

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BUNDARAN TUGU KARTASURA MENGGUNAKAN STUDI MIKROSIMULASI LALU LINTAS (*PERFORMANCE EVALUATION OF TUGU KARTASURA ROUNDABOUT USING TRAFFIC MICROSIMULATION STUDY*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Abimanyu Ditya Yudhajakti
20511417**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BUNDARAN TUGU KARTASURA MENGGUNAKAN STUDI MIKROSIMULASI LALU LINTAS (*PERFORMANCE EVALUATION OF TUGU KARTASURA ROUNDABOUT USING TRAFFIC MICROSIMULATION STUDY*)

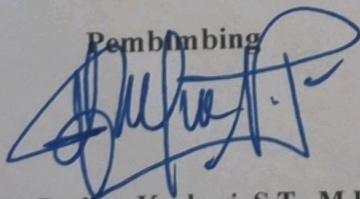
Disusun oleh

Abimanyu Ditya Yudhajakti
20511417

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

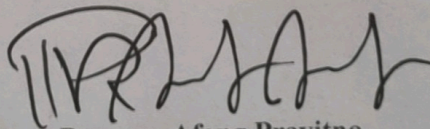
Diuji pada tanggal 12 Februari 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



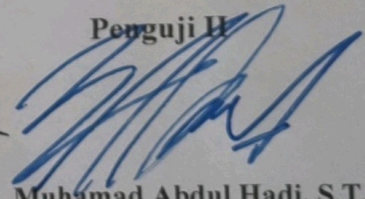
Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM,
ASEAN Eng.
NIK : 01511010

Penguji I



Prayogo Afang Pravitno,
S.T., M.Sc.
NIK : 205111303

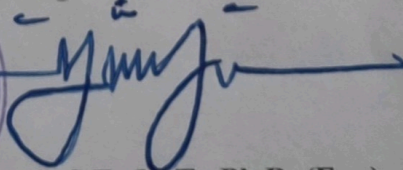
Penguji II



Muhamad Abdul Hadi, S.T.,
M.T.
NIK : 215111307

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.
NIK: 095110101

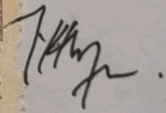
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 12 Februari 2025

Yang membuat pernyataan




Abimanyu Ditya Yudhajakti
(20511417)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul *Evaluasi Kinerja Bundaran Tugu Kartasura Menggunakan Studi Mikrosimulasi Lalu Lintas*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

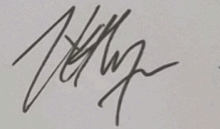
Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM, ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji I. Terima kasih atas masukan yang telah diberikan kepada penulis.
3. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II. Terima kasih atas masukan yang telah diberikan kepada penulis.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntasi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM. Selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Rizka Ariyanto, S.Kom. selaku laboran Laboratorium Rekayasa Transportasi yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini.
6. Kedua orang tua penulis Bapak Sutyar dan Ibu Diah Puji Wijayanti yang begitu sangat membantu material maupun spiritual hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Kakak kandung penulis Erlangga Ditya Parawansa, S.E. yang telah memberikan banyak support dan dorongan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Bapak Joko dan keluarga yang telah menyediakan tempat tinggal pada saat pengambilan data.
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Sipil angkatan 2020 yang telah menjadi teman dan rekan selama perkuliahan dan juga teman-teman surveyor yang telah banyak membantu dalam pengambilan data.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 12 Februari 2025
Penulis,



Abimanyu Ditya Yudhajakti
(20511417)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Simpang Tak Bersinyal	5
2.2 Bundaran (<i>Roundabout</i>)	6
2.3 Mikrosimulasi <i>VISSIM</i>	7
2.4 Perbandingan Penelitian Sekarang Dengan Penelitian Terdahulu	8
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Konsep Dasar Bundaran	14
3.2 Tipe Bundaran	14
3.3 Kapasitas Jalinan	18
3.3.1 Kapasitas Dasar	18

3.3.2	Faktor Koreksi Ukuran Kota	21
3.3.3	Faktor Koreksi Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping, dan Kendaraan Tidak Bermotor	21
3.4	Derajat Kejenuhan Bagian Jalinan	23
3.5	Tundaan Pada Bundaran	23
3.6	Peluang Antrean Pada Bundaran	24
3.7	Kecepatan Tempuh Pada Bagian Jalinan Tunggal	25
3.8	Waktu Tempuh Pada Bagian Jalinan Tunggal	25
3.9	Manajemen Lalu Lintas	25
3.9.1	Jenis-jenis Manajemen Lalu Lintas	26
3.10	Mikrosimulasi <i>VISSIM</i>	27
3.11	Kalibrasi dan Validasi <i>Software VISSIM</i>	28
BAB IV METODE PENELITIAN		30
4.1	Umum	30
4.2	Jenis Penelitian	30
4.3	Data Penelitian	30
4.4	Metode Pengumpulan Data	32
4.4.1	Peralatan Yang Digunakan	33
4.4.2	Waktu Pelaksanaan Survei Lapangan	33
4.5	Metode Analisis Data	33
4.5.1	Settingan Awal	34
4.5.2	<i>Input Background Images</i> dan <i>Set Scale</i>	35
4.5.3	<i>Input Links</i> dan <i>Conector</i>	36
4.5.4	<i>Input Volume</i>	38
4.5.5	<i>Vehicle Composition</i>	38
4.5.6	<i>Vehicle Routes</i>	39
4.5.7	Pengaturan <i>Conflict Area</i> dan <i>Priority Rules</i>	39
4.5.8	<i>Reduced Speed Area</i>	41
4.5.9	Pembuatan dan Pengaturan <i>Data Collection Points</i> , <i>Vehicle Travel Times</i> , dan <i>Queue Counters</i>	42
4.5.10	<i>Driving Behavior</i>	44

4.5.11	<i>Result List, Configuration, dan Running</i>	45
4.6	Bagan Alir Penelitian	46
BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		48
5.1	DATA PENELITIAN	48
5.1.1	Volume Lalu Lintas	48
5.1.2	Data Geometri Bundaran	51
5.1.3	Data Panjang Antrean dan Tundaan pada Bundaran	51
5.1.4	Data Kecepatan Kendaraan Memasuki Bundaran	51
5.1.5	Data <i>Driving Behavior</i>	52
5.2	Kinerja Bundaran Eksisting menggunakan PKJI 2023	52
5.2.1	Perhitungan Bagian Jalinan Bundaran	53
5.2.2	Kondisi Lingkungan	55
5.2.3	Perhitungan Parameter Geometri Bagian Jalinan	55
5.2.4	Perhitungan Kapasitas	56
5.2.5	Kinerja Lalu Lintas	58
5.2.6	Hasil Analisis	60
5.3	Kalibrasi dan Validasi <i>PTV VISSIM</i>	61
5.3.1	<i>Output</i> pemodelan sebelum kalibrasi	61
5.3.2	<i>Output</i> Pemodelan Setelah Kalibrasi	63
5.4	Perencanaan Alternatif	67
5.4.1	Alternatif I	68
5.4.2	Alternatif II	69
5.4.3	Alternatif III	71
5.4.4	Pembahasan	72
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		76
6.1	Kesimpulan	76
6.2	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		78

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya	10
Tabel 2. 2 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Sebelumnya	13
Tabel 3. 1 Tipe Bundaran	15
Tabel 3. 2 Nilai EMP Untuk Segmen Jalan Umum Tipe 4/2-T	17
Tabel 3. 3 Faktor Koreksi Ukuran Kota	21
Tabel 3. 4 Kelas Tipe Lingkungan Jalan	22
Tabel 3. 5 Kelas Hambatan Samping	22
Tabel 3. 6 Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping, Dan Kendaraan Tidak Bermotor (F_{RSU})	23
Tabel 3. 7 Kesimpulan Hasil Rumus Statik GEH	29
Tabel 3. 8 Kesimpulan Hasil Rumus MAPE	29
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Volume Kendaraan Hari Sabtu	48
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Volume Kendaraan Hari Senin	49
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Panjang Antrean dan Tundaan pada Bundaran	51
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Kecepatan Rata-rata	52
Tabel 5. 5 Data <i>Driving Behavior</i>	52
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Konversi Satuan Arus Lalu Lintas	53
Tabel 5. 7 Parameter Geometrik Bagian Jalinan	56
Tabel 5. 8 Volume Eksisting Sebelum Kalibrasi	62
Tabel 5. 9 Panjang Antrean Sebelum Kalibrasi	62
Tabel 5. 10 Tundaan Sebelum Kalibrasi	62
Tabel 5. 11 Kecepatan Sebelum Kalibrasi	63
Tabel 5. 12 Parameter <i>Driving Behavior</i> yang Diganti	63
Tabel 5. 13 Volume Eksisting Setelah Kalibrasi	66
Tabel 5. 14 Panjang Antrean Eksisting Setelah Kalibrasi	66
Tabel 5. 15 Tundaan Eksisting Setelah Kalibrasi	66
Tabel 5. 16 Kecepatan Eksisting Setelah Klibrasi	67

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Parameter Sebelum dan Setelah Kalibrasi	67
Tabel 5. 18 Perbandingan Panjang Antrean Alternatif I Dengan Eksisting	68
Tabel 5. 19 Perbandingan Tundaan Alternatif I Dengan Eksisting	69
Tabel 5. 20 Perbandingan Panjang Antrean Alternatif II Dengan Eksisting	70
Tabel 5. 21 Perbandingan Tundaan Alternatif II Dengan Eksisting	70
Tabel 5. 22 Perbandingan Panjang Antrean Alternatif III Dengan Eksisting	71
Tabel 5. 23 Perbandingan Tundaan Alternatif III Dengan Eksisting	72
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Panjang Antrean Bundaran Tugu Kartasura	74
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Tundaan Bundaran Tugu Kartasura	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Lokasi Penelitian Bundaran Tugu Kartasura	2
Gambar 1. 2 Kondisi lalu lintas Bundaran Tugu Kartasura	2
Gambar 3. 1 R10-11	15
Gambar 3. 2 R10-22	16
Gambar 3. 3 R14-22	16
Gambar 3. 4 R20-22	17
Gambar 3. 5 Grafik Faktor W_w	19
Gambar 3. 6 Grafik Faktor W_E/W_W	20
Gambar 3. 7 Grafik Faktor P_W	20
Gambar 3. 8 Grafik Faktor W_W/L_W	21
Gambar 3. 9 Peluang Antrean Pada Bundaran	24
Gambar 4. 1 Denah Lokasi Penempatan Surveyor	32
Gambar 4. 2 Pengaturan <i>Vehicle Behavior</i>	34
Gambar 4. 3 Pengaturan <i>Units</i>	35
Gambar 4. 4 <i>Input Background Images</i>	35
Gambar 4. 5 Pengaturan Skala Pada <i>Background Images</i>	36
Gambar 4. 6 <i>Input Links (1/2)</i>	37
Gambar 4. 7 <i>Input Links (2/2)</i>	37
Gambar 4. 8 <i>Input Connectors</i>	37
Gambar 4. 9 <i>Input Volume</i>	38
Gambar 4. 10 Pengaturan <i>Vehicle Composition</i>	39
Gambar 4. 11 Pengaturan <i>Vehicle Routes</i>	39
Gambar 4. 12 Pengaturan <i>Conflict Area</i>	40
Gambar 4. 13 Pengaturan <i>Reduced Speed Area</i>	41
Gambar 4. 14 Visualisasi <i>Reduced Speed Area</i>	41
Gambar 4. 15 Pengaturan <i>Data Collection Point</i>	43
Gambar 4. 16 Pengaturan <i>Vehicle Travel Time</i>	43

Gambar 4. 17 Pengaturan <i>Queue Counters</i>	43
Gambar 4. 18 Pengaturan <i>Driving Behavior</i> (1/2)	44
Gambar 4. 19 Pengaturan <i>Driving Behavior</i> (2/2)	45
Gambar 4. 20 Pengaturan <i>Configuration</i>	46
Gambar 4. 21 Pengaturan <i>Result List</i>	46
Gambar 4. 22 Hasil <i>Running</i>	46
Gambar 4. 23 Bagan Alir Penelitian	47
Gambar 5. 1 Grafik Volume Lalu Lintas	50
Gambar 5. 2 Distribusi Volume Lalu Lintas Di Jam Puncak Pada Bundaran Tugu Kartasura	50
Gambar 5. 3 Geometri Bundaran Tugu Kartasura	51
Gambar 5. 4 Kondisi Pemodelan Sebelum Kalibrasi	65
Gambar 5. 5 Kondisi Pemodelan Setelah Kalibrasi	65
Gambar 5. 6 Geometri Bundaran Tugu Kartasura Alternatif I	68
Gambar 5. 7 Geometri Bundaran Tugu Kartasura Alternatif II	70
Gambar 5. 8 Geometri Bundaran Tugu Kartasura Alternatif III	71
Gambar 5. 9 Diagram Perbandingan Nilai Panjang Antrean	74
Gambar 5. 10 Diagram Perbandingan Nilai Tundaan	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Raya Boyolali – Kartasura Sesi Pagi	81
Lampiran 2 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Jendral Ahmad Yani Sesi Pagi	82
Lampiran 3 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Yogyakarta - Solo Sesi Pagi	83
Lampiran 4 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Raya Boyolali - Kartasura Sesi Sore	84
Lampiran 5 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Jendral Ahmad Yani Sesi Sore	85
Lampiran 6 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Yogyakarta - Solo Sesi Sore	86
Lampiran 7 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Raya Boyolali - Kartasura Sesi Pagi	87
Lampiran 8 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Jendral Ahmad Yani Sesi Pagi	88
Lampiran 9 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Yogyakarta - Solo Sesi Pagi	89
Lampiran 10 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Raya Boyolali - Kartasura Sesi Sore	90
Lampiran 11 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Jendral Ahmad Yani Sesi Sore	91
Lampiran 12 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Yogyakarta - Solo Sesi Sore	92
Lampiran 13 Data Panjang Antrean dan Tundaan Hari Sabtu Sesi Pagi	93
Lampiran 14 Data Panjang Antrean dan Tundaan Hari Sabtu Sesi Sore	94
Lampiran 15 Data Panjang Antrean dan Tundaan Hari Senin Sesi Pagi	95

