

**PEMODELAN ANTRIAN KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN
MODEL ANTRIAN M/M/1 DI SIMPANG TIGA RINGROAD UTARA
YOGYAKARTA PADA PAGI HARI DAN SORE HARI**

TUGAS AKHIR



Disusun Oleh:

Nilam Mufidah

14 611 171

**PROGRAM STUDI STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2018**

**PEMODELAN ANTRIAN KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN
MODEL ANTRIAN M/M/1 DI SIMPANG TIGA RINGROAD UTARA
YOGYAKARTA PADA PAGI HARI DAN SORE HARI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Jurusan Statistika**



Disusun Oleh:

Nilam Mufidah

14 611 171

**PROGRAM STUDI STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2018**

**HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING
TUGAS AKHIR**

Judul : **Pemodelan Antrian Kendaraan Bermotor Menggunakan Model Antrian M/M/1 di Simpang Tiga Utara Yogyakarta Pada Pagi Hari dan Sore Hari**

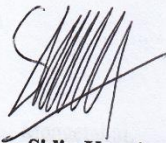
Nama Mahasiswa : **Nilam Mufidah**

Nomor Mahasiswa : **14 611 171**

**TUGAS AKHIR INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI UNTUK
DIUJIKAN**

Yogyakarta, 8 Mei 2018

Pembimbing



(Muhammad Hasan Sidiq Kurniawan, S.Si., M.Sc.)

HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**PEMODELAN ANTRIAN KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN
MODEL ANTRIAN M/M/1 DI SIMPANG TIGA RINGROAD UTARA
YOGYAKARTA PADA PAGI HARI DAN SORE HARI**

Nama Mahasiswa : Nilam Mufidah

Nomor Mahasiswa : 14 611 171

**TUGAS AKHIR INI TELAH DIUJIKAN
8 MEI 2018**

Nama Penguji

Tanda Tangan

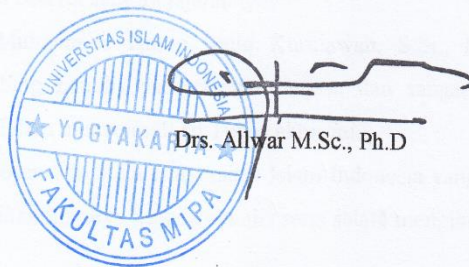
1. Ir. Ali Parkhan, M.T.

2. Atina Ahdika, S.Si., M.Si.

3. M. Hasan Sidiq Kurniawan,
S.Si., M.Sc.

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbil alamin, Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya selama melaksanakan Tugas Akhir sehingga dapat terselesaikan. Shalawat serta salam tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para pengikut-pengikutnya. Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Antrian Kendaraan pada Simpang Tiga Ringroad Utara di Pagi dan Sore Hari” ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Program Studi Statistika di Universitas Islam Indonesia. Selama menulis Tugas Akhir, penulis telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis bermaksud menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tersayang Bapak Ir, Ichwan Boedi Santosa dan Ibu Sowilah, S.Pd yang selalu memberikan semangat, dukungan dan selalu mengiringi lewat untaian doa disetiap langkah penulis.
2. Adek Penulis, Atikah Nur Laili dan Sylvana Yasmin Mutia yang selalu membakar semangat dan selalu hadir disetiap perjalanan penulis.
3. Bapak Drs. Allwar, M.Sc, Ph.D selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta beserta seluruh jajarannya.
4. Bapak Dr. RB. Fajriya hakim, S.Si, M.Si, selaku Ketua Program Studi Statistika beserta seluruh jajarannya.
5. Bapak Muhammad Hasan Sidiq Kurniawan, S.Si., M.Sc, selaku Dosen Pembimbing penulis yang sangat berjasa dan sangat sabar membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas akhir ini.
6. Dosen-dosen Statistika Universitas Islam Indonesia yang telah mendidik dan memberikan ilmunya kepada penulis serta selalu menginspirasi.

7. Teman-teman satu bimbingan Tugas Akhir (bimbingan Bapak Hasan) Ulin, Roni, Rima, Rati, Ajeng, Dhea, Indah, Marisa, Mia, Inayatus, Ellysa, Yusi, Tista dan Panji yang selalu berbagi ilmu dan berbagi informasi.
8. Teman-teman KKN unit 88 Desa Bulus, Kecamatan Gebang, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah, Rey, Raka, Rahma, Yugo, Putri, Ajeng dan Mbak Ega, suka dan duka yang telah dilalui bersama tidak akan pernah terlupakan.
9. Sahabat Statistika 2014 (XIX) yang sudah banyak memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. Walhaarik Ilham S, terima kasih telah membuka tempat untuk berkeluh kesah dan memberi saran jika penulis mengalami kesulitan. Terima kasih juga telah menjadi kakak yang hebat, selalu memberikan informasi yang sangat berguna untuk perkembangan penulis.
11. Teman-teman Lazvizard Jogja, Bibah, Ndaris, Amir, Yakin dan Ayik, Terima kasih atas motivasinya sehingga penulis tetap semangat mengerjakan skripsi.
12. Laptop Ayik, terima kasih telah menyelamatkan data-data skripsi penulis dan membantu selama laptop penulis rusak.
13. Teman-teman Alumni SD IT YABIS 2008, Menik, Recka, Idris, Rizka, Ade, Kresna, Feni dan Fakhrus, terima kasih kasih atas motivasinya sehingga penulis tetap semangat mengerjakan skripsi.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun selalu penulis harapkan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi semua yang membutuhkan. Akhir kata, semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua, Aamiin aamiin ya robbal'alamin.

Wassalamu'alaikum, Wr.Wb

Yogyakarta, Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
PERNYATAAN.....	xii
INTISARI.....	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Jenis Penelitian dan Metode Analisis	4
1.5. Tujuan Penelitian.....	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Penelitian Terdahulu.....	6
BAB III	
LANDASAN TEORI.....	9
3.1. Lampu Lalu Lintas	9
3.2. Karakteristik Kendaraan.....	10
3.3. Karakteristik Arus Lalu Lintas	10
3.4. Proses Stokastik.....	11
3.5. Distribusi Poisson.....	11
3.6. Distribusi Eksponensial	12

3.7.	Proses Poisson dan Distribusi Eksponensial	12
3.8.	Pengertian Antrian.....	13
3.9.	Komponen Proses Antrian.....	14
3.10.	Karakteristik Antrian	14
3.10.1.	Karakteristik Kedatangan.....	14
3.10.2.	Disiplin antrian.....	15
3.10.3.	Karateristik pelayanan.....	16
3.11.	Struktur Antrian	16
3.12.	Notasi Kendall	18
3.13.	Ukuran Steady-State	19
3.14.	Uji Kecocokan Distribusi.....	20
3.15.	Model Antrian.....	21
BAB IV		
METODOLOGI PENELITIAN.....		26
4.1.	Populasi dan Sumber data	26
4.2.	Tempat dan Waktu Penelitian	26
4.3.	Variabel Penelitian	26
4.4.	Metode Pengumpulan Data	27
4.5.	Metode Analisis Data	27
4.6.	Tahapan Penelitian	27
BAB V		
PEMBAHASAN		29
5.1.	Waktu Tunggu Kendaraan.....	29
5.2.	Jumlah Kedatangan Kendaraan	30
5.3.	Uji Distribusi Kedatangan dan Meninggalkan Lampu Lintas.....	34
5.4.	Model Antrian M/M/1	38
5.4.1.	Kinerja Sistem Antrian pada Lengan Timur	40
5.4.2.	Kinerja Sistem Antrian pada Lengan Barat	43
5.4.3.	Perbandingan kondisi lalu lintas	46
5.4.4.	Waktu tunggu lampu lalu lintas optimal	49
BAB VI		
PENUTUP.....		53

6.1. Kesimpulan.....	53
6.2. Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
1.1	Jumlah kendaraan tahun 2016	2
3.1	Komponen proses antrian	4
3.2	<i>Single Channel – Single Phase</i>	17
3.3	<i>Single Channel – Multi Phase</i>	17
3.4	<i>Multi Chanel – Single Phase</i>	18
3.5	<i>Multi Channel – Single Phase</i>	18
4.1	Alur penelitian	28
5.1	Grafik jumlah kedatangan kendaraan lengan timur pada pagi hari	31
5.2	Grafik jumlah kedatangan kendaraan lengan barat pada pagi hari	32
5.3	Grafik jumlah kedatangan kendaraan lengan timur pada sore hari	33
5.4	Grafik jumlah kedatangan kendaraan lengan barat pada sore hari	34
5.5	Perbandingan kendaraan pada pagi hari	46
5.6	Perbandingan waktu tunggu kendaraan pada pagi hari	47
5.7	Perbandingan jumlah kendaraan pada sore hari	48
5.8	Perbandingan waktu tunggu kendaraan pada sore hari	48
5.9	Perbandingan rata-rata waktu pelayanan perkendaraan (detik) disetiap kondisi	52

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
5.1	Uji distribusi kedatangan lengan timur	35
5.2	Uji Distribusi kedatangan pada lengan barat	35
5.3	Uji Distribusi meninggalkan lampu lalu lintas pada lengan timur	36
5.4	Uji Distribusi meninggalkan lampu lalu lintas pada lengan barat	37
5.5	Kinerja sistem antrian di lengan timur pada pagi hari	40
5.6	Kinerja sistem antrian di lengan timur pada sore hari	41
5.7	Kinerja sistem antrian di lengan barat pada pagi hari	43
5.8	Kinerja sistem antrian di lengan barat pada sore hari	45
5.9	Lama waktu berwarna merah dalam detik	49
5.10	Lama waktu berwarna hijau dalam detik	49
5.11	Simulasi kinerja sistem antrian pada lengan timur di pagi hari	50
5.12	Simulasi kinerja sistem antrian pada lengan barat di pagi hari	50
5.13	Simulasi kinerja sistem antrian pada lengan timur di sore hari	50
5.14	Simulasi kinerja sistem antrian pada lengan barat di sore hari	51

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
1	Data Jumlah Kedatangan Kendaraan Pada Lengan Timur Pagi Hari	57
2	Data Jumlah Kedatangan Kendaraan Pada Lengan Timur Sore hari	58
3	Data Jumlah Kedatangan Kendaraan Pada Lengan Barat Pagi Hari	59
4	Data Jumlah Kedatangan Kendaraan Pada Lengan Barat Sore Hari	60
5	Data Jumlah Kendaraan yang Mampu Meninggalkan Lampu Lalu Lintas Pada Lengan Timur Pagi hari	61
6	Data Jumlah Kendaraan yang Mampu Meninggalkan Lampu Lalu Lintas Pada Lengan Timur Sore hari	62
7	Data Jumlah Kendaraan yang Mampu Meninggalkan Lampu Lalu Lintas Pada Lengan Barat Pagi Hari	63
8	Data Jumlah Kendaraan yang Mampu Meninggalkan Lampu Lalu Lintas Pada Lengan Barat Sore Hari	64

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang sebelumnya pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang diacu dalam naskah ini dan disebutkan daftar pustaka.

Yogyakarta, Maret 2018



Nilam Mufidah

**PEMODELAN ANTRIAN KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN
MODEL ANTRIAN M/M/1 DI SIMPANG TIGA RINGROAD UTARA
YOGYAKARTA PADA PAGI HARI DAN SORE HARI**

Nilam Mufidah

Program Studi Statistika Fakultas MIPA

Universitas Islam Indonesia

INTISARI

Semakin tingginya volume kendaraan mengakibatkan kemacetan yang sangat tinggi terutama waktu berangkat kerja (pagi hari) dan pulang kerja (sore hari). Salah satu faktor yang mengakibatkan kemacetan adalah menumpuknya kendaraan pada lampu lalu lintas. Salah satu lampu lalu lintas yang mengalami penumpukan kendaraan di Yogyakarta adalah simpang tiga ringroad utara. Penyebab padatnya kendaraan pada simpang tiga tersebut dikarenakan lampu lalu lintas di daerah tersebut adalah pintu masuk dan keluar pada sisi timur Yogyakarta, terutama pada lengan barat dan lengan timur sering terjadi penumpukan kendaraan yang panjang. Salah satu solusi mengurangi atau mencegah penumpukan kendaraan pada lampu lalu lintas adalah dengan melakukan analisis pada sistem lalu lintas pada waktu yang rawan terjadi penumpukan kendaraan menggunakan teori antrian. Pemodelan antrian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pemodelan sistem antrian kendaraan pada simpang tiga ringroad utara pada lengan barat dan lengan timur. Waktu yang dipilih adalah pada pagi hari dan sore hari disetiap harinya. Model antrian yang digunakan pada penelitian ini adalah model antrian M/M/1. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada lengan timur pada pagi hari mengalami kesibukan pada hari Kamis sebesar 99,04% dan sore hari mengalami puncak kesibukan pada hari Jumat sebesar 99,19%. Pada lengan barat mengalami puncak kesibukan di pagi hari pada hari Rabu sebesar 99,32% dan sore hari puncak kesibukan pada hari Sabtu sebesar 99,3%.

Kata Kunci : Teori Antrian, M/M/1, Simpang tiga Ringroad Utara , Kemacetan

**MODELING VEHICLE QUEUE ANALYSIS USING M / M / 1
MODEL ON THREE JUNCTION NORTHERN RINGROAD IN
MORNING AND AFTERNOON**

Nilam Mufidah

Statistics Faculty of Mathematics and Natural Sciences

Islamic University of Indonesia

ABSTRACT

The higher volume of vehicles result in very high traffic jams, especially when leaving for work (morning) and get home from work (afternoon). One of the factors that lead to traffic jams is the accumulation of vehicles on traffic lights. One of the traffic lights that have accumulated vehicles in Yogyakarta is the three junction northern ringroads. The cause of the dense vehicle at the intersection of three is due to traffic lights in the area is the entrance and exit on the east side of Yogyakarta, especially on the western arm and the east arm often occur a long buildup of vehicles. One solution to reduce or prevent vehicle buildup at traffic lights is to analyze the traffic system at a time that is prone to buildup of vehicles using queuing theory. Queue modeling done in this research is modeling of vehicle queue system at intersection of three northern ringroad on western arm and east arm. The time chosen is in the morning and afternoon every day. The queuing model used in this research is the M / M / 1 queuing model. The results showed that on the eastern arm in the morning experienced busyness on Thursday at 99.04% and in the afternoon experienced a peak activity on Friday at 99.19%. In the western arm peaked in the morning on a Wednesday morning of 99.32% and the afternoon peak on the day Saturday was 99.3%.

Keywords: *Queue Theory, M / M / 1, three junction northern ringroad, congestion*

BAB I

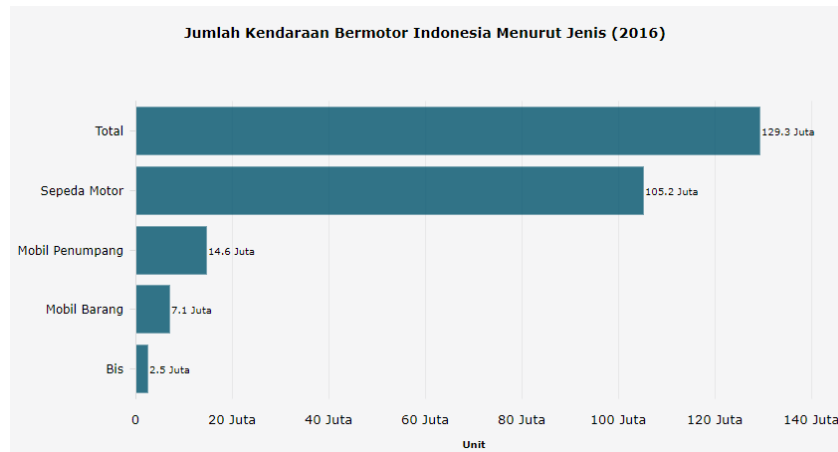
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berdasarkan data world bank, lima negara dengan populasi terbanyak pada tahun 2016, negara yang memiliki populasi paling tinggi adalah China yaitu sebesar 1.378.665.000 jiwa. Negara dengan populasi tertinggi kedua adalah India dengan jumlah populasi 1.324.171.354 jiwa. Pada urutan ketiga adalah Amerika Serikat dengan jumlah 32.127.513. Urutan keempat diduduki Indonesia dengan jumlah 261.115.456 jiwa dan urutan kelima adalah Brazil dengan jumlah populasi sebesar 207.652.865. Indonesia menempati posisi keempat dunia dalam hal populasi paling tinggi, tetapi berdasarkan publikasi Badan Pusat Statistika (BPS) dengan judul Statistik 2017 (*Statistical Yearbook of Indonesia 2017*), jumlah penduduk Indonesia sebanyak 258.704.900 jiwa pada tahun 2016. Angka tersebut lebih tinggi sekitar 8,5% atau bertambah sebanyak 20.186.200 jiwa dibandingkan dengan tahun 2015 yang berjumlah 238.518.800 jiwa. Peningkatan jumlah penduduk Indonesia jika dilihat berdasarkan provinsi, Jawa Barat menempati posisi paling tinggi yaitu sebesar 18,3% dengan 47.379.400 jiwa disusul oleh Jawa Timur yaitu sebesar 15,1% dengan 39.075.300 jiwa kemudian Jawa Tengah sebesar 13,1% dengan 34.019.100 jiwa, sedangkan Provinsi D.I. Yogyakarta menempati urutan ke-delapanbelas yaitu sebesar 1,4% dengan 3.720.900 jiwa.

Meningkatnya populasi di Indonesia mengakibatkan naiknya jumlah transportasi. Transportasi itu sendiri terbagi menjadi transportasi laut, transportasi udara dan transportasi darat. Transportasi darat merupakan salah satu transportasi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Transportasi darat meliputi kereta api, kendaraan bermotor dan kendaraan tak bermotor. Kendaraan bermotor adalah kendaraan yang digerakkan oleh peralatan teknik yang ada pada kendaraan tersebut. Sedangkan kendaraan tak bermotor adalah kendaraan dengan roda yang digerakkan oleh manusia atau hewan. Kendaraan yang termasuk dalam kelompok kendaraan bermotor seperti sepeda motor, mobil penumpang, mobil bus, mobil truk.

Jumlah kendaraan di Indonesia pada tahun 2016 berdasarkan databoks.katadata telah mencapai 129 juta unit. Motor mendominasi jumlah kendaraan dengan 81,35% atau 105,2 juta unit kemudian dilanjutkan mobil penumpang dengan 11,27% atau 14,58 juta unit, kendaraan mobil barang atau truk sebesar 5,46% atau 7,06 juta unit dan bus sebesar 1,92% atau 2,46 juta unit.



Sumber: *Databoks.katadat.co.id*

Gambar 1.1 Jumlah kendaraan di Indonesia tahun 2016

Di D.I.Yogyakarta sendiri, data BPS dalam Statistik 2017 (*Statistical Yearbook of Indonesia 2017*) menyatakan jumlah kendaraan pada tahun 2016 mencapai 3.976.235 unit kendaraan, meningkat 5,92% sedangkan tahun 2015 hanya meningkat 1,27%.

