama keluar belum tentu yang pertama masuk lahan parkir.
- 4) *Priority*, yaitu pelayanan pertama diberikan kepada pelanggan yang diprioritaskan. Contohnya, tamu VIP (*Very Important Person*) yang tidak perlu melewati antrean untuk mendapatkan pelayanan. Contoh lain, yaitu sistem *Valet Parking*.

#### 2.1.4 Notasi Kendal-Lee

Menurut Taha (2007), model antrean awalnya dirancang oleh D. G. Kendal sekitar tahun 1953 dalam bentuk  $(a/b/c)$  yang dikenal sebagai notasi Kendal. Kemudian pada tahun 1966, A. M. Lee menambahkan simbol  $d$ ,  $e$ , dan  $f$  pada notasi Kendal, sehingga disebut dengan notasi Kendal-Lee. Notasi ini adalah notasi baku untuk model antrean. Bentuk umum Notasi Kendal-Lee adalah sebagai berikut.

$$(a/b/c) : (d/e/f),$$

dengan huruf-huruf tersebut menyatakan karakteristik sistem:

- $a$  : distribusi waktu kedatangan,
- $b$  : distribusi waktu pelayanan,
- $c$  : jumlah *server* atau fasilitas pelayanan ( $c = 1,2,3, \dots, \infty$ ),
- $d$  : disiplin pelayanan (FCFS, LCFS, SIRO, dan lain-lain),
- $e$  : kapasitas sistem dapat melayani pelanggan,
- $f$  : jumlah populasi.

Selain itu, terdapat keterangan tambahan pada notasi Kendal-Lee, yaitu simbol  $a$  dan  $b$  diganti dengan distribusi waktu kedatangan dan waktu pelayanan dengan simbol-simbol sebagai berikut.

- $M$  : distribusi kedatangan atau keberangkatan Poisson (distribusi antar waktu kedatangan atau waktu pelayanan eksponensial yang setara),
- $D$  : waktu antar kedatangan atau waktu pelayanan konstan (deterministik),
- $E_k$  : waktu antar kedatangan atau waktu pelayanan berdistribusi Erlang dengan parameter  $k$ ,
- $GI$  : distribusi umum dari waktu antar kedatangan,
- $G$  : distribusi umum dari waktu pelayanan.

#### 2.1.5 Karakteristik sistem antrean

Menurut Taha (2007), karakteristik dari suatu sistem antrean dinyatakan dalam notasi-notasi berikut.

1. Probabilitas dalam sistem

$P_n$  adalah probabilitas terdapat ( $n$ ) pelanggan dalam sistem, sedangkan  $P_0$  adalah probabilitas tidak ada pelanggan dalam sistem.

2. Parameter utama

Parameter utama dalam antrian adalah kedatangan dan pelayanan. Rata-rata tingkat kedatangan per satuan waktu dilambangkan dengan  $\lambda$ , sedangkan rata-rata tingkat pelayanan per satuan waktu dilambangkan dengan  $\mu$ . Tingkat kedatangan dan pelayanan terjadi secara acak.

3. Jumlah rata-rata pelanggan dalam sistem

Jumlah rata-rata pelanggan dalam sistem dilambangkan dengan  $L_s$ , yaitu hubungan antara jumlah pelanggan yang antri ( $\mu$ ) dan berbagai probabilitas yang terjadi seluruhnya. Secara matematis, jumlah rata-rata pelanggan dalam sistem dinyatakan sebagai berikut.

$$L_s = \sum_{n=0}^{\infty} nP_n.$$

4. Jumlah rata-rata pelanggan dalam antrian

Jumlah rata-rata pelanggan dalam antrian dilambangkan dengan  $L_q$ , yaitu selisih antara jumlah rata-rata pelanggan dalam sistem dan rata-rata tingkat kedatangan dibanding dengan rata-rata tingkat pelayanan. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$L_q = L_s - \frac{\lambda}{\mu}.$$

5. Rata-rata waktu menunggu pelanggan dalam sistem

Rata-rata waktu menunggu pelanggan dalam sistem dilambangkan dengan  $W_s$ , yaitu hubungan antara banyaknya pelanggan dalam sistem dibandingkan dengan rata-rata tingkat kedatangan pelanggan. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda}.$$

6. Rata-rata waktu menunggu pelanggan dalam antrian  
Rata-rata waktu menunggu pelanggan dalam antrian dilambangkan dengan  $W_q$ , yaitu hubungan antara banyaknya pelanggan dalam antrian dibandingkan dengan rata-rata tingkat kedatangan pelanggan dan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}.$$

### 2.1.6 Model antrian $M/D/1$

Menurut Taha (2003), asumsi untuk model antrian  $M/D/1$  adalah sebagai berikut.

1. Pelanggan yang menunggu pelayanan membentuk satu jalur yang akan dilayani pada stasiun pelayanan yang tersedia.
2. Pola kedatangan mengikuti distribusi Poisson.
3. Pola pelayanan atau keberangkatan berdistribusi konstan.
4. Disiplin antrian yang digunakan adalah secara umum ( $GD$ ), artinya bisa  $FIFO$ ,  $LCFS$ , ataupun  $SIRO$ .

Anggaplah  $\lambda$  merupakan laju kedatangan di sebuah sarana dengan satu tahap pelayanan dan juga diketahui  $E\{t\}$  dan  $var\{t\}$  sebagai mean dan varians dari distribusi waktu pelayanan. Hubungan tersebut dapat diperlihatkan menggunakan analisis rantai probabilitas/Markov bahwa

$$L_s = \lambda E\{t\} + \frac{\lambda^2 (E^2\{t\} + var\{t\})}{2(1 - \lambda E\{t\})},$$

dengan  $\lambda E\{t\} < 1$ . Ekspresi ini dikenal sebagai rumus **Pollaczek-Khintchine** ( $P - K$ ). Berdasarkan rumus tersebut, dapat diperoleh ukuran kinerja lainnya, seperti:

$$L_q = L_s - \lambda E\{t\}.$$

Dengan diketahui bahwa laju pelayanan  $\mu = \frac{1}{E\{t\}}$  yang diperoleh dari  $\lambda E\{t\} = \rho < 1$ , sehingga

$$\lambda E\{t\} = \frac{\lambda}{\mu}$$

dengan kata lain

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Untuk kasus waktu pelayanan mendekati konstan seperti model antrian  $M/D/1$ ,  $var\{t\} = 0$  dan rumus  $P - K$  dapat disederhanakan menjadi

$$L_s = \rho + \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)}, \quad (2.1)$$

sehingga

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda}, \quad (2.2)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho}{2\mu(1 - \rho)}, \quad (2.3)$$

$$L_q = W_q \times \lambda, \quad (2.4)$$

Probabilitas tidak ada pelayanan dalam sistem adalah

$$P_0 = 1 - \rho,$$

dengan rumus dasar

$$P_n = \rho^n(1 - \rho).$$

## 2.2 Distribusi Poisson

Menurut Walpole dkk (2012), percobaan yang menghasilkan nilai-nilai suatu peubah acak  $X$ , yaitu banyaknya hasil percobaan yang terjadi selama selang waktu tertentu disebut percobaan Poisson, sedangkan distribusi probabilitasnya disebut distribusi Poisson. Pada teori antrian, misal peubah acak  $X$  adalah banyaknya pelanggan yang datang, maka distribusi Poisson dengan peubah acak  $X$  yang terjadi dalam selang waktu tertentu dinyatakan sebagai berikut.

$$P(X, \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}; \lambda > 0,$$

keterangan:

$P(X, \lambda)$  : probabilitas terdapat  $x$  pelanggan,

$\lambda$  : tingkat kedatangan pelanggan,

$e$  : nilai eksponensial ( $e = 2,718 \dots$ ),

$x$  : bilangan bulat tak negatif ( $0,1,2,3, \dots$ ).

### 2.3 Uji Kolmogorov-Smirnov

Menurut Walpole dkk (2012), hipotesis statistik adalah pernyataan atau dugaan mengenai satu atau lebih populasi. Hipotesis dengan harapan ditolak dinamakan hipotesis nol dan dilambangkan dengan  $H_0$ , sedangkan penerima hipotesis alternatif dilambangkan dengan  $H_1$ . Salah satu cara menguji hipotesis statistik adalah dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Uji Kolmogorov-Smirnov atau sering disebut *goodness of fit* merupakan suatu uji kecocokan atau keselarasan. Uji ini memusatkan perhatian pada dua buah fungsi distribusi kumulatif, yaitu fungsi distribusi kumulatif teoritis sesuai hipotesis dan fungsi distribusi kumulatif sampel. Berikut tahapan dalam uji Kolmogorov-Smirnov.

1. Menentukan  $H_0$  dan  $H_1$ .
2. Menentukan distribusi kumulatif sampel  $F_S$  dan distribusi kumulatif teoritis hipotesis  $F_t$ .
3. Menghitung  $|F_t - F_S|$ .
4. Menentukan nilai maksimum  $D_N = \max |F_t - F_S|$ .
5. Menentukan nilai kepercayaan  $\alpha$ .
6. Menentukan nilai dari  $D_n$  pada tabel Kolmogorov-Smirnov. Jika  $D_N > D_n$ , maka  $H_0$  diterima dan data mengikuti pola distribusi sesuai hipotesis.

Untuk mempermudah pengujian, uji sampel Kolmogorov-Smirnov dapat dilakukan dengan bantuan *software* SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*).

### 2.4 Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)

Menurut Anonim (1997), sebelum didasarkan pada MKJI, pedoman yang digunakan di Indonesia berdasarkan pada manual dari Eropa dan USA. Penelitian yang dilaksanakan di Institut Teknologi Bandung (ITB S2 STJR) pada tahun delapan puluhan menunjukkan bahwa penggunaan manual barat menimbulkan hasil yang tidak sesuai karena komposisi lalu lintas, perilaku pengemudi, dan perkembangan samping jalan di Indonesia sangat berbeda. Hal inilah

yang menjadi latar belakang adanya proyek Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) yang dilaksanakan pada tahun 1991 sampai dengan 1996. MKJI bersifat fleksibel, artinya selalu mengikuti perkembangan jaman dan selalu dilakukan pembaruan. Pembaruan terakhir dilakukan untuk menggantikan MKJI sementara tahun 1996 dan diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Indonesia pada tahun 1997 yang dapat digunakan hingga sekarang.

Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) merupakan pedoman dalam perancangan, perencanaan, dan operasional jalan raya di Indonesia. Secara spesifik, MKJI digunakan sebagai pedoman dalam melakukan rekayasa lalu lintas terhadap persimpangan. Rekayasa dilakukan untuk memperoleh sistem operasi yang sesuai dengan keadaan lalu lintas di persimpangan.

Menurut Hobbs (1995), persimpangan adalah titik simpul dari beberapa jalan yang arusnya saling bertemu, kemudian berpecah menjauh. Titik simpul ini menjadi tempat yang seringkali terjadi konflik pergerakan. Munculnya konflik tersebut dapat menimbulkan berbagai dampak, misalnya kemacetan dan kecelakaan. Oleh karena itu, perlu ditetapkan aturan lalu lintas untuk menentukan arus atau arah pergerakan setiap jalan dengan waktu tertentu. Persimpangan dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu persimpangan bersinyal dan tak bersinyal. Persimpangan bersinyal merupakan persimpangan yang dikendalikan oleh sinyal lalu lintas, begitu juga sebaliknya.

#### **2.4.1 Arus lalu lintas**

Menurut Anonim (1997), arus lalu lintas merupakan jumlah kendaraan pada suatu jalur pada periode waktu tertentu. Jika arus lalu lintas meningkat, maka waktu tempuh pasti bertambah karena kecepatan kendaraan menurun. Arus lalu lintas maksimum yang dapat melewati suatu jalur disebut kapasitas jalur.

Perhitungan arus lalu lintas didasarkan pada waktu-waktu tertentu dalam beberapa periode, misalnya didasarkan pada kondisi arus lalu lintas jam puncak pagi, siang, dan sore hari. Satuan arus

lalu lintas masing-masing pergerakan kendaraan (belok kiri, lurus, atau belok kanan) dikonversi dari kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) sebagai faktor pengalinya, untuk arus yang berpotongan maupun yang tidak berpotongan. Nilai EMP untuk berbagai jenis kendaraan ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2.1** Nilai EMP Berbagai Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	EMP per tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan ringan	1,0	1,0
Kendaraan berat	1,3	1,3
Sepeda motor	0,2	0,4

#### 2.4.2 Arus jenuh dasar

Menurut Djohar (1984), arus jenuh dasar adalah banyak kendaraan yang dapat meninggalkan persimpangan saat fase lampu hijau. Berdasarkan MKJI, hubungan antara arus jenuh dasar dan lebar jalan dirumuskan

$$S_0 = W_e \times 600, \quad (2.5)$$

dengan  $S_0$  adalah notasi untuk arus jenuh dasar dan  $W_e$  adalah lebar efektif pendekat yang diperoleh dari pertimbangan terhadap  $W_A$ ,  $W_{MASUK}$ ,  $W_{KELUAR}$ , dan gerakan membelok.

#### 2.4.3 Faktor-faktor penyesuaian

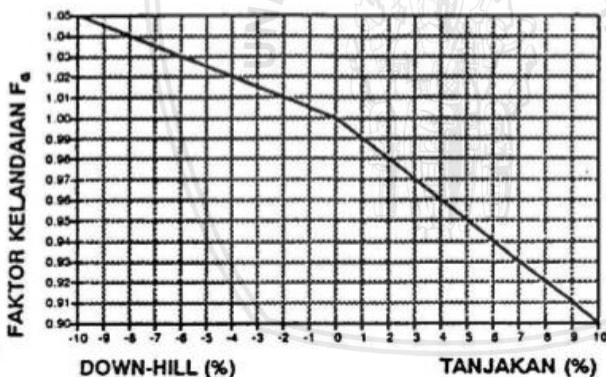
Menurut Anonim (1997), faktor penyesuaian merupakan koreksi terhadap arus jenuh agar sesuai dengan kondisi di lapangan. Faktor penyesuaian ini, meliputi ukuran kota, hambatan samping, gradien, parkir, belok kanan, dan belok kiri. Penentuan faktor penyesuaian dilakukan pada masing-masing pendekat. Berikut adalah penjelasan mengenai faktor-faktor penyesuaian.

1. Faktor penyesuaian ukuran kota ( $F_{CS}$ ) bergantung pada jumlah penduduk pada suatu wilayah. Penentuan  $F_{CS}$  ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

**Tabel 2.2** Faktor Penyesuaian Ukuran Kota ( $F_{CS}$ )

Populasi kota (juta jiwa)	Faktor penyesuaian ukuran kota ( $F_{CS}$ )
> 3,0	1,05
1,0 – 3,0	1,00
0,5 – 1,0	0,94
0,1 – 0,5	0,83
< 0,1	0,82

2. Faktor penyesuaian gradien atau kelandaian jalan ( $F_G$ ) bergantung pada kemiringan jalan, tanjakan, maupun turunan dalam bentuk persentase. Penentuan  $F_G$  ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut.



**Gambar 2.6** Faktor Penyesuaian Gradien ( $F_G$ )

Pada Gambar 2.6, sumbu  $X$  atau garis horizontal mewakili adanya tanjakan atau *down-hill* dalam bentuk persentase, sedangkan sumbu  $Y$  atau garis vertikal mewakili nilai  $F_G$ . Misalkan, melalui sebuah pengamatan terhadap suatu pendekatan diperoleh adanya tanjakan sebesar 1%, maka berdasarkan Gambar 2.6 nilai  $F_G$  pada pendekatan tersebut adalah 0,99.

3. Faktor penyesuaian parkir ( $F_P$ ) ditentukan oleh jarak parkir kendaraan pada garis henti yang menjadi batas bagi kendaraan berhenti di suatu pendekat. Selain itu,  $F_P$  juga dipengaruhi oleh lebar jalur. Penentuan  $F_P$  dirumuskan sebagai berikut.

$$F_P = \frac{\left[ \frac{L_P}{3} (W_A - 2) \times \frac{L_P - G}{W_A} \right]}{G} \quad (2.6)$$

4. Faktor penyesuaian hambatan samping ( $F_{SF}$ ) bergantung pada tipe lingkungan jalan, tingkat friksi samping, dan rasio kendaraan tak bermotor. Tipe lingkungan jalan dikategorikan berdasarkan kawasan perdagangan, permukiman, dan akses terbatas. Penentuan  $F_{SF}$  ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut.

**Tabel 2.3** Faktor Penyesuaian Hambatan Samping ( $F_{SF}$ )

Tipe lingkungan	Friksi samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥ 0,25
Komersial	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Tinggi	Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
	Sedang	Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
	Rendah	Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
	Tinggi	Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
	Sedang	Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
	Rendah	Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses terbatas	Tinggi/ sedang/ rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

5. Faktor penyesuaian belok kanan ( $F_{RT}$ ) bergantung pada rasio kendaraan belok kanan ( $P_{RT}$ ) dan dirumuskan

$$F_{RT} = 1 + P_{RT} \times 0,26, \quad (2.7)$$

dengan  $P_{RT} = \frac{Q_{RT}}{Q}$ .

6. Faktor penyesuaian belok kiri ( $F_{LT}$ ) bergantung pada rasio kendaraan belok kiri ( $P_{LT}$ ) dan dirumuskan

$$F_{LT} = 1 - P_{LT} \times 0,16, \quad (2.8)$$

dengan  $P_{LT} = \frac{Q_{LT}}{Q}$ .

#### 2.4.4 Arus jenuh

Menurut Anonim (1997), arus jenuh adalah banyak kendaraan yang dapat meninggalkan persimpangan saat fase lampu hijau setelah dikoreksi menggunakan faktor-faktor penyesuaian. Arus jenuh dipengaruhi oleh arus jenuh dasar, maka perlu dihitung terlebih dahulu arus jenuh dasar pada setiap pendekat. Secara matematis penentuan arus jenuh dirumuskan

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT}. \quad (2.9)$$

### 2.5 Fase Lampu Lalu Lintas

Pengaturan arus lalu lintas di persimpangan yang dibantu oleh sebuah sinyal atau yang lebih dikenal dengan lampu lalu lintas sangat dipengaruhi oleh penerapan fase sinyal. Umumnya, fase sinyal mempunyai dampak yang besar pada tingkat kinerja dan keselamatan pada persimpangan. Menurut Anonim (1997), fase sinyal adalah bagian dari siklus sinyal dengan lampu hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas.

#### 2.5.1 Pola fase gerak kendaraan

Pola fase gerak kendaraan adalah pola atau aturan fase keberangkatan pada suatu jalur. Fase gerak kendaraan (lurus, belok kiri, atau belok kanan) dapat diatur sama maupun berbeda. Menurut

Anonim (1997), berikut penjelasan dua jenis pola fase gerak kendaraan.

1. Tipe O (arus berangkat terlawan)  
Tipe ini ditandai dengan adanya gerak kendaraan saling berpotongan dengan fase sama pada jalur berbeda.
2. Tipe P (arus berangkat terlindung)  
Tipe ini ditandai dengan tidak adanya gerak kendaraan saling berpotongan dengan fase sama pada jalur berbeda.

### 2.5.2 Waktu siklus dan waktu hijau efektif

Penentuan waktu siklus sebelum penyesuaian untuk pengendalian waktu tetap mengikuti aturan pada metode MKJI dengan pemodelan yang didasarkan pada minimalisasi seluruh estimasi hambatan kendaraan pada persimpangan. Jika waktu siklus terlalu besar atau bernilai negatif, maka simpang mengalami kondisi lewat jenuh. Waktu siklus sebelum penyesuaian dirumuskan dengan

$$c_{ua} = \frac{1,5 \times LTI + 5}{1 - IFR}, \quad (2.10)$$

keterangan

*LTI* : waktu hilang per siklus atau total waktu merah dan kuning tiap fase (detik),

*IFR* : rasio arus persimpangan, yaitu jumlah nilai tertinggi dari *FR*.  
Waktu siklus yang disesuaikan dihitung berdasarkan rumus

$$c = \sum g + LTI. \quad (2.11)$$

Jika waktu siklus sebenarnya lebih kecil dari nilai *c*, maka terdapat risiko terjadi kondisi lewat jenuh pada persimpangan tersebut.