Lampiran 16 Data Panjang Antrean dan Tundaan Hari Senin Sesi Sore	96
Lampiran 17 Data Kecepatan Jl. Raya Solo - Yogyakarta Hari Sabtu Sesi Pagi	97
Lampiran 18 Data Kecepatan Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Sabtu Sesi Pagi	98
Lampiran 19 Data Kecepatan Jl. Jendral A. Yani Hari Sabtu Sesi Pagi	99
Lampiran 20 Data Kecepatan Jl. Raya Solo - Yogyakarta Hari Sabtu Sesi Sore	100
Lampiran 21 Data Kecepatan Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Sabtu Sesi Sore	101
Lampiran 22 Data Kecepatan Jl. Jendral A. Yani Hari Sabtu Sesi Sore	102
Lampiran 23 Data Kecepatan Jl. Raya Solo - Yogyakarta Hari Senin Sesi Pagi	103
Lampiran 24 Data Kecepatan Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Senin Sesi Pagi	104
Lampiran 25 Data Kecepatan Jl. Jendral A. Yani Hari Senin Sesi Pagi	105
Lampiran 26 Data Kecepatan Jl. Raya Solo - Yogyakarta Hari Senin Sesi Sore	106
Lampiran 27 Data Kecepatan Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Senin Sesi Sore	107
Lampiran 28 Data Kecepatan Jl. Jendral A. Yani Hari Senin Sesi Sore	108
Lampiran 29 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Sabtu Sesi Pagi	109
Lampiran 30 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Raya Yogyakarta - Solo Hari Sabtu Sesi Pagi	110
Lampiran 31 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Jendral A. Yani Hari Sabtu Sesi Pagi	111
Lampiran 32 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Sabtu Sesi Sore	112
Lampiran 33 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Raya Yogyakarta - Solo Hari Sabtu Sesi Sore	113

Lampiran 34 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Jendral A. Yani Hari Sabtu Sesi Sore	114
Lampiran 35 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Senin Sesi Pagi	115
Lampiran 36 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Raya Yogyakarta - Solo Hari Senin Sesi Pagi	116
Lampiran 37 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Jendral A. Yani Hari Senin Sesi Pagi	117
Lampiran 38 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Senin Sesi Sore	118
Lampiran 39 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Raya Yogyakarta - Solo Hari Senin Sesi Sore	119
Lampiran 40 Data <i>Driving Behavior</i> Jl. Jendral A. Yani Hari Senin Sesi Sore	120

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

BB	= Bus besar
Bka	= Belok Kanan
Bki	= Belok Kiri
C	= Kapasitas simpang (SMP/jam)
C_0	= Kapasitas dasar jalanan, dalam SMP/jam
D_j	= Drajat kejenuhan.
EMP	= Ekuivalensi Mobil Penumpang
F_{RSU}	= Faktor koreksi tipe lingkungan jalan, hambatan samping
F_{UK}	= Faktor koreksi ukuran kota
GEH	= Nilai validasi menggunakan persamaan GEH
i	= bagian jalanan ke i dalam bundaran
km	= Kilometer
KS	= Kendaraan sedang
m	= meter
MAPE	= Nilai validasi menggunakan persamaan MAPE
MKJI 1997	= Manual Kapasita Jalan Indonesia 1997
MP	= Mobil penumpang
n	= Jumlah bagian jalanan dalam bundaran.
P_a	= Peluang antrean (%)
P_A	= Panjang antrean
PKJI 2023	= Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023
PTV-AG	= Planning Transportasi Verkher AG
P_w	= Rasio menjalin
q	= arus lalu lintas total (SMP/jam).
q_i	= arus total yang memasuki bagian jalanan ke i (SMP/jam).
q_{MASUK}	= jumlah arus lalu lintas total yang masuk bundaran (SMP/jam).
SM	= Sepeda motor

SMP	= Satuan mobil penumpang
TB	= Truk besar
T_{Ri}	= tundaan lalu lintas rata-rata pada bagian jalinan ke i (detik/SMP).
T_{LL}	= tundaan lalu lintas rata-rata pada bundaran (detik/SMP).
T_G	= Tundaan geometrik
VISSIM	= Verkehr InStadtten Simulations Model
W_E	= Lebar masuk rata-rata (m).
W_W	= Lebar jalinan (m).
L_W	= Panjang jalinan.
W_W/L_W	= Rasio lebar jalinan terhadap panjang jalinan.

ABSTRAK

Bundaran Tugu Kartasura merupakan titik penting karena terletak di jalur utama yang menghubungkan Kota Solo, Kabupaten Sukoharjo, Kabupaten Karanganyar, serta titik temu antara Kota Yogyakarta dan Kota Semarang. Kondisi lalu lintas di Bundaran Tugu Kartasura dapat berubah tergantung pada waktu dan hari tertentu, tetapi karena merupakan titik penting dalam sistem transportasi bundaran ini seringkali padat dengan banyaknya kendaraan yang melintas, terutama pada jam sibuk seperti pulang pergi kerja atau akhir pekan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kinerja dari Bundaran Tugu Kartasura, mengembangkan model mikrosimulasi lalu lintas serta memberikan alternatif yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja bundaran dengan perhitungan PKJI 2023 dan disimulasikan atau dimodelkan menggunakan *software* PTV VISSIM.

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan langsung di lokasi penelitian selama 2 hari yaitu pada hari Sabtu dan Senin. Lalu perharinya dibagi menjadi 2 sesi yaitu sesi pagi (06.30 – 09.30 WIB) dan sesi sore (15.00 – 18.00 WIB). Selanjutnya data-data tersebut di analisis menggunakan PKJI 2023 dan di simulasikan menggunakan *software* PTV VISSIM untuk mencari alternatif terbaik dalam perbaikan bundaran.

Dari hasil analisis eksisting menggunakan perhitungan PKJI 2023 didapatkan nilai D_j pada bagian jalinan AB sebesar 0,95, D_j pada bagian jalinan BC sebesar 0,72, D_j pada bagian jalinan CA sebesar 0,84, tundaan lalu lintas bundaran (T_{LL}) sebesar 11,072 detik/SMP, nilai tundaan bundaran rata-rata sebesar 15,072 detik/SMP, dan peluang antrian bundaran (P_a) tertinggi antara 32,90-68,81%. Hasil pemodelan eksisting menggunakan *software* PTV VISSIM didapatkan nilai panjang antrean di Jl. Boyolali – Kartasura sebesar 119 m, pada ruas Jl. Jendral A. Yani sebesar 149 m, pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo sebesar 43 m. dan nilai tundaan di Jl. Boyolali – Kartasura sebesar 26 detik/SMP, pada ruas Jl. Jendral A. Yani sebesar 32 detik/SMP, pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo sebesar 10 detik/SMP. Alternatif yang akan digunakan adalah alternatif 1 karena dengan penerapan alternatif 1 ini Panjang antrean pada ruas Jl. Raya Boyolali – Kartasura berkurang sebesar 90 % dari eksisting yang sebelumnya 119 m menjadi 12 m. Serta terjadi penurunan waktu tundaan sebesar 62% yang sebelumnya 26 detik/SMP menjadi 10 detik/SMP. Pada ruas Jl. Jendral A. Yani juga terjadi penurunan pada Panjang antrean sebesar 73% dari yang sebelumnya 149 m menjadi 41 m. Tetapi terjadi peningkatan waktu tundaan sebesar 13% yang sebelumnya 32 detik/SMP menjadi 36 detik/SMP namun peningkatannya tidak terlalu signifikan. Pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo terjadi penurunan Panjang antrean sebesar 69% yang sebelumnya 43 m menjadi 13 m. selain itu juga mengalami penurunan waktu tundaan sebesar 46% yang sebelumnya 10 detik/SMP menjadi 6 detik/SMP.

Kata Kunci: Bundaran , PKJI 2023, dan *PTV VISSIM*

ABSTRACT

The Kartasura Monument Roundabout is a crucial point as it is located on the main route connecting Solo City, Sukoharjo Regency, Karanganyar Regency, as well as the meeting point between Yogyakarta City and Semarang City. Traffic conditions at the Kartasura Monument Roundabout can vary depending on specific times and days, but since it is an important point in the transportation system, this roundabout is often congested with high vehicle traffic, especially during peak hours such as work commute times or weekends. This research aims to identify the performance of the Kartasura Monument Roundabout, develop a traffic microsimulation model, and provide alternatives that can be implemented to improve the roundabout's performance using PKJI 2023 calculations and simulated or modeled using PTV VISSIM software.

Data collection in this research was conducted directly at the research location for 2 days, on Saturday and Monday. Each day was divided into 2 sessions: morning session (06:30 - 09:30 WIB) and afternoon session (15:00 - 18:00 WIB). Subsequently, the data was analyzed using PKJI 2023 and simulated using PTV VISSIM software to find the best alternative for roundabout improvement.

From the existing analysis using PKJI 2023 calculations, the D_j value from weaving section AB is 0.95, the D_j on weaving section BC is 0.72, the D_j from weaving section CA is 0.84, the roundabout traffic delay (T_{LL}) is 11.072 seconds/PCU, the average roundabout delay value is 15.072 seconds/PCU, and the highest roundabout queue probability (P_q) is between 32.90-68.81%. The existing modeling results using PTV VISSIM software showed queue lengths on Boyolali - Kartasura Road of 119 m, on Jendral A. Yani Road of 149 m, on Yogyakarta - Solo Road of 43 m, and delay values on Boyolali - Kartasura Road of 26 seconds/PCU, on Jendral A. Yani Road of 32 seconds/PCU, on Yogyakarta - Solo Road of 10 seconds/PCU. Alternative 1 will be used because with the implementation of this alternative, the queue length on Boyolali - Kartasura Road is reduced by 90% from the existing 119 m to 12 m. There is also a 62% decrease in delay time from the previous 26 seconds/PCU to 10 seconds/PCU. On Jendral A. Yani Road, there is also a decrease in queue length by 73% from the previous 149 m to 41 m. However, there is an increase in delay time by 13% from the previous 32 seconds/PCU to 36 seconds/PCU, but the increase is not very significant. On Yogyakarta - Solo Road, there is a decrease in queue length by 69% from the previous 43 m to 13 m. Additionally, it also experiences a decrease in delay time by 46% from the previous 10 seconds/PCU to 6 seconds/PCU.

Keywords: Roundabout, PKJI 2023, and PTV VISSIM.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bundaran Tugu Kartasura berada di Kecamatan Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Provinsi Jawa Tengah. Untuk peta lokasi penelitian bisa dilihat pada Gambar 1.1. Kartasura merupakan sebuah kecamatan yang terletak di Kabupaten Sukoharjo yang berbatasan langsung dengan Kota Solo. Bundaran Tugu Kartasura merupakan titik penting karena terletak di jalur utama yang menghubungkan Kota Solo, Kabupaten Sukoharjo, Kabupaten Karanganyar, serta titik temu antara Kota Yogyakarta dan Kota Semarang. Kondisi lalu lintas di Bundaran Tugu Kartasura dapat berubah tergantung pada waktu dan hari tertentu, tetapi karena merupakan titik penting dalam sistem transportasi bundaran ini seringkali padat dengan banyaknya kendaraan yang melintas, terutama pada jam sibuk seperti pulang pergi kerja atau akhir pekan. Faktor yang mempengaruhi kondisi lalu lintas di Bundaran Tugu Kartasura antara lain adalah volume lalu lintas, geometri bundaran, pengaturan lalu lintas, dan perilaku pengemudi.

Menurut PKJI 2023 Bundaran adalah persimpangan sebidang berbentuk lingkaran dengan perlengkapan jalan melingkar di tengahnya untuk memberi arah dari arah datang menuju arah yang akan dituju mengelilingi titik pusat. Sebelumnya pada tesis Kusumasari (2011) telah meneliti kinerja Bundaran Tugu Kartasura menggunakan metode MKJI 1997, *aaSHIDRA* 2.0, dan *TRANSYT* 11.1. Pada saat itu hasil kinerja bundaran masih bagus dengan nilai derajat kejenuhan 0,690 dan nilai tundaan sebesar 6,58 detik/smp. Karena data yang diteliti sudah lama sehingga membuat peneliti tertarik untuk mengkaji atau mengevaluasi lagi di tahun 2024. Dengan rentang waktu yang lama tersebut kondisi lalu lintas telah berubah dan volume lalu lintas juga meningkat pesat bisa dilihat pada Gambar 1.2 kondisi lalu lintas sehingga perlu untuk dievaluasi lagi.

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kinerja dari Bundaran Tugu Kartasura, mengembangkan model mikrosimulasi lalu lintas di Bundaran Tugu Kartasura dengan perhitungan PKJI 2023 dan disimulasikan atau dimodelkan menggunakan *software PTV VISSIM* serta untuk mengevaluasi beberapa strategi perbaikan yang mungkin dapat diterapkan untuk meningkatkan kinerja lalu lintas di bundaran tersebut.