Meningkatnya jumlah kendaraan di D.I.Yogyakarta mengakibatkan bertambahnya volume kendaraan. Salah satu pemicu kemacetan di Yogyakarta adalah karena Yogyakarta merupakan jalur perlintasan, baik kendaraan dari arah timur menuju arah barat atau sebaliknya. Semakin tingginya volume kendaraan mengakibatkan kemacetan yang sangat tinggi terutama di jam-jam tertentu. Waktu yang sering mengalami kemacetan adalah pada waktu berangkat kerja (pagi hari) dan pulang kerja (sore hari). Salah satu faktor yang mengakibatkan kemacetan adalah menumpuknya kendaraan pada lampu lalu lintas. Salah satu lampu lalu lintas yang mengalami penumpukan kendaraan di Yogyakarta adalah simpang tiga ringroad utara. Penyebab padatnya kendaraan pada simpang tiga tersebut dikarenakan lampu lalu lintas di daerah tersebut adalah pintu masuk dan keluar

pada sisi timur Yogyakarta, terutama pada lengan barat dan lengan timur sering terjadi penumpukan kendaraan yang panjang.

Salah satu solusi mengurangi atau mencegah penumpukan kendaraan pada lampu lalu lintas adalah dengan melakukan analisis pada sistem lalu lintas pada waktu yang rawan terjadi penumpukan kendaraan menggunakan teori antrian. Data yang digunakan adalah data jumlah kendaraan yang berada pada lengan barat dan lengan timur. Lengan barat dan lengan timur dipilih karena dua jalur tersebut yang mengalami penumpukan kendaraan yang panjang. Hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dan mengambil keputusan terkait sistem lalu lintas. Oleh karena itu, pada skripsi ini akan dibahas tentang aplikasi antrian dengan model M/M/1 pada simpang tiga ringroad utara lengan barat dan dan lengan timur.

Groos dan Harris (1994) menyatakan bahwa sistem antrian dapat digambarkan sebagai kedatangan pelanggan ke dalam antrian, menunggu pelayanan, mendapatkan pelayanan, dan meninggalkan antrian setelah mendapatkan pelayanan. Desain fasilitas pelayanan dikenal mempunyai empat struktur antrian yaitu saluran tunggal, saluran banyak fase tunggal, saluran tunggal fase banyak dan banyak saluran dan banyak fase (Cooper, 2000). Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai penerapan model antrian M/M/1 pada setiap antrian yang terjadi. Antrian yang diambil adalah antrian yang terjadi pada simpang tiga ringroad utara pada lajur timur dan barat.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas diperoleh beberapa rumusan masalah, yaitu :

1. Bagaimana perbandingan kinerja sistem antrian lampu lalu lintas pada lengan barat dan lengan timur simpang tiga ringroad utara pada pagi dan sore hari di setiap harinya?
2. Bagaimana karakteristik sistem antrian lampu lalu lintas pada lengan barat dan lengan timur simpang tiga ringroad utara pada pagi dan sore hari?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini berfokus pada sistem antrian lampu lalu lintas pada pagi hari pukul 06.30 – 08.30 WIB dan pada sore hari pukul 15.30 – 17.30 WIB.
2. Penelitian dilakukan hanya berdasarkan data yang diperoleh dari simpang tiga ringroad utara, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta
3. Data yang digunakan adalah data jumlah kendaraan yang melintas dan tidak membedakan kendaraan sepeda motor, mobil ringan ataupun mobil berat.
4. Data yang diambil adalah data pada simpang tiga ringroad utara pada lengan barat dan lengan timur.
5. Data jumlah kedatangan yang diambil adalah data kendaraan yang datang tanpa melihat jumlah kendaraan yang tersisa pada siklus lampu lalu lintas sebelumnya.

1.4. Jenis Penelitian dan Metode Analisis

Penelitian ini termasuk penelitian dengan kategori aplikasi. Penelitian ini mengaplikasikan salah satu permasalahan transportasi di simpang tiga ringroad utara menggunakan teori antrian dengan model M/M/1. Disiplin antrian yang digunakan adalah *First Come First Served (FCFS)*. Hasil dari penelitian ini diharapkan mengetahui perbandingan antrian perharinya pada lengan barat dan lengan timur.

1.5. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan kinerja sistem antrian lampu lalu lintas pada simpang tiga ringroad utara pada pagi dan sore hari dalam perharinya.
2. Mengetahui karakteristik sistem antrian lampu lalu lintas pada simpang tiga ringroad utara pada pagi dan sore hari.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan teori antrian dalam bidang transportasi.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat bagaimana kondisi lampu lalu lintas pada simpang tiga ringroad utara khususnya pada lengan barat dan lengan timur.
3. Sebagai bahan pertimbangan pemerintah dalam pengambilan keputusan untuk mengurangi kemacetan atau antrian panjang yang terjadi di persimpangan terutama simpang tiga ringroad utara.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Dalam penulisan penelitian dibutuhkan beberapa referensi penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu yang memiliki tema dan metode penyelesaian yang sama dapat menjadi referensi penulis dalam menyusun penelitian ini. Dari penelitian sebelumnya dapat diketahui masalah apa saja yang pernah diselesaikan menggunakan metode yang sama.

Jurnal dengan judul *A Queueing Based Traffic Flow Model* oleh Vandaele, Woensel dan Verbruggen (2000) membahas tentang penggunaan model antrian G/G/1 dan model G/G/1 dengan keadaan tertentu. Model tersebut digunakan untuk melihat pengaruh kecepatan dalam berkendara dalam antrian kendaraan. Setiap modelnya akan dibandingkan ketika nilai variansi yang berbeda.

Sugito dan Marissa (2009) dalam jurnal berjudul Analisis Sistem Antrian Kereta Api di Stasiun Besar Cirebon dan Stasiun Cirebon Prujakan membahas tentang penggunaan model antrian yang digunakan untuk mengetahui model antrian dan mengetahui ukuran kinerja sistem. Penelitian ini dilakukan selama satu Minggu sesuai dengan jadwal kereta api dari pukul 00.00 sampai dengan 23.59 WIB pada tanggal 21 Juli 2008 sampai dengan 28 Agustus 2008. Data yang digunakan adalah data jumlah kedatangan kereta api, waktu kedatangan kereta api dan waktu pelayanan kereta api di stasiun. Hasil dari penelitian tersebut adalah Stasiun besar Cirebon memiliki dua kategori jalur, yaitu kategori jalur satu adalah jalur khusus K.A Cirebon Ekspres dengan model M/M/1 dan kategori jalur kedua untuk K.A umum dengan model G/G/3. Pada stasiun Cirebon Prujakan memiliki tiga kategori jalur, yaitu kategori pertama untuk K.A ekonomi dengan model M/G/2, kategori jalur kedua untuk K.A non ekonomi dengan mode M/G/1 dan kategori ketiga untuk K.A barang dengan model M/G/1.

Penelitian berjudul Analisis Sistem Pesawat Terbang Bandara Internasional Adi Sumarmo Surakarta oleh Widiawati (2010). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa masalah antrian pesawat di Bandara Internasional Adisumarso.

Berdasarkan analisis teori antrian didapatkan dua model antrian yang sesuai untuk sistem pelayanan di Bandara Internasional Adisumarmo Surakarta adalah model G/G/1 untuk Minggu pertama dan model G/G/1 untuk Minggu kedua.

Anokye, Abdul-Aziz, Annin dan Oduro (2013) dalam jurnal berjudul *Application of Queuing Theory to Vehicular Traffic at Signalized Intersection in Kumasi-Ashanti Region, Ghana* membahas tentang tentang model antrian M/M/1 pada simpang tiga pada pagi, sore dan malam hari. Dari ketiga rute tersebut rute Aboabo memiliki waktu tunggu kendaraan paling kecil di pagi, sore ataupun malam hari. Berdasarkan keseluruhan penelitian tersebut kesimpulan yang dapat diambil adalah bahwa pada simpang tiga mengalami kelancaran arus lalu lintas karena sistem di setiap rute mampu melayani lebih banyak dari pada mobil yang menunggu.

Yang dan Yang (2014) pada jurnal dengan judul *The Application of the Queuing Theory in the Traffic Flow of Intersection* melakukan penelitian pada jalur simpang tiga Shenzhen dalam rentang waktu satu jam di setiap tanggal 13 April 2014 sampai dengan 15 April 2014. Kedatangan kendaraan diasumsikan dalam setiap 5 detik. Maka didapatkan kesimpulan bahwa model yang paling sesuai adalah model M/M/3.

Riana (2014) dalam penelitian berjudul *Model Antrian Waktu Tunggu Kendaraan di Persimpangan Lampu Lalu Lintas Condong Catur dengan Compound Poisson Arrivals* dan memperhatikan sisa antrian sebelumnya. Penelitian ini menggunakan data lalu lintas pada persimpangan Condong Catur lengan timur. Penelitian tersebut menganalisis antrian pada siang hari pukul 11.30 – 12.30 WIB dalam kurun waktu satu hari. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa waktu tunggu kendaraan di persimpangan Condong Catur pada lengan timur selama 94,4 detik.

Jurnal berjudul *Analisis Tingkat Pelayanan Persimpangan Jalan dengan Model Antrian M/D/1 dan Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) dengan Studi Kasus Persimpangan ITN Kota Malang* oleh Putri dan Abusini (2015). Data yang digunakan adalah jumlah kendaraan, geometri jalan, fase lampu lalu lintas dan waktu siklus lampu lalu lintas pada tanggal 8, 11 dan 13 Desember

2014 pukul 06.30 – 07.30 WIB. Penelitian tersebut melakukan model antrian $M/D/1$ dengan tingkat pelayanan sebesar 99,6%, yang artinya kinerja persimpangan tersebut adalah sibuk. Dengan melihat hasil metode MKJI diperoleh derajat kejenuhan sebesar 0,841 dan nilai tundaan rata-rata persimpangan sebesar 36 detik.

Sari, Sugito dan Warsito (2016) pada penelitian dengan judul Penerapan Teori Antrian Pada Pelayanan Teller Bank X Kantor Cabang Pembantu Puri Sentra Niaga menjelaskan tentang penggunaan model $M/G/1$ untuk antrian 1 dan model $M/M/2$ untuk antrian 2. Pada model $M/G/1$ waktu yang dihabiskan seorang nasabah menunggu dalam antrian sebelum mendapatkan pelayanan yang dibutuhkan adalah 32,004 menit dan peluang loket menganggur adalah sekitar 10,33%. Sedangkan pada model $M/M/2$ untuk antrian 2 didapatkan bahwa waktu menunggu pelayanan adalah sekitar 2,054 menit dan peluang loket menganggur adalah 27,27%.

Teori antrian juga pernah diaplikasikan pada simpang empat Kentungan oleh Puspitasari (2016) dengan judul Analisis Kinerja Sistem Lalu Lintas Persimpangan Menggunakan Metode Teori Antrian dengan Model Constants Service Time ($M/D/1$). Penelitian ini dilakukan pada setiap ruas simpang empat Kentungan. Data yang digunakan adalah data hasil evaluasi kinerja ruas jalan dan simpang pada tahun 2015. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat karakteristik sistem pada setiap ruas simpang empat Kentungan.

Pada penelitian terdahulu tentang lalu lintas yang dilakukan oleh Puspitasari (2016) pada simpang empat Kentungan dengan model antrian $M/D/1$ dan Riana (2014) pada simpang empat Condong Catur digunakan model antrian *Compound Poisson Arrivals*. Penelitian ini juga akan membahas tentang antrian pada lampu lalu lintas, tetapi dilakukan pada simpang tiga ringroad utara dengan model yang digunakan adalah $M/M/1$.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Lampu Lalu Lintas

Undang-undang No 22 Tahun 2009 tentang lalu lintas dan angkutan jalan pasal 1 didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan. Sedang ruang lalu lintas jalan adalah prasarana yang diperuntukkan bagi gerak kendaraan, orang, dan/atau barang yang berupa jalan dan fasilitas pendukung. (Dephub, 2009)

Djajeosman (Djajoesman, 1976) berpendapat bahwa secara harfiah lalu lintas diartikan sebagai gerak (bolak-balik) manusia atau barang dari satu tempat ketempat lainnya dengan menggunakan sarana jalan umum. Sedangkan, Poerdarminta (Poerwadarminta, 1993) dalam kamus umum bahasa indonesia menyatakan bahwa lalu lintas adalah berjalan bolak balik, hilir mudik dan perihal perjalanan di jalan dan sebagainya serta berhubungan antara sebuah tempat dengan tempat lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lalu lintas adalah gerak/pindahnya manusia, hewan, atau barang dari satu tempat ketempat lainnya di jalan dengan menggunakan alat gerak.

Pengaturan arus lalu lintas pada persimpangan pada dasarnya dimaksudkan untuk bagaimana pergerakan kendaraan pada masing-masing kelompok pergerakan kendaraan dapat bergerak secara bergantian sehingga tidak saling menunggu antar arus yang ada. Berdasarkan cara pengoperasiannya, jenis kendali lampu lalu lintas pada persimpangan yang ada seperti volume, geometrik simpang dan sebagainya. Pada umumnya pengaturan waktu lampu lintas menggunakan pengaturan waktu tetap (*Fixed Time Operation*). *Fixed Time Operation* adalah pengoprasian waktu siklus dan panjang fase yang diatur terlebih dahulu dan dipertahankan untuk suatu periode tertentu. Panjang siklus dan fase adalah tetap selama interval tertentu. Pada keadaan tertentu, tipe ini tidak efisien dibandingkan tipe aktual karena tidak memperhatikan perubahan-perubahan yang terjadi pada volume arus lalu lintas. Sehingga diperlukan alternatif yang sesuai dengan menggunakan lebih dari satu pengaturan (*multi-setting*) untuk situasi yang

berbeda dalam satu hari. Pada umumnya periode waktu berhubungan dengan waktu sibuk dalam satu hari yaitu pagi, siang dan sore hari. (Jatmika & Andiko, 2014)

3.2. Karakteristik Kendaraan

Pada dasarnya, kendaraan diklasifikasikan karena kendaraan menghasilkan spektrum bunyi yang berbeda, yang dimaksud kendaraan adalah unsur lalu lintas di atas roda. Secara umum kendaraan yang beroperasi di jalan raya dapat dikelompokkan dalam beberapa kategori, (Zulkipli, 2015) yaitu:

a. Kendaraan Berat (HV)

Kendaraan berat adalah kendaraan dengan lebih dari 4 roda meliputi bus, truk dua as, truk tiga as dan truk kombinasi

b. Kendaraan Ringan (LV)

Kendaraan ringan adalah kendaraan berat dua dengan empat roda dan dengan jarak as 2,0 – 3,0 m. Kendaraan ini meliputi mobil penumpang, microbus, pick up dan truk kecil

c. Sepeda Motor (MC)

Kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda, meliputi sepeda motor dan kendaraan roda tiga.

d. Kendaraan tak bermotor (UM)

Kendaraan dengan roda yang digerakkan oleh manusia atau hewan, meliputi sepeda, becak, kereta kuda dan kereta dorong.

3.3. Karakteristik Arus Lalu Lintas

Parameter lalu lintas yang biasa digunakan (Zulkipli, 2015) ada dua yaitu :

a. Volume lalu lintas

Volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati suatu titik di suatu jalan raya, atau lajur yang diberikan atau arah dari suatu jalan raya dalam interval waktu tertentu.

b. Kecepatan

Kecepatan adalah jarak dibagi dengan waktu. Waktu ada dua jenis yaitu waktu perjalanan dan waktu gerak. Waktu gerak adalah waktu perjalanan dikurangi lamanya tundaan karena dalam kecepatan biasanya waktu diukur dalam detik dan jarak diukur dalam meter maka untuk mendapatkan hasil kecepatan yang lazimnya dinyatakan dalam km/jam

3.4. Proses Stokastik

Proses stokastik adalah suatu proses yang mengandung suatu ketidak pastian atau sistem yang dijalankan pada suatu lingkungan yang tak dapat diduga, dimana model deterministik tidak lagi cocok untuk menganalisis sistem (Putra, 2017). Proses stokastik sebuah kumpulan peubah acak X_t , dimana t adalah waktu dan X adalah keadaan $\{X_t, t \in T\}$ (Srinadi, 2013).

Analisis Rantai Markov adalah suatu metode yang mempelajari sifat-sifat suatu variabel pada masa sekarang yang didasarkan pada sifat-sifat masa lalu dalam usaha menaksir sifat-sifat variabel tersebut di masa yang akan datang. Dalam analisis markov yang dihasilkan adalah suatu informasi probabilistik yang dapat digunakan untuk membantu pembuatan keputusan. Analisis markov merupakan suatu bentuk khusus dari model probabilistik yang lebih umum dikenal proses stokastik (Sitindaon, 2010).

Rantai markov waktu kontinu adalah proses stokastik yang bergerak dari suatu keadaan ke keadaan lain sesuai dengan rantai markov, tetapi banyaknya waktu yang dihabiskan di setiap keadaan sebelum melanjutkan ke keadaan berikutnya berdistribusi eksponensial. Banyak nya waktu proses yang dihabiskan di setiap keadaan i , dan keadaan berikutnya yang dikunjungi harus independent terhadap variabel acak (Putra, 2017).

3.5. Distribusi Poisson

Suatu eksperimen yan menghasilkan jumlah sukses yang terjadi pada interval waktu ataupun daerah yang spesifik dikenal sebagai eksperimen poisson. Interval waktu tersebut dapat berupa menit, hari, Minggu, bulan, maupun tahun,

sedangkan daerah yang spesifik dapat berarti garis, luas, sisi maupun material. (Dimiyati & Tarliyah, 1999)

Bain dan Engelhardt (1992) dalam bukunya yang berjudul *Introduction to Probability and Mathematical Statistics* menyatakan bahwa peubah acak diskrit X dikatakan berdistribusi Poisson dengan parameter $\mu > 0$ jika memiliki fungsi densitas peluang yang berbentuk

$$f(x; \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} \text{ dengan } x = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3.1)$$

dengan μ menyatakan rata-rata banyaknya sukses yang terjadi per satuan waktu atau pada daerah tertentu. Dapat dicontohkan banyaknya kendaraan pada lampu lalu lintas dalam kurun waktu satu menit.

3.6. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan untuk menggambarkan distribusi waktu pada fasilitas jasa, dimana waktu pelayanan tersebut diasumsikan bersifat bebas. Artinya, waktu untuk melayani pendatang tidak bergantung pada lama waktu yang telah dihabiskan untuk melayani pendatang sebelumnya, dan tidak bergantung pada jumlah pendatang yang menunggu untuk dilayani. (Djauhari, 1997)

Bain dan Engelhardt (1992) dalam bukunya yang berjudul *Introduction to Probability and Mathematical Statistics* menyatakan bahwa peubah acak kontinu X dikatakan berdistribusi eksponensial dengan $\theta > 0$ jika memiliki pdf berikut

$$f(x; \theta) = \begin{cases} \frac{1}{\theta} e^{-\frac{x}{\theta}}, & x \geq 0 \\ 0, & \text{untuk } x \text{ lainnya} \end{cases} \quad (3.2)$$

3.7. Proses Poisson dan Distribusi Eksponensial

Menurut Praptono (1986), proses poisson adalah proses cacah yang mempunyai batasan tertentu yaitu diantaranya $N(t)$ mengikuti distribusi poisson dengan rata-rata λt dimana λ suatu konstanta.