Menurut Anonim (1997), waktu hijau efektif adalah waktu dalam satu fase waktu siklus yang efektif untuk melakukan pergerakan. Waktu hijau dirumuskan

$$g = (c_{ua} - LTI) \times \frac{FR_{crit}}{\sum(FR_{crit})}. \quad (2.12)$$

Menurut MKJI, waktu hijau yang lebih pendek dari 10 detik harus dihindari. Hal ini dilakukan karena waktu hijau yang pendek dapat

mengakibatkan pelanggaran lampu merah yang berlebihan dan kesulitan bagi pejalan kaki untuk menyeberang.

## 2.6 Angka Henti

Menurut Anonim (1997), angka henti adalah jumlah berhenti rata-rata per-kendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrian) sebelum melewati persimpangan dan dirumuskan sebagai

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600. \quad (2.13)$$

Angka henti dipengaruhi oleh jumlah rata-rata antrian smp pada awal sinyal hijau ( $NQ$ ) yang dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya ( $NQ_1$ ) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah ( $NQ_2$ ). Berikut adalah rumusnya.

$$NQ = NQ_1 + NQ_2, \quad (2.14)$$

dengan

$$NQ_1 = 0,25C(DS - 1) + \left( \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8(DS - 0,5)}{C}} \right), \quad (2.15)$$

untuk  $DS > 0,5$ ; selain dari itu maka  $NQ_1 = 0$ , dan

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600}. \quad (2.16)$$

## 2.7 Kapasitas

Menurut Anonim (1997), kapasitas adalah jumlah arus maksimum yang dapat melewati suatu persimpangan. Kapasitas memiliki peran yang sangat penting dalam menciptakan efektivitas penggunaan jalan. Pada umumnya, rekayasa lalu lintas dilakukan untuk memaksimalkan kapasitas suatu jalan. Kapasitas sebuah jalur pada persimpangan yang menggunakan lampu lalu lintas dirumuskan

$$C = S \times \frac{g}{c}. \quad (2.17)$$

Biasanya kapasitas persimpangan diasumsikan 1800 kendaraan per jam untuk satu jalur (Babicheva, 2015).

## 2.8 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan ( $DS$ ) adalah nilai perbandingan antara arus lalu lintas yang ada pada setiap jalur dengan kapasitas dari masing-masing jalur pada persimpangan. Menurut Anonim (1997), batas derajat kejenuhan adalah 0,85. Jika nilai derajat kejenuhan suatu jalur melebihi batas, maka arus jalur tersebut dikatakan terlalu jenuh, sebaliknya jika nilai derajat kejenuhannya kurang dari batas, maka arus jalurnya dikatakan tidak jenuh. Derajat kejenuhan dirumuskan

$$DS = \frac{Q}{C} = \frac{(Q \times c)}{(S \times g)} \quad (2.18)$$

## 2.9 Tundaan

Menurut Anonim (1997), tundaan adalah waktu tambahan yang diperlukan untuk melalui persimpangan jika dibandingkan dengan tanpa melalui suatu persimpangan. Tundaan rata-rata pada persimpangan dirumuskan

$$D = DT + DG \quad (2.19)$$

Terdapat dua faktor penyebab tundaan di persimpangan, yaitu

### 1. Tundaan lalu lintas

Tundaan lalu lintas ( $DT$ ) adalah waktu tunggu kendaraan akibat adanya hambatan dari gerakan lalu lintas yang lain. Tundaan lalu lintas rata-rata pada sebuah jalur dirumuskan sebagai berikut.

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1 - GR)^2}{(1 \times GR \times DS)} \quad (2.20)$$

dengan

$GR$  : rasio waktu lampu hijau, yaitu perbandingan antara waktu hijau sebenarnya dan waktu siklus,  $GR = G/c$ .

### 2. Tundaan geometri

Tundaan geometri ( $DG$ ) diakibatkan faktor geometri jalan yang menghambat perambatan dan kecepatan kendaraan ketika melakukan belokan pada suatu persimpangan. Tundaan geometri rata-rata untuk suatu persimpangan dirumuskan

$$DG = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4), \quad (2.21)$$

dengan

$P_{SV}$  : proporsi kendaraan berhenti pada suatu pendekat,

$$P_{SV} = \min(NS, 1). \quad (2.22)$$

$P_T$  : proporsi kendaraan belok pada suatu pendekat.

Selanjutnya, dapat ditentukan tundaan rata-rata untuk seluruh simpang yang disimbolkan dengan  $D_I$ , yaitu dengan menggunakan persamaan berikut.

$$D_I = \frac{\sum(Q \times D)}{Q_{TOT}}. \quad (2.23)$$

Tundaan memiliki dampak yang kurang efektif bagi lalu lintas, yaitu dapat mengurangi tingkat pelayanan suatu persimpangan. Besarnya nilai tundaan akan mempengaruhi kapasitas jalan untuk menampung kendaraan yang akan melewati persimpangan. Berdasarkan MKJI, tingkat pelayanan persimpangan bergantung pada besar hambatan yang terjadi, karena semakin besar hambatan semakin panjang pula antrean yang terjadi. Kategori pelayanan persimpangan ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut.

**Tabel 2.4** Kategori Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (detik/smp)	Keterangan
A	< 5	Baik sekali
B	5,1 - 15	Baik
C	15,1 - 25	Sedang
D	25,1 - 40	Kurang
E	40,1 - 60	Buruk
F	> 60	Buruk sekali

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di persimpangan Jalan Galunggung, yaitu salah satu simpang bersinyal dengan empat lengan yang berada di Kota Malang. Pengambilan data dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama untuk data geometri simpang dan tahap kedua untuk data jumlah kendaraan. Data arus kendaraan diambil pada hari Senin, tanggal 30 April dan 7 Mei 2018, yaitu pagi hari pukul 07.00 – 09.00 WIB dan sore hari pukul 15.45 – 17.45 WIB. Waktu penelitian didasarkan pada waktu sibuk, yaitu saat berangkat atau pulang kerja.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Sebagai penunjang penelitian pada skripsi ini, dibutuhkan beberapa alat dan bahan sebagai berikut.

1. Benang dan meteran, untuk mengukur geometri jalan.
2. *Stopwatch*, untuk menghitung waktu siklus lampu lalu lintas.
3. *Counter*, untuk menghitung jumlah kendaraan.
4. Alat tulis dan formulir, untuk mencatat data hasil pengamatan.

#### 3.3 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan pada skripsi ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui pengamatan di lokasi, sedangkan data sekunder merupakan data yang sudah ada dan dapat digunakan secara langsung tanpa harus melakukan pengamatan. Dalam skripsi ini, data primer yang dibutuhkan, meliputi jumlah kendaraan, geometri jalan, fase lampu lalu lintas, dan waktu siklus lampu lalu lintas, sedangkan data sekunder yang dibutuhkan adalah jumlah penduduk kota Malang yang akan digunakan untuk menentukan faktor penyesuaian ukuran kota.

### 3.4 Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut.

#### 1. Pengamatan lokasi

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi masalah yang terjadi, kemudian dijadikan sebagai bahan penelitian. Dalam kasus ini, keadaan yang terjadi adalah kemacetan akibat antrean kendaraan di persimpangan jalan bersinyal. Selain itu, pengamatan juga dilakukan untuk menentukan waktu pengambilan data arus kendaraan, yaitu pada jam sibuk.

#### 2. Sudi literatur

Mencari dasar ilmiah yang berhubungan dengan evaluasi yang dilakukan pada studi ini, yaitu teori antrean untuk menganalisis karakteristik antrean kendaraan pada persimpangan dan teori transportasi untuk menentukan kapasitas, tundaan, derajat kejenuhan, penentuan waktu siklus, dan penentuan waktu hijau efektif.

#### 3. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama untuk pengambilan data geometri jalan dan tahap kedua untuk data jumlah kendaraan. Data diambil secara langsung di lokasi penelitian yang dibantu oleh beberapa pengamat. Data yang dibutuhkan, meliputi ukuran geometri jalan, fase sinyal, waktu siklus lampu lalu lintas, dan jumlah aliran kendaraan yang melewati simpang.

#### 4. Uji distribusi data

Data yang telah diperoleh akan dilakukan pengujian. Uji distribusi data dilakukan terhadap data kedatangan kendaraan (kendaraan yang mendekati persimpangan). Uji distribusi yang digunakan adalah uji satu sampel Kolmogorov-Smirnov menggunakan bantuan *software* SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). Pengujian dilakukan untuk membuktikan apakah data kedatangan kendaraan mengikuti distribusi Poisson.

### 5. Pengolahan data

Data yang diperoleh dari pengamatan di lokasi diolah menjadi parameter tertentu untuk menentukan tingkat pelayanan pada persimpangan jalan.

### 6. Analisis dan pembahasan

Hasil perhitungan pada langkah pengolahan data digunakan untuk mengetahui kinerja persimpangan dengan menghitung kapasitas ( $C$ ), derajat kejenuhan ( $DS$ ), tundaan ( $D$ ), dan tundaan seluruh simpang ( $D_I$ ) berdasarkan arus kepadatan kendaraan dalam antrian dan tingkat kegunaan pelayanan persimpangan dengan teori antrian.

### 7. Penarikan kesimpulan

Menyimpulkan hasil analisis dan pembahasan, yaitu penilaian terhadap tingkat pelayanan lalu lintas di persimpangan jalan Galunggung, Kota Malang.