Gambar 1. 1 Peta Lokasi Penelitian Bundaran Tugu Kartasura
(Sumber: *Google Earth*, 2024)



Gambar 1. 2 Kondisi lalu lintas Bundaran Tugu Kartasura
(Sumber: *CCTV Kabupaten Sukoharjo*, 2024)

1.2 Rumusan Masalah

Dengan uraian yang ada di atas, ada beberapa masalah utama yang akan menjadi sebagai fokus tugas akhir penulis, adalah sebagai berikut:

1. Dengan volume lalu lintas yang terus meningkat, bagaimana kinerja lalu lintas di Bundaran Tugu Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah pada tahun 2024?
2. Apa solusi dari perbaikan atau optimalisasi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja lalu lintas di Bundaran Tugu Kartasura?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penelitian ini:

1. Mengevaluasi tingkat pelayanan dari persimpangan Bundaran Tugu Kartasura berdasarkan metode PKJI 2023 dan disimulasikan menggunakan *software PTV VISSIM*.
2. Mengembangkan model mikrosimulasi lalu lintas di Bundaran Tugu Kartasura
3. Memberikan rekomendasi perbaikan atau peningkatan yang bisa dilakukan agar dapat meningkatkan kinerja dan keamanan lalu lintas di bundaran tersebut.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menyediakan data empiris yang dapat digunakan oleh pihak terkait, seperti pemerintahan daerah atau lembaga terkait, untuk membuat keputusan yang lebih baik terkait infrastruktur lalu lintas di Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah. Dan diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja bundaran tersebut dan memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem transportasi yang lebih efisien dan aman di Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan-batasan harus ditetapkan saat melakukan penelitian agar penelitian dapat dilakukan secara sistematis dan teratur. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Letak penelitian pada Bundaran Tugu Kartasura di Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah.
2. Data lapangan yang digunakan untuk penelitian dilakukan dengan cara pengamatan langsung untuk mengumpulkan data lalu lintas yang dibutuhkan.
3. Klasifikasi kendaraan yang diteliti merupakan semua jenis kendaraan selain kendaraan tak bermotor.
4. Penelitian akan membatasi variabel yang dianalisis sesuai dengan ketersediaan data dan kemampuan analisis *VISSIM*. variabel seperti volume lalu lintas, kecepatan rata-rata, tundaan, dan Panjang antrean menjadi fokus.
5. Survei lapangan akan dilakukan pada hari Senin sebagai perwakilan hari kerja dan hari Sabtu sebagai perwakilan akhir pekan. Dilakukan pada jam 06.30-09.30 WIB dan 15.00-18.00 WIB.
6. Penelitian akan membatasi analisis pada fitur dan kemampuan spesifik dari perangkat lunak *VISSIM* yang relevan dengan kinerja simpang tak bersinyal dengan bundaran. Misalnya, penggunaan model simulasi yang tepat dan parameter yang sesuai.
7. Penelitian akan mengidentifikasi dan mempertimbangkan keterbatasan teknis dari perangkat lunak *VISSIM*, seperti keterbatasan dalam merepresentasikan kondisi lalu lintas yang kompleks atau ketidakmungkinan memodelkan beberapa faktor lingkungan tertentu.
8. Program PKJI 2023 digunakan sebagai perbandingan terhadap analisis dengan pendekatan mikrosimulasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Simpang Tak Bersinyal

Simpang tak bersinyal merupakan pertemuan jalan yang tidak dilengkapi dengan *traffic light*. Jenis persimpangan ini umumnya dapat ditemui di kawasan perumahan kota, wilayah desa, serta daerah terpencil yang menghubungkan jalan-jalan lokal atau lingkungan dengan volume kendaraan yang relatif sepi. Simpang tak bersinyal dapat berfungsi secara optimal bila memiliki dimensi yang tidak terlalu besar dan area rawan konflik lalu lintasnya telah dirancang dengan tepat. Oleh karena itu, desain jalan dua lajur tanpa pemisah ini sangat cocok diterapkan pada persimpangan dengan karakteristik tersebut (Khisty, 2005) dalam (Nurkafi dkk, 2019)

Simpang tak bersinyal digunakan jika arus lalu lintas di jalan minor dan pergerakan membelok relatif kecil. Namun, jika arus lalu lintas di jalan utama sangat tinggi, resiko kecelakaan bagi pengendara di jalan minor meningkat, sehingga lampu lalu lintas diperlukan (Munawar, 2006) dalam (Hernawan, 2012).

Sebelumnya sudah banyak yang melakukan penelitian pada simpang tak bersinyal di berbagai daerah, contohnya Hernawan (2012) melakukan penelitian analisis kinerja simpang tak bersinyal untuk menemukan solusi konflik di simpang Samirono, Yogyakarta. Dari hasil akhir penelitiannya di dapatkan solusi, penambahan lampu lalu lintas agar tidak melebihi dari nilai DS eksisting yang $\geq 0,85$ sesuai yang di sarankan MKJI 1997. Adapun untuk analisis kriteria jenis penyeberangan jalan dengan volume penyeberangan jalan (P) = 262 orang/jam dan volume lalu lintas (V) = 3175 kendaraan/jam, kriteria jenis penyeberangan jalan ditemukan sebagai *pelican crossing*. Setelah itu, derajat kejenuhan rata-rata sebesar

0,82 diperoleh dengan menggabungkan waktu hijau *pelican* dan waktu sinyal simpang bersinyal.

2.2 Bundaran (*Roundabout*)

Bundaran adalah tata letak jalan yang berbentuk lingkaran dengan pulau di tengahnya. Diameter, lebar lapisan jalan, dan radius bundaran adalah komponen struktur geometris bundaran. Geometrik bundaran dirancang dengan mempertimbangkan arus lalu lintas yang akan melewatinya.

Dibandingkan dengan simpang tak bersinyal konvensional, bundaran menggunakan teknik geometri berbentuk lingkaran yang memungkinkan arus lalu lintas bergerak tanpa berhenti. Simpang tak bersinyal konvensional menggunakan kontrol sinyal untuk mengontrol aliran lalu lintas dan memungkinkan kendaraan berhenti.

Menurut Hobbs (1995) dalam Putro (2016) bundaran dapat dianggap sebagai jenis kanalisasi khusus. Pulau di tengahnya memiliki kemampuan untuk mengatur, membagi, dan mengawasi sistem lalu lintas satu arah. Dengan cara ini, gerakan menyalip-nyalip berpindah-pindah jalur menggantikan gerakan penyilangan.

Putro (2016) melakukan penelitian untuk menganalisis kinerja pada simpang Bundaran Jombor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk meningkatkan kelancaran, keselamatan, dan ketertiban lalu lintas di kawasan bundaran Jombor, manajemen lalu lintas yang memadai dan evaluasi yang dilakukan setiap lima tahun sekali diperlukan. Adapun hasil arus terbesar dari eksisting terjadi pada hari sabtu pukul 15:30-16:30 WIB dengan nilai kapasitas jalinan AB = 2805 smp/jam, jalinan BC = 3085 smp/jam, jalinan CD = 0442, jalinan DA = 5189 smp/jam. Nilai derajat kejenuhan jalinan AB = 0,502, jalinan BC = 0,485, jalinan CD = 0,442, jalinan DA = 0,271. Nilai tundaan rata-rata sebesar 8 det/smp dengan tingkat pelayanan B. Peluang antrean bundaran terjadi di angka 6% hingga 13%. Untuk kinerja bundaran di 5 tahun ke depan terdapat kenaikan nilai drajat kejenuhan di setiap bagian jalinan yang dimana pada jalinan AB = 0,924, jalinan BC = 0,893, jalinan CD = 0,815, jalinan DA = 0,499. Tingkat pelayanan C

dan nilai tundaan bundaran rata-rata 16 det/smp. Peluang antrean bundaran terjadi diangka 30% hingga 63%.

Priyatmoko dkk (2018) melakukan penelitian dengan judul Analisis dan Evaluasi Kinerja Bundaran Tugu Jam di Kota Sintang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja geometrik bundaran empat lengan, agar mengetahui tingkat kejenuhan dari bundaran tersebut lalu membuat alternatif perbaikan bundaran. Adapun hasil derajat kejenuhan tertinggi dari eksisting terjadi pada hari sabtu pukul 17:00 -18:00 WIB pada bagian jalinan DA sebesar 0,965. Tundaan rata-rata sebesar 14,70 detik. Pada alternatif 1 nilai derajat kejenuhan tertinggi pada tahun 2018 sebesar 0,657 dengan tundaan bundaran rata-rata sebesar 9,48 det/smp, sedangkan nilai derajat kejenuhan tertinggi tahun 2023 sebesar 0,712 dengan tundaan rata-rata bundaran sebesar 10,20 det/smp. Pada alternatif 2 nilai derajat kejenuhan tertinggi pada tahun 2018 sebesar 0,538 dengan tundaan bundaran rata-rata sebesar 8,90 det/smp, sedangkan nilai derajat kejenuhan tertinggi tahun 2023 sebesar 0,582 dengan tundaan rata-rata bundaran sebesar 9,20 det/smp. Upaya memperbaiki kondisi existing dengan fokus pada segmen jalan yang memiliki derajat kejenuhan tertinggi.

2.3 Mikrosimulasi VISSIM

VISSIM adalah perangkat lunak simulasi lalu lintas mikroskopis yang digunakan untuk berbagai keperluan seperti rekayasa lalu lintas, perencanaan transportasi, waktu siklus sinyal, manajemen angkutan umum, serta perencanaan perkotaan. *Software* ini mampu memvisualisasikan aliran lalu lintas multi-moda secara detail. *VISSIM* pertama kali dikembangkan pada tahun 1992 oleh sebuah perusahaan teknologi informasi yang berbasis di Jerman (Siemens,2012) dalam (Ratnaningsih, 2020).

Tunggadewi (2018) melakukan penelitian dengan judul Evaluasi Kinerja Simpang Sebidang Dan Simpang Susun Dengan Metode *VISSIM*. Penelitian tersebut menggunakan *software VISSIM*. Data dari survey di Condongcatur kemudian diolah untuk menghitung jam puncak dari volume 15 menitan tersibuk berurutan selama 1 jam. Hasilnya digunakan dalam pengoperasian *software*

VISSIM. Kondisi simpang saat ini (simpang sebidang) adalah analisis pertama; kemudian, analisis untuk Alternatif 1 dilakukan dengan menggunakan *underpass* dan melakukan pelebaran jalur Lambat Barat dan Timur; dan Alternatif 2 adalah kondisi simpang saat ini (simpang sebidang). Kemudian, kapasitas, derajat jenuh, tundaan, dan panjang antrean digunakan untuk menghitung perubahan efektifitas kinerja simpang. Dengan peningkatan nilai kapasitas sebesar 57,69% dan penurunan nilai tundaan sebesar 65,87%, panjang antrean 61,28%, dan derajat 43,82%, Alternatif 2 disarankan sebagai perbaikan.

Aulia dan Abuduloh (2023) melakukan penelitian dengan judul Simulasi Rekayasa Lalu Lintas Terhadap Kemacetan Bundaran Kadipaten. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinerja Bundaran Kadipaten Majalengka serta menyusun model simulasi lalu lintas dengan metode MKJI 1997 dan *software* VISSIM. Hasil dari analisis menampilkan lalu lintas dengan variasi kepadatan pada periode tertentu. Komposisi kendaraan beragam yang mencakup kendaraan ringan, berat, dan sepeda motor. Namun pada Jl Bandung – Kertajati dan Jl. Kertajati – Majalengka mengalami kemacetan karena memiliki derajat kejenuhan yang melebihi 0,7 namun masih dalam batas toleransi MKJI 1997 yaitu dibawah 0,75. Analisis lebih lanjut mengidentifikasi titik-titik yang akan berpotensi terjadi kemacetan pada jalinan AB, BC, dan CD sehingga memerlukan perhatian lebih lanjut agar lalu lintas dapat berjalan dengan lancar. Dengan simulasi lalu lintas menggunakan dua skema berbeda, penelitian menemukan bahwa skema pertama secara signifikan lebih baik dibandingkan dengan skema ke dua, diukur menggunakan parameter waktu tundaan yang berkurang dan panjang antrian yang lebih pendek. Dengan menghapus Bundaran Kadipaten diharapkan padat mengoptimalkan efisiensi dan kelancaran sistem transportasi di wilayah tersebut.

2.4 Perbandingan Penelitian Sekarang Dengan Penelitian Terdahulu

Dari penelitian sebelumnya terdapat perbedaan dan persamaan dengan penelitian ini. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kusumasari (2011) yang mengkaji tentang kinerja simpang tiga menggunakan pendekatan MKJI 1997 dan permodelan *aaSIDRA* 2.0 dan *TRANSYT* 11.1. terdapat perbedaan pada metode

analisis yang digunakan dan tahun penelitian. Pada penelitian ini dilakukan di tahun 2024 menggunakan pendekatan PKJI 2023 dan pemodelan *PTV VISSIM*. Sehingga dengan rentang waktu dan metode yang berbeda memungkinkan solusi yang didapatkan juga berbeda. Sedangkan persamaannya adalah pada lokasi yang diteliti.

Tabel 2.1 berisi ringkasan dan tinjauan penelitian-penelitian terdahulu yang sudah dilakukan, sedangkan Tabel 2.2 menyajikan perbandingan antara penelitian yang dilakukan penulis dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya

No	Penulis Penelitian	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Hernawan (2012)	Analisis Kinerja Simpang tak Bersinyal Samirono, Yogyakarta	Simpang Samirono, Yogyakarta	MKJI 1997	Hasil penelitiannya di dapatkan solusi, penambahan lampu lalu lintas agar tidak melebihi dari nilai DS eksisting yang $\geq 0,85$ sesuai yang di sarankan MKJI 1997. Adapun untuk analisis kriteria jenis penyeberangan jalan dengan volume penyeberangan jalan (P) = 262 orang/jam dan volume lalu lintas (V) = 3175 kendaraan/jam, kriteria jenis penyeberangan jalan ditemukan sebagai pelican crossing. Setelah itu, derajat kejenuhan rata-rata sebesar 0,82 diperoleh dengan menggabungkan waktu hijau pelican dan waktu sinyal simpang bersinyal.
2	Putro (2016)	Analisis Kinerja Bundaran Jombor, Yogyakarta	Bundaran Jombor, Yogyakarta	MKJI 1997	Hasil penelitian arus terbesar dari eksisting terjadi pada hari sabtu pukul 15:30-16:30 WIB dengan nilai kapasitas jalinan AB = 2805 smp/jam, jalinan BC = 3085 smp/jam, jalinan CD = 0442, jalinan DA = 5189 smp/jam. Nilai derajat kejenuhan jalinan AB = 0,502, jalinan BC = 0,485, jalinan CD = 0,442, jalinan DA = 0,271. Nilai tundaan rata-rata sebesar 8 det/smp dengan tingkat pelayanan B. Peluang antrian bundaran terjadi di angka 6% hingga 13%. Untuk kinerja bundaran di 5 tahun ke depan terdapat kenaikan nilai drajat kejenuhan di setiap bagian jalinan yang dimana pada jalinan AB = 0,924, jalinan BC = 0,893, jalinan CD = 0,815, jalinan DA = 0,499. Tingkat pelayanan C dan nilai tundaan bundaran rata-rata 16 det/smp. Peluang antrian bundaran terjadi diangka 30% hingga 63%.