Asumsi untuk proses poisson adalah sebagai berikut (Praptono, 1986) :

- a. $N(t)$ independen terhadap banyaknya kejadian peristiwa yang akan terjadi di dalam selang waktu yang lalu artinya $N(t)$ tidak bergantung pada keadaan yang lalu.

- b. Homogenitas dalam waktu, yang dimaksud dengan homogenitas dalam waktu adalah $P_n(t)$ hanya tergantung pada panjang t atau panjang selang waktu atau tidak tergantung dimana selang waktu berganda.
- c. Regularitas, didalam suatu interval kecil (Δt), probabilitas bahwa tepat satu kejadian terjadi adalah $\lambda \Delta t + o(\Delta t)$ dan probabilitas bahwa banyaknya kejadian terjadi lebih dari sekali adalah $o(\Delta t)$ dalam interval (Δt).

Pada umumnya model antrian diasumsikan bahwa waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan mengikuti distribusi eksponensial atau sama dengan rata-rata kedatangan dan rata-rata pelayanan mengikuti distribusi poisson. Apabila kedatangan mengikuti proses poisson dengan parameter λ , maka suatu variabel acak akan mengikuti distribusi eksponensial dengan parameter $\frac{1}{\lambda}$. (Gross & Harris, 1998)

3.8. Pengertian Antrian

Groos dan Harris (1994) sistem antrian dapat digambarkan sebagai kedatangan pelanggan ke dalam antrian, menunggu pelayanan, mendapatkan pelayanan, meninggalkan antrian setelah mendapatkan pelayanan. Proses dasar yang dianggap oleh model antrian adalah bahwa pelanggan yang memerlukan pelayanan berasal dari suatu populasi yang disebut sumber masukan. Pelanggan memasuki sistem antrian dan menggabungkan diri atau membentuk suatu antrian. Pada waktu tertentu, anggota dalam antrian dipilih untuk memperoleh pelayanan dengan menggunakan aturan tertentu yang disebut disiplin pelayanan. Pelayanan yang diperlukan oleh pelanggan kemudian dilakukan oleh mekanisme pelayanan, setelah memperoleh pelayanan pelanggan meninggalkan sistem (Supranto, 1998).

Pada dasarnya antrian adalah suatu gejala umum yang biasa terjadi jika kebutuhan akan suatu pelayanan melebihi kapasitas yang tersedia untuk menyelenggarakan pelayanan itu. Dengan kata lain, terbentuknya antrian adalah jika konsumen (barang atau orang) yang datang pada suatu fasilitas pelayanan tidak segera dilayani oleh fasilitas yang ada. Proses yang terjadi pada sistem antrian pada prinsipnya adalah unit-unit langganan atau pemakaian jasa yang

memerlukan pelayanan keluar dari sumber input, memasuki sistem antrian dan bergabung dalam antrian (Indrayani, 2008).

3.9. Komponen Proses Antrian

Komponen dasar dari proses antrian adalah kedatangan, pelayanan dan antri. Kedatangan atau dapat dikatakan proses input. Proses input meliputi sumber kedatangan atau bisa dinamakan *calling population*, dan cara terjadinya kedatangan yang umumnya merupakan proses random. Pelayanan atau mekanisme pelayanan dapat terdiri dari satu atau lebih fasilitas pelayanan. Inti dari analisis antrian adalah antri itu sendiri. Timbulnya antrian terutama tergantung dari sifat kedatangan dan proses pelayanan (Dwijanto, 2008). Komponen-komponen tersebut disajikan pada **Gambar 3.1**.



Sumber: Dwijanto, 2008

Gambar 3.1 Komponen proses antrian

3.10. Karakteristik Antrian

3.10.1. Karakteristik Kedatangan

Sumber input yang mendatangkan pelanggan bagi sebuah sistem pelayanan memiliki beberapa karakteristik, antara lain:

a. Ukuran sumber kedatangan

Ukuran kedatangan pelanggan bisa berasal dari populasi terbatas (*finite*) atau dari populasi yang tidak terbatas (*infinite*). Pada populasi terbatas, dapat diketahui jumlah pelanggan yang akan masuk dalam sistem karena menyesuaikan kapasitas pelayanan yang ada. Populasi tidak terbatas jumlah pelanggan yang datang ke dalam sistem pelayanan tidak dapat diketahui dengan pasti (Heizer & Render, 2006).

b. Perilaku kedatangan

Perilaku pelanggan memainkan peranan yang penting dalam menganalisa antrian. Khusus untuk pelanggan “manusia” ada beberapa perilaku yang mungkin terjadi, yaitu diantaranya (Taha, 1996):

1. *Jockey* adalah perilaku pelanggan yang menerobos antrian untuk mengurangi waktu tunggu
2. *Balk* adalah perilaku pelanggan yang tidak mengantri untuk mengantisipasi waktu tunggu yang lama.
3. *Reneg* adalah perilaku pelanggan yang memutuskan untuk membatalkan antrian karena sudah menunggu terlalu lama.

c. Pola Kedatangan

Menggambarkan bagaimana distribusi pelanggan memasuki sistem. Distribusi Kedatangan terbagi menjadi dua yaitu *Constant arrival distribution* dan *Arrival pattern random*. *Constant arrival distribution* adalah pelanggan yang datang setiap periode tertentu. *Arrival pattern random* adalah pelanggan yang datang secara acak. (Heizer & Render, 2006)

3.10.2. Disiplin antrian

Disiplin antrian adalah aturan antrian yang melihat pada keadaan pelanggan yang berada didalam barisan untuk menerima pelayanan yang terdiri dari (Taha, 1996) :

a. *First come first served (FCFS)*

First come first served (FCFS) adalah pelanggan yang dilayani berdasarkan urutan kedatangan. Contohnya antrian pada loket pembelian tiket kereta api.

b. *Last come first served (LCFS)*

Last come first served (LCFS) adalah pelanggan yang dilayani adalah pelanggan yang terakhir datang dalam antrian. Contohnya sistem bongkar muatan barang dalam truk kontainer.

c. *Service in random order (SIRO)*

Service in random Order (SIRO) adalah pelayanan yang dilakukan secara acak. Contohnya adalah antrian keluar dari pesawat, dimana yang pertama kali keluar belum tentu yang pertama kali masuk pesawat.

d. *Priority*

Priority adalah pelayanan awal dilakukan pada pelanggan yang diutamakan. Contohnya ketika mobil president melewati lampu merah maka dapat langsung lolos dari lampu merah.

3.10.3. Karakteristik pelayanan

Karakteristik yang lain adalah karakteristik pelayanan, yaitu (Ruswandi, 2006):

a. Desain pelayanan

Pelayanan dapat dilakukan dengan satu atau lebih fasilitas pelayanan yang masing-masing dapat mempunyai satu atau lebih saluran pelayanan yang disebut dengan server. Dalam proses pelayanan terdapat bentuk pelayanan tunggal (single server) dan pelayanan majemuk (multiple server).

b. Pola pelayanan

Pola pelayanan memiliki keadaan sama seperti pola kedatangan dimana dapat dalam keadaan konstan atau acak. Jika waktu pelayanan konstan, maka waktu pelayanan adalah sama. Begitupula jika waktu kedatangan acak maka waktu pelayanan adalah acak atau tidak sama.

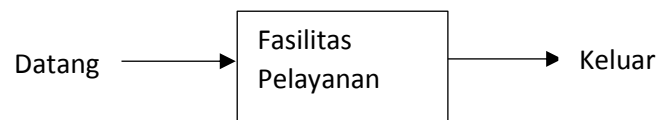
3.11. Struktur Antrian

Desain sarana pelayanan dapat diklasifikasikan dalam *channel* dan *phase* yang akan membentuk struktur antrian yang berbeda-beda (Sinalungga, 2008). Desain dari fasilitas pelayanan bisa berupa *server* yang diatur secara paralel, seperti pada teller bank. *Server* bisa juga diatur menjadi bentuk seri seperti proses pada mesin yang berurutan atau bisa disusun seperti jaringan, seperti *router* pada

jaringan komputer (Taha, 1996). Dalam sistem antrian ada empat model struktur antrian (Gross & Haris, 1994) yang sering digunakan sebagai berikut :

1. *Single Channel – Single Phase*

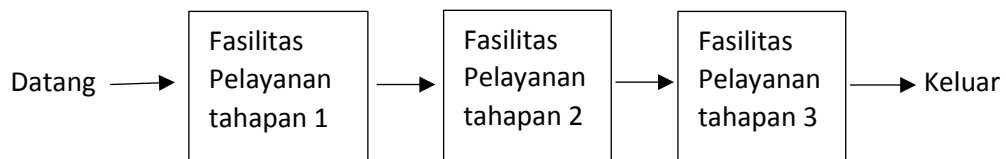
Single Channel berarti satu jalan untuk memasuki sistem pelayanan, sedangkan *Single Phase* berarti bahwa hanya ada satu sistem pelayanan yang dapat digunakan untuk melayani pelanggan. *Single Channel – Single Phase* dapat diartikan bahwa setiap pelanggan dapat langsung keluar dari sistem pelayanan yang terjadi. Contohnya adalah pada loket pembayaran swalayan yang hanya memiliki satu kasir. Sistem pelayanan pada model ini disajikan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 *Single Channel – Single Phase*

2. *Single Channel – Multi Phase*

Model antrian ini merupakan model antrian yang mempunyai jalur tunggal untuk dapat memasuki sistem dengan mempunyai tahapan pelayanan berganda. Berganda disini menunjukkan ada dua atau lebih pelayanan yang dilaksanakan dengan fasilitas pelayanan berurutan. Contohnya adalah pencucian mobil. Model ini disajikan pada **Gambar 3.3**

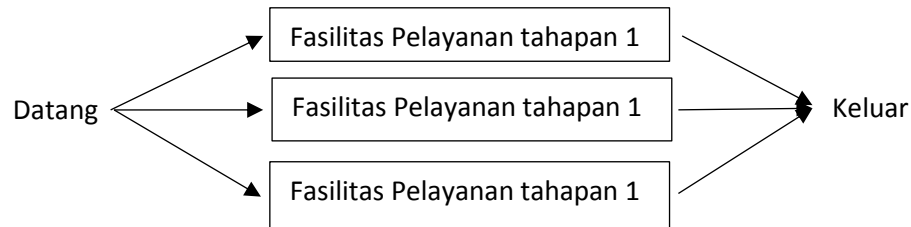


Gambar 3.3 *Single Channel – Multi Phase*

3. *Multi Chanel – Single Phase*

Sistem ini terjadi jika terdapat dua atau lebih fasilitas pelayanan tetapi hanya dialiri oleh antrian tunggal. Model antrian ini mempunyai lebih dari satu fasilitas pelayanan tetapi sistem pelayanan dalam fasilitas tersebut hanya mempunyai satu fase. Contohnya adalah sistem pelayanan di bank yang

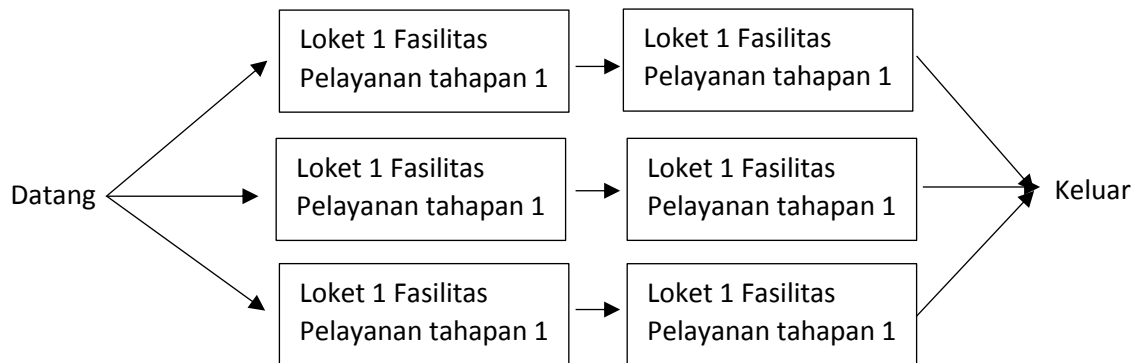
mempunyai sistem antrian satu tetapi dilayani oleh beberapa *teller*. Model sistem ini disajikan pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 *Multi Chanel – Single Phase*

4. *Multi Channel – Single Phase*

Dalam model antrian ini setiap sistem mempunyai beberapa fasilitas pelayanan disetiap tahapnya, maka dalam sistem ini lebih dari satu individu dapat dilayani dalam satu waktu. Contohnya adalah pasien dirumah sakit, beberapa perawat akan mendatangi pasien secara teratur dalam memberikan penyembuhan sampai dengan pembayaran. Model ini disajikan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 *Multi Channel – Single Phase*

3.12. Notasi Kendall

Notasi yang digunakan untuk meringkas karakteristik utama dari antrian paralel, secara universal yang dibakukan adalah (Taha, 1996):

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

Dimana simbol-simbol tersebut adalah unsur-unsur dasar dari model yang didefinisikan sebagai berikut :

- a = distribusi Kedatangan
 b = distribusi waktu pelayanan (atau keberangkatan)
 c = jumlah pelayan
 d = peraturan pelayanan (misalnya, FCFS, LCFS, SIRO dan PRI)
 e = jumlah maksimum yang diijinkan dalam system (dalam antrian dan system)
 f = ukuran sumber pemanggilan

Notasi standard tersebut dapat diganti dengan:

- M : Distribusi Poisson atau Markovian pada kedatangan atau keberangkatan atau setara dengan distribusi antar kedatangan atau waktu pelayanan yang eksponensial
 D : Konstanta atau *deterministic inter arrival* atau *service time* (waktu pelayanan).
 k : Jumlah pelayanan dalam bentuk paralel atau seri.
 N : Jumlah maksimum pelanggan (*customer*) dalam sistem
 E_d : Erlang atau Gamma distribusi untuk waktu antar kedatangan atau waktu pelayanan dengan parameter d .
 G : distribusi umum dari *server time* atau keberangkatan (*departure*)
 GI : distribusi umum yang *independent* dari proses kedatangan (*interactive time*)
 GD : *General Discipline* (disiplin umum) dalam antrian (FCFS, LCFS, SIRO dan PRI)
 NPD : (*Non-Preemptive Discipline*) server tidak menyela antrian jika terdapat pelanggan *priority* tinggi di dalam antrian.
 PRD : (*Preemptive Discipline*) server menyela antrian jika terdapat pelanggan *priority* tinggi di dalam antrian.

3.13. Ukuran Steady-State

Kondisi *steady-state* terpenuhi jika rata-rata kedatangan tidak melebihi rata-rata pelayanan, dapat dinyatakan bahwa $\lambda < \mu$ atau $\rho < 1$. Dimana λ adalah rata-rata kedatangan pelanggan dalam per satuan waktu tertentu, sedangkan μ

adalah rata-rata pelayanan dalam per satuan waktu tertentu. Faktor utilitas atau ρ adalah rata-rata kedatangan dibagi dengan rata-rata pelayanan. (Taha, 1996)

Setela kondisi *steady-state* terpenuhi maka dapat dihitung ukuran *steady-state* dari kinerja antrian tersebut dengan cara sederhana. Ukuran-ukuran kinerja dapat digunakan untuk menganalisis situasi antrian tersebut yang dapat digunakan untuk pembuatan rekomendasi tentang rancangan sistem tersebut. Ukuran-ukuran kinerja yang terpenting adalah jumlah pelanggan yang menunggu yang diperkirakan, waktu menunggu perpelanggan yang diperkirakan dan pemanfaatan sarana pelayanan yang diperkirakan. (Taha, 1996)

Taha (1996) mendefinisikan sebagai L adalah jumlah pelanggan yang diperkirakan dalam sistem, L_q adalah jumlah pelanggan yang diperkirakan dalam antrian, W adalah waktu menunggu yang diperkirakan dalam sistem, dan W_q adalah waktu menunggu yang diperkirakan dalam antrian. Dimana rumus umum dari L , L_q , W , W_q adalah:

$$L = \sum_{n=0}^{\infty} np_n \quad (3.4)$$

$$L_q = \sum_{n=c+1}^{\infty} (n - c)p_n \text{ atau } L_q = \lambda W_q \quad (3.5)$$

$$W = \frac{L}{\lambda_{eff}} \quad (3.6)$$

$$W_q = W - \frac{1}{\mu} \quad (3.7)$$

Dimana :

- n : Banyaknya keadaan
- p_n : Peluang n keadaan
- c : Banyaknya pelayanan
- λ_{eff} : Laju kedatangan efektif
- λ : Laju kedatangan pelanggan
- μ : Laju pelayanan

3.14. Uji Kecocokan Distribusi

Uji kecocokan distribusi digunakan untuk menentukan sampai seberapa jauh data sampel yang teramati selaras atau cocok dengan model tertentu yang ditawarkan. Apakah suatu populasi atau variabel acak mempunyai distribusi

tertentu. Uji-uji keselarasan (*goodnes of fit*) merupakan uji kecocokan distribusi yang bermanfaat untuk mengevaluasi sampai seberapa jauh suatu model mampu mendekati situasi nyata yang digambarkannya. Salah satu uji kecocokan distribusi yang dapat digunakan adalah uji Kolmogorov-Smirnov. (Daniel, 1989) Adapun prosedur pengujian Kolmogorov-Smirnov adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan hipotesis

Hipotesis pengujian distribusi kedatangan:

H_0 : data rata-rata kedatangan yang diamati berdistribusi poisson

H_1 : data rata-rata kedatangan yang diamati tidak berdistribusi poisson

Hipotesis pengujian distribusi pelayanan:

H_0 : data rata-rata pelayanan yang diamati berdistribusi poisson

H_1 : data rata-rata pelayanan yang diamati tidak berdistribusi poisson

- b. Menentukan taraf signifikansi

Taraf signifikansi yang akan digunakan adalah $\alpha = 5\%$

- c. Menentukan statistik uji

$$D = \text{Sup } |S(n) - F_0(n)|$$

Dimana :

$S(n)$: distribusi kumulatif data sampel

$F_0(n)$: distribusi kumulatif dari distribusi yang dihipotesiskan

- d. Kriteria uji

Tolak H_0 pada taraf signifikansi $\alpha = 5\%$ jika nilai $D >$ nilai $D^*(\alpha)$. Nilai $D^*(\alpha)$ adalah nilai kritis yang diperoleh dari tabel Kolmogorov-Smirnov.