## 3.5 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data dalam skripsi ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Mengukur dan mencatat geometri jalan pada simpang yang menjadi objek penelitian.
2. Mencatat pola pergerakan kendaraan menurut fase sinyal yang sedang diterapkan saat itu.
3. Menghitung waktu siklus lampu lalu lintas yang sedang diterapkan saat itu, meliputi waktu hijau, waktu merah, dan waktu kuning.
4. Menghitung dan mencatat jumlah aliran kendaraan bermotor yang melewati persimpangan.
5. Jumlah pengamat ada 12 orang, dengan rincian untuk masing-masing ruas jalan ditempatkan 3 pengamat. Pengamat 1 bertugas mengamati jumlah kendaraan belok kiri, pengamat 2 bertugas mengamati jumlah kendaraan belok kanan, dan pengamat 3 bertugas mengamati jumlah kendaraan yang bergerak lurus.

### 3.6 Metode Pengolahan Data

Langkah pertama dalam pengolahan data adalah mengubah data primer hasil penelitian pada kondisi yang sebenarnya ke dalam format-format yang ada pada teori transportasi. Tahapan penghitungannya, meliputi:

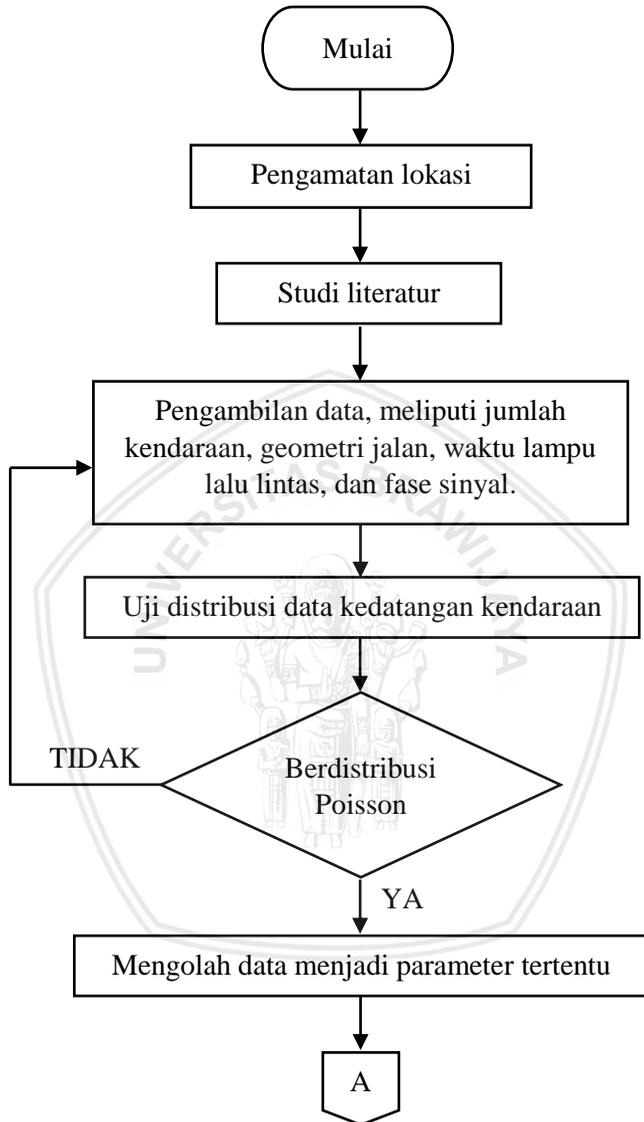
1. mengelompokkan data kendaraan berdasarkan jenisnya ke dalam kategori kendaraan berat atau *Heavy Vehicle* (HV), kendaraan jenis ringan atau *Light Vehicle* (LV), sepeda motor atau *Motorcycle* (MC), dan kendaraan tak bermotor atau *Unmotorcycle* (UM), kemudian menghitungnya dalam satuan mobil penumpang (smp) menggunakan nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) sebagai faktor pengalinya. Jumlah smp dihitung berdasarkan rumus:

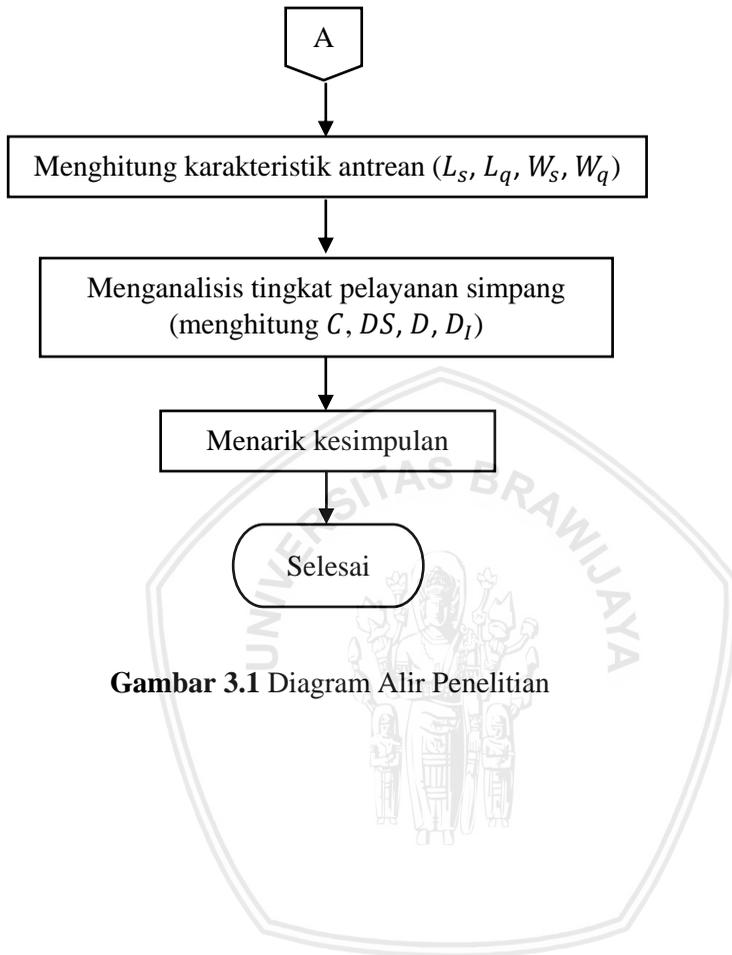
$$Q = Q_{MC} \times emp_{MC} + Q_{LV} \times emp_{LV} + Q_{HV} \times emp_{HV}. \quad (3.1)$$

2. Menentukan data arus lalu lintas maksimum dari jam sibuk yang diamati, sehingga diperoleh jam puncak. Data arus lalu lintas pada jam puncak tersebut menjadi acuan penghitungan pada pengolahan berikutnya.

### 3.7 Diagram Alir

Diagram alir merupakan gambaran tahapan-tahapan pada penelitian yang dikemas dalam bentuk yang lebih ringkas, padat, dan jelas. Berikut adalah diagram alir penelitian pada skripsi ini yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1.





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Sistem Antrean di Persimpangan Jalan Galunggung

Persimpangan Jalan Galunggung merupakan persimpangan jalan bersinyal dengan empat lengan (perempatan). Persimpangan ini menjadi titik temu kendaraan yang berasal dari Jalan Bendungan Sutami, Jalan Tidar, Jalan Dieng, dan Jalan Bondowoso. Berdasarkan pengamatan, volume kendaraan yang memasuki persimpangan Jalan Galunggung terbilang cukup besar. Hampir semua kategori kendaraan dapat ditemui di sana, seperti sepeda motor, mobil, angkutan umum, truk, bis, dan sepeda kayuh. Selain itu, diterapkan sistem tiga fase dengan lampu hijau dari arah Jalan Bondowoso dan Jalan Tidar terjadi hampir bersamaan dalam satu fase yang sama. Besarnya volume kendaraan inilah yang menyebabkan kemacetan pada periode waktu tertentu, serta adanya pendekatan dengan tipe terlawan mengakibatkan terhambatnya arus berangkat di kedua pendekatan.

Kemacetan di persimpangan dapat dianalogikan sebagai bentuk antrean dengan obyek yang mengantre adalah kendaraan yang akan melewati persimpangan. Pelayanan diberikan dalam satu tahap oleh satu *server* (berupa lampu lalu lintas), yaitu pada fase hijau. Antrean dimulai saat kendaraan datang mendekati persimpangan pada fase merah dan harus menunggu hingga lampu hijau menyala. Pada persimpangan Jalan Galunggung, waktu lampu lalu lintas tiap warna menyala secara konstan selama penelitian berlangsung.

Berdasarkan penjelasan tersebut, model antrean kendaraan yang cocok diterapkan di persimpangan Jalan Galunggung adalah model antrean  $(M/D/1) : (GD/\infty/\infty)$ , yaitu model antrean dengan tingkat kedatangan kendaraan bersifat acak dan mengikuti distribusi Poisson, distribusi pelayanan telah terjadwal atau konstan, serta terdapat satu fasilitas pelayanan berupa satu ruas jalan dan lampu lalu lintas sebagai penentu waktu tunggu. Disiplin antrean yang diterapkan adalah  $GD$  (umum atau tidak terikat oleh disiplin khusus) dengan kapasitas sistem dan sumber kedatangan kendaraan tidak dibatasi.

## 4.2 Penyajian Data Penelitian

Pengambilan data dilakukan selama dua hari pada periode sibuk pagi dan sore. Data yang diperlukan pada skripsi ini, meliputi data jumlah kendaraan, waktu lampu lalu lintas, fase sinyal yang sedang diterapkan, dan ukuran geometri jalan. Secara mentah, data jumlah kendaraan disajikan pada Lampiran 1.

Dalam teori transportasi, data mentah yang telah diperoleh dikonversi dari satuan kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang per jam (smp/jam) menggunakan nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) berdasarkan masing-masing jenis kendaraan. Penentuan nilai EMP dibedakan per tipe pendekatan, yaitu tipe terlindung dan tipe terlawan. Pada persimpangan Jalan Galunggung, Jalan Bendungan Sutami dan Jalan Dieng termasuk tipe terlindung, sedangkan Jalan Tidar dan Jalan Bondowoso termasuk tipe terlawan. Berikut adalah hasil konversi data yang disajikan dalam tabel data volume kendaraan total dan hasil lengkap disajikan pada Lampiran 2.