Sumber: Hernawan (2012), Putro (2016)

Lanjutan Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya

No	Penulis Penelitian	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
3	Priyatmoko dkk (2018)	Analisis dan Evaluasi Kinerja Bundaran Tugu Jam di Kota Sintang	Bundaran Tugu Jam, Kota Sintang	MKJI 1997	Derajat kejenuhan tertinggi dari eksisting terjadi pada hari sabtu pukul 17:00 -18:00 WIB pada bagian jalinan DA sebesar 0,965. Tundaan rata-rata sebesar 14,70 detik. Pada alternatif 1 nilai derajat kejenuhan tertinggi pada tahun 2018 sebesar 0,657 dengan tundaan bundaran rata-rata sebesar 9,48 det/smp, sedangkan nilai derajat kejenuhan tertinggi tahun 2023 sebesar 0,712 dengan tundaan rata-rata bundaran sebesar 10,20 det/smp. Pada alternatif 2 nilai derajat kejenuhan tertinggi pada tahun 2018 sebesar 0,538 dengan tundaan bundaran rata-rata sebesar 8,90 det/smp, sedangkan nilai derajat kejenuhan tertinggi tahun 2023 sebesar 0,582 dengan tundaan rata-rata bundaran sebesar 9,20 det/smp.
4	Tunggadewi (2018)	Evaluasi Kinerja Simpang Sebidang Dan Simpang Susun Dengan Metode VISSIM	Simpang Condongcatur, Sleman, Yogyakarta	<i>Software VISSIM</i>	Kondisi simpang saat ini (simpang sebidang) adalah analisis pertama; kemudian, analisis untuk Alternatif 1 dilakukan dengan menggunakan underpass dan melakukan pelebaran jalur Lambat Barat dan Timur; dan Alternatif 2 adalah kondisi simpang saat ini (simpang sebidang). Kemudian, kapasitas, derajat jenuh, tundaan, dan panjang antrean digunakan untuk menghitung perubahan efektifitas kinerja simpang. Dengan peningkatan nilai kapasitas sebesar 57,69% dan penurunan nilai tundaan sebesar 65,87%, panjang antrean 61,28%, dan derajat 43,82%, Alternatif 2 disarankan sebagai perbaikan.

Sumber: Priyatmoko dkk (2018), Tunggadewi (2018)

Lanjutan Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya

No	Penulis Penelitian	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
5	Aulia & Abduloh (2023)	Simulasi Rekayasa Lalu Lintas Terhadap Kemacetan Bundaran Kadipaten	Bundaran Kadipaten	MKJI 1997 dan <i>Software VISSIM</i>	Hasil dari analisis menampilkan lalu lintas dengan variasi kepadatan pada periode tertentu. Komposisi kendaraan beragam yang mencakup kendaraan ringan, berat, dan sepeda motor. Namun pada Jl Bandung – Kertajati dan Jl. Kertajati – Majalengka mengalami kemacetan karena memiliki derajat kejenuhan yang melebihi 0,7 namun masih dalam batas toleransi MKJI 1997 yaitu dibawah 0,75. Analisis lebih lanjut mengidentifikasi titik-titik yang akan berpotensi terjadi kemacetan pada jalinan AB, BC, dan CD sehingga memerlukan perhatian lebih lanjut agar lalu lintas dapat berjalan dengan lancar.
6	Kusumasari (2011)	Analisis Kinerja Simpang Tiga Menggunakan Aplikasi Program aaSIDRA 2.0 dan TRANSYT 11.1	Simpang Tiga Bersinyal dan Bundaran Kartasura	MKJI 1997, Aplikasi Program <i>aaSIDRA 2.0</i> dan <i>TRANSYT 11.1</i>	hasil kinerja simpang bersinyal memiliki derajat kejenuhan 1,012. Sedangkan kinerja bundaran masih bagus dengan nilai derajat kejenuh 0,690 dan nilai tundaan sebesar 6,58 detik/smp.

Sumber: Aulia & Abduloh (2023), Kusumasari (2011)

Tabel 2. 2 Perbedaan Penelitian Penulis dengan Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian
Hernawan (2012)	Analisis Kinerja Simpang tak Bersinyal Samirono, Yogyakarta	Simpang Samirono, Yogyakarta	MKJI 1997
Putro (2016)	Analisis Kinerja Bundaran Jombor, Yogyakarta	Bundaran Jombor, Yogyakarta	MKJI 1997
Priyatmoko dkk (2018)	Analisis dan Evaluasi Kinerja Bundaran Tugu Jam di Kota Sintang	Bundaran Tugu Jam, Kota Sintang	MKJI 1997
Tunggadewi (2018)	Evaluasi Kinerja Simpang Sebidang Dan Simpang Susun Dengan Metode VISSIM	Simpang Condongcatur, Sleman, Yogyakarta	<i>Software VISSIM</i>
Aulia dan Abduloh (2023)	Simulasi Rekayasa Lalu Lintas Terhadap Kemacetan Bundaran Kadipaten	Bundaran Kadipaten	MKJI 1997 dan <i>Software VISSIM</i>
Kusumasari (2011)	Analisis Kinerja Simpang Tiga Menggunakan Aplikasi Program aaSIDRA 2.0 dan TRANSYT 11.1	Simpang Tiga Bersinyal dan Bundaran Kartasura	MKJI 1997, Aplikasi Program aaSIDRA 2.0 dan TRANSYT 11.1
Yudhajakti (2025)	Evaluasi Kinerja Bundaran Tugu Kartasura Menggunakan Studi Mikrosimulasi Lalu Lintas	Bundaran Tugu Kartasura	PKJI 2023 dan <i>software VISSIM</i>

Sumber: Hernawan (2012), Putro (2016), Priyatmoko dkk (2018), Tunggadewi (2018), Aulia dan Abduloh (2023), Kusumasari (2011)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Dasar Bundaran

Menurut Faisal dkk (2019) dalam Saputro & Umam (2021) Bundaran merupakan suatu pengaturan yang ada di persimpangan yang meliputi segala aspek lalu lintas tanpa menggunakan lampu pengatur lalu lintas yang berupa bundaran. Kendaraan yang melewati bundaran harus memutar sesuai arah yang telah ditentukan pada setiap lengan sesuai simpang yang telah direncanakan.

Bundaran memiliki tingkat keamanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis pengendali persimpangan lainnya Putro (2016), menurut MKJI 1997 bundaran memiliki perkiraan angka kecelakaan sebesar 0,30 kejadian persatu juta kendaraan dibandingkan dengan persimpangan tak bersinyal yang memiliki perkiraan angka kecelakaan 0,6 dan pada persimpangan bersinyal memiliki perkiraan angka kecelakaan sebesar 0,43. Pada dasarnya bundaran didesain untuk lalu lintas dengan pergerakan konsisten dengan kecepatan rendah. Salah satu aspek krusial dalam menjamin keamanan lalu lintas adalah meminimalisir area-area rawan tabrakan pada setiap lengan (Saputro & Umam, 2021).

Bundaran memiliki bagian jalinan bundaran yang terdiri dari sejumlah jalinan tunggal yang disusun secara berurutan dalam bentuk lingkaran. Bagian jalinan sendiri dibagi menjadi dua tipe, yaitu bagian jalinan tunggal dan bagian jalinan majemuk (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

3.2 Tipe Bundaran

Gambar 3.1 – 3.4 menunjukkan beberapa jenis bundaran yang umum dan baku untuk pertemuan dua segmen jalan yaitu jalan utama dan jalan minor, yang termasuk beberapa jenis jalan seperti jalan 2/2-TT. Kereb dan trotoar dianggap dilengkapi dengan bundaran ini, Semua gerakan membelok diizinkan di wilayah

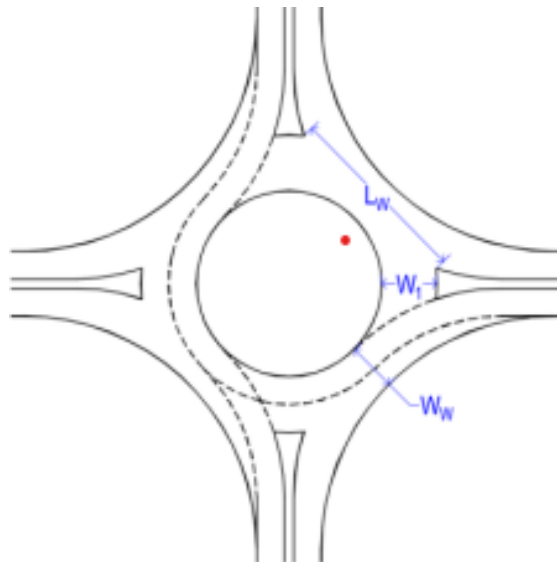
perkotaan dengan kelas hambatan samping sedang. Tipe bundaran bisa dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Tipe Bundaran

Tipe bundaran	Jari-jari bundaran (m)	Jumlah lajur masuk	Lebar lajur masuk W_1 (m)	Panjang jalinan L_w (m)	Lebar jalinan W_w (m)
R 10-11	10	1	3,5	23	7
R 10-22	10	2	7,0	27	9
R 14-22	14	2	7,0	31	9
R 20-22	20	2	7,0	43	9

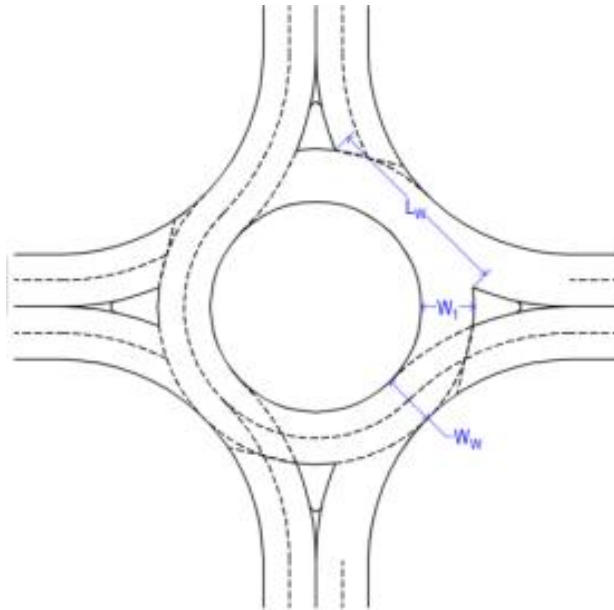
Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

Contoh pembacaan kode R10-11 merupakan kode bundaran dengan radius 10 m dengan satu lajur pendekat minor dan satu lajur pendekat utama.

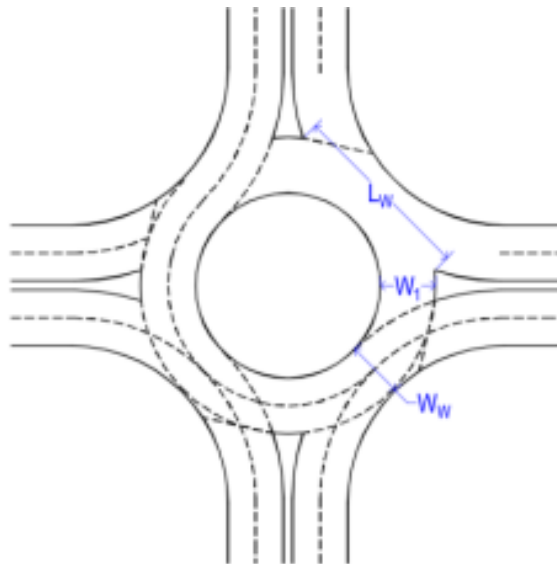


Gambar 3. 1 R10-11

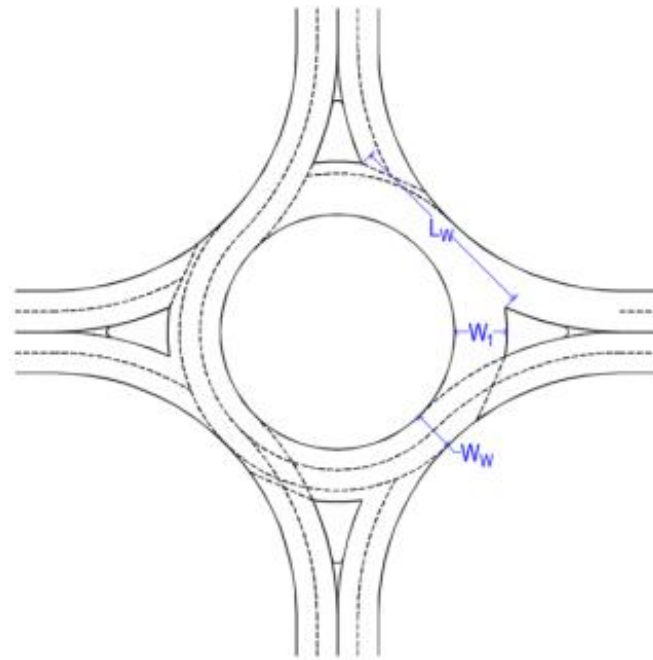
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)



Gambar 3. 2 R10-22
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)



Gambar 3. 3 R14-22
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)