3.15. Model Antrian

- a. Model antrian (M/M/1)

Model ini mempunyai pola kedatangan berdistribusi poisson dan waktu pelayanan berdistribusi eksponensial. Dalam situasi ini, kedatangan membentuk satu jalur tunggal untuk dilayani oleh satuan sistem tunggal. Perumusan nilai L dalam model antrian M/M/1 diperoleh berdasarkan rantai markov. Jika diasumsikan bahwa laju kedatangan adalah λ dan proporsi waktu dalam keadaan 0 adalah P_0 , maka laju dimana proses

meninggalkan keadaan 0 adalah λP_0 . Dimana keadaan 0 hanya bisa dicapai dari keadaan 1 melalui sebuah kedatangan. Artinya, jika ada satu pelanggan dalam sistem dan dia melengkapi layanannya, maka sistem menjadi kosong karena tingkat pelayanan μ dan proporsi waktu sistem memiliki tepat satu pelanggan adalah P_1 , maka laju proses memasuki keadaan 0 adalah μP_1 (Ross, 2007). Maka berdasarkan prinsip tersebut didapatkan persamaan :

$$\lambda P_0 = \mu P_1 \quad (3.8)$$

Jika keadaan saat ini dimisalkan sebagai n , maka keadaan selanjutnya adalah $n+1$ dan keadaan sebelumnya adalah $n - 1$ maka berdasarkan persamaan (3.8) didapatkan :

$$(\lambda + \mu) P_n = \lambda P_{n-1} + \mu P_{n+1} \quad (3.9)$$

Dari persamaan 3.8 dan 3.9 maka diperoleh:

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 \quad (3.10)$$

$$P_2 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 P_0 \quad (3.11)$$

⋮

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 \quad (3.12)$$

Jika $\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1$, maka $P_0 \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n = 1$, kemudian diperoleh:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n} \quad (3.13)$$

Server utilization (ρ) dinyatakan sebagai $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, maka :

$$\begin{aligned} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n &= \sum_{n=0}^{\infty} (\rho)^n \\ &= \frac{1}{1-\rho} \end{aligned}$$

Dimana nilai $\rho < 1$, kemudian diperoleh persamaan-persamaan berikut:

$$\begin{aligned} P_0 &= \frac{1}{\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n} \\ &= 1 - \rho \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$P_1 = \rho P_0$$

$$P_2 = (\rho)^2 P_0$$

⋮

$$\begin{aligned} P_n &= (\rho)^n P_0 \\ &= (\rho)^n (1 - \rho) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Maka didapatkan nilai L sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L &= \sum_{n=0}^{\infty} n P_n \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n (1 - \rho) \\ &= (1 - \rho) \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n \end{aligned}$$

Dimana $\rho^n = \rho^1 \cdot \rho^n \cdot \rho^{-1}$, maka

$$\begin{aligned} L &= (1 - \rho) \rho \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^{n-1} \\ &= (1 - \rho) \rho \frac{d}{d\rho} (\sum_{n=0}^{\infty} \rho^n) \\ &= (1 - \rho) \rho \frac{d}{d\rho} \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \\ &= (1 - \rho) \rho \frac{1}{(1-\rho)^2} \\ &= \frac{\rho}{(1-\rho)} \\ &= \frac{\lambda}{(\mu-\lambda)} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Setelah didapatkan nilai L , maka nilai W , W_q dan L_q sebagai berikut:

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1}{\mu-\lambda} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} W_q &= W - \frac{1}{\mu} \\ &= \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} L_q &= \lambda W_q \\ &= \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \end{aligned} \quad (3.19)$$

b. Model antrian (M/M/c)

Model M/M/c merupakan model dimana laju kedatangan berdistribusi poisson dan laju pelayanan berdistribusi eksponensial. Laju kedatangan dinotasikan sebagai λ , laju pelayanan dinotasikan sebagai μ dan banyak sistem dinotasikan sebagai c . Pengaruh penggunaan c pelayanan yang paralel adalah mempercepat laju pelayanan dengan memungkinkan dilakukannya beberapa pelayanan secara bersamaan. Jika jumlah pelanggan

dalam sistem adalah n , dan $n \geq c$, maka laju keberangkatan gabungan dari sarana tersebut sama dengan $c\mu$. Sedangkan jika $n < c$, maka laju pelayanan adalah $n\mu$. Jadi dalam bentuk model yang digeneralisirkan, diperoleh:

$$\lambda_n = \lambda, \quad n \geq c \quad (3.20)$$

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu, & n < c \\ c\mu, & n \geq c \end{cases} \quad (3.21)$$

P_n untuk $n < c$ sebagai

$$\begin{aligned} P_n &= (\rho)^n P_0 \\ &= \frac{\lambda^n}{\mu (2\mu)(3\mu)\dots(n\mu)} P_0 \\ &= \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} P_0 \end{aligned} \quad (3.22)$$

P_n untuk $n \geq c$ sebagai

$$\begin{aligned} P_n &= (\rho)^n P_0 \\ &= \frac{\lambda^n}{\mu (2\mu)\dots(c-1)\mu (c\mu)(c\mu)} P_0 \\ &= \frac{\lambda^n}{c! c^{n-1} \mu^n} P_0 \end{aligned} \quad (3.23)$$

Karena $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ maka nilai P_0 ditentukan dari $\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1$ yang memberikan

$$P_0 \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c!} \sum_{n=c}^{\infty} \frac{\rho^{n-c}}{c^{n-c}} \right\} = 1 \quad (3.24)$$

$$P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c!} \sum_{n=c}^{\infty} \frac{\rho^{n-c}}{c^{n-c}} \right\}^{-1} \quad (3.25)$$

Jika dimisalkan $j = n - c$ maka diperoleh

$$P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c!} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{c} \right)^j \right\}^{-1} \text{ karena } \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{c} \right)^j \text{ merupakan deret}$$

geometri tak hingga, maka:

$$P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c!} \left(\frac{1}{1-\frac{\rho}{c}} \right) \right\}^{-1} \text{ dengan } \frac{\rho}{c} < 1$$

Maka didapatkan ukuran kinerja yaitu L , W , W_q dan L_q . Jika diketahui $\frac{\rho}{c} <$

1 atau $\frac{\lambda}{\mu c} < 1$ maka :

$L_q = \sum_{n=c}^{\infty} (n - c) P_n$ dengan $k = n - c$, maka diperoleh:

$$L_q = \sum_{k=0}^{\infty} k P_n = \sum_{n=c}^{\infty} k \frac{\rho^{k+c}}{c^k c!} P_0 = P_0 \frac{\rho^c}{c!} \frac{\rho}{c} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{c}\right)^{k-1} \quad (3.26)$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{c}\right)^{k-1} = \frac{d}{d\left(\frac{\rho}{c}\right)} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{c}\right)^k = \frac{d}{d\left(\frac{\rho}{c}\right)} \left[\frac{1}{1-\frac{\rho}{c}} \right] = \frac{1}{\left(1-\frac{\rho}{c}\right)^2} \quad (3.27)$$

Maka jika persamaan 3.27 disubstitusikan pada persamaan 3.26 didapatkan:

$$\begin{aligned} L_q &= P_0 \frac{\rho^c}{c!} \frac{\rho}{c} \left[\frac{1}{\left(1-\frac{\rho}{c}\right)^2} \right] \\ &= P_0 \frac{\rho^c}{c!} \frac{\rho}{c} \left[\frac{c^2}{(c-\rho)^2} \right] \\ &= P_0 \frac{\rho^c}{c(c-1)!} \frac{\rho}{c} \left[\frac{c^2}{(c-\rho)^2} \right] \\ &= P_0 \frac{\rho^c}{(c-1)!} \rho \left[\frac{1}{(c-\rho)^2} \right] \\ &= P_0 \frac{\rho^{c+1}}{(c-1)!} \frac{1}{(c-\rho)^2} \end{aligned} \quad (3.28)$$

Sehingga didapatkan

$$L = L_q + \rho$$

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

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

(Taha, 1996)

Jika rumus P_0 pada model M/M/c (3.25), c diberikan nilai 1 maka P_0 yang didapatkan:

$$\begin{aligned} P_0 &= \left\{ 1 + \frac{\rho}{1-\rho} \right\}^{-1} \\ &= \left\{ \frac{1-\rho+\rho}{1-\rho} \right\}^{-1} \\ &= \left\{ \frac{1}{1-\rho} \right\}^{-1} \\ &= (1-\rho) \end{aligned} \quad (3.29)$$

Dapat disimpulkan jika c diganti dengan nilai 1 (jumlah server adalah 1) maka akan kembali ke model M/M/1

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Populasi dan Sumber data

Populasi dari penelitian ini adalah jumlah kendaraan yang melintasi simpang tiga ringroad utara Kabupaten Sleman Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan data primer dan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah kendaraan yang melintasi simpang tiga ringroad utara pada pagi hari pukul 06.30 – 08.30 WIB dan pada sore hari pukul 15.30 – 17.30 WIB.

4.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data jumlah kendaraan yang melintasi simpang tiga ringroad utara pada lengan timur dan lengan barat. Jumlah kendaraan yang dihitung selama satu pekan mulai dari Senin tanggal 6 November 2017 sampai dengan Minggu tanggal 12 November 2017. Penelitian dilakukan pada pagi hari pukul 06.30 – 08.30 WIB dan pada sore hari pukul 15.30 – 17.30 WIB dalam setiap harinya.

4.3. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah kendaraan yang melintasi simpang tiga ringroad utara. Kendaraan yang melintasi simpang tiga adalah kendaraan beroda dua dan kendaraan beroda empat atau lebih. Kendaraan beroda dua yang melewati simpang tiga ringroad utara adalah sepeda motor. Kendaraan roda empat atau lebih terdiri dari kendaraan ringan atau kendaraan pribadi dan kendaraan berat. Variabel lain yang diteliti adalah waktu kendaraan menunggu dan waktu kendaraan mampu melintasi lampu lalu lintas. Waktu kendaraan menunggu adalah waktu lampu lintas berwarna merah dan waktu kendaraan mampu melintasi lampu lalu lintas adalah waktu lampu lalu lintas berwarna hijau. Berdasarkan sistem antrian tersebut didapatkan variabel-variabel yang lain di antaranya adalah rata-rata jumlah kedatangan kendaraan (λ), rata-rata

jumlah kendaraan meninggalkan sistem (μ), proporsi waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem (ρ), jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem (L), waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan dalam sistem (W), rata-rata jumlah kendaraan yang menunggu dalam antrian (L_q) dan waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan dalam antrian (W_q).

4.4. Metode Pengumpulan Data

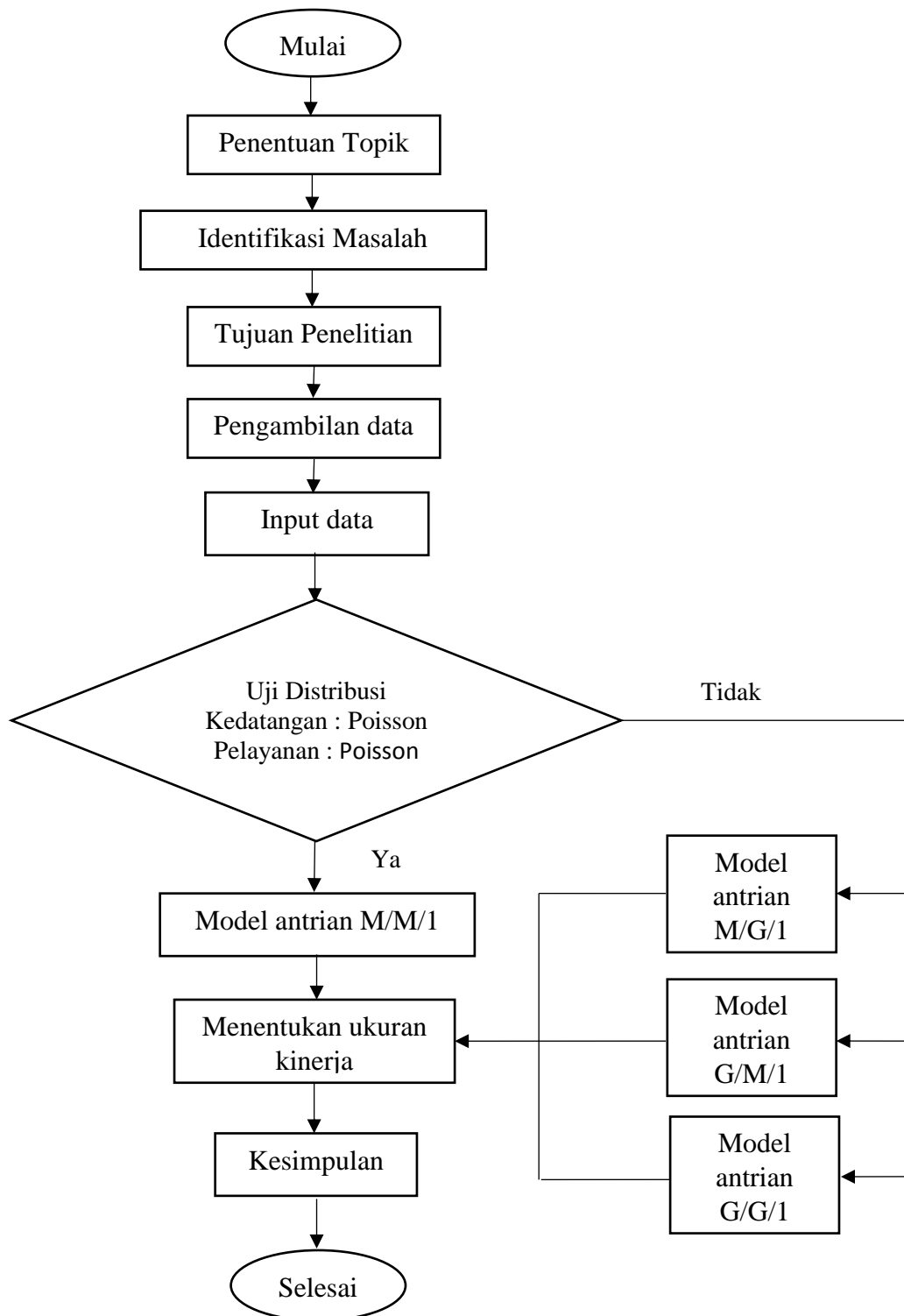
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah kendaraan yang melintasi simpang tiga ringroad pada lengan barat dan lengan timur. Data tersebut didapatkan berdasarkan hasil pengamatan dalam waktu satu pekan pada pagi hari dan sore. Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah jumlah kedatangan kendaraan pada satu siklus lampu lalu lintas dan jumlah kendaraan yang mampu melalui satu siklus lampu lalu lintas. Jumlah kedatangan kendaraan yang dihitung adalah jumlah kendaraan yang menunggu untuk melalui lampu lalu lintas tanpa melihat sisa kendaraan sebelumnya dalam jarak tertentu. jarak yang digunakan pada lengan barat dimulai dari lampu lalu lintas sampai dengan *turn around* (depan hotel Sheraton) dan pada lengan timur dimulai dari lampu lalu lintas sampai dengan depan Yamaha Delta Jaya. Dalam proses penghitungan jumlah kendaraan yang datang tidak memperhitungkan kendaraan yang putar balik. Jumlah kendaraan yang berhasil melalui lampu lalu lintas dihitung berdasarkan banyaknya kendaraan yang mampu melalui lampu lalu lintas.

4.5. Metode Analisis Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah teori antrian. Teori antrian pada penelitian ini digunakan untuk menentukan model teori antrian dan kinerja sistem lampu lalu lintas di simpang tiga ringroad utara.

4.6. Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **gambar 4.1.**



Gambar 4.1 Alur penelitian

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Waktu Tunggu Kendaraan

Lampu lalu lintas merupakan salah satu sistem yang digunakan untuk mengurangi permasalahan lalu lintas seperti kecelakaan ataupun kemacetan. Dalam sistem pengaturan lalu lintas ada beberapa hal yang mempengaruhi diantaranya adalah banyak kendaraan yang datang, jumlah kendaraan yang mengantri dan lama kendaraan menunggu pada lampu lalu lintas. Lama waktu menunggu pada lampu lalu lintas adalah masalah yang sering terjadi.

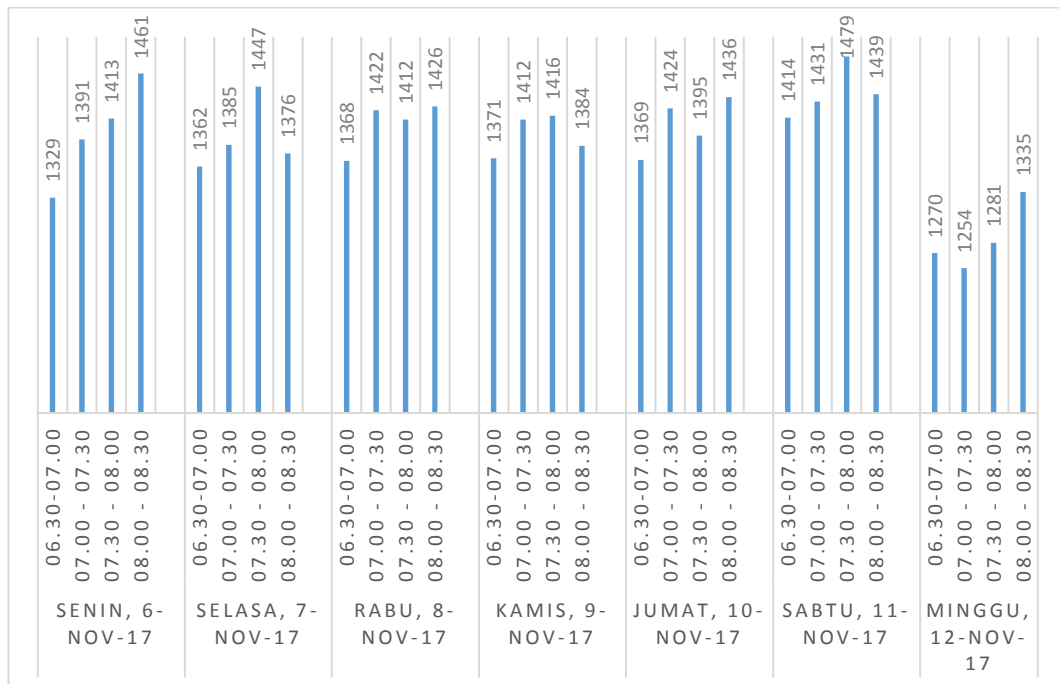
Simpang tiga ringroad utara adalah salah satu simpangan yang ramai di Provinsi DIY terutama dijam pagi hari (06.30-08.30) dan sore hari (15.30- 17.30). Ramainya arus lalu lintas menimbulkan permasalahan tentang waktu tunggu yang cukup lama untuk setiap kendaraan yang lewat. Keadaan lampu lalu lintas yang selalu ramai berada pada lampu lalu lintas yang berada pada lengan barat dan lengan timur. Lengan barat adalah kendaraan yang berada pada arah barat yang akan menuju kearah timur sedangkan lengan timur adalah kendaraan yang berada di posisi timur yang akan menuju ke arah utara. Ada beberapa kendaraan yang menggunakan siklus lampu lintas berikutnya untuk menunggu dalam antrian. Permasalahan tersebut mengakibatkan semakin panjangnya antrian yang terjadi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini membahas tentang dua sistem antrian pada simpang tiga ringroad utara menggunakan metode antrian. Sifat kedatangan yang dihitung adalah jumlah kendaraan yang datang tanpa mengitung sisa kendaraan sebelumnya. Sehingga laju kedatangan yang dihitung adalah laju kedatangan yang masuk pada sistem dengan jarak tertentu. Hasil analisis menggunakan teori antrian memberikan informasi karakteristik-karakteristik pada persimpangan diantaranya jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem (L), waktu rata-rata antrian dalam sistem (W), rata-rata jumlah kendaraan yang menunggu dalam antrian (L_q) dan waktu rata-rata pengendara menunggu dalam sistem (W_q). Dalam memodelkan sistem antrian dipersimpangan ini diasumsikan bahwa:

1. Sistem dalam penelitian ini adalah lamanya seseorang menunggu pada jarak tertentu dalam satu siklus lampu merah pada salah satu lengan jalan sampai mampu melanjutkan perjalanannya pada lengan jalan yang lain.
2. Jarak sistem pada lengan barat dimulai dari lampu lalu lintas sampai *turn around* (depan hotel Sheraton) sedangkan pada lengan timur dimulai dari lampu lalu lintas sampai depan Yamaha Delta Jaya.
3. Pola kedatangan kendaraan mengikuti suatu distribusi tertentu dan pola meninggalkan lampu lalu lintas mengikuti distribusi tertentu. Pada umumnya distribusi kedatangan mengikuti distribusi poisson dan distribusi meninggalkan lampu lalu lintas berdistribusi poisson sehingga model antrian yang didapatkan adalah M/M/1.
4. λ adalah rata-rata kedatangan yang masuk kedalam sistem dan μ adalah rata-rata kendaraan yang berhasil meninggalkan lampu lalu lintas.
5. Setiap kendaraan yang berada pada sistem tidak melakukan putar balik dan keluar dari sistem.
6. Kendaraan yang datang memasuki sistem antrian mengikuti disiplin *first come first served (FCFS)* artinya kendaraan yang datang lebih dahulu adalah kedatangan yang akan pertama dilayani.