**Tabel 4.1** Data Volume Kendaraan Total

Arah	Periode pagi dan sore		
	Volume		Volume/ jalur
	kend/ jam	smp/ jam	smp/ jam
Jl. Bend Sutami – Jl. Tidar	338	171,35	817,65
Jl. Bend Sutami – Jl. Dieng	1790	542,05	
Jl. Bend Sutami – Jl. Bondowoso	309	104,25	
Jl. Tidar – Jl. Dieng	266	143,7	852,7
Jl. Tidar – Jl. Bondowoso	907	547,5	
Jl. Tidar – Jl. Bend Sutami	308	161,5	
Jl. Dieng – Jl. Bondowoso	340	105	781
Jl. Dieng – Jl. Bend Sutami	1961	577,5	
Jl. Dieng – Jl. Tidar	269	98,5	
Jl. Bondowoso – Jl. Bend Sutami	214	105,5	867,5
Jl. Bondowoso – Jl. Tidar	987	573	
Jl. Bondowoso – Jl. Dieng	383	189	
<b>Total</b>	<b>8072</b>	<b>3318,85</b>	<b>3318,85</b>

### 4.3 Uji Kolmogorov Smirnov

Berdasarkan model antrean  $M/D/1$  yang digunakan pada skripsi ini, uji data diperlukan untuk memastikan data tingkat kedatangan kendaraan mengikuti distribusi Poisson. Uji data yang digunakan adalah uji Kolmogorov-Smirnov yang dilakukan untuk menguji kecocokan antara fungsi distribusi kumulatif teoritis sesuai hipotesis dan fungsi distribusi kumulatif sampel. Agar lebih mudah dan praktis, pengujian dilakukan dengan bantuan *software* SPSS 23.

Tahap awal uji Kolmogorov-Smirnov adalah menentukan hipotesis distribusi kedatangan kendaraan sebagai berikut.

$H_0$ : data kedatangan kendaraan berdistribusi Poisson,

$H_1$ : data kedatangan kendaraan tidak berdistribusi Poisson,

dengan mengambil tingkat kepercayaan sebesar 95%, artinya tingkat kesalahannya 5% atau nilai  $\alpha = 0,05$ . Jika nilai  $sig > \alpha$ , maka  $H_0$  diterima atau data berdistribusi Poisson. Berdasarkan *output* SPSS pada Lampiran 5, diperoleh kesimpulan distribusi tingkat kedatangan kendaraan sebagai berikut.

**Tabel 4.2** Uji Distribusi Tingkat Kedatangan Kendaraan

Arah	Nilai <i>sig</i>	Kesimpulan
Jl. Bend Sutami – Jl. Tidar	0,657	Poisson
Jl. Bend Sutami – Jl. Dieng	0,293	Poisson
Jl. Bend Sutami – Jl. Bondowoso	0,956	Poisson
Jl. Tidar – Jl. Dieng	0,993	Poisson
Jl. Tidar – Jl. Bondowoso	0,838	Poisson
Jl. Tidar – Jl. Bend Sutami	0,339	Poisson
Jl. Dieng – Jl. Bondowoso	0,700	Poisson
Jl. Dieng – Jl. Bend Sutami	0,416	Poisson
Jl. Dieng – Jl. Tidar	0,666	Poisson
Jl. Bondowoso – Jl. Bend Sutami	0,984	Poisson
Jl. Bondowoso – Jl. Tidar	0,361	Poisson
Jl. Bondowoso – Jl. Dieng	1,000	Poisson

Karena semua nilai  $sig > 0,05$ , maka  $H_0$  diterima dan data tingkat kedatangan kendaraan berdistribusi Poisson.

#### 4.4 Karakteristik Sistem Antrean

Berdasarkan data yang telah diperoleh dan model antrean yang telah diketahui, karakteristik sistem antrean pada persimpangan Jalan Galunggung dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan (2.1), (2.2), (2.3), dan (2.4). Karakteristik sistem antrean dihitung untuk masing-masing lengan atau pendekat pada persimpangan. Data jumlah kendaraan yang datang dan kendaraan yang melewati persimpangan disajikan pada Lampiran 1. Berikut adalah penghitungan karakteristik sistem antrean pada persimpangan Jalan Galunggung untuk masing-masing lengan atau pendekat.

➤ Untuk Jalan Bendungan Sutami diperoleh:

1. Rata-rata tingkat kedatangan ( $\lambda$ )

$$\lambda = \frac{\text{jumlah kendaraan yang datang}}{\text{jumlah waktu penelitian}} \\ = \frac{4877 \text{ kend}}{7200 \text{ detik}} = 0,68 \text{ kend/detik.}$$

2. Rata-rata tingkat pelayanan ( $\mu$ )

$$\mu = \frac{\text{jumlah kendaraan yang melewati persimpangan}}{\text{total waktu pelayanan}} \\ = \frac{4852 \text{ kend}}{1742 \text{ detik}} = 2,78 \text{ kend/detik.}$$

3. Tingkat kegunaan fasilitas pelayanan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{\text{Rata - rata tingkat kedatangan kendaraan}}{\text{Rata - rata tingkat pelayanan}} \\ = \frac{0,68 \text{ kend/detik}}{2,78 \text{ kend/detik}} = 0,245 = 24,5\%.$$

4. Jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem ( $L_s$ )

$$L_s = \rho + \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)} = 0,245 + \frac{(0,245)^2}{2(1 - 0,245)} = 0,285 \text{ kend.}$$

Jadi, jumlah rata-rata kendaraan yang sedang antre dan yang dapat meninggalkan persimpangan berjumlah  $0,285 \approx 0$  kendaraan. Artinya, hampir tidak ada kendaraan yang harus antre untuk dapat meninggalkan persimpangan.

5. Rata-rata waktu menunggu dalam sistem ( $W_s$ )

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{0,285}{0,68} = 0,419 \text{ detik.}$$

Jadi, rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam sistem adalah 0,419 detik.

6. Rata-rata waktu menunggu dalam antrian ( $W_q$ )

$$W_q = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)} = \frac{0,245}{2 \times 2,78(1-0,245)} = 0,058 \text{ detik.}$$

Jadi, rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam antrian adalah 0,058 detik.

7. Jumlah rata-rata kendaraan menunggu dalam antrian ( $L_q$ )

$$L_q = W_q \times \lambda = 0,058 \times 0,68 = 0,039 \text{ kend.}$$

Jadi, jumlah rata-rata kendaraan yang menunggu dalam antrian berjumlah  $0,039 \approx 0$  kendaraan.

➤ Untuk Jalan Tidar diperoleh:

1. Rata-rata tingkat kedatangan ( $\lambda$ )

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\text{jumlah kendaraan yang datang}}{\text{jumlah waktu penelitian}} \\ &= \frac{2968 \text{ kend}}{7200 \text{ detik}} = 0,412 \text{ kend/detik.} \end{aligned}$$

2. Rata-rata tingkat pelayanan ( $\mu$ )

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\text{jumlah kendaraan yang melewati persimpangan}}{\text{total waktu pelayanan}} \\ &= \frac{2940 \text{ kend}}{2479 \text{ detik}} = 1,186 \text{ kend/detik.} \end{aligned}$$

3. Tingkat kegunaan fasilitas pelayanan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\text{Rata - rata tingkat kedatangan kendaraan}}{\text{Rata - rata tingkat pelayanan}} \\ &= \frac{0,412 \text{ kend/detik}}{1,186 \text{ kend/detik}} = 0,347 = 34,7\%. \end{aligned}$$

4. Jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem ( $L_s$ )

$$L_s = \rho + \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} = 0,347 + \frac{(0,347)^2}{2(1-0,347)} = 0,439 \text{ kend.}$$

Jadi, jumlah rata-rata kendaraan yang sedang antre dan yang dapat meninggalkan persimpangan berjumlah  $0,439 \approx 0$  kendaraan. Artinya, hampir tidak ada kendaraan yang harus antre untuk dapat meninggalkan persimpangan.

5. Rata-rata waktu menunggu dalam sistem ( $W_s$ )

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{0,439}{0,412} = 1,07 \text{ detik.}$$

Jadi, rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam sistem adalah 1,07 detik.

6. Rata-rata waktu menunggu dalam antrean ( $W_q$ )

$$W_q = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)} = \frac{0,347}{2 \times 1,186(1-0,347)} = 0,203 \text{ detik.}$$

Jadi, rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam antrean adalah 0,203 detik.

7. Jumlah rata-rata kendaraan menunggu dalam antrean ( $L_q$ )

$$L_q = W_q \times \lambda = 0,203 \times 0,412 = 0,084 \text{ kend.}$$

Jadi, jumlah rata-rata kendaraan yang menunggu dalam antrean berjumlah  $0,084 \approx 0$  kendaraan.

➤ Untuk Jalan Dieng diperoleh:

1. Rata-rata tingkat kedatangan ( $\lambda$ )

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\text{jumlah kendaraan yang datang}}{\text{jumlah waktu penelitian}} \\ &= \frac{5144 \text{ kend}}{7200 \text{ detik}} = 0,714 \text{ kend/detik.} \end{aligned}$$

2. Rata-rata tingkat pelayanan ( $\mu$ )

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\text{jumlah kendaraan yang melewati persimpangan}}{\text{total waktu pelayanan}} \\ &= \frac{5117 \text{ kend}}{1742 \text{ detik}} = 2,937 \text{ kend/detik.} \end{aligned}$$

3. Tingkat kegunaan fasilitas pelayanan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,714 \text{ kend/detik}}{2,937 \text{ kend/detik}} = 0,243 = 24,3\%.$$

4. Jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem ( $L_s$ )

$$L_s = \rho + \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} = 0,243 + \frac{(0,243)^2}{2(1-0,243)} = 0,282 \text{ kend.}$$

Jadi, jumlah rata-rata kendaraan yang sedang antre dan yang dapat meninggalkan persimpangan berjumlah  $0,282 \approx 0$  kendaraan. Artinya, hampir tidak ada kendaraan yang harus antre untuk dapat meninggalkan persimpangan.