Gambar 3. 4 R20-22

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Arus lalu lintas (q) harus dihitung dalam satu satuan yang sama untuk merepresentasikan berbagai jenis kendaraan. Pada PKJI satuan kendaraan dikonversi untuk disamakan menjadi satuan mobil penumpang, yaitu SMP/jam. Untuk mengubah dari satuan kend/jam menjadi SMP/jam digunakan nilai EMP yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Nilai EMP Untuk Segmen Jalan Umum Tipe 4/2-T

Tipe alinamen	$q_{\text{total per arah}}$ (kend/jam)	EMP			
		KS	BB	TB	SM
Datar	0-999	1,2	1,2	1,6	0,5
	1000-1799	1,4	1,4	2,0	0,6
	1800-2149	1,6	1,7	2,5	0,8
	≥ 2150	1,3	1,5	2,0	0,5
Bukit	0-749	1,8	1,6	4,8	0,4
	750-1399	2,0	2,0	4,6	0,5

Lanjutan Tabel 3. 2 Nilai EMP Untuk Segmen Jalan Umum Tipe 4/2-T

Tipe alinamen	q _{total} per arah (kend/jam)	EMP			
		KS	BB	TB	SM
Bukit	1400-1749	2,2	2,3	4,3	0,7
	≥1750	1,8	1,9	3,5	0,4
Gunung	0-549	3,2	2,2	5,5	0,3
	550-1099	2,9	2,6	5,1	0,4
	1100-1499	2,6	2,9	4,8	0,6
	≥1500	2,0	2,4	3,8	0,3

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

3.3 Kapasitas Jalinan

Kapasitas jalinan merupakan volume lalu lintas tertinggi yang dapat ditahan sepanjang segmen jalinan tertentu selama satu (satu) jam dalam kondisi tertentu yang melingkupi geometri, lalu lintas, dan lingkungan (SMP/jam). C adalah kapasitas bagian jalinan, perkalian antara kapasitas dasar (C_0) dan faktor koreksi yang memperhitungkan perbedaan kondisi lingkungan (kondisi lapangan) terhadap situasi ideal. Dan masing-masing dapat dihitung menggunakan persamaan (3.1) berikut.

$$C = C_0 \times F_{UK} \times F_{RSU} \quad (3.1)$$

Keterangan:

C_0 = Kapasitas dasar jalinan, dalam SMP/jam

F_{UK} = Faktor koreksi ukuran kota

F_{RSU} = Faktor koreksi tipe lingkungan jalan, hambatan samping

3.3.1 Kapasitas Dasar

Kapasitas dasar merupakan kapasitas ruas atau persimpangan dalam kondisi cuaca dan geometri ideal, dalam satuan SMP/jam. Kapasitas Dasar dapat dihitung dengan persamaan (3.2) berikut.

$$C_0 = 135 \times W_W^{1,3} \times \left(1 + \frac{W_E}{W_W}\right)^{1,5} \times \left(1 - \frac{P_W}{3}\right)^{0,5} \times \left(1 + \frac{W_E}{L_W}\right)^{-1,8} \quad (3.2)$$

Keterangan:

W_E = Lebar masuk rata-rata (m).

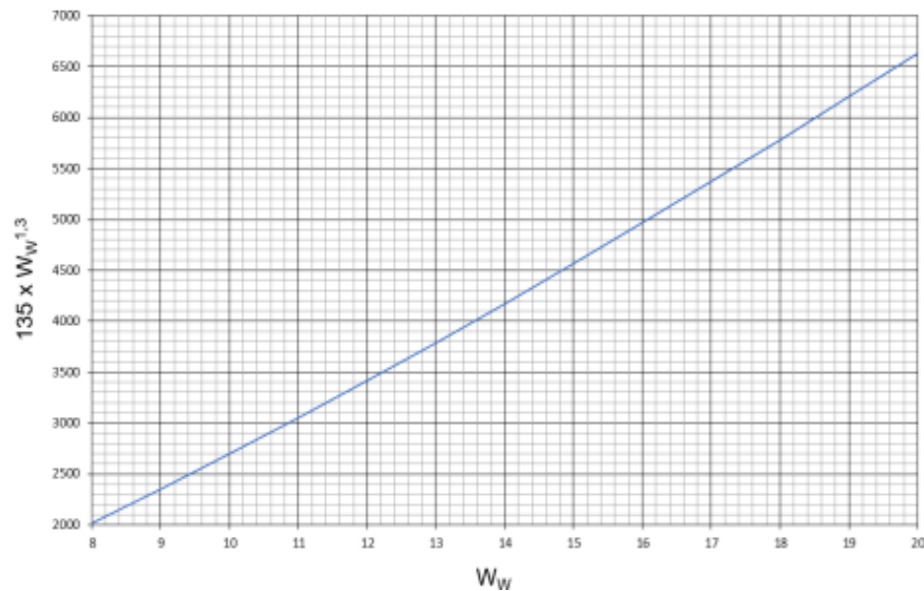
W_W = Lebar jalinan (m).

L_W = Panjang jalinan.

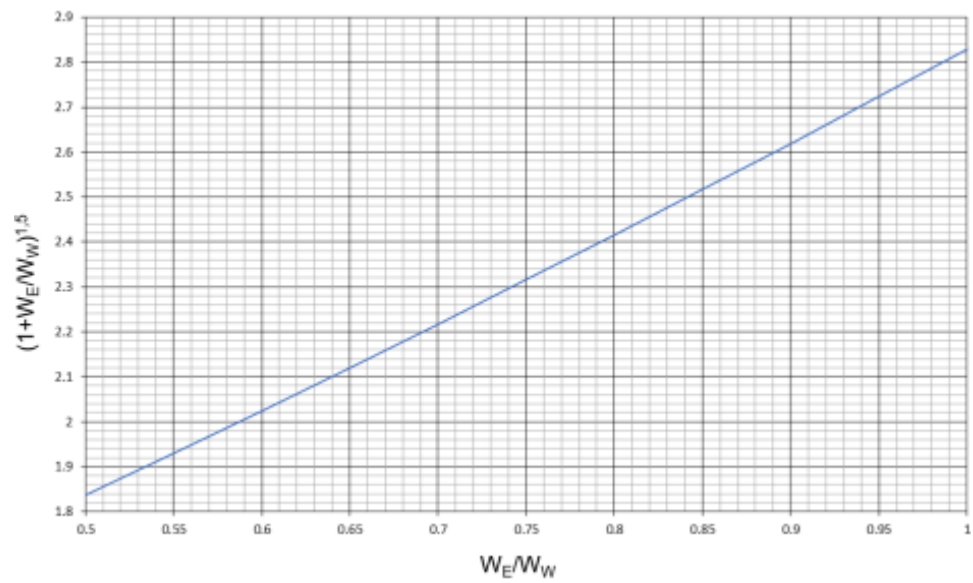
W_W/L_W = Rasio lebar jalinan terhadap panjang jalinan.

P_W = Rasio menjalin.

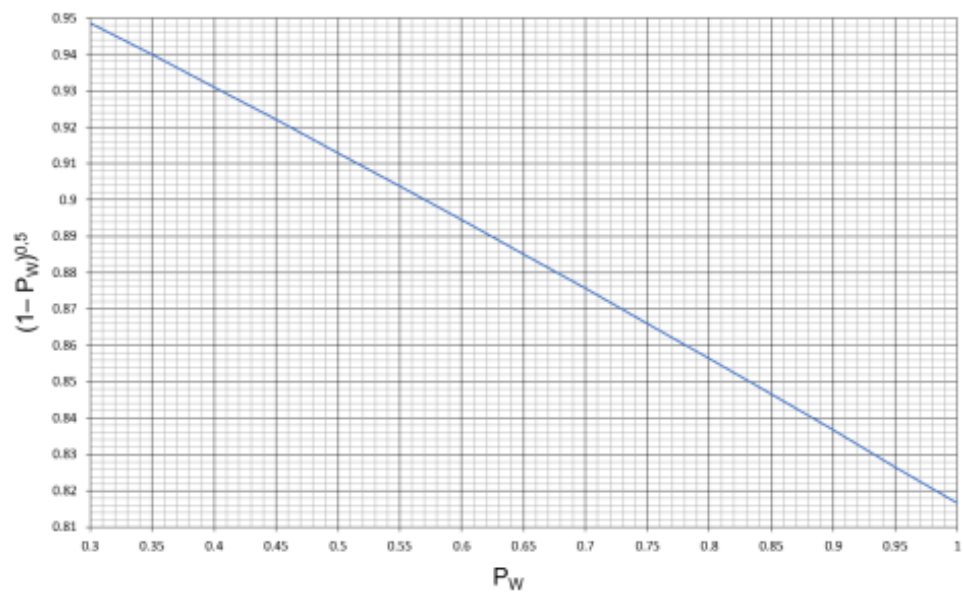
Faktor $W_W = 135 \times W_W^{1,3}$ dihitung menggunakan kurva pada Gambar 3.5, faktor $W_E/W_W = (1 + W_E/W_W)^{1,5}$ dihitung menggunakan kurva pada Gambar 3.6, faktor $P_W = (1 - P_W/3)^{0,5}$ dihitung menggunakan kurva pada Gambar 3.7, dan faktor $W_W/L_W = (1 + W_W/L_W)^{-1,8}$ dihitung menggunakan kurva pada Gambar 3.8.



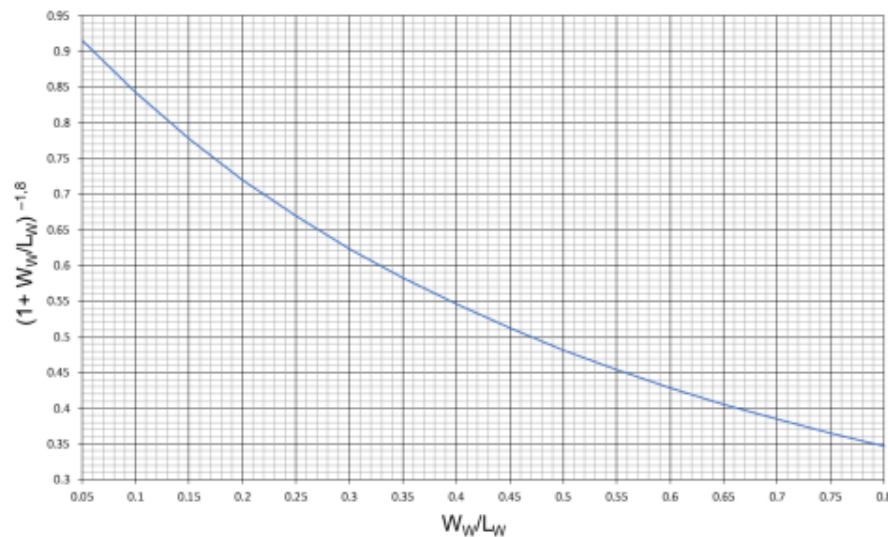
Gambar 3. 5 Grafik Faktor W_w
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)



Gambar 3. 6 Grafik Faktor W_E/W_W
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)



Gambar 3. 7 Grafik Faktor P_W
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)



Gambar 3. 8 Grafik Faktor W_w/L_w
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.3.2 Faktor Koreksi Ukuran Kota

Tabel 3.3 menunjukkan faktor koreksi ukuran kota (F_{UK}) berdasarkan jumlah penduduk kota (juta jiwa).

Tabel 3. 3 Faktor Koreksi Ukuran Kota

Ukuran Kota	Penduduk (juta)	Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})
Sangat Kecil	<0,1	0,82
Kecil	0,1-0,5	0,88
Sedang	0,5-1,0	0,94
Besar	1,0-3,0	1,00
Sangat Besar	>3,0	1,05

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

3.3.3 Faktor Koreksi Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping, dan Kendaraan Tidak Bermotor

Lingkungan jalan dikategorikan ke dalam berbagai kelas berdasarkan tata guna lahan dan seberapa mudah jalan tersebut diakses untuk aktivitas di sekitarnya. Penentuannya didapatkan dari perkiraan teknik lalu lintas dengan acuan pada Tabel 3.4. Secara kualitatif, penentuan tinggi rendahnya hambatan samping didasarkan

pada pengaruh aktivitas samping jalan di daerah simpang pada arus berangkat lalu lintas. Faktor-faktor ini termasuk pejalan kaki berjalan atau menyeberangi jalur, perhentian angkutan kota dan bus untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, tempat parkir di luar jalur, dan kendaraan masuk dan keluar halaman (Tabel 3.5). Tabel 3.6 menghitung faktor koreksi tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan rasio kendaraan tidak bermotor.

Tabel 3. 4 Kelas Tipe Lingkungan Jalan

Kelas tipe lingkungan jalan	Kondisi lingkungan jalan
Komersial	Guna lahan komersial dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.
Permukiman	Guna lahan tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.
Akses Terbatas	Tempat jalan masuk atau jalan masuk langsung terbatas (misalnya karena adanya penghalang fisik, jalan samping dan sebagiannya).

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

Tabel 3. 5 Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping	Kriteria
Tinggi	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar bagian jalinan terganggu dan berkurang akibat aktivitas samping jalan di sepanjang pendekat. Contoh adanya aktivitas naik/turun penumpang atau ngetem angkutan umum, pejalan kaki dan atau pedagang kaki lima di sepanjang atau melintas pendekat, kendaraan keluar/masuk samping pendekat
Sedang	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar bagian jalinan sedikit terganggu dan sedikit berkurang akibat aktivitas samping jalan di sepanjang pendekat
Rendah	Arus berangkat pada tempat masuk dan keluar bagian jalinan tidak terganggu dan tidak berkurang oleh hambatan samping

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

Tabel 3. 6 Faktor Penyesuaian Tipe Lingkungan Jalan, Hambatan Samping, Dan Kendaraan Tidak Bermotor (F_{RSU})

Kelas tipe lingkungan jalan	Kelas hambatan samping	Rasio kendaraan tidak bermotor (R_{KTB})					
		0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial	Tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	0,94	0,89	0,85	0,81	0,75	0,70
	Rendah	0,95	0,90	0,86	0,82	0,76	0,71
Permukiman	Tinggi	0,96	0,91	0,86	0,82	0,77	0,72
	Sedang	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73
	Rendah	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74
Akses terbatas	Tinggi/sedang/rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

3.4 Derajat Kejenuhan Bagian Jalinan

Derajat kejenuhan (D_J) merupakan rasio antara arus lalu lintas terhadap kapasitas. D_J bagian jalinan dapat dihitung dengan persamaan (3.3).

$$D_J = \frac{q}{C} \quad (3.3)$$

Keterangan:

D_J = Derajat kejenuhan.

q = Arus lalu lintas total (SMP/jam).