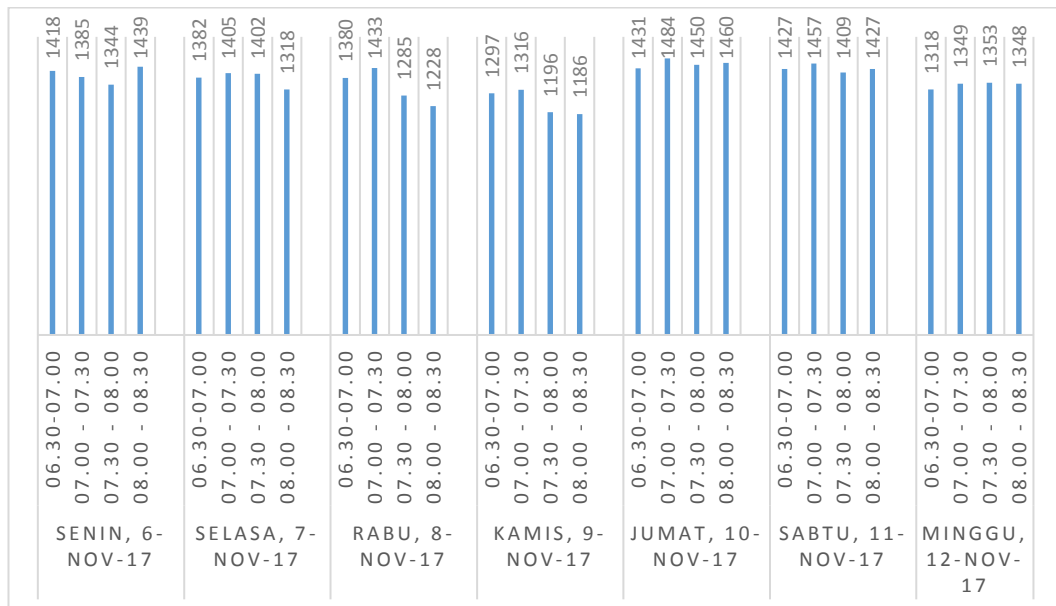
5.2. Jumlah Kedatangan Kendaraan

Jumlah kedatangan kendaraan adalah banyaknya kendaraan yang datang dalam sistem antrian pada simpang tiga ringroad utara dalam kurun waktu tertentu. Data kendaraan disajikan dalam rentang waktu setengah jam. Data kedatangan kendaraan yang dihitung adalah data jumlah kendaraan yang datang dalam kurun waktu dua jam pada pukul 06.30 – 08.30 WIB pada pagi hari dan 15.30 – 17.30 WIB pada sore hari. Data jumlah kedatangan kendaraan dihitung berdasarkan jumlah kendaraan yang masuk dalam sistem tanpa memperhatikan sisa antrian sebelumnya. Kendaraan yang dihitung tidak membedakan jenis kendaraan. Dari data yang telah dikumpulkan pada simpang tiga ringroad lengan barat dan lengan timur disajikan pada **Gambar 5.1 – 5.4**.



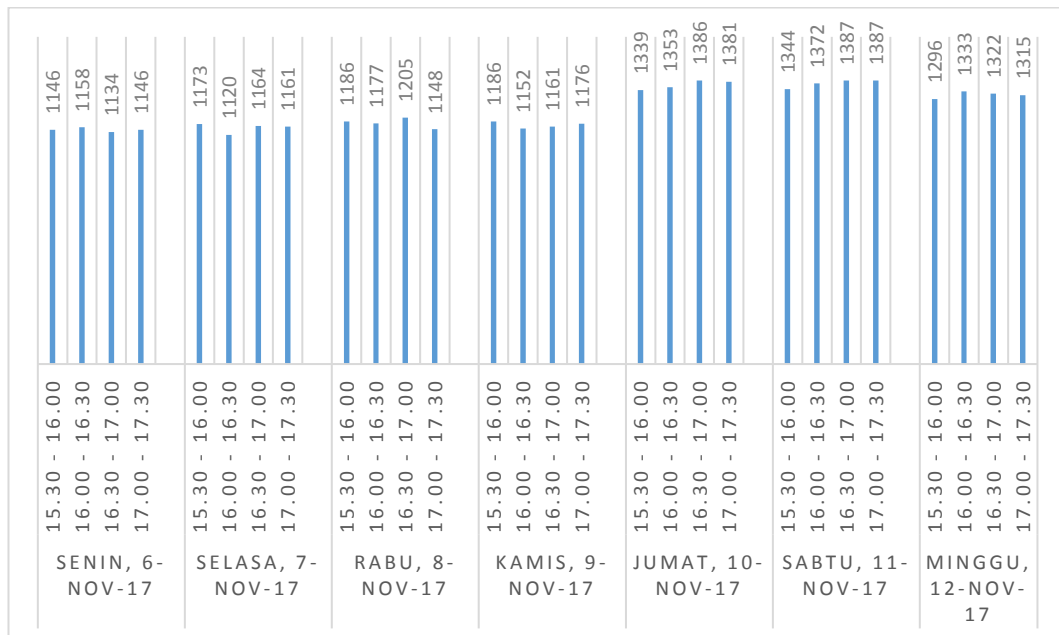
Gambar 5.1 Grafik jumlah kedatangan kendaraan (unit) lengan timur pada pagi hari

Jumlah kendaraan pada gambar 5.1 adalah jumlah kendaraan pada lengan timur di pagi hari. Pada hari Senin, Rabu, Jumat dan Minggu mengalami puncak kedatangan kendaraan pada pukul 08.00 – 08.30 WIB. Sedangkan hari Selasa, Kamis dan Sabtu mengalami puncak jumlah kendaraan pada pukul 07.30 - 08.00 WIB. Berdasarkan seluruh waktu dalam satu Minggu puncak jumlah kedatangan kendaraan pada pagi di lengan timur berada pada hari Sabtu pukul 07.30 – 08.00 WIB dengan jumlah kendaraan sebanyak 1479 unit dan waktu paling lenggang berada pada hari Minggu pukul 07.00 – 07.30 WIB dengan jumlah kendaraan sebanyak 1254 unit. Jika dilihat pada rata-rata kedatangan dalam hari, hari Minggu memiliki jumlah kedatangan kendaraan paling lenggang dan hari Sabtu memiliki jumlah kedatangan paling padat.



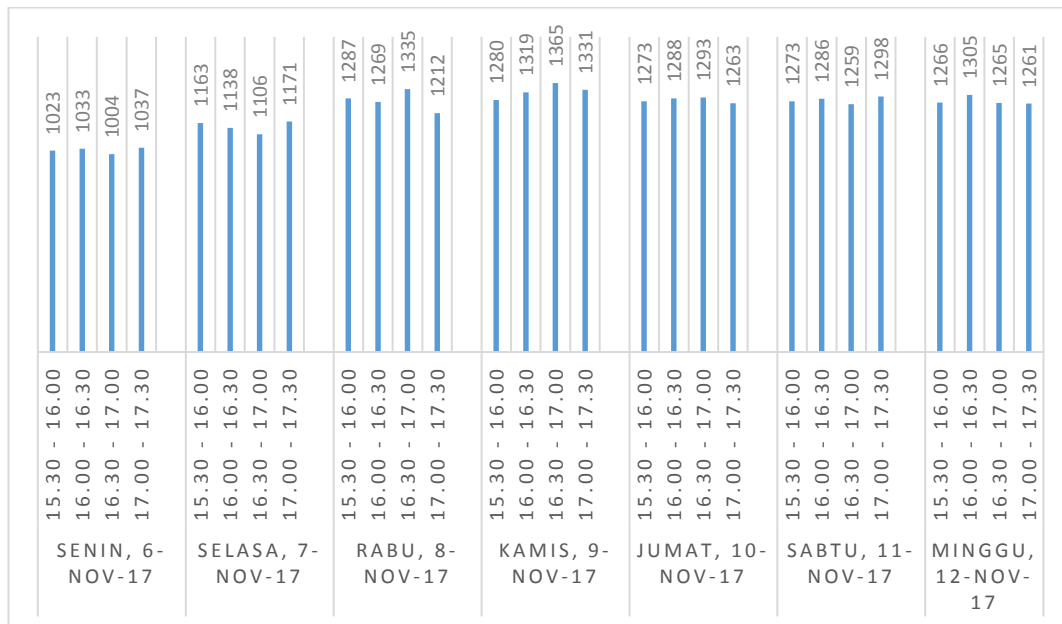
Gambar 5.2 Grafik jumlah kedatangan kendaraan (unit) lengan barat pada pagi hari

Jumlah kendaraan pada gambar 5.2 adalah jumlah kendaraan pada lengan barat di pagi hari. Pada hari Senin mengalami puncak kedatangan jumlah kendaraan pada pukul 08.00 – 08.30 WIB. Hari Selasa, Rabu, Kamis, Jumat mengalami puncak jumlah kedatangan pada pukul 07.00 – 07.30 WIB. Hari Minggu mengalami puncak jumlah kedatangan pada pukul 07.30 – 08.00 WIB. Berdasarkan seluruh waktu dalam satu Minggu puncak jumlah kedatangan kendaraan pada pagi hari di lengan barat berada pada hari Jumat pukul 07.00 – 07.30 WIB dengan jumlah kendaraan sebanyak 1484 unit dan waktu paling lenggang berada pada hari Kamis pukul 08.00 – 08.30 WIB dengan jumlah kendaraan sebanyak 1186 unit. Jika dilihat pada rata-rata kedatangan dalam sehari, hari Jumat memiliki jumlah kendaraan paling padat dan hari Kamis mengalami rata-rata jumlah kedatangan kendaraan paling lenggang.



Gambar 5.3 Grafik jumlah kedatangan kendaraan (unit) lengan timur pada sore hari

Jumlah kendaraan pada gambar 5.3 adalah jumlah kendaraan pada lengan timur di sore hari. Pada hari Senin mengalami puncak kedatangan kendaraan pada pukul 16.00 – 16.30 WIB. Pada hari Selasa dan Kamis mengalami puncak kedatangan kendaraan pada pukul 15.30 – 16.00 WIB. Pada hari Rabu dan Jumat mengalami puncak kedatangan kendaraan pada pukul 16.30 – 17.00 WIB. Pada hari Minggu mengalami puncak kedatangan kendaraan 16.00 – 16.30. Pada hari Sabtu mengalami dua waktu puncak kedatangan kendaraan pada pukul 16.30 – 17.00 WIB dan 17.00 – 17.30 WIB. Berdasarkan seluruh waktu dalam satu Minggu puncak jumlah kedatangan kendaraan pada sore hari di lengan timur berada pada hari Sabtu pukul 16.30 – 17.00 WIB dan 17.00 – 17.30 WIB dengan jumlah kendaraan sebanyak 1387 unit dan waktu paling lenggang berada pada hari Selasa pukul 16.00 – 16.30 WIB dengan jumlah kendaraan sebanyak 1120 unit. Jika dilihat pada rata-rata kedatangan kendaraan dalam hari, hari Senin memiliki jumlah kedatangan kendaraan paling lenggang dan hari Sabtu memiliki jumlah kedatangan paling padat. Pada hari Senin dan Selasa terjadi hujan sehingga mengakibatkan jumlah kendaraan mengalami penurunan.



Gambar 5.4 Grafik jumlah kedatangan kendaraan (unit) lengan barat pada sore hari

Jumlah kendaraan pada gambar 5.4 adalah jumlah kendaraan pada lengan barat di sore hari. Pada hari Senin, Selasa dan Sabtu mengalami puncak kedatangan kendaraan pada pukul 17.00 – 17.30 WIB. Pada hari Rabu, Kamis dan Jumat mengalami puncak kedatangan kendaraan pada pukul 16.30 – 17.00. Pada hari Minggu puncak kedaraan pada pukul 16.00 – 16.30 WIB. Berdasarkan seluruh waktu dalam satu Minggu puncak jumlah kedatangan kendaraan pada sore hari di lengan barat berada pada hari Kamis pukul 16.30 – 17.00 WIB dengan jumlah kendaraan sebanyak 1365 unit dan waktu paling lenggang berada pada hari Senin pukul 16.30 – 17.00 WIB dengan jumlah kendaraan sebanyak 1004 unit. Jika dilihat pada rata-rata kedatangan dalam hari, hari Senin memiliki jumlah kedatangan kendaraan paling lenggang dan hari Kamis memiliki jumlah kedatangan kendaraan paling padat.

5.3. Uji Distribusi Kedatangan dan Meninggalkan Lampu Lintas

Berdasarkan data lalu lintas yang ada sebeum dilakukan penganalisisan pada analisis antrian dilakukan penganalisisan tentang distribusi data. Data tersebut akan diuji pada perharinya.

Data yang diuji adalah data kedatangan kendaraan dari arah timur menuju utara pada pagi dan sore hari.

Tabel 5.1 Uji distribusi kedatangan lengan timur

	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Hipoesis	H_0 : Data rata-rata kedatangan mengikuti distribusi poisson H_1 : Data rata-rata kedatangan tidak mengikuti distribusi poisson						
Tingkat Signifikansi	Tingkat signifikansi yang digunakan adalah 5%						
<i>P-value</i> pagi hari	0,753	0,520	0,473	0,389	0,473	0,470	0,484
<i>P-value</i> sore hari	0,360	0,463	0,509	0,641	0,391	0,403	0,407
Daerah kritis	Tolak H_0 jika $P\text{-value} < \alpha$ Gagal Tolak H_0 jika $P\text{-value} > \alpha$						
Keputusan	Gagal tolak	Gagal tolak	Gagal tolak	Gagal tolak	Gagal tolak	Gagal tolak	Gagal tolak

Berdasarkan hasil pengujian distribusi poisson dengan hipotesis awal bahwa data mengikuti distribusi poisson. Pada **tabel 5.1**, memiliki nilai *P-value* lebih besar dari tingkat signifikansi sehingga keputusan yang diambil adalah gagal tolak H_0 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju kedatangan kendaraan baik pada pagi atau sore hari mengikuti distribusi poisson di setiap harinya.

Data yang akan diuji berikutnya adalah data kedatangan kendaraan dari arah barat menuju arah timur pada pagi dan sore hari.

Tabel 5.2 Uji Distribusi kedatangan pada lengan barat

	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Hipoesis	H_0 : Data mengikuti distribusi poisson H_1 : Data tidak mengikuti distribusi poisson						
Tingkat Signifikansi	Tingkat signifikansi yang digunakan adalah 5%						
<i>P-value</i> pagi hari	0,566	0,533	0,913	0,636	0,468	0,470	0,405
<i>P-value</i>	0,515	0,512	0,776	0,527	0,396	0,396	0,396

	tolak	tolak	tolak	tolak	tolak	tolak	tolak
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabel 5.3 menjelaskan hasil uji distribusi pada laju pelayanan lampu lalu lintas pada lengan timur di pagi dan sore hari. Berdasarkan pengujian distribusi poisson dengan hipotesis awal data laju kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas mengikuti distribusi poisson. Dengan nilai *P-value* pada **tabel 5.3** lebih besar dari tingkat signifikansi yang telah ditentukan sehingga keputusan yang diambil adalah gagal tolak H_0 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas di lengan timur pada pagi dan sore hari mengikuti distribusi poisson.

Pengujian berikutnya adalah pengujian distribusi laju kendaraan meninggalkan lalu lintas atau laju pelayanan lampu lalu lintas. Data yang akan diuji adalah data laju kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas pada lengan barat di pagi dan sore hari.

Tabel 5.4 Uji Distribusi meninggalkan lampu lalu lintas pada lengan barat

	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Hipotesis	H_0 : Data laju kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas mengikuti distribusi poisson H_1 : Data laju kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas tidak mengikuti distribusi poisson						
Tingkat Signifikansi	Tingkat signifikansi yang digunakan adalah 5%						
<i>P-value</i> pagi hari	0,318	0,403	0,493	0,401	0,403	0,487	0,405
<i>P-value</i> sore hari	0,623	0,662	0,592	0,584	0,496	0,316	0,354
Daerah kritis	Tolak H_0 jika $P\text{-value} < \alpha$ Gagal Tolak H_0 jika $P\text{-value} > \alpha$						
Keputusan	Gagal tolak	Gagal tolak	Gagal tolak	Gagal tolak	Gagal tolak	Gagal tolak	Gagal tolak

Tabel 5.4 menjelaskan hasil uji distribusi pada laju pelayanan pada lengan barat di pagi dan sore hari. Berdasarkan pengujian distribusi eksponensial dengan hipotesis awal data laju kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas mengikuti

distribusi poisson. Dengan nilai *P-value* pada **tabel 5.4** lebih besar dari tingkat signifikansi yang telah ditentukan sehingga keputusan yang diambil adalah gagal tolak H_0 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas di lengan barat pada pagi dan sore hari mengikuti distribusi poisson.