5. Rata-rata waktu menunggu dalam sistem ( $W_s$ )

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{0,282}{0,714} = 0,395 \text{ detik.}$$

Jadi, rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam sistem adalah 0,395 detik.

6. Rata-rata waktu menunggu dalam antrean ( $W_q$ )

$$W_q = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)} = \frac{0,243}{2 \times 2,937(1-0,243)} = 0,055 \text{ detik.}$$

Jadi, rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam antrean adalah 0,055 detik.

7. Jumlah rata-rata kendaraan menunggu dalam antrean ( $L_q$ )

$$L_q = W_q \times \lambda = 0,055 \times 0,714 = 0,039 \text{ kend.}$$

Jadi, jumlah rata-rata kendaraan yang menunggu dalam antrean berjumlah  $0,039 \approx 0$  kendaraan.

➤ Untuk Jalan Bondowoso diperoleh:

1. Rata-rata tingkat kedatangan ( $\lambda$ )

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\text{jumlah kendaraan yang datang}}{\text{jumlah waktu penelitian}} \\ &= \frac{3172 \text{ kend}}{7200 \text{ detik}} = 0,44 \text{ kend/detik.} \end{aligned}$$

2. Rata-rata tingkat pelayanan ( $\mu$ )

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\text{jumlah kendaraan yang melewati persimpangan}}{\text{total waktu pelayanan}} \\ &= \frac{3160 \text{ kend}}{1742 \text{ detik}} = 1,814 \text{ kend/detik.} \end{aligned}$$

3. Tingkat kegunaan fasilitas pelayanan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,44 \text{ kend/detik}}{1,814 \text{ kend/detik}} = 0,243 = 24,3\%.$$

4. Jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem ( $L_s$ )

$$L_s = \rho + \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)} = 0,243 + \frac{(0,243)^2}{2(1 - 0,243)} = 0,282 \text{ kend.}$$

Jadi, jumlah rata-rata kendaraan yang sedang antre dan yang dapat meninggalkan persimpangan berjumlah  $0,282 \approx 0$  kendaraan. Artinya, hampir tidak ada kendaraan yang harus antre untuk dapat meninggalkan persimpangan.

5. Rata-rata waktu menunggu dalam sistem ( $W_s$ )

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{0,282}{0,44} = 0,641 \text{ detik.}$$

Jadi, rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam sistem adalah 0,641 detik.

6. Rata-rata waktu menunggu dalam antrean ( $W_q$ )

$$W_q = \frac{\rho}{2\mu(1 - \rho)} = \frac{0,243}{2 \times 1,814(1 - 0,243)} = 0,088 \text{ detik.}$$

Jadi, rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam antrean adalah 0,088 detik.

7. Jumlah rata-rata kendaraan menunggu dalam antrean ( $L_q$ )

$$L_q = W_q \times \lambda = 0,088 \times 0,44 = 0,039 \text{ kend.}$$

Jadi, jumlah rata-rata kendaraan yang menunggu dalam antrean berjumlah  $0,039 \approx 0$  kendaraan.

Penghitungan karakteristik antrean tiap pendekat digunakan untuk mengetahui karakteristik antrean pada persimpangan Jalan Galunggung secara keseluruhan, yaitu dengan menghitung nilai rata-rata perolehan pada semua pendekat. Secara ringkas, hasil penghitungan karakteristik sistem antrean pada persimpangan Jalan Galunggung dapat disajikan dalam Tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.3** Karakteristik Sistem Antrean pada Persimpangan Jalan Galunggung

Lengan/ Pendekat	$\lambda$ (kend/ detik)	$\mu$ (kend/ detik)	$L_s$ (kend)	$W_s$ (detik)	$W_q$ (detik)	$L_q$ (kend)
Jl. Bend.Sutami	0,68	2,78	0,285	0,419	0,058	0,039
Jl. Tidar	0,412	1,186	0,439	1,07	0,203	0,084
Jl. Dieng	0,714	2,937	0,282	0,395	0,055	0,039
Jl. Bondowoso	0,44	1,814	0,282	0,641	0,088	0,039
<b>Rata-rata</b>	<b>0,562</b>	<b>2,179</b>	<b>0,322</b>	<b>0,631</b>	<b>0,101</b>	<b>0,050</b>

Berdasarkan Tabel 4.3 tersebut, dapat dilihat hasil penelitian terhadap sistem antrean pada persimpangan Jalan Galunggung, yaitu diperoleh nilai rata-rata  $\lambda$  sebesar 0,562 kendaraan/detik atau setara dengan 34 kendaraan/menit. Nilai rata-rata untuk  $\mu$  adalah 2,179 kendaraan/detik atau setara dengan 131 kendaraan/menit. Jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem ( $L_s$ ) diperoleh 0,322  $\approx$  0 kendaraan, artinya jumlah rata-rata kendaraan yang antre termasuk yang telah melewati persimpangan berjumlah 0,322  $\approx$  0 kendaraan atau belum mencapai 1 kendaraan. Rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam sistem ( $W_s$ ) diperoleh sebesar 0,631 detik, sedangkan rata-rata waktu kendaraan menunggu dalam antrean diperoleh sebesar 0,101 detik. Jumlah rata-rata kendaraan dalam antrean ( $L_q$ ) diperoleh sebesar 0,050  $\approx$  0 kendaraan. Karena nilai  $L_q$  masih sangat jauh untuk bisa mencapai angka 1, sehingga intensitas kendaraan mengantre masih terbilang sangat kecil. Tingkat kegunaan fasilitas pelayanan persimpangan ( $\rho$ ) rata-rata adalah sebesar 0,27 atau 27% sibuk, artinya fasilitas pelayanan mengalami tingkat kesibukan yang tidak terlalu berarti.

#### 4.5 Analisis dengan Metode MKJI

Analisis dengan metode MKJI dilakukan untuk mengetahui tingkat pelayanan pada persimpangan Jalan Galunggung. Sama halnya

dengan karakteristik sistem antrean, penghitungan dilakukan terhadap tiap-tiap lengan atau pendekat pada persimpangan jalan. Komponen yang dihitung, meliputi arus jenuh dasar ( $S_0$ ), arus jenuh ( $S$ ), kapasitas ( $C$ ), derajat kejenuhan ( $DS$ ), dan tundaan ( $D$ ). Data waktu siklus, fase sinyal, dan geometri jalan yang dibutuhkan untuk penghitungan disajikan pada Lampiran 3 dan 4.

#### 4.5.1 Arus jenuh dasar ( $S_0$ )

Arus jenuh dasar dihitung menggunakan persamaan (2.5) dengan data yang dibutuhkan adalah data geometri, yaitu lebar efektif masing-masing pendekat. Berikut adalah penghitungan arus jenuh dasar untuk tiap-tiap pendekat.

- Jalan Bendungan Sutami

$$S_0 = W_e \times 600 = 5.6 \times 600 = 3360.$$

- Jalan Tidar

$$S_0 = W_e \times 600 = 2.2 \times 600 = 1320.$$

- Jalan Dieng

$$S_0 = W_e \times 600 = 4.4 \times 600 = 2640.$$

- Jalan Bondowoso

$$S_0 = W_e \times 600 = 4.1 \times 600 = 2460.$$

#### 4.5.2 Arus jenuh ( $S$ )

Arus jenuh dihitung pada tiap pendekat menggunakan persamaan (2.9), yaitu  $S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT}$ . Dalam persamaan tersebut, dibutuhkan data faktor-faktor penyesuaian terhadap persimpangan Jalan Galunggung yang meliputi  $F_{CS}$ ,  $F_{SF}$ ,  $F_G$ ,  $F_P$ ,  $F_{RT}$ , dan  $F_{LT}$ . Penentuan faktor penyesuaian ukuran kota ( $F_{CS}$ ), faktor penyesuaian hambatan samping ( $F_{SF}$ ), dan faktor penyesuaian gradien ( $F_G$ ) dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.2, Tabel 2.3, dan Gambar 2.6, sedangkan untuk faktor penyesuaian parkir ( $F_P$ ), faktor penyesuaian belok kanan ( $F_{RT}$ ), dan faktor penyesuaian belok kiri ( $F_{LT}$ ) ditentukan berdasarkan perumusan pada MKJI.

$F_{CS}$  untuk semua pendekat bernilai sama karena hanya bergantung terhadap jumlah populasi Kota Malang, sehingga nilai  $F_{CS} = 0,94$ . Berikutnya, untuk nilai  $F_{SF}$  diperoleh dengan mempertimbangkan tipe lingkungan, friksi samping, tipe fase, dan rasio kendaraan tak bermotor setiap pendekat. Berdasarkan penghitungan rasio kendaraan tak bermotor dan mengacu pada Tabel 2.3, diperoleh nilai  $F_{SF} = 0,93$  untuk semua pendekat. Fisik jalan setiap pendekat memiliki tanjakan maupun turunan yang hampir tidak terlihat atau mendekati 0%, sehingga dapat ditentukan nilai  $F_G = 1$  berlaku untuk semua pendekat. Nilai  $F_P$  untuk masing-masing pendekat bernilai 1. Nilai  $F_{RT}$  dihitung menggunakan persamaan (2.7), untuk Jalan Bendungan Sutami diperoleh:

$$F_{RT} = 1 + P_{RT} \times 0,26 = 1 + \frac{171,35}{817,65} \times 0,26 = 1,054,$$

untuk Jalan Tidar diperoleh:

$$F_{RT} = 1 + P_{RT} \times 0,26 = 1 + \frac{143,7}{852,7} \times 0,26 = 1,044,$$

untuk Jalan Dieng diperoleh:

$$F_{RT} = 1 + P_{RT} \times 0,26 = 1 + \frac{105}{781} \times 0,26 = 1,035,$$

dan untuk Jalan Bondowoso diperoleh:

$$F_{RT} = 1 + P_{RT} \times 0,26 = 1 + \frac{105,5}{867,5} \times 0,26 = 1,032.$$