C = Kapasitas simpang (SMP/jam).

D_J = Bundaran didefinisikan sebagai derajat kejenuhan bagian jalinan tertinggi.

3.5 Tundaan Pada Bundaran

Tundaan pada bundaran dapat dihitung dengan 3 persamaan, yaitu tundaan lalu lintas bagian jalinan bundaran menggunakan persamaan (3.4) atau (3.5), tundaan lalu lintas bundaran menggunakan persamaan (3.6), dan tundaan bundaran rata-rata menggunakan persamaan (3.7).

$$\text{Untuk } D_J \leq 0,60: T_R = 2 + 2,68982 \times D_J - (1 - D_J) \times 2 \quad (3.4)$$

$$\text{Untuk } D_J > 0,60: T_R = 1/(0,59186 - 0,52525 \times D_J) - (1 - D_J) \times 2 \quad (3.5)$$

$$T_{LL} = \sum (q_i \times T_{Ri}) / q_{MASUK} \quad (3.6)$$

$$T = T_{LL} + T_G \quad (3.7)$$

Keterangan:

q_i = Arus total yang memasuki bagian jalinan ke i (SMP/jam).

T_{Ri} = Tundaan lalu lintas rata-rata pada bagian jalinan ke i (detik/SMP).

q_{MASUK} = Jumlah arus lalu lintas total yang masuk bundaran (SMP/jam).

i = Bagian jalinan ke i dalam bundaran.

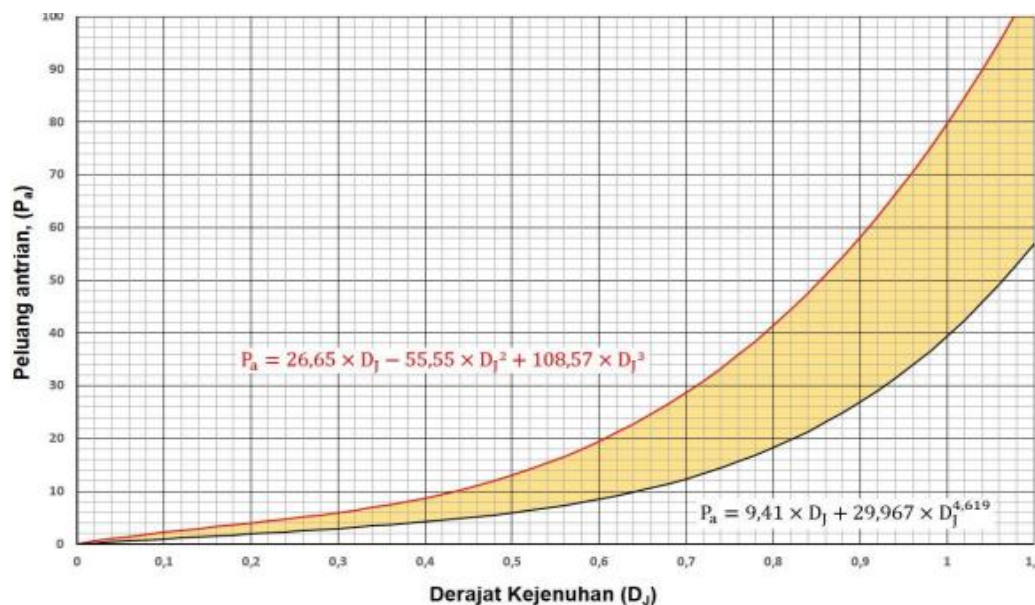
n = Jumlah bagian jalinan dalam bundaran.

T_{LL} = Tundaan lalu lintas rata-rata pada bundaran (detik/SMP).

T_G = Tundaan geometrik, dalam detik/smp; gunakan tundaan geometrik rata-rata 4 detik/SMP.

3.6 Peluang Antrean Pada Bundaran

P_a yang diwakili dalam rentang kemungkinan (%), dapat dihitung dengan menggunakan kurva antrean empiris yang ditemukan pada Gambar 3.9, dimana D_j digunakan sebagai variabel input. Nilai P_a bundaran berasal dari P_a tertinggi diantara bagian jalinan bundaran.



Gambar 3. 9 Peluang Antrean Pada Bundaran
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.7 Kecepatan Tempuh Pada Bagian Jalinan Tunggal

Persamaan (3.8) digunakan untuk menghitung kecepatan tempuh, atau V_T (km/jam), sepanjang bagian jalinan.

$$V_T = V_0 \times 0,5 \times (1 + (1 - D_J)^{0,5}) \quad (3.8)$$

Keterangan:

D_J = Derajat kejenuhan

V_0 = Kecepatan arus bebas awal (km/jam), dihitung dengan persamaan (3.9)

$$V_0 = 43 \times (1 - P_w/3) \quad (3.9)$$

P_w = Rasio arus jalinan dibagi dengan arus total

3.8 Waktu Tempuh Pada Bagian Jalinan Tunggal

Persamaan (3.10) digunakan untuk menghitung waktu tempuh, atau W_T (detik), sepanjang bagian jalinan.

$$W_T = L_W \times 2,6/V_T \quad (3.10)$$

Keterangan:

L_W = Panjang bagian jalinan (meter)

V_T = Kecepatan Tempuh (km/jam)

3.9 Manajemen Lalu Lintas

Menurut Permenhub No.93 tahun 2015 manajemen dan rekayasa lalu lintas adalah serangkaian usaha dan kegiatan yang meliputi perencanaan, pengadaan, pemasangan, pengaturan, dan pemeliharaan fasilitas perlengkapan jalan dalam rangka mewujudkan, mendukung dan memelihara keamanan, keselamatan, ketertiban, dan kelancaran lalu lintas. Menurut Susilo (2015) dalam (Setiawan, 2022) manajemen lalu lintas dapat dijelaskan sebagai serangkaian upaya untuk mengoptimalkan sistem jalan yang sudah ada melalui berbagai teknik pengelolaan. Hal ini dilakukan untuk mencapai sasaran tertentu dengan cara meningkatkan kualitas, mengatur, atau mengubah pemanfaatan jaringan jalan yang dapat mengakomodasi seluruh atau sebagian pengguna jalan, tanpa perlu mengandalkan pembangunan jalan baru. Dalam penerapannya, berbagai skenario strategi dan

manajemen dirancang untuk menemukan kondisi yang paling optimal pada ruas jalan atau bundaran yang dituju.

Manajemen lalu lintas merupakan suatu proses mengatur dan mengendalikan pergerakan kendaraan dengan cara memanfaatkan infrastruktur jalan yang tersedia secara optimal. Tujuannya adalah untuk memudahkan pergerakan kendaraan, meningkatkan efisiensi penggunaan ruang jalan, dan menciptakan sistem transportasi yang lancar dan terorganisir dengan baik (Fatimah, 2019).

Manajemen Lalu Lintas (MLL) merupakan upaya sistematis untuk mengelola infrastruktur jalan yang telah tersedia dengan fokus pada pengoptimalan penggunaan sumber daya. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 1993, proses pengelolaannya mencakup empat tahapan utama yaitu perencanaan, pengaturan, pengawasan, dan pengendalian lalu lintas. Tujuan dari manajemen lalu lintas adalah untuk keselamatan, keamanan, ketertiban, dan kelancaran lalu lintas, dan dapat dilakukan antara lain dengan usaha peningkatan kapasitas ruas jalan, persimpangan, dan jaringan jalan, pemberian prioritas bagi jenis kendaraan atau pemakaian jalan tertentu, penyesuaian antara permintaan dan persediaan.

3.9.1 Jenis-jenis Manajemen Lalu Lintas

Manajemen lalu lintas digolongkan menjadi 4 jenis yaitu.

a. Manajemen lalu lintas fisik

Manajemen lalu lintas fisik berkaitan dengan perubahan jalan secara fisik, biasanya bersifat *self-enforcing* atau pengguna jalan secara otomatis mematuhi. Contohnya seperti perubahan pada *layout* pada pertemuan jalan dan pemasangan rambu atau marka.

b. Manajemen lalu lintas non-fisik

Manajemen lalu lintas non fisik berkaitan dengan peraturan terhadap arus lalu lintas, pada pengaturan ini bersifat fleksibel atau bisa dirubah sewaktu-waktu. Contohnya seperti optimalisasi lampu lalu lintas dan pengaturan arah pergerakan di persimpangan jalan.

c. Manajemen lalu lintas sistem informasi

Manajemen lalu lintas sistem informasi berkaitan dengan pemberian informasi pada pemakai jalan, informasi diberikan agar prasarana dan sarana yang telah disediakan dapat digunakan oleh pengguna jalan secara efisien dan efektif. Contohnya arah menuju tempat tertentu dan peta kota.

d. Manajemen lalu lintas sistem tarif

Manajemen lalu lintas sistem tarif berkaitan dengan pemberlakuan tarif karena penggunaan fasilitas umum, biasanya diterapkan di tempat parkir, angkutan umum, dan di jalan atau jembatan khusus. Sasaran sistem tarif adalah masyarakat mau menggunakan moda angkutan umum karena itu tarif disesuaikan dengan pendapatan masyarakat.

3.10 Mikrosimulasi VISSIM

VISSIM adalah singkatan dari "*Verkehr In Städten – Simulations Modell*", yang berarti "Model Simulasi Lalu Lintas di Kota". Ini digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan arus lalu lintas secara mikroskopis. PTV (*Planung Transportasi Verkehr AG*) adalah perusahaan yang berbasis di Karlsruhe, Jerman, yang mengembangkan *VISSIM*.

Menurut Ramadhona dkk (2019) *VISSIM (Verkehr in Stadten SIMulationsmodel)* merupakan perangkat lunak simulasi yang mampu menganalisis pergerakan lalu lintas secara mikroskopis, meliputi transportasi publik dan pejalan kaki. *Software* ini merupakan instrumen mutakhir yang dapat mensimulasikan berbagai moda transportasi, mulai dari kendaraan pribadi, kendaraan angkut, bus, kereta api, tram, LRT, kendaraan roda dua, sepeda, sampai dengan pergerakan pejalan kaki. Para penggunanya dapat membuat model dari berbagai konfigurasi geometris jalan serta perilaku pengguna jalan dalam sistem transportasi. *VISSIM* banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan simulasi transportasi, seperti mengkaji skema perlambatan lalu lintas, studi sistem *Light Rail/Bus Rapid Transit*, evaluasi penerapan *intelligent transport sistem*, analisis persimpangan (baik bersinyal maupun tidak) yang kompleks, dan berbagai keperluan lainnya.

Perangkat lunak simulasi lalu lintas mikroskopis *VISSIM* digunakan untuk merancang, menganalisis, dan mengoptimalkan jaringan jalan, simpang, dan sistem kontrol lalu lintas. Dengan *VISSIM*, kita dapat membangun model jaringan jalan 3D yang realistis, mensimulasikan pergerakan berbagai jenis kendaraan, dan mengukur berbagai kinerja jaringan jalan. Manfaat *VISSIM* termasuk meningkatkan efisiensi jaringan jalan dan meningkatkan jumlah kendaraan yang melintasi jalan.

3.11 Kalibrasi dan Validasi Software *VISSIM*

Dua langkah penting dalam pemodelan lalu lintas *VISSIM* adalah kalibrasi dan validasi. Tujuan dari kedua langkah ini adalah untuk memastikan bahwa model *VISSIM* menunjukkan kondisi lalu lintas di lapangan dengan akurat. Proses kalibrasi melibatkan penyesuaian parameter model agar sesuai dengan data lapangan. Perilaku pengemudi, karakteristik kendaraan, dan kondisi jalan termasuk dalam parameter yang dikalibrasi. Proses ini dilakukan berulang kali hingga hasil simulasi *VISSIM* sesuai dengan data lapangan. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi *VISSIM* dengan data observasi dari lapangan yang tidak digunakan untuk kalibrasi. Ini memastikan bahwa model *VISSIM* yang dikalibrasi dapat dengan akurat memprediksi kondisi lalu lintas dalam berbagai skenario.

Metode *trial and error* digunakan untuk kalibrasi dan validasi pada *VISSIM*. Pada kalibrasi, Rumus statistik GEH (*Geoffrey E. Havers*) digunakan untuk memvalidasi hasil simulasi lalu lintas yang dibuat oleh program *VISSIM*. Ini menggabungkan perbedaan antara nilai mutlak dan relatif untuk mengukur tingkat akurasi model dan rumus GEH dapat memberikan toleransi lebih besar untuk volume yang lebih tinggi. Rumus GEH dapat dilihat pada persamaan (3.11). Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.7 di bawah ini, Rumus GEH memberikan ketentuan khusus untuk nilai error yang dihasilkan.