Berdasarkan pengujian distribusi laju kedatangan dan laju meninggalkan lampu lalu lintas didapatkan bahwa model yang digunakan pada sistem antrian pada lajur barat dan lajur timur adalah M/M/1. Model tersebut digunakan karena distribusi laju kedatangan adalah poisson dan laju meninggalkan lampu lalu lintas berdistribusi poisson.

5.4. Model Antrian M/M/1

Kinerja sistem ditentukan berdasarkan jumlah pelanggan rata-rata dalam sistem dan antrian, menghitung waktu rata-rata yang dihabiskan seseorang pelanggan dalam sistem dan antrian, serta menghitung peluang pelayanan tidak sedang melayani pelanggan. Sebelum menghitung kinerja sistem antrian terlebih dahulu menghitung jumlah rata-rata kedatangan dan jumlah rata-rata pelayanan. Satuan yang digunakan dalam menghitung kinerja adalah menit.

Menghitung kinerja sistem antrian menggunakan model M/M/1 dengan nilai rata-rata kedatangan (λ) pada hari Senin pagi lengan timur sebesar 46,62 kendaraan permenit yang artinya dalam satu menit rata-rata kendaraan yang datang sekitar 46 sampai 47 kendaraan. Rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas (μ) sebesar 48,14 kendaraan permenit yang artinya dalam satu menit rata-rata kendaraan yang datang sekitar 48 sampai 49 kendaraan. Berdasarkan nilai tersebut maka nilai proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian (ρ) adalah

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda}{\mu} \\ &= \frac{46,62}{48,14} \\ &= 0,9684 \\ &= 96,84\%\end{aligned}$$

Proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian (ρ) mengalami kepadatan sebesar 96,84% atau 0,9684 artinya kendaraan akan ramai selama 96,84% dari waktunya, sedangkan 3,16% dari waktunya atau merupakan waktu kendaraan tidak ramai. Berdasarkan nilai ρ pada setiap harinya, nilai $\rho < 1$ sehingga model sistem antrian masih efektif untuk digunakan dapat juga dikatakan memenuhi kondisi *steady state*. Maka didapatkan nilai L , Lq , W , Wq adalah:

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{\lambda}{(\mu-\lambda)} \\
 &= \frac{46,62}{(48,14-46,62)} \\
 &= 30,671 \\
 W &= \frac{1}{\mu-\lambda} \\
 &= \frac{1}{48,14-46,62} \\
 &= 0,65 \\
 W_q &= \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \\
 &= \frac{46,62}{48,14(48,14-46,62)} \\
 &= 0,63 \\
 L_q &= \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \\
 &= \frac{46,62^2}{48,14(48,14-46,62)} \\
 &= 29,702
 \end{aligned}$$

Maka berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai rata-rata kendaraan dalam sistem adalah 30 sampai 31 kendaraan permenit. Rata-rata kendaraan dalam antrian adalah 29 sampai 30 kendaraan permenit. Rata-rata waktu yang dibutuhkan setiap kendaraan dalam sistem adalah 0,65 menit atau 39 detik. Rata-rata waktu yang dibutuhkan setiap kendaraan dalam antrian adalah 0,63 menit atau 38 detik. Jika dilihat dari nilai karakteristik antrian maka rata-rata waktu pelayanan adalah satu sampai dua detik perkendaraan. Berdasarkan perhitungan

tersebut dapat dilakukan pada setiap lengan barat dan lengan timur yang disajikan pada **Tabel 5.5 – 5.8**

5.4.1. Kinerja Sistem Antrian pada Lengan Timur

Tabel 5.5 Kinerja sistem antrian di lengan timur pada pagi hari

Variabel Pengukuran	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
λ	46,62	46,42	46,9	46,53	46,87	48,03	42,83
μ	48,14	47,32	48,04	46,98	47,54	48,66	43,43
ρ	96,84%	98,09%	97,62%	99,04%	98,59%	98,71%	98,61%
L	30,671	51,57	41,14	103,39	69,95	76,23	71,38
L_q	29,702	50,59	40,16	102,40	68,96	75,25	70,39
W	0,65	1,11	0,87	2,22	1,50	1,58	1,67
W_q	0,63	1,09	0,85	2,21	1,47	1,55	1,64
Model	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1

Berdasarkan hasil analisis pada **Tabel 5.5** dapat dijelaskan bahwa, jumlah rata-rata kedatangan kendaraan yang dijelaskan dengan lambda (λ). Rata-rata jumlah kedatangan kendaraan paling kecil berada pada hari Minggu sebesar 42 sampai 43 kendaraan per menit dan rata-rata jumlah kendaraan paling besar yaitu hari Sabtu dengan jumlah rata-rata kendaraan adalah 48 sampai 49 kendaraan permenit. Rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas dijelaskan dengan miu (μ). Rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas paling kecil adalah pada hari Minggu dengan 42 samapai 43 kendaraan permenit dan rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas paling besar adalah pada hari Sabtu dengan 48 sampai 49 kendaraan permenit. Proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian (ρ) mengalami puncaknya pada hari Kamis sebesar 99,04% atau 0,9904 artinya kendaraan akan ramai selama 99,04% dari waktunya, sedangkan 0,96% dari waktunya merupakan waktu kendaraan tidak ramai. Berdasarkan nilai ρ pada setiap harinya, nilai $\rho < 1$ sehingga model sistem antrian masih efektif untuk digunakan atau memenuhi kondisi *steady state*. Jika dilihat berdasarkan nilai ρ pada setiap harinya memiliki nilai mendekati 100% yang artinya bahwa sistem antrian kendaraan pada lengan timur di pagi hari mengalami kondisi yang sangat sibuk.

Pada antrian kendaraan pada pagi hari, hari Kamis mengalami puncak keramaian arus lalu lintas dengan nilai kesibukan 99,04%. Rata-rata jumlah

kendaraan yang berada dalam sistem (L) sebanyak 103 sampai 104 kendaraan permenit dan rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam antrian (L_q) sebanyak 102 sampai 103 kendaraan permenit. Sedangkan rata-rata waktu yang yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam sistem (W) selama 2,22 menit atau 134 detik dan rata-rata waktu yang dihabiskan setiap kendaraan dalam antrian (W_q) sebanyak 2,21 menit atau 133 detik.

Hari Senin kondisi keramaian arus lalu lintas berada pada kondisi yang lenggang dengan nilai kesibukan 96,84%. Rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam sistem (L) sebanyak 30 sampai 31 kendaraan permenit dan rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam antrian (L_q) sebanyak 29 sampai 30 kendaraan permenit. Sedangkan rata-rata waktu yang yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam sistem (W) selama 0,65 menit atau 39 detik dan rata-rata waktu yang dihabiskan setiap kendaraan dalam antrian (W_q) sebanyak 0,63 menit atau 38 detik.

Tabel 5.6 Kinerja sistem antrian di lengan timur pada sore hari

Variabel Pengukuran	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
λ	38,2	38,48	39,3	38,96	45,49	45,75	43,88
μ	39,1	39,05	40,09	39,62	45,86	46,21	44,83
ρ	97,70%	98,54%	98,03%	98,33%	99,19%	99,00%	97,88%
L	42,44	67,50	49,74	59,03	122,94	99,45	46,18
L_q	41,46	66,52	48,76	58,04	121,95	98,46	45,21
W	1,11	1,75	1,26	1,51	2,70	2,17	1,05
W_q	1,085	1,72	1,24	1,48	2,68	2,15	1,03
Model	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1

Berdasarkan hasil analisis pada **Tabel 5.6** dapat dijelaskan bahwa, jumlah rata-rata kedatangan kendaraan yang dijelaskan dengan lambda (λ). Rata-rata jumlah kedatangan kendaraan paling kecil berada pada hari Senin dan Selasa sebesar 38 sampai 39 kendaraan permenit dan rata-rata jumlah kendaraan paling besar yaitu pada hari Jumat dan Sabtu sebesar 45 sampai 46 kendaraan permenit. Rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas dijelaskan dengan miu (μ). Rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas paling kecil adalah pada hari Senin dan Selasa dengan 39 sampai 40 kendaraan permenit, dan rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas paling besar adalah hari Jumat dan

Sabtu dengan 46 sampai 47 kendaraan permenit. Hari Senin dan Selasa mengalami kondisi hujan sehingga berdampak pada rata-rata jumlah kendaraan yang melintasi lampu lalu lintas. Proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian (ρ) mengalami puncaknya pada hari Jumat sebesar 99,19% atau 0,9919 artinya kendaraan ramai selama 99,19% dari waktunya, sedangkan 0,81% dari waktunya merupakan waktu kendaraan tidak ramai. Berdasarkan nilai ρ pada setiap harinya, nilai $\rho < 1$ sehingga model sistem antrian masih dikatakan efektif untuk digunakan atau dapat dikatakan memenuhi kondisi *steady state*. Jika dilihat berdasarkan nilai ρ pada setiap harinya memiliki nilai mendekati 100% yang artinya bahwa sistem antrian kendaraan pada lengan timur di waktu sore hari mengalami kondisi yang sangat sibuk.

Pada antrian kendaraan pada sore hari, hari Jumat dan Sabtu mengalami puncak keramaian arus lalu lintas dengan nilai kesibukan 99,19%. Jika dilihat karakteristik yang lain hari Jumat lebih mengalami kesibukan dibandingkan hari Sabtu. Rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam sistem (L) sebanyak 122 sampai 123 kendaraan permenit dan rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam antrian (L_q) sebanyak 121 sampai 122 kendaraan permenit. Sedangkan rata-rata waktu yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam sistem (W) selama 2,7 menit atau 162 detik dan rata-rata yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam antrian (W_q) selama 2,68 menit atau 161 detik.

Kondisi arus lenggang berada pada hari Senin dan Minggu dengan nilai kesibukan 97,7%. Pada hari Senin, rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam sistem (L) sebanyak 42 sampai 43 kendaraan permenit tertentu dan rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam antrian (L_q) sebanyak 41 sampai 42 kendaraan permenit. Sedangkan rata-rata waktu yang yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam sistem (W) selama 1,11 menit atau 67 detik dan rata-rata waktu yang dihabiskan setiap kendaraan dalam antrian (W_q) sebanyak 1,08 menit atau 65 detik.

Pada hari Minggu juga mengalami arus kendaraan lenggang dengan 97,88%. Rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam sistem (L) sebanyak 46 sampai 47 kendaraan permenit dan rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam

antrian (L_q) sebanyak 45 sampai 46 kendaraan permenit. Sedangkan rata-rata waktu yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam sistem (W) selama 1,05 menit atau 63 detik dan rata-rata waktu yang dihabiskan setiap kendaraan dalam antrian (W_q) sebanyak 1,03 menit atau 62 detik. Pada hari Senin rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem dan antrian lebih kecil dibandingkan hari Minggu, tetapi rata-rata waktu menunggu kendaraan dalam sistem dan antrian lebih kecil pada hari Minggu.

5.4.2. Kinerja Sistem Antrian pada Lengan Barat

Tabel 5.7 Kinerja sistem antrian di lengan barat pada pagi hari

Variabel Pengukuran	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
λ	46,55	45,89	44,38	41,63	48,54	47,67	44,73
μ	47	47,17	44,68	43,19	49,26	48,3	45,49
ρ	99,05%	97,28%	99,32%	96,38%	98,53%	98,69%	98,32%
L	103,44	35,85	147,93	26,68	67,41	75,66	58,85
L_q	102,45	34,87	146,94	25,68	66,43	74,67	57,87
W	2,22	0,78	3,33	0,64	1,38	1,58	1,31
W_q	2,21	0,76	3,31	0,61	1,36	1,56	1,29
Model	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1

Berdasarkan hasil analisis pada **Tabel 5.7** dapat dijelaskan bahwa, jumlah rata-rata kedatangan kendaraan yang dijelaskan dengan lambda (λ). Rata-rata jumlah kedatangan kendaraan paling kecil berada pada hari Kamis sebesar 41 sampai 42 kendaraan permenit dan rata-rata jumlah kendaraan paling besar yaitu pada hari Sabtu sebesar 47 sampai 48 kendaraan permenit. Rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas dijelaskan dengan mu (μ). Rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas paling kecil adalah pada hari Kamis dengan 43 sampai 44 kendaraan permenit, dan rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas paling besar adalah hari Jumat dengan 49 sampai 50 kendaraan permenit. Proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian (ρ) mengalami puncaknya pada hari Rabu sebesar 99,32% atau 0,9932 artinya kendaraan ramai selama 99,32% dari waktunya, sedangkan 0,68% dari waktunya merupakan waktu kendaraan tidak ramai. Berdasarkan nilai ρ pada setiap harinya, nilai $\rho < 1$ sehingga model sistem antrian masih dikatakan efektif untuk digunakan atau dapat dikatakan memenuhi kondisi *steady state*. Jika dilihat berdasarkan

nilai ρ pada setiap harinya memiliki nilai mendekati 100% yang artinya bahwa sistem antrian kendaraan pada lengan timur di waktu sore hari mengalami kondisi yang sangat sibuk.

Pada antrian kendaraan pada pagi hari, hari Rabu mengalami puncak keramaian arus lalu lintas dengan nilai kesibukan 99,32%. Pada hari Rabu, rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam sistem (L) sebanyak 147 sampai 148 kendaraan permenit dan rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam antrian (L_q) sebanyak 146 sampai 147 kendaraan permenit. Sedangkan rata-rata waktu yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam sistem (W) selama 3,33 menit atau 200 detik dan rata-rata yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam antrian (W_q) selama 3,31 menit atau 199 detik.

Pada hari Kamis juga mengalami arus kendaraan lenggang dengan 96,38%. Rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam sistem (L) sebanyak 26 sampai 27 kendaraan permenit dan rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam antrian (L_q) sebanyak 25 sampai 26 kendaraan permenit. Sedangkan rata-rata waktu yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam sistem (W) selama 0,64 menit atau 39 detik dan rata-rata waktu yang dihabiskan setiap kendaraan dalam antrian (W_q) sebanyak 0,61 menit atau 37 detik.

Tabel 5.8 Kinerja sistem antrian di lengan barat pada sore hari

Variabel Pengukuran	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
λ	34,14	38,15	42,53	44,13	42,64	42,63	42,48
μ	35,42	39,3	42,88	44,64	43,33	42,93	43,05
ρ	96,38%	97,07%	99,18%	98,85%	98,40%	99,30%	98,67%
L	26,67	33,17	121,51	86,52	61,79	142,10	74,52
L_q	25,70	32,20	120,52	85,54	60,81	141,10	73,54
W	0,78	0,86	2,85	1,96	1,45	3,33	1,75
W_q	0,75	0,84	2,83	1,93	1,42	3,31	1,73
Model	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1	M/M/1

Berdasarkan hasil analisis pada **Tabel 5.8** dapat dijelaskan bahwa, jumlah rata-rata kedatangan kendaraan yang dijelaskan dengan lambda (λ). Rata-rata jumlah kedatangan kendaraan paling kecil berada pada hari Senin sebesar 34 sampai 35 kendaraan permenit tertentu dan rata-rata jumlah kendaraan paling besar yaitu pada hari Kamis sebesar 44 sampai 45 kendaraan permenit. Rata-rata

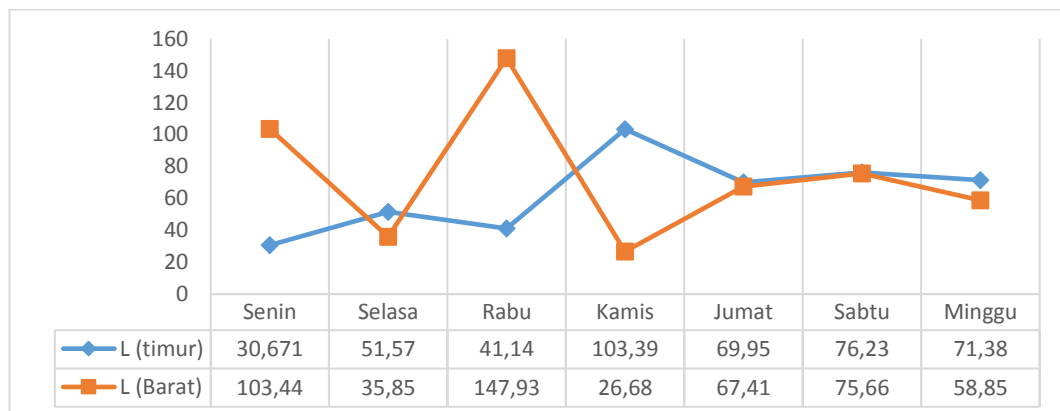
kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas dijelaskan dengan μ). Rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas paling kecil adalah pada hari Senin dengan 35 sampai 36 kendaraan permenit, dan rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas paling besar adalah hari Kamis dengan 45 sampai 46 kendaraan permenit. Hari Senin dan Selasa mengalami kondisi hujan sehingga berdampak pada rata-rata jumlah kendaraan yang melintasi lampu lalu lintas. Proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian (ρ) mengalami puncaknya pada hari Sabtu sebesar 99,3% atau 0,993 artinya kendaraan ramai selama 99,3% dari waktunya, sedangkan 0,7% dari waktunya merupakan waktu kendaraan tidak ramai. Berdasarkan nilai ρ pada setiap harinya, nilai $\rho < 1$ sehingga model sistem antrian masih dikatakan efektif untuk digunakan atau dapat dikatakan memenuhi kondisi *steady state*. Jika dilihat berdasarkan nilai ρ pada setiap harinya memiliki nilai mendekati 100% yang artinya bahwa sistem antrian kendaraan pada lengan timur di waktu sore hari mengalami kondisi yang sangat sibuk.

Pada antrian kendaraan pada sore hari, hari Sabtu mengalami puncak keramaian arus lalu lintas dengan nilai kesibukan 99,3%. Pada hari Sabtu, rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam sistem (L) sebanyak 142 sampai 143 kendaraan permenit dan rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam antrian (L_q) sebanyak 141 sampai 142 kendaraan permenit. Sedangkan rata-rata waktu yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam sistem (W) selama 3,33 menit atau 200 detik dan rata-rata yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam antrian (W_q) selama 3,31 menit atau 199 detik.

Kondisi arus lenggang berada pada hari Senin dengan nilai kesibukan 96,38%. Pada hari Senin, rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam sistem (L) sebanyak 26 sampai 27 kendaraan permenit dan rata-rata jumlah kendaraan yang berada dalam antrian (L_q) sebanyak 25 sampai 26 kendaraan permenit. Sedangkan rata-rata waktu yang dihabiskan kendaraan untuk menunggu dalam sistem (W) selama 0,78 menit atau 47 detik dan rata-rata waktu yang dihabiskan setiap kendaraan dalam antrian (W_q) sebanyak 0,75 menit atau 45 detik.