Nilai  $F_{LT}$  dihitung menggunakan persamaan (2.8), untuk Jalan Bendungan Sutami diperoleh:

$$F_{LT} = 1 - P_{LT} \times 0,16 = 1 - \frac{104,25}{817,65} \times 0,16 = 0,98,$$

untuk Jalan Tidar diperoleh:

$$F_{LT} = 1 - P_{LT} \times 0,16 = 1 - \frac{161,5}{852,7} \times 0,16 = 0,97,$$

untuk Jalan Dieng diperoleh:

$$F_{LT} = 1 - P_{LT} \times 0,16 = 1 - \frac{98,5}{781} \times 0,16 = 0,98,$$

dan untuk Jalan Bondowoso diperoleh:

$$F_{LT} = 1 - P_{LT} \times 0,16 = 1 - \frac{189}{867,5} \times 0,16 = 0,96.$$

Dengan demikian, nilai arus jenuh untuk Jalan Bendungan Sutami:

$$S = 3360 \times 0,94 \times 0,93 \times 1 \times 1 \times 1,054 \times 0,98 = 3034,01.$$

Penghitungan menggunakan cara yang sama dilakukan untuk nilai arus jenuh pada pendekat lain dan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

**Tabel 4.4** Hasil Penghitungan Arus Jenuh ( $S$ )

Jalan	$S_0$	$F_{CS}$	$F_{SF}$	$F_G$	$F_P$	$F_{RT}$	$F_{LT}$	$S$
Bend. Sutami	3360	0,94	0,93	1	1	1,054	0,98	3034
Tidar	1320	0,94	0,93	1	1	1,044	0,97	1168,6
Dieng	2640	0,94	0,93	1	1	1,035	0,98	2340,9
Bondowoso	2460	0,94	0,93	1	1	1,032	0,96	2130,6

### 4.5.3 Waktu hijau dan waktu siklus

Langkah awal yang perlu dilakukan untuk menentukan waktu hijau dan waktu siklus adalah menghitung rasio arus ( $FR$ ) masing-masing pendekat dan menghitung waktu hilang per siklus ( $LTI$ ) menggunakan selisih antara waktu total lalu lintas terbesar dan jumlah waktu hijau dalam semua fase yang berurutan. Berdasarkan ulasan tersebut, diperoleh waktu hilang per siklus, yaitu

$$LTI = 108 - (26 + 37 + 26) = 19 \text{ detik,}$$

sedangkan nilai  $FR$  masing-masing pendekat ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut.

**Tabel 4.5** Rasio Arus Simping ( $FR$ )

Jalan	$Q$ (smp/jam)	$S$ (smp/jam)	$FR = Q/S$
Bend. Sutami	713,4	3034	0,235
Tidar	691,2	1168,6	0,591
Dieng	781	2340,9	0,334
Bondowoso	678,5	2130,6	0,318

Arus ( $Q$ ) kendaraan yang digunakan untuk pendekat Jalan Bendungan Sutami, Jalan Tidar, dan Jalan Bondowoso adalah jumlah antara arus kendaraan belok kanan ( $Q_{RT}$ ) dan kendaraan lurus ( $Q_{ST}$ ). Hal ini dilakukan karena untuk ketiga pendekat tersebut berlaku aturan belok kiri langsung, artinya arus kendaraan belok kiri ( $Q_{LT}$ ) dikeluarkan dari penghitungan.

Selanjutnya, menentukan waktu siklus sebelum penyesuaian ( $c_{ua}$ ), waktu hijau ( $g$ ), dan waktu siklus yang disesuaikan ( $c$ ) yang akan digunakan untuk menghitung kapasitas jalan.

1. Waktu siklus sebelum penyesuaian dapat dihitung menggunakan persamaan (2.10), yaitu

$$c_{ua} = \frac{1,5 \times LTI + 5}{1 - IFR} = \frac{1,5 \times 19 + 5}{1 - 1,16} = -209 \text{ detik.}$$

Berdasarkan hasil penghitungan tersebut, terlihat bahwa  $c_{ua}$  bernilai negatif, artinya persimpangan Jalan Galunggung mengalami kondisi lewat jenuh.

2. Waktu hijau dihitung berdasarkan persamaan (2.12) pada tiap fase. Waktu siklus yang digunakan dalam penghitungan adalah nilai mutlak dari waktu siklus sebelum penyesuaian. Waktu hijau pada fase ke-1 (Jalan Dieng mendapat giliran lampu hijau):

$$\begin{aligned} g &= (c_{ua} - LTI) \times \frac{FR_{crit}}{\sum(FR_{crit})} \\ &= (209 - 19) \times \frac{0,334}{1,16} = 55 \text{ detik.} \end{aligned}$$

Fase ke-2 (Jalan Tidar dan Jalan Bondowoso mendapat giliran lampu hijau) diperoleh:

$$g = (209 - 19) \times \frac{0,591}{1,16} = 97 \text{ detik.}$$

Fase ke-3 (Jalan Bendungan Sutami mendapat giliran lampu hijau) diperoleh:

$$g = (209 - 19) \times \frac{0,235}{1,16} = 38 \text{ detik.}$$

3. Waktu siklus yang disesuaikan dihitung berdasarkan persamaan (2.11), yaitu

$$c = \sum g + LTI = (55 + 97 + 38) + 19 = 209 \text{ detik.}$$

#### 4.5.4 Kapasitas ( $C$ )

Kapasitas adalah jumlah arus maksimum yang dapat melewati suatu persimpangan. Penghitungan untuk tiap pendekat pada persimpangan Jalan Galunggung dihitung berdasarkan persamaan (2.17). Data yang diperlukan untuk penghitungan adalah data waktu hijau dan waktu siklus. Berikut adalah penghitungan kapasitas untuk Jalan Bendungan Sutami.

$$C = S \times \frac{g}{c} = 3034 \times \frac{38}{209} = 551,64 \text{ smp/jam,}$$

untuk Jalan Tidar diperoleh:

$$C = S \times \frac{g}{c} = 1168,6 \times \frac{97}{209} = 542,36 \text{ smp/jam,}$$

untuk Jalan Dieng diperoleh:

$$C = S \times \frac{g}{c} = 2340,9 \times \frac{55}{209} = 616,03 \text{ smp/jam,}$$

dan untuk Jalan Bondowoso diperoleh:

$$C = S \times \frac{g}{c} = 2130,6 \times \frac{97}{209} = 988,84 \text{ smp/jam.}$$

#### 4.5.5 Derajat Kejenuhan ( $DS$ )

Salah satu faktor yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi lalu lintas adalah derajat kejenuhan. Penghitungan dilakukan untuk masing-masing pendekat menggunakan persamaan (2.18). Berikut adalah penghitungan derajat kejenuhan yang disajikan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Derajat Kejenuhan ( $DS$ )

Jalan	$Q$ (smp/jam)	$C$ (smp/jam)	$DS = Q/C$
Bend. Sutami	713,4	551,64	1,293
Tidar	691,2	542,36	1,274
Dieng	781	616,03	1,268
Bondowoso	678,5	988,84	0,686

Arus ( $Q$ ) kendaraan yang digunakan untuk pendekat Jalan Bendungan Sutami, Jalan Tidar, dan Jalan Bondowoso adalah jumlah antara arus kendaraan belok kanan ( $Q_{RT}$ ) dan kendaraan lurus ( $Q_{ST}$ ). Hal ini dilakukan karena untuk ketiga pendekat tersebut berlaku aturan belok kiri langsung, artinya arus kendaraan belok kiri ( $Q_{LT}$ ) dikeluarkan dari penghitungan..

Berdasarkan Tabel 4.6, diketahui bahwa nilai derajat kejenuhan untuk pendekat Jalan Bendungan Sutami, Jalan Tidar, dan Jalan Dieng melebihi batas maksimum 0,85. Oleh karena itu, arus kendaraan pada ketiga pendekat tersebut dikatakan terlalu jenuh, sedangkan untuk pendekat Jalan Bondowoso mempunyai risiko jenuh.

#### 4.5.6 Angka Henti ( $NS$ )

Angka henti merupakan jumlah berhenti rata-rata per-kendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrean) sebelum melewati persimpangan dan dirumuskan sebagai persamaan (2.13). Angka henti dipengaruhi oleh jumlah rata-rata antrean smp pada awal sinyal hijau ( $NQ$ ) yang dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya ( $NQ_1$ ) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah ( $NQ_2$ ). Oleh karena itu, untuk memperoleh angka henti harus dihitung terlebih dahulu  $NQ_1$  dan  $NQ_2$  menggunakan persamaan (2.15) dan (2.16), kemudian menjumlahkan keduanya untuk mendapatkan nilai  $NQ$ . Penghitungan dilakukan pada masing-masing pendekat sebagai berikut. Angka henti pada pendekat Jalan Bendungan Sutami:

$$\begin{aligned}
 NQ_1 &= 0,25 \times 551,64 \times (1,293 - 1) \\
 &+ \sqrt{(1,293 - 1)^2 + \frac{8 \times (1,293 - 0,5)}{551,64}} \\
 &= 137,91 \times 0,293 + 0,31 = 40,71 \text{ smp/jam.} \\
 NQ_2 &= 209 \times \frac{1 - 0,18}{1 - 0,18 \times 1,293} \times \frac{713,4}{3600} \\
 &= 209 \times 1,07 \times 0,23 = 51,4 \text{ smp/jam.} \\
 NQ &= 40,71 + 51,4 = 92,11 \text{ smp/jam,}
 \end{aligned}$$

sehingga diperoleh angka henti

$$NS = 0,9 \times \frac{92,11}{713,4 \times 209} \times 3600 = 2.$$

Persamaan (2.15) dapat digunakan untuk  $DS > 0,5$ , selain itu nilai  $NQ_1 = 0$ . Dengan menggunakan cara yang sama, nilai angka henti untuk masing-masing pendekatan disajikan pada Tabel 4.7 sebagai berikut.