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \times (q_{simulated} - q_{observed})^2}{q_{simulated} + q_{observed}}} \quad (3.11)$$

Keterangan:

$q_{simulated}$ = Data volume arus lalu lintas hasil simulasi (kendaraan/jam)

q_{observed} = Data volume arus lalu lintas hasil observasi (kendaraan/jam)

Tabel 3. 7 Kesimpulan Hasil Rumus Statik GEH

$GEH < 5,0$	Diterima
$5,0 \leq GEH \leq 10$	Peringatan: kemungkinan model error atau data buruk
$GEH > 10$	Ditolak

Sumber: Gustavsson (2007)

Selanjutnya ada pengujian MAPE (*Mean Average Percentage Error*) yang berguna untuk menghitung rata-rata persentase perbedaan absolut antara nilai prediksi dan nilai aktual. Semakin kecil nilai MAPE, semakin akurat model peramalan tersebut. Uji MAPE digunakan karena dapat mengukur kesalahan dalam persentase. Untuk rumus MAPE dapat dilihat pada persamaan (3.12). Dan untuk kesimpulan dari hasil perhitungan MAPE dapat dilihat pada Tabel 3.8.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \quad (3.12)$$

Tabel 3. 8 Kesimpulan Hasil Rumus MAPE

$MAPE < 10\%$	Kemampuan permodelan sangat baik
$10\% \leq MAPE \leq 20\%$	Kemampuan permodelan baik
$20\% \leq MAPE \leq 50\%$	Kemampuan permodelan layak
$MAPE > 50\%$	Kemampuan permodelan buruk

Sumber: Gustavsson (2007)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Bab ini akan membahas langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk membuat evaluasi kinerja bundaran dengan menggunakan pemodelan simulasi *VISSIM*. Agar dapat mencapai hasil yang diinginkan dari rekayasa, proses analisis ini membutuhkan data yang tepat. Untuk menghindari kegagalan validasi pemodelan simulasi *VISSIM* pada akhirnya.

4.2 Jenis Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini menggunakan metode studi kasus. Hal ini disebabkan karena saat melakukan penelitian, peneliti mempelajari setiap peristiwa, kegiatan, dan proses yang berkaitan dengan proyek tertentu secara menyeluruh.

4.3 Data Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data utama yang diperoleh melalui pengukuran langsung atau observasi di tempat tertentu disebut sebagai data primer. Kategori ini mencakup beberapa hal berikut.

a. Volume Lalu Lintas

Menghitung volume kendaraan secara langsung di lapangan. Survei arus lalu lintas menggunakan bantuan *CCTV* yang ada di bundaran sehingga tidak memerlukan banyak surveyor di lapangan. Dalam hal ini, pencatatan kendaraan dilakukan berdasarkan klasifikasi kendaraan dan arah

pergerakannya. Setelah *record CCTV* lalu dihitung menggunakan *tally counter*.

b. Geometri Bundaran

Geometri bundaran diukur untuk menentukan lebar geometri jalinan yaitu berupa lebar pendekat, lebar masuk rata-rata, lebar bagian jalinan, dan panjang jalinan.

c. *Driving behavior*

Driving behavior merupakan perilaku dari seorang pengemudi, yang mencakup dari tindakan dan keputusan yang dibuat oleh pengemudi. *Driving behavior* diperoleh dari mengamati jarak depan-belakang dan kanan-kiri antara kendaraan. Untuk mempermudah pengamatan di lapangan, surveyor menggunakan media *double tip* atau *tipe-x* dari bumper ke bumper kendaraan lainnya sebagai tanda, lalu diukur jaraknya menggunakan meteran.

d. Panjang antrean

Panjang antrean merupakan besaran yang menunjukkan seberapa panjang deretan kendaraan yang mengantri di suatu bagian jalan atau area mendekati persimpangan, yang umumnya diukur dalam satuan meter. Pengambilan data ini dilakukan dengan cara mengukur kendaraan terdepan dalam antrean hingga kendaraan terakhir.

e. Tundaan

Tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melewati suatu simpang dibandingkan dengan waktu tempuh ideal jika tidak ada hambatan. Pengambilan data ini dilakukan dengan cara menghitung lamanya sekelompok kendaraan berhenti di mulut simpang atau bagian jalinan untuk bisa berjalan lagi dengan normal.

f. Kecepatan kendaraan

Survei kecepatan rata-rata menggunakan alat bantu *speed gun*. Pengambilan data dilakukan dengan cara menentukan titik atau jarak tembak. Antara surveyor dengan jarak tembak berjarak 20 m. Usahakan surveyor berada di

tempat yang tidak terlalu terlihat oleh pengendara. Surveyor juga bertugas mencatat waktu saat kendaraan melintas.

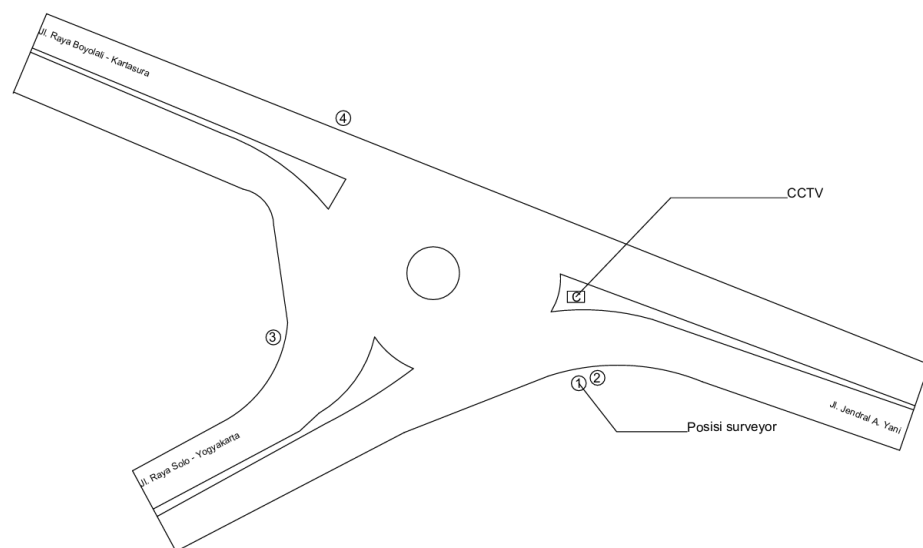
2. Data Sekunder

a. Jumlah penduduk dan lokasi penelitian

Data sekunder ini didapatkan dari beberapa instansi dan aplikasi terkait sebagai data pendukung yang diperoleh secara tidak langsung. Data sekunder yang diperlukan untuk studi ini adalah lokasi penelitian yang di peroleh dari *Google Earth*, dan data jumlah penduduk kota. Fungsi dari data sekunder adalah sebagai pendukung kinerja dari data primer.

4.4 Metode Pengumpulan Data

Survei lapangan dilakukan untuk mengumpulkan data primer untuk memantau kondisi geometri bundaran, mencari data kecepatan kendaraan, mencari data karakteristik pengendara dan arus lalu lintas. Lihat Gambar 4.1 berikut untuk Lokasi Surveyor.



Gambar 4. 1 Denah Lokasi Penempatan Surveyor

Keterangan:

C = CCTV

O_{1,2,3,4} = Surveyor

4.4.1 Peralatan Yang Digunakan

Berikut adalah alat-alat yang akan digunakan di lapangan sebagai alat bantu pada pelaksanaan penelitian ini.

1. Formulir survei
2. Alat tulis
3. Alat ukur atau meteran
4. *Speed gun*
5. Laptop
6. Dan alat penunjang lainnya.

4.4.2 Waktu Pelaksanaan Survei Lapangan

Survei akan dilaksanakan pada hari Senin sebagai perwakilan hari kerja dan Sabtu sebagai perwakilan akhir pekan, dan dibagi menjadi 2 sesi disetiap harinya. Sesi pagi dilaksanakan pada pukul 06.30-09.30 WIB dan sesi sore dilaksanakan pada pukul 15.00-18.00 WIB. Pemilihan 2 sesi ini karena sebelumnya sudah dilakukan observasi terlebih dahulu dan didapatkan jam padatnya volume lalu lintas di jam pagi dan sore.

4.5 Metode Analisis Data

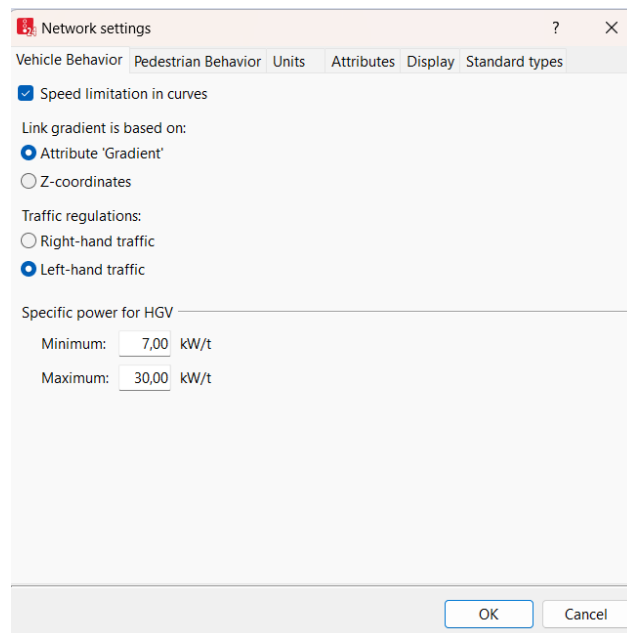
Untuk melakukan analisis evaluasi kinerja Bundaran Tugu Kartasura, PKJI 2023 digunakan untuk mencari nilai derajat kejenuhan lalu *software VISSIM* digunakan untuk menghitung kapasitas, tundaan, panjang antrean, dan kecepatan rata-rata. Untuk mengetahui evaluasi Bundaran Tugu Kartasura ini sudah bisa dikatakan baik atau belum. Jika dilihat dari metode perhitungan PKJI didapatkan dari hasil derajat kejenuhan yang sudah sesuai dengan pedoman PKJI 2023 yang dimana nilai $D_s < 0,85$. Jika dilihat dari simulasi *PTV VISSIM* didapatkan dari jumlah panjang antrean dan tundaan yang sudah berkurang dibandingkan dengan data eksisting.

Data lalu lintas Bundaran Tugu Kartasura dikumpulkan setelah survei, lalu diolah untuk menghasilkan jam puncak dari volume dengan periode 15 menit tersibuk berurutan selama satu jam. Hasil ini akan digunakan untuk mencari nilai

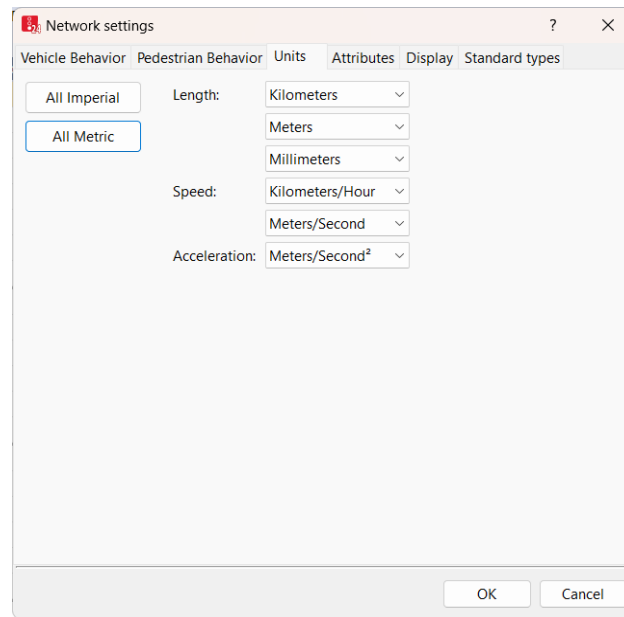
derajat kejenuhan dan menjalankan *software VISSIM*. Pemodelan pertama dilakukan sesuai dengan data eksisting, lalu pemodelan selanjutnya untuk mencari solusi atau mengoptimalkan kinerja bundaran. Berikut adalah langkah-langkah dalam pengoprasian *PTV VISSIM*.

4.5.1 Settingan Awal

PTV VISSIM dibuat di negara Jerman dengan perilaku berkendara yang berbeda, dimana jalur berkendara di sana dari arah sebelah kanan sedangkan Indonesia berada di sebelah kiri. Untuk itu diperlukan penyesuaian sesuai dengan kondisi di lapangan. Langkah awal yang diperlukan untuk settingan awal *VISSIM* adalah mengatur pengaturan letak pengemudi di bagian *Network Setting* di menu *Vehicle Behavior* dengan memilih bagian *Left-hand traffic*. Selain itu juga diperlukan penyesuaian satuan sesuai dengan standar Indonesia. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3 sebagai berikut.