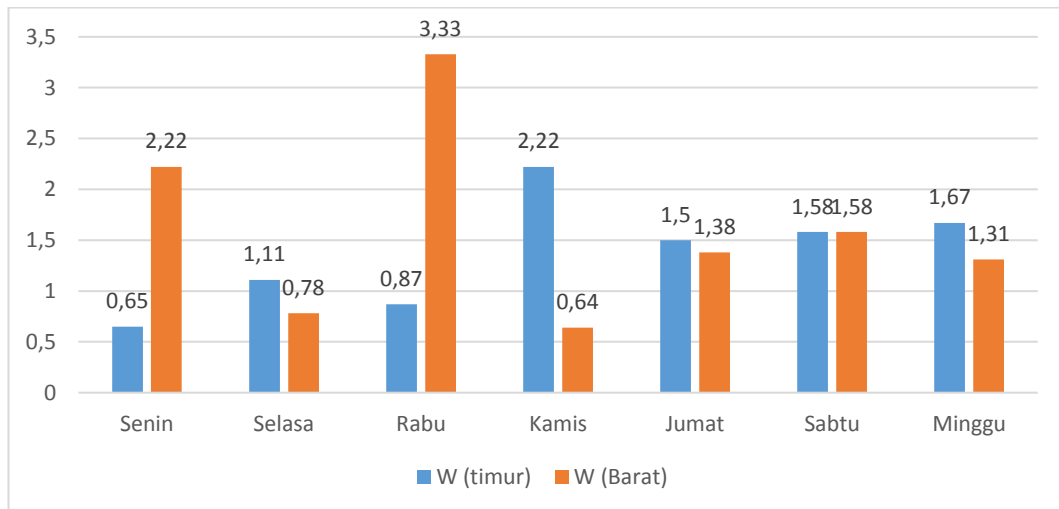
5.4.3. Perbandingan kondisi lalu lintas

Perbandingan kondisi lampu lalu lintas juga akan dilakukan di setiap hari nya pada setiap lengan di waktu yang sama. Perbandingan yang akan dilihat adalah jumlah banyaknya kendaraan dalam sistem (L) dan rata-rata waktu yang dibutuhkan setiap kendaraan dalam sistem (W). Perbandingan pada pagi hari disajikan pada **gambar 5.5** dan **gambar 5.6** dan perbandingan pada sore hari diajikan pada **gambar 5.7** dan **gambar 5.8**.



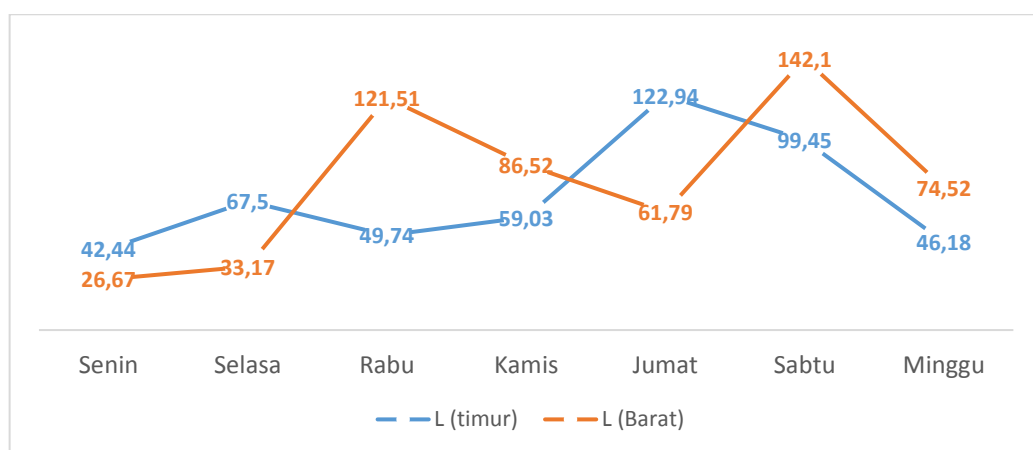
Gambar 5.5 Perbandingan jumlah kendaraan (unit) pada pagi hari

Pada **gambar 5.5** dapat dilihat pada grafik jumlah kendaraan pada pagi hari yang berada dalam sistem. Pada lengan barat mengalami puncak pada hari Rabu sebanyak 147 sampai 148 kendaraan permenit dalam rentang jarak tertentu. pada lengan timur mengalami puncak pada hari Kamis sebanyak 103 sampai 104 kendaraan permenit dalam rentang jarak tertentu. Jumlah kendaraan mengalami kondisi lenggang pada hari Senin dengan 30 sampai 31 kendaraan permenit pada rentang jarak tertentu untuk lengan timur dan hari Kamis dengan 26 samapai 27 kendaraan permenit pada rentang jarak tertentu untuk lengan barat. Pada hari Jumat dan Sabtu jumlah kendaraan memiliki jumlah yang hampir sama. Jumlah kendaraan paling sedikit pada hari Senin untuk lengan timur dan pada hari Minggu untuk lengan barat.



Gambar 5.6 Perbandingan waktu tunggu kendaraan (menit) pada pagi hari

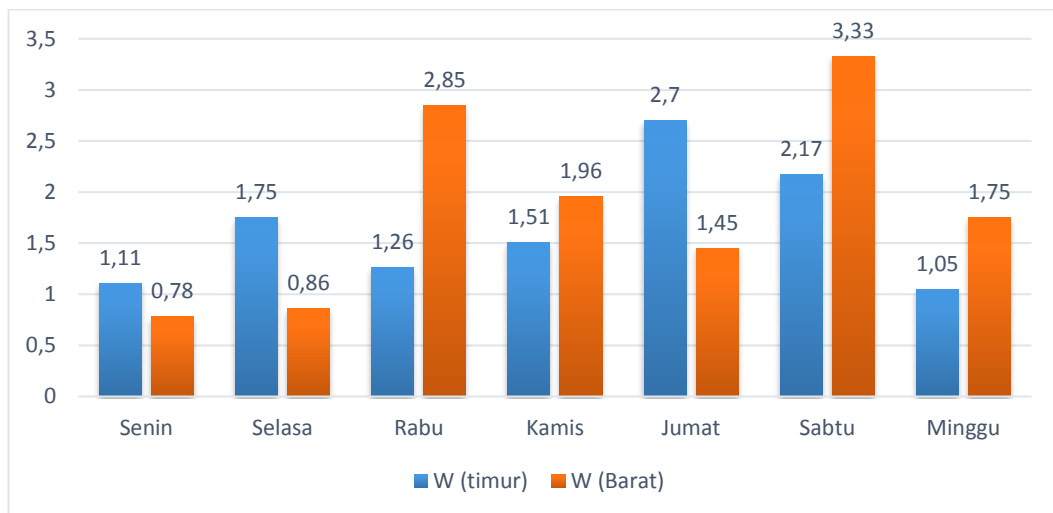
Pada **Gambar 5.6**, grafik perbandingan lama waktu menunggu kendaraan dalam sistem di pagi hari mengalami puncaknya berada pada hari Rabu selama 3,33 menit atau 200 detik untuk lengan barat dan pada hari Kamis selama 2,22 menit atau 134 detik untuk lengan timur pada rentang jarak tertentu. waktu menunggu paling singkat berada pada hari Senin selama 0,65 menit atau 39 detik untuk lengan timur dan hari Kamis selama 0,64 menit atau 38 detik untuk lengan barat pada rentang waktu tertentu. pada hari Sabtu lengan barat dan lengan timur memiliki waktu menunggu yang sama selama 1,58 menit atau 95 detik dalam rentang jarak tertentu.



Gambar 5.7 Perbandingan jumlah kendaraan (unit) pada sore hari

Pada **gambar 5.7** dapat dilihat pada grafik jumlah kendaraan pada sore hari yang berada dalam sistem. Pada lengan barat mengalami puncak pada hari Sabtu

sebanyak 142 sampai 143 kendaraan permenit dalam rentang jarak tertentu. pada lengan timur mengalami puncak pada hari Jumat sebanyak 122 sampai 123 kendaraan permenit dalam rentang jarak tertentu. Jumlah kendaraan mengalami kondisi lenggang pada hari Senin dengan 42 sampai 43 kendaraan permenit pada rentang jarak tertentu untuk lengan timur dan hari Senin dengan 26 samapai 27 kendaraan permenit pada rentang jarak tertentu untuk lengan barat. Jumlah kendaraan pada hari Senin dan Selasa mengalami jumlah kendaraan paling sedikit dalam sistem baik di lengan barat maupun dilengan timur. Hal ini disebabkan cuaca hujan deras sehingga mempengaruhi jumlah kendaraan dalam sistem.



Gambar 5.8 Perbandingan waktu tunggu kendaraan (menit) pada sore hari

Pada **Gambar 5.8**, grafik perbandingan lama waktu menunggu kendaraan dalam sistem di sore hari mengalami puncaknya berada pada hari Sabtu selama 3,33 menit atau 200 detik untuk lengan barat dan pada hari Jumat selama 2,7 menit atau 162 detik untuk lengan timur pada rentang jarak tertentu. waktu menunggu paling singkat berada pada hari Minggu selama 1,05 menit atau 63 detik untuk lengan timur dan hari Senin selama 0,78 menit atau 47 detik untuk lengan barat pada rentang waktu tertentu. pada hari Senin dan Selasa mengalami waktu menunggu yang tidak terlalu lama dalam sistem baik di lengan barat maupun dilengan timur. Hal ini disebabkan cuaca hujan deras sehingga mempengaruhi jumlah kendaraan dalam sistem. Walaupun begitu lama menunggu paling singkat pada lengan timur tetap berada pada hari Minggu.

5.4.4. Waktu tunggu lampu lalu lintas optimal

Waktu tunggu optimal pada setiap lengan akan diberikan tiga kondisi. Kondisi pertama adalah kondisi aktual pada tanggal 6 November 2017. Kondisi kedua adalah kondisi lampu lalu lintas pada 12 Mei 2018. Kondisi ketiga dan keempat adalah kondisi waktu lampu lalu lintas yang dimungkinkan menjadi waktu terbaik. Lama waktu berwarna merah disetiap kondisi disajikan pada **tabel 5.9** dan lama waktu berwarna hijau disajikan pada **tabel 5.10**. Berdasarkan keempat kondisi tersebut akan disimulasikan menggunakan perbandingan linear berdasarkan data yang ada didapatkan nilai kinerja sistem antrian pada setiap kondisi yang disajikan pada **tabel 5.11**.

Tabel 5.9 Lama waktu berwarna merah dalam detik

	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
Lengan timur pada pagi hari	90	95	95	105
Lengan barat pada pagi hari	80	90	90	100
Lengan timur pada sore hari	105	100	95	100
Lengan barat pada sore hari	95	100	90	90

Tabel 5.10 Lama waktu berwarna hijau dalam detik

	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
Lengan timur pada pagi hari	30	35	35	40
Lengan barat pada pagi hari	30	45	40	45
Lengan timur pada sore hari	35	40	35	40
Lengan barat pada sore hari	45	45	40	45

Tabel 5.11 Simulasi kinerja sistem antrian pada lengan timur di pagi hari

	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
ρ	98,21%	88,86%	88,86%	85,94%
L	63,48	8,01	8,01	6,13
L_q	62,49	7,12	7,12	5,27
W	1,37	0,16	0,16	0,11
W_q	1,35	0,15	0,15	0,10

Pada **tabel 5.11** adalah hasil perhitungan simulasi menggunakan hubungan linear pada lengan timur di pagi hari. Dari keempat kondisi tersebut kondisi 4 adalah kondisi dimana kepadatan kendaraan paling kecil sebesar 85,94%. Dengan jumlah kendaraan dalam sistem adalah 6 sampai 7 kendaraan permenit dan waktu tunggu kendaraan dalam sistem adalah 0,11 menit atau 7 detik. Pada kondisi 2 dan kondisi 3 memiliki jumlah kinerja sistem antrian yang sama.

Tabel 5.12 Simulasi kinerja sistem antrian pada lengan barat di pagi hari

	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
ρ	98,22%	73,67%	84,15%	72,76%
L	73,69	2,80	5,32	2,67
L_q	72,70	2,06	4,48	1,95
W	1,61	0,05	0,12	0,05
W_q	1,59	0,04	0,10	0,04

Pada **tabel 5.12** adalah hasil perhitungan simulasi menggunakan hubungan linear pada lengan barat di pagi hari. Dari keempat kondisi tersebut kondisi 4 adalah kondisi dimana kepadatan kendaraan paling kecil sebesar 72,76%. Dengan jumlah kendaraan dalam sistem adalah 2 sampai 3 kendaraan permenit dan waktu tunggu kendaraan dalam sistem adalah 0,05 menit atau 3 detik.

Tabel 5.13 Simulasi kinerja sistem antrian pada lengan timur di sore hari

	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
ρ	98,38%	86,09%	89,02%	81,99%
L	69,61	6,20	8,12	4,56
L_q	68,63	5,33	7,23	3,74

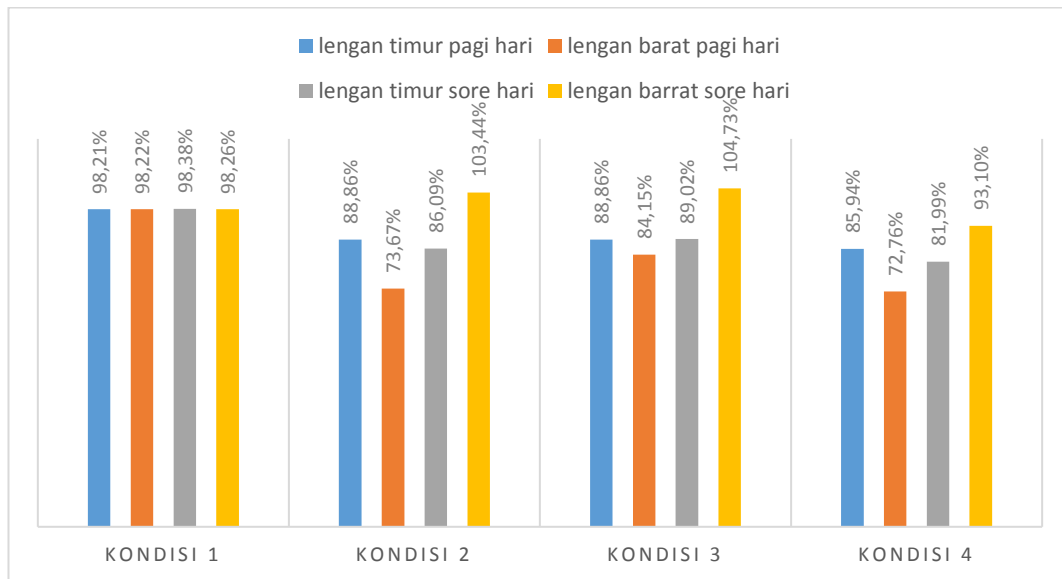
W	1,65	0,15	0,22	0,12
W_q	1,63	0,13	0,19	0,10

Pada **tabel 5.13** adalah hasil perhitungan simulasi menggunakan hubungan linear pada lengan timur di sore hari. Dari keempat kondisi tersebut kondisi 4 adalah kondisi dimana kepadatan kendaraan paling kecil sebesar 81,99%. Dengan jumlah kendaraan dalam sistem adalah 4 sampai 5 kendaraan permenit dan waktu tunggu kendaraan dalam sistem adalah 0,12 menit atau 8 detik.

Tabel 5.14 Simulasi kinerja sistem antrian pada lengan barat di sore hari

	Kondisi 1	Kondisi 4
ρ	98,26%	93,10%
L	78,04	13,75
L_q	77,06	12,82
W	1,85	0,35
W_q	1,83	0,33

Pada **tabel 5.14** adalah hasil perhitungan simulasi menggunakan hubungan linear pada lengan barat di sore hari. Dari keempat kondisi tersebut kondisi 4 adalah kondisi dimana kepadatan kendaraan paling kecil sebesar 93,10%. Dengan jumlah kendaraan dalam sistem adalah 13 sampai 14 kendaraan permenit dan waktu tunggu kendaraan dalam sistem adalah 0,35 menit atau 21 detik. Pada kondisi 2 dan kondisi 3 tingkat kepadatan lebih dari 100% sehingga tidak memenuhi ukuran *steady state* yang artinya tingkat kepadatan sangat tinggi.



Gambar 5.9 Perbandingan kepadatan kendaraan disetiap kondisi

Pada **gambar 5.9**, jika dilihat berdasarkan kepadatan kendaraan pada setiap kondisi pada lengan jalan kondisi 4 merupakan kondisi dimana tingkat kepadatan paling rendah disetiap lengan jalan di pagi hari dan sore hari. Kondisi 2 juga dapat diterapkan di setiap lengan jalan tetapi hanya di pagi hari saja. Kondisi 2 tidak cocok diterapkan di sore hari karena pada lengan barat kepadatan lebih dari 100%. Jika dilihat pada tingkat kepadatan pada setiap kondisi, kondisi 4 adalah kondisi yang paling optimal pada sore hari dengan lama waktu lampu lalu lintas berwarna merah adalah 100 detik dan lampu lalu lintas berwarna hijau adalah 40 detik untuk lengan timur sedangkan untuk lengan barat lampu lalu lintas berwarna merah adalah 90 detik dan lampu lalu lintas berwarna hijau adalah 45 detik. Kondisi yang optimal untuk pagi hari adalah kondisi 4 dengan lama waktu lampu lalu lintas berwarna merah adalah 105 dan lampu lalu lintas berwarna hijau adalah 40 detik untuk lengan timur sedangkan untuk lengan barat lama waktu lampu lalu lintas berwarna merah adalah 100 dan lampu lalu lintas berwarna hijau adalah 45.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan tentang penerapan teori antrian di lengan barat dan lengan timur simpang tiga ringroad menggunakan model M/M/1 didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis antrian pada lengan timur di pagi hari proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian mengalami puncak pada hari Kamis dengan 99,04% dan lenggang pada hari Senin dengan 96,84%. Pada lengan timur di sore hari proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian mengalami puncak pada hari Jumat dengan 99,19% dan lenggang pada hari Senin 97,7%. Pada lengan barat di pagi hari proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian mengalami puncaknya pada hari Rabu dengan 99,32% dan lenggang pada hari Selasa dengan 97,28%. Pada lengan barat di sore hari proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian mengalami puncak pada hari Sabtu dengan 99,3% dan lenggang pada Senin dengan 96,38%.
2. Karakteristik antrian pada lengan timur di pagi hari mengalami puncak pada hari Kamis dengan jumlah kendaraan dalam sistem adalah 103 sampai 104 kendaraan permenit, jumlah kendaraan dalam antrian adalah 102 sampai 103 kendaraan permenit, rata-rata waktu yang dibutuhkan kendaraan dalam sistem adalah 2,22 menit dan rata-rata waktu yang dibutuhkan kendaraan dalam antrian 2,21 menit. Karakteristik antrian pada lengan timur di sore hari mengalami puncak pada hari Jumat dengan jumlah kendaraan dalam sistem adalah 122 sampai 123 kendaraan permenit, jumlah kendaraan dalam antrian adalah 121 sampai 122 kendaraan permenit, rata-rata waktu yang dibutuhkan kendaraan dalam sistem adalah 2,7 menit dan rata-rata waktu yang dibutuhkan

kendaraan dalam antrian 2,68 menit. Karakteristik antrian pada lengan barat di pagi hari mengalami puncak pada hari Rabu dengan jumlah kendaraan dalam sistem adalah 147 sampai 148 kendaraan permenit, jumlah kendaraan dalam antrian adalah 146 sampai 147 kendaraan permenit, rata-rata waktu yang dibutuhkan kendaraan dalam sistem adalah 3,33 menit dan rata-rata waktu yang dibutuhkan kendaraan dalam antrian 3,31 menit. Karakteristik antrian pada lengan barat di sore hari mengalami puncak pada hari Sabtu dengan jumlah kendaraan dalam sistem adalah 142 sampai 143 kendaraan permenit, jumlah kendaraan dalam antrian adalah 141 sampai 142 kendaraan permenit, rata-rata waktu yang dibutuhkan kendaraan dalam sistem adalah 3,33 menit dan rata-rata waktu yang dibutuhkan kendaraan dalam antrian 3,31 menit. Karakteristik tersebut digunakan untuk menghitung karakteristik antrian pada jarak tertentu.