**Tabel 4.7** Hasil Penghitungan Angka Henti ( $NS$ )

Jalan	$NQ_1$ (smp/jam)	$NQ_2$ (smp/jam)	$NQ$ (smp/jam)	$NS$
Bend. Sutami	40,71	51,4	92,11	2
Tidar	37,44	52,34	89,78	1,95
Dieng	41,56	50	91,56	1,82
Bondowoso	-77,3	31,1	-46,2	-1

Perolehan hasil  $NQ_1$ ,  $NQ_2$ ,  $NQ$ , dan  $NS$  digunakan untuk menentukan tundaan masing-masing pendekatan.

#### 4.5.7 Tundaan ( $D$ )

Nilai tundaan dapat digunakan untuk menentukan kategori pelayanan pada suatu persimpangan sebagai bentuk penilaian kinerja simpang. Tundaan rata-rata pada suatu persimpangan dirumuskan:

$$D = DT + DG,$$

dengan  $DT$  merupakan tundaan lalu lintas dan  $DG$  merupakan tundaan geometri. Nilai tundaan dihitung untuk masing-masing pendekatan menggunakan persamaan (2.20) untuk menghitung  $DT$  dan (2.21) untuk  $DG$ .

1. Berikut adalah penghitungan  $DT$  untuk Jalan Bendungan Sutami.

$$\begin{aligned} DT &= 209 \times \frac{0,5 \times (1 - 0,18)^2}{(1 - 0,18 \times 1,293)} \\ &= 91 \text{ detik/smp.} \end{aligned}$$

Jalan Tidar:

$$DT = 209 \times \frac{0,5 \times (1 - 0,46)^2}{(1 - 0,46 \times 1,274)}$$

$$= 73 \text{ detik/smp.}$$

Jalan Dieng:

$$DT = 209 \times \frac{0,5 \times (1 - 0,26)^2}{(1 - 0,26 \times 1,268)}$$

$$= 85 \text{ detik/smp.}$$

Jalan Bondowoso:

$$DT = 209 \times \frac{0,5 \times (1 - 0,46)^2}{(1 - 0,46 \times 0,686)}$$

$$= 44 \text{ detik/smp.}$$

2. Berdasarkan Tabel 4.7, diketahui bahwa Jalan Bendungan Sutami, Jalan Tidar, dan Jalan Bondowoso memiliki nilai  $NS > 1$ , maka dengan menggunakan persamaan (2.22) dapat ditentukan nilai  $P_{SV} = 1$  dan nilai  $DG$  masing-masing pendekatan tersebut adalah sebagai berikut.

Jalan Bendungan Sutami:

$$DG = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4)$$

$$= (1 - 1) \times (0,34) \times 6 + (1 \times 4)$$

$$= 4 \text{ detik/smp,}$$

Jalan Tidar:

$$DG = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4)$$

$$= (1 - 1) \times (0,36) \times 6 + (1 \times 4)$$

$$= 4 \text{ detik/smp,}$$

Jalan Bondowoso:

$$DG = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4)$$

$$= (1 - 1) \times (0,34) \times 6 + (1 \times 4)$$

$$= 4 \text{ detik/smp,}$$

sedangkan untuk Jalan Dieng nilai  $NS < 1$ , sehingga dapat ditentukan nilai  $P_{SV} = \min(1; -0,046) = -0,046$  dan nilai  $DG$  sebagai berikut.

$$DG = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4)$$

$$= (1 - (-1)) \times (0,33) \times 6 + ((-1) \times 4) = 0 \text{ detik/smp.}$$

Dengan demikian, nilai tundaan rata-rata untuk masing-masing pendekat dapat dihitung menggunakan persamaan (2.19), yaitu dengan menjumlahkan nilai  $DT$  dan  $DG$  dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

**Tabel 4.8** Nilai Tundaan ( $D$ )

Jalan	$DT$	$DG$	$D$	Kategori
Bendungan Sutami	91	4	95	Sangat Buruk
Tidar	73	4	77	Sangat Buruk
Dieng	95	4	99	Sangat Buruk
Bondowoso	44	0	44	Buruk

Selanjutnya, dapat diketahui tundaan rata-rata untuk seluruh simpang ( $D_I$ ) menggunakan persamaan (2.23), yaitu

$$D_I = \frac{(713,4 \times 95) + (691,2 \times 77) + (781 \times 99) + (678,5 \times 44)}{713,4 + 691,2 + 781 + 678,5}$$

$$= \frac{228.168,4}{2.864,1} = 80 \text{ detik/smp.}$$

Jadi, waktu tambahan yang diperlukan kendaraan untuk melalui persimpangan Jalan Galunggung secara keseluruhan jika dibandingkan dengan tanpa melalui suatu persimpangan adalah 80 detik/smp, sehingga berdasarkan Tabel 2.4 tundaan pada simpang tersebut termasuk dalam kategori buruk sekali. Jika dikaitkan dengan tingkat kesibukan fasilitas pelayanan sebesar 27% pada penghitungan karakteristik antrean Subbab 4.4, tundaan rata-rata seluruh simpang tersebut terbilang cukup besar. Tindakan yang perlu dilakukan adalah dengan mengurangi nilai tundaan rata-rata untuk seluruh simpang, karena nilai tundaan berbanding lurus dengan tingkat kesibukan. Semakin kecil nilai tundaan, artinya semakin kecil peluang masa sibuk, sehingga berpengaruh pada kapasitas simpang tersebut yang juga akan bertambah besar.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada skripsi ini, dapat diambil kesimpulan, yaitu sebagai berikut.

1. Model antrian yang sesuai dengan kondisi persimpangan Jalan Galunggung adalah model antrian  $M/D/1$ , yaitu kedatangan kendaraan bersifat acak, tidak terbatas, dan berdistribusi Poisson, sedangkan waktu pelayanan atau keberangkatan kendaraan bersifat konstan. Hasil penghitungan karakteristik antrian pada persimpangan Jalan Galunggung diperoleh nilai rata-rata tingkat kedatangan ( $\lambda$ ) sebesar 0,562 kendaraan/detik atau setara 34 kendaraan/menit. Nilai rata-rata tingkat pelayanan ( $\mu$ ) adalah 2,179 kendaraan/detik atau setara 131 kendaraan/menit. Jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem ( $L_s$ ) diperoleh  $0,322 \approx 0$  kendaraan, sedangkan jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian ( $L_q$ ) diperoleh sebesar  $0,050 \approx 0$  kendaraan. Rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam sistem ( $W_s$ ) diperoleh 0,631 detik, sedangkan rata-rata waktu kendaraan menunggu dalam antrian diperoleh 0,101 detik. Tingkat kegunaan fasilitas pelayanan persimpangan ( $\rho$ ) rata-rata adalah sebesar 0,27 atau 27% sibuk, artinya fasilitas pelayanan mengalami tingkat kesibukan yang tidak terlalu berarti.
2. Hasil penghitungan menggunakan metode MKJI diperoleh nilai derajat kejenuhan ( $DS$ ) Jalan Bendungan Sutami sebesar 1,293, Jalan Tidar sebesar 1,274, Jalan Dieng sebesar 1,268, dan Jalan Bondowoso sebesar 0,686. Besarnya kapasitas ( $C$ ) tiap pendekat, yaitu untuk Jalan Bendungan Sutami 551,64 smp/jam, Jalan Tidar 542,36 smp/jam, Jalan Dieng 616,03 smp/jam, dan Jalan Bondowoso 988,84 smp/jam. Tundaan seluruh simpang  $D_I$  menunjukkan hasil yang besar, yaitu 80 detik/smp, sehingga dapat disimpulkan bahwa tundaan pada persimpangan Jalan Galunggung termasuk buruk sekali karena terlalu lama.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kepada Dinas Lalu Lintas dan Angkutan Jalan Raya, agar dilakukan perbaikan simpang, yaitu dengan melakukan perancangan dan pengoperasian ulang terhadap simpang.
2. Pada penelitian selanjutnya, analisis dapat dilakukan pada persimpangan tak bersinyal atau persimpangan bersinyal dengan sensor pintar menggunakan model antrean  $M/M/1$ . Namun sebaiknya, model antrean yang digunakan diujikan terlebih dahulu agar cocok bila diterapkan pada simpang terkait.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Anonim. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Dirjen Bina Marga. Jakarta.
- Babicheva, T. S. 2015. The Use of Queuing Theory at Research and Optimmmization of Traffic on the Signal-control Road Intersection. *Procedia Computer Science*. 55: 469-478.
- Djohar, H. 1984. *Passenger Car Unit Values and Saturation, Flow for Junction in Bandung*. Leeds University. Leed.
- Gauss, M. T. S. 2011. *Model Waktu Tunggu pada Persimpangan Lampu Lalu Lintas*. Tesis. FMIPA. Universitas Indonesia. Depok.
- Heizer, J dan Render, B. 2004. *Operation Management*. Salemba Empat. Jakarta.
- Hillier, F. S., dan Lieberman, G. J. 2005. *Introduction to Operations Research*. Mc Graw Hill.
- Hobbs, F. D. 1995. *Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas*. Gajahmada University Press. Yogyakarta.
- Mulyono, S. 2017. *Riset Operasi*. Edisi Kedua. Mitra Wacana Media. Jakarta.
- Nasution, H. M. N. 1996. *Manajemen Transportasi*. Ghalia Indonesia. Jakarta.
- Putri, D. B. A. R. 2015. *Analisis Tingkat Pelayanan Persimpangan Jalan dengan Model Antrian M/D/1 dan Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Skripsi. FMIPA. Universitas Brawijaya. Malang.
- Taha, H. A. 2003. *Riset Operasi Jilid 2*. Binarupa Aksara. Jakarta.
- Taha, H. A. 2007. *Operation Research: An Introduction*. Eight Edition. Pearson Education Inc. New Jersey.
- Warpani, Ir.Suwardjoko. 1985. *Rekayasa Lalu Lintas*. Bhratara Niaga Media. Jakarta.
- Walpole, R. E., Raymond, H. M., Sharon, L. M., dan Keying, Y. 2012. *Probability and Statistics for Engineers and Scientist*. Ninth Edition. Pearson Education Inc. USA.