6.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian ini saran yang dapat diberikan untuk pemerintah adalah dapat menggeser posisi putar balik menuju daerah yang tidak terlalu dekat dengan lampu lalu lintas agar tidak terjadi penumpukan kendaraan yang berlebih.
2. Pada penelitian model antrian M/M/1 dilakukan untuk membandingkan karakteristik antrian antar hari, selama seMinggu dan berlokasi di dua lengan persimpang tanpa melihat kondisi cuaca yang terjadi. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan keadaan antrian lalu lintas pada keadaan cuaca yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminah, R, A., & A, K. (2015). Model Antrian Pesawat Terbang di Bandara Udara Internasional Hasanudin Makasar. *Jurnal Matematika, Statistika & Komputer*.
- Anokye, M., Abdul-Aziz, A., Annin, K., & Oduro, F. (2013). Application of Queuing to Vehicular Traffic at Signalized Intersection in Kumasi-Ashanti region, Ghana. *American International Journal of Contemporary research Vol. 3 No. 7*, 23-29.
- Astrelita, F. (2015). *Analisis Antrian Pengunjung dan Kinerja Sistem Dinas kependudukan dan Pencatatan Sipil Kota Semarang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Bain, L., & Engelardt, M. (1992). *Introduction to Probability and Mathematical Statistics*. California: Duxbury Press.
- Cooper, R. (2000). *Queuing Theory In Stochastic Models*. Amsterdam: North-Holland (Elsevier).
- Daniel, W. (1989). *Statistik Nonparametik terapan*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Dephub. (2009). *Undang-Undang RI NO 22, Tahun 2009, Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*.
- Dimiyati, A., & Tarliyah, T. (1999). *Operation Research Model Pengambilan Keputusan* . Bandung: PT Sinar Baru Algesindo.
- Djajoesman, H. (1976). *Grafik Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Djauhari, M. (1997). *Statistika matematika* . Bandung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITB.
- Dwijanto. (2008). *Riset Operasi*. Karisma.

- Gross, & Haris. (1994). *The Queueing Systems*. New York: John Wiley & Sons, inc.
- Gross, D., & Harris, C. (1998). *Fundamental of Queueing Theory Third Edition*. New York: John Wiley and Sons, INC.
- Heizer, J., & Render, B. (2006). *Manajemen Operasi Edisi Tujuh*. Jakarta: Salemba Empat.
- Heryana, A. (2014). *Penerapan Model Antrian M/G/e Pada System Kehadiran Karyawan PT. Pindad PERSERO*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Indrayani, M. (2008). *Pengaturan Lampu Lalu Lintas Perempatan Pingit Yogyakarta Dengan Simulasi Arena*. AKPRIND.
- Jatmika, S., & Andiko, I. (2014). *Simulasi Pengaturan lampu Lalu Lintas Berdasarkan Data Image processing Kepadatan Kendaraan Berbasis Mikrokontroler ATMEGA16*. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi ASIA Vol. 8 No 2*, 81-96.
- Munawar, A. (2013). *10 Thun Lagi Yogya Macet*. Yogyakarta: Koran Kedaulatan Rakyat Tgl 07 Maret 2013 hal. 2.
- Poerwadarminta, W. (1993). *Kamus Umum Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Praptono. (1986). *Pengantar Proses Stokastik I*. Jakarta: Karunika Universitas Terbuka.
- Puspitasari, D. (2016). *Analisis Kinerja Sistem Lalu Lintas Persimpangan Menggunakan Metode Teori Antrian Dengan Model Constans Service Time (M/D/1)*. Yogyakarta: Program Studi Statistika, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam indonesia.
- Putra, N. (2017). *Analisis Sistem Antrian Tandem (Single Channel Multi Phase) pada Proses Pengadaan Jasa di PT Pupuk Kaltim*. Yogyakarta: Jurusan

Statistika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.

- Putri, D., & Abusini, S. (2015). Analisis Tingkat Pelayanan Persimpangan Jalan Dengan Model M/D/1 dan Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) (Studi Kasus Persimpangan ITN Kota Malang). *Jurnal Mahasiswa Matematika Vol. 3 No.2*, 109-112.
- Riana, M. (2014). *Model Antrian Waktu Tunggu Kendaraan di Persimpangan Lampu Lalu Lintas Condong Catur dengan Compound Poisson Arrivals dan Memperhatikan Sisa Antrian Sebelumnya*. Yogyakarta: Program Studi Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika, Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ross, S. (2007). *Introduction to Probability Models. Ninth Edition*. United States of America: Academic Press.
- Ruswandi, B. (2006). *Penerapan Sistem antrian Sebagai Upaya Mengoptimalkan Pelayanan Terhadap Pasien Pada Loket Pengambilan Obat di Puskesmas Cicurug Sukabumi Jawa Barat*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Sari, N., Sugito, & Warsito, B. (2016). Penerapan Teori Antrian Pada Pelayanan Teller Bank X Kantor Cabang Pembantu Puri Sentra Niaga. *Jurnal Gaussian Vol. 6 No. 1*, 81-90.
- Sinalungga, S. (2008). *Pengantar Teknik Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sitindaon, W. (2010). *Analisis Perpindahan Merek Handphone Dengan Rantai Markov*. Skripsi Fakultas Pertanian USU.
- Srinadi, I. (2013). *Pengantar Proses Stokastik*. Denpasar: Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam Universitas Udayana.

- Sugito, & Marisa, F. (2009). Analisis Sistem Antrian Kereta Api Stasiun Besar Cirebon dan Stasiun Cirebon Prujakan. *Media Statistika Vol 2 No 2*, 111-120.
- Supranto, J. (1998). *Riset Operasi Untuk Pengambilan Keputusan*. Jakarta: UI-Press.
- Taha, H. (1996). *Riset Operasi Jilid 2*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Vandaele, N., Woensel, T., & Verbruggen, A. (2000). A Queueing based Traffic Flow Model. *Transportation Research-D: Transport and Environment Vol. 5 NO. 2* , 121-135.
- Widiawati, T. (2010). *Analisis Sistem Antrian Pesawat terbang bandara Internasional Adisumarmo Surakarta*. Semarang: Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro.
- Yang, S., & Yang, X. (2014). The Application of the Queuing Theory in the Traffic Flow of Intersection. *International Journal of Mathematical and Computational Sciences, Vol 8, No 6*, 986-989.
- Zulkipli, S. (2015). *Pengaruh Volume Lalu Lintas Terhadap Tingkat Kebisingan Pada Jalan Bung Tomo Samarinda Sebrang*. Samarinda: Departement Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Jumlah Kedatangan Kendaraan Pada Lengan Timur Pagi Hari

Hari/Tanggal	Jam	Jumlah Kendaraan	Detik lampu merah
Senin	06.30 – 07.00	1329	90
6 November 2017	07.00 – 07.30	1391	
	07.30 – 08.00	1413	
	08.00 – 08.30	1461	
Selasa	06.30 – 07.00	1362	90
7 November 2017	07.00 – 07.30	1385	
	07.30 – 08.00	1447	
	08.00 – 08.30	1376	
Rabu	06.30 – 07.00	1368	90
8 November 2017	07.00 – 07.30	1422	
	07.30 – 08.00	1412	
	08.00 – 08.30	1426	
Kamis	06.30 – 07.00	1371	90
9 November 2017	07.00 – 07.30	1412	
	07.30 – 08.00	1416	
	08.00 – 08.30	1384	
Jumat	06.30 – 07.00	1369	90
10 November 2017	07.00 – 07.30	1424	
	07.30 – 08.00	1395	
	08.00 – 08.30	1436	
Sabtu	06.30 – 07.00	1414	90
11 November 2017	07.00 – 07.30	1431	
	07.30 – 08.00	1479	
	08.00 – 08.30	1439	
Minggu	06.30 – 07.00	1270	90
12 November 2017	07.00 – 07.30	1254	
	07.30 – 08.00	1281	
	08.00 – 08.30	1335	

Lampiran 2. Data Jumlah Kedatangan Kendaraan Pada Lengan Timur Sore hari

Hari/Tanggal	Jam	Jumlah Kendaraan	Detik lampu merah
Senin	15.30 – 16.00	1146	105
6 November 2017	16.00 – 16.30	1158	
	16.30 – 17.00	1134	
	17.00 – 17.30	1146	
Selasa	15.30 – 16.00	1173	105
7 November 2017	16.00 – 16.30	1120	
	16.30 – 17.00	1164	
	17.00 – 17.30	1161	
Rabu	15.30 – 16.00	1186	105
8 November 2017	16.00 – 16.30	1177	
	16.30 – 17.00	1205	
	17.00 – 17.30	1148	
Kamis	15.30 – 16.00	1186	105
9 November 2017	16.00 – 16.30	1152	
	16.30 – 17.00	1161	
	17.00 – 17.30	1176	
Jumat	15.30 – 16.00	1339	105
10 November 2017	16.00 – 16.30	1353	
	16.30 – 17.00	1386	
	17.00 – 17.30	1381	
Sabtu	15.30 – 16.00	1344	105
11 November 2017	16.00 – 16.30	1372	
	16.30 – 17.00	1387	
	17.00 – 17.30	1387	
Minggu	15.30 – 16.00	1296	105
12 November 2017	16.00 – 16.30	1333	
	16.30 – 17.00	1322	
	17.00 – 17.30	1315	

Lampiran 3. Data Jumlah Kedatangan Kendaraan Pada Lengan Barat Pagi Hari

Hari/Tanggal	Jam	Jumlah Kendaraan	Detik lampu merah
Senin	06.30 – 07.00	1418	80
6 November 2017	07.00 – 07.30	1385	
	07.30 – 08.00	1344	
	08.00 – 08.30	1439	
Selasa	06.30 – 07.00	1382	80
7 November 2017	07.00 – 07.30	1405	
	07.30 – 08.00	1402	
	08.00 – 08.30	1318	
Rabu	06.30 – 07.00	1380	80
8 November 2017	07.00 – 07.30	1433	
	07.30 – 08.00	1285	
	08.00 – 08.30	1228	
Kamis	06.30 – 07.00	1297	80
9 November 2017	07.00 – 07.30	1316	
	07.30 – 08.00	1196	
	08.00 – 08.30	1186	
Jumat	06.30 – 07.00	1431	80
10 November 2017	07.00 – 07.30	1484	
	07.30 – 08.00	1450	
	08.00 – 08.30	1460	
Sabtu	06.30 – 07.00	1427	80
11 November 2017	07.00 – 07.30	1457	
	07.30 – 08.00	1409	
	08.00 – 08.30	1427	
Minggu	06.30 – 07.00	1318	80
12 November 2017	07.00 – 07.30	1349	
	07.30 – 08.00	1353	
	08.00 – 08.30	1348	

Lampiran 4. Data Jumlah Kedatangan Kendaraan Pada Lengan Barat Sore Hari

Hari/Tanggal	Jam	Jumlah Kendaraan	Detik lampu merah
Senin	15.30 – 16.00	1023	95
6 November 2017	16.00 – 16.30	1033	
	16.30 – 17.00	1004	
	17.00 – 17.30	1037	
Selasa	15.30 – 16.00	1163	95
7 November 2017	16.00 – 16.30	1138	
	16.30 – 17.00	1106	
	17.00 – 17.30	1171	
Rabu	15.30 – 16.00	1287	95
8 November 2017	16.00 – 16.30	1269	
	16.30 – 17.00	1335	
	17.00 – 17.30	1212	
Kamis	15.30 – 16.00	1280	95
9 November 2017	16.00 – 16.30	1319	
	16.30 – 17.00	1365	
	17.00 – 17.30	1331	
Jumat	15.30 – 16.00	1273	95
10 November 2017	16.00 – 16.30	1288	
	16.30 – 17.00	1293	
	17.00 – 17.30	1263	
Sabtu	15.30 – 16.00	1273	95
11 November 2017	16.00 – 16.30	1286	
	16.30 – 17.00	1259	
	17.00 – 17.30	1298	
Minggu	15.30 – 16.00	1266	95
12 November 2017	16.00 – 16.30	1305	
	16.30 – 17.00	1265	
	17.00 – 17.30	1261	

Lampiran 5. Data Jumlah Kendaraan yang Mampu Meninggalkan Lampu Lalu Lintas Pada Lengan Timur Pagi hari

Hari/Tanggal	Jam	Jumlah Kendaraan	Detik lampu hijau
Senin	06.30 – 07.00	1389	30
6 November 2017	07.00 – 07.30	1442	
	07.30 – 08.00	1448	
	08.00 – 08.30	1498	
Selasa	06.30 – 07.00	1383	30
7 November 2017	07.00 – 07.30	1426	
	07.30 – 08.00	1454	
	08.00 – 08.30	1415	
Rabu	06.30 – 07.00	1396	30
8 November 2017	07.00 – 07.30	1450	
	07.30 – 08.00	1454	
	08.00 – 08.30	1465	
Kamis	06.30 – 07.00	1396	30
9 November 2017	07.00 – 07.30	1416	
	07.30 – 08.00	1425	
	08.00 – 08.30	1400	
Jumat	06.30 – 07.00	1390	30
10 November 2017	07.00 – 07.30	1440	
	07.30 – 08.00	1411	
	08.00 – 08.30	1464	
Sabtu	06.30 – 07.00	1429	30
11 November 2017	07.00 – 07.30	1449	
	07.30 – 08.00	1494	
	08.00 – 08.30	1467	
Minggu	06.30 – 07.00	1285	30

12 November 2017	07.00 – 07.30	1274	
	07.30 – 08.00	1309	
	08.00 – 08.30	1343	

Lampiran 6. Data Jumlah Kendaraan yang Mampu Meninggalkan Lampu Lalu Lintas Pada Lengan Timur Sore hari

Hari/Tanggal	Jam	Jumlah Kendaraan	Detik lampu hijau
Senin	15.30 – 16.00	1161	35
6 November 2017	16.00 – 16.30	1183	
	16.30 – 17.00	1175	
	17.00 – 17.30	1173	
Selasa	15.30 – 16.00	1173	35
7 November 2017	16.00 – 16.30	1150	
	16.30 – 17.00	1183	
	17.00 – 17.30	1180	
Rabu	15.30 – 16.00	1203	35
8 November 2017	16.00 – 16.30	1202	
	16.30 – 17.00	1229	
	17.00 – 17.30	1177	
Kamis	15.30 – 16.00	1210	35
9 November 2017	16.00 – 16.30	1180	
	16.30 – 17.00	1178	
	17.00 – 17.30	1186	
Jumat	15.30 – 16.00	1357	35
10 November 2017	16.00 – 16.30	1370	
	16.30 – 17.00	1390	
	17.00 – 17.30	1386	
Sabtu	15.30 – 16.00	1355	35

11 November 2017	16.00 – 16.30	1380	35
	16.30 – 17.00	1408	
	17.00 – 17.30	1402	
Minggu	15.30 – 16.00	1328	
12 November 2017	16.00 – 16.30	1357	
	16.30 – 17.00	1354	
	17.00 – 17.30	1341	

Lampiran 7. Data Jumlah Kendaraan yang Mampu Meninggalkan Lampu Lalu Lintas Pada Lengan Barat Pagi Hari

Hari/Tanggal	Jam	Jumlah Kendaraan	Detik lampu hijau
Senin	06.30 – 07.00	1425	30
6 November 2017	07.00 – 07.30	1403	
	07.30 – 08.00	1388	
	08.00 – 08.30	1424	
Selasa	06.30 – 07.00	1403	30
7 November 2017	07.00 – 07.30	1429	
	07.30 – 08.00	1451	
	08.00 – 08.30	1377	
Rabu	06.30 – 07.00	1416	30
8 November 2017	07.00 – 07.30	1390	
	07.30 – 08.00	1296	
	08.00 – 08.30	1259	
Kamis	06.30 – 07.00	1376	30
9 November 2017	07.00 – 07.30	1351	
	07.30 – 08.00	1239	
	08.00 – 08.30	1217	
Jumat	06.30 – 07.00	1430	30

10 November 2017	07.00 – 07.30	1503	
	07.30 – 08.00	1479	
	08.00 – 08.30	1499	
Sabtu	06.30 – 07.00	1439	30
11 November 2017	07.00 – 07.30	1474	
	07.30 – 08.00	1454	
	08.00 – 08.30	1429	30
Minggu	06.30 – 07.00	1337	
12 November 2017	07.00 – 07.30	1374	
	07.30 – 08.00	1387	30
	08.00 – 08.30	1361	

Lampiran 8. Data Jumlah Kendaraan yang Mampu Meninggalkan Lampu Lalu Lintas Pada Lengan Barat Sore Hari

Hari/Tanggal	Jam	Jumlah Kendaraan	Detik lampu hijau
Senin	15.30 – 16.00	1050	45
6 November 2017	16.00 – 16.30	1043	
	16.30 – 17.00	1044	
	17.00 – 17.30	1113	45
Selasa	15.30 – 16.00	1165	
7 November 2017	16.00 – 16.30	1168	
	16.30 – 17.00	1183	45
	17.00 – 17.30	1200	
Rabu	15.30 – 16.00	1273	
8 November 2017	16.00 – 16.30	1311	45
	16.30 – 17.00	1340	
	17.00 – 17.30	1222	
Kamis	15.30 – 16.00	1288	45

9 November 2017	16.00 – 16.30	1344	
	16.30 – 17.00	1382	
	17.00 – 17.30	1343	
Jumat	15.30 – 16.00	1224	45
10 November 2017	16.00 – 16.30	1323	
	16.30 – 17.00	1332	
	17.00 – 17.30	1320	
Sabtu	15.30 – 16.00	1281	45
11 November 2017	16.00 – 16.30	1295	
	16.30 – 17.00	1277	
	17.00 – 17.30	1298	
Minggu	15.30 – 16.00	1282	45
12 November 2017	16.00 – 16.30	1308	
	16.30 – 17.00	1284	
	17.00 – 17.30	1292	