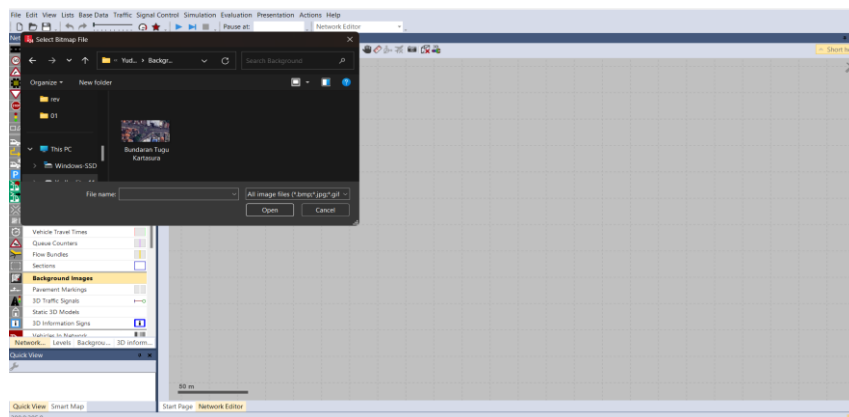
Gambar 4. 2 Pengaturan *Vehicle Behavior*



Gambar 4. 3 Pengaturan Units

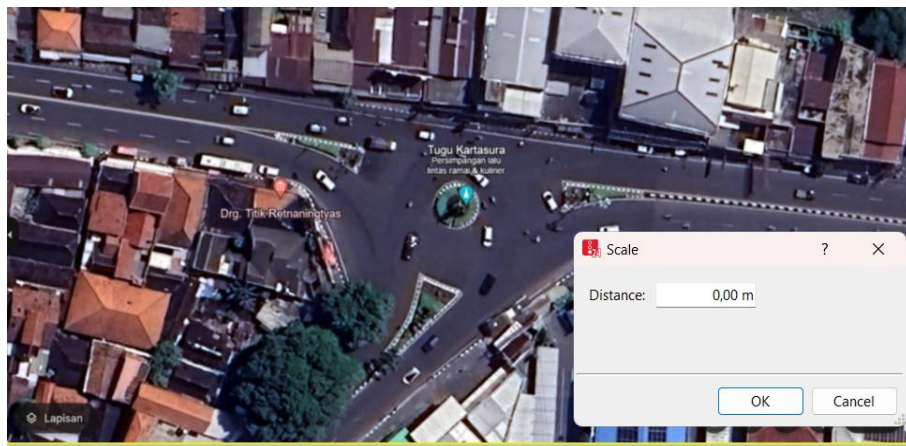
4.5.2 *Input Background Images dan Set Scale*

Input Background Images berfungsi untuk memberikan referensi visual yang membantu pada saat pemodelan jaringan jalan. Pada tahap ini diperlukan gambar denah lokasi penelitian yang dapat diambil dari *Google Earth*. Langkah untuk menginput *Background Image* dapat dilakukan di bagian *Network Object* pada menu *Background Images* lalu pilih *Add New Background Image*. Setelah itu pilih gambar yang telah diperoleh dari *Google Earth*. Untuk lebih jelas mengenai input *Background Images* bisa dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4. 4 Input Background Images

Setelah melakukan *input Background Images* dilanjutkan dengan melakukan *Set Scale* agar ukuran gambar memiliki ukuran sesuai dengan aslinya. *Set Scale* dapat dilakukan dengan menarik garis acuan yang berada di bagian bawah pojok kanan pada gambar lalu masukkan angka ukuran yang telah tertera di gambar yang diperoleh dari *Google Earth*. Pengaturan skala bisa dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 5 Pengaturan Skala Pada *Background Images*

4.5.3 *Input Links dan Conector*

Links merupakan representasi dari sebuah segmen jalan, jalur, dan lajur pada *PTV VISSIM*. Langkah untuk membuat *Links* dapat dilakukan pada *Network Object* dengan memilih *Tools Links*. Setelah itu masukkan nama jalan, jumlah lajur, dan lebar jalur sesuai dengan kondisi aslinya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7.

Connectors berfungsi sebagai penghubung antar *links*. Untuk membuat *Connectors* dilakukan dengan cara menghubungkan *Links* pertama sebagai awalan dengan *Links* kedua sebagai tujuan. Penambahan *Conectors* bisa dilihat pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4. 6 Input Links (1/2)

Link

No.: 1 Name: Jl. Raya Boyolali-Kartasura B-T

Num. of lanes: 2 Link behavior type: 1: Urban (motorized)

Link length: 167.596 m Display type: 1: Road gray

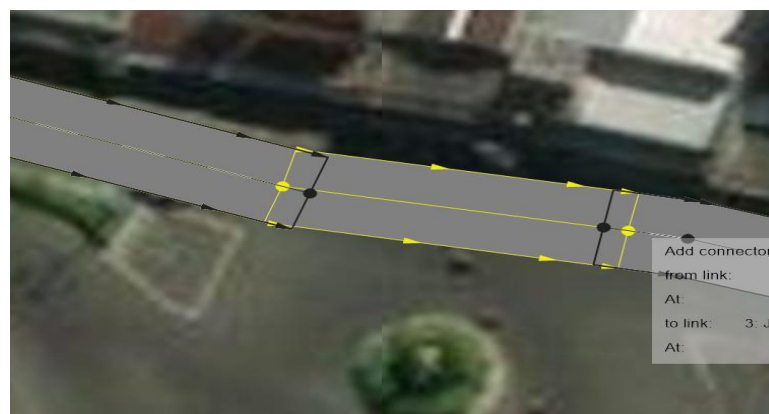
Level: 1: Base

Lanes	Meso	Pedestrian Area	Display	Dyn. Assignment	Others
Number: 2	Index	Width	LinkBehav...	BlockedVe...	DisplayType
1	1	4.00			MarkingTy...
2	2	4.00			1: Dashed...

☐ Has overtaking lane

OK Cancel

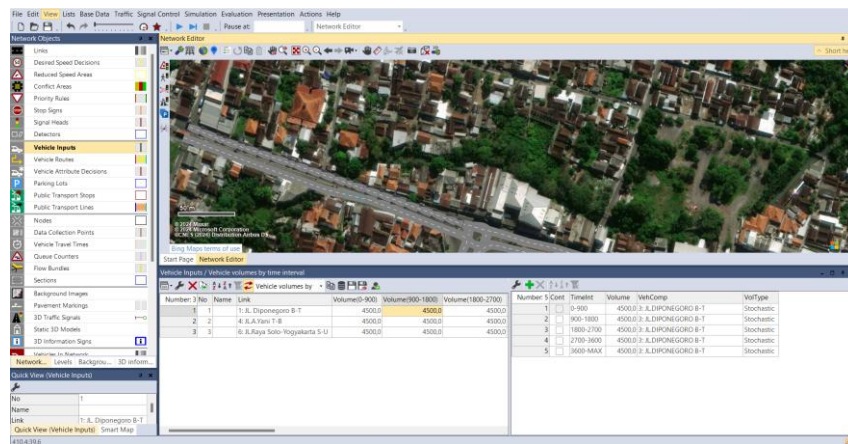
Gambar 4. 7 Input Links (2/2)



Gambar 4. 8 Input Connectors

4.5.4 Input Volume

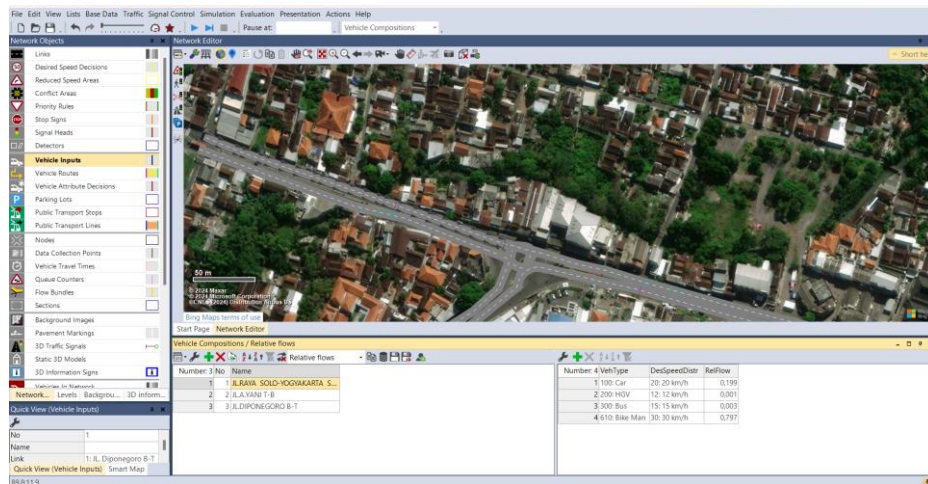
Input volume digunakan untuk memasukan data volume pada kondisi asli lapangan ke dalam VISSIM. Memasukkan data volume di VISSIM dapat dilakukan pada *Tools Vehicle Input* di bagian *Network Object*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4. 9 Input Volume

4.5.5 Vehicle Composition

Vehicle Composition berfungsi untuk membagi jumlah dari komposisi kendaraan yang melewati suatu jaringan jalan (SM, MP, KS, BB, TB). Menginput komposisi kendaraan di VISSIM dapat dilakukan pada *Vehicle Composition* di menu *bar traffic*. Pada bagian *VehType* disesuaikan dengan jenis kendaraan dan pada *DesSpeedDistr* disesuaikan dengan data kecepatan yang telah didapatkan saat survei. Selain itu pada bagian *RelFlow* dimasukkan data yang telah dihitung. *RelFlow* berfungsi untuk mengetahui jumlah persen dari setiap jenis kendaraan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.10 sebagai berikut.



Gambar 4. 10 Pengaturan Vehicle Composition

4.5.6 Vehicle Routes

Vehicle Routes berfungsi untuk menentukan arah kendaraan. *Vehicle routes* merupakan suatu pengaturan pada *PTV VISSIM* Ketika pemodelan dan berfungsi untuk menentukan pergerakan kendaraan. Untuk membuat *Vehicle Routes* dapat dilakukan pada menu *Tools Vehicle Routes* di bagian *Network Object*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.11



Gambar 4. 11 Pengaturan Vehicle Routes

4.5.7 Pengaturan Conflict Area dan Priority Rules

Conflict Area berfungsi untuk mengatur pencegahan tabrakan antara kendaraan. Selain itu *Conflict Area* juga dapat dimanfaatkan untuk mengatur urutan

lalu lintas, memungkinkan kendaraan atau arah tertentu melaju terlebih dahulu sesuai dengan pengaturan yang diinginkan. Langkah membuat *Conflict Area* di *VISSIM* adalah dengan menggunakan *Tools Conflict Area* pada bagian *Network Object*. Nantinya akan muncul warna merah, kuning, dan hijau. Zona yang ditandai dengan warna kuning menunjukkan wilayah dimana potensi konflik lalu lintas terjadi yang secara otomatis diidentifikasi oleh program *VISSIM*. Setelah dilakukan penyesuaian pengaturan, akan muncul penanda berwarna hijau dan merah. Penanda hijau mengindikasikan jalur kendaraan yang diberi prioritas untuk melaju terlebih dahulu, sementara penanda merah menandakan jalur kendaraan yang harus menunggu giliran.

Priority Rules memiliki kemiripan dengan *Conflict Area*, namun perbedaan utamanya terletak pada penggunaannya. Aturan Prioritas diterapkan untuk mengatur titik dimana kendaraan mulai menunggu, memungkinkan kendaraan tersebut untuk melanjutkan perjalanan ketika arus lalu lintas dari arah lain sudah kosong atau telah melewati area yang telah ditentukan. Untuk menambahkan aturan prioritas di *VISSIM* adalah dengan cara menggunakan *Tools Priority Rules* di bagian *Network Object*. Dalam sistem ini, titik merah menandakan lokasi di mana kendaraan harus berhenti dan menunggu. Sementara itu, tanda hijau berfungsi sebagai indikator. Ketika kendaraan dari arus lalu lintas lain telah melewati garis hijau ini, kendaraan yang sedang menunggu diperbolehkan untuk melanjutkan perjalanannya. Visualisasi dari *Conflict Area* ini dapat dilihat pada ilustrasi yang ditampilkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Pengaturan *Conflict Area*

4.5.8 *Reduced Speed Area*

Penurunan kecepatan atau *Reduced Speed* merupakan salah satu parameter kalibrasi yang bertujuan untuk mensimulasikan perilaku pengemudi yang realistis di jalan. Parameter ini mencerminkan situasi dimana pengemudi cenderung mengurangi kecepatan kendaraan mereka saat memasuki zona-zona tertentu, seperti persimpangan atau area putar balik (*U-turn*). Proses pengaturan area penurunan kecepatan dalam perangkat lunak *VISSIM* dapat dilakukan melalui serangkaian langkah tertentu. Untuk menambahkan area pengurangan kecepatan di *VISSIM* adalah dengan menggunakan *Tools Reduced Speed Area* di bagian *Network Object*. Nantinya akan muncul jendela seperti Gambar 4.13 dan sesuaikan bagian *Vehclass* sesuai dengan kendaraan yang akan diatur penurunan kecepatannya. Visualisasi dari *Reduced Speed Areas* ini dapat dilihat pada ilustrasi yang ditampilkan dalam Gambar 4.14 berikut.

Number	VehClass	DesSpeedDistr	Decel
There are no elements in this list. You can add new elements through the context menu.			

Gambar 4. 13 Pengaturan *Reduced Speed Area*



Gambar 4. 14 Visualisasi *Reduced Speed Area*

4.5.9 Pembuatan dan Pengaturan *Data Collection Points*, *Vehicle Travel Times*, dan *Queue Counters*

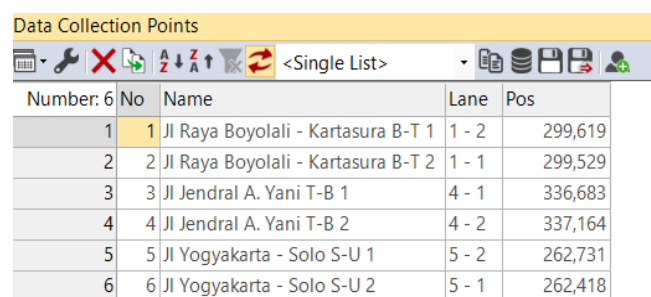
Data Collection Points atau DCP memiliki fungsi untuk merekam jumlah kendaraan yang melintasi ruas jalan yang telah ditetapkan. Hasil DCP dapat dimanfaatkan untuk memvalidasi hasil simulasi yang dijalankan oleh VISSIM. Untuk mengatur dan menempatkan titik pengumpulan data ini dalam sistem, terdapat serangkaian langkah spesifik yang perlu diikuti. Untuk mengatur DCP di VISSIM dapat dilakukan menggunakan *Tools Data Collection Point* di bagian *Network object*. Nantinya akan keluar jendela seperti pada Gambar 4.15 pengaturan DCP dilakukan pada bagian perlajur. Setelah itu beri nama untuk mempermudah pembacaan saat hasil *running*.

Vehicle Travel Times memiliki dua fungsi utama. Pertama, fitur ini digunakan untuk menghitung kecepatan perjalanan kendaraan dalam jarak yang sudah ditetapkan sebelumnya. Kedua, fitur ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengkalkulasi waktu tundaan atau keterlambatan (*delay*) yang dialami oleh kendaraan. Untuk menambahkan fitur waktu kendaraan perjalanan di VISSIM dengan menggunakan *Tools Vehicle Travel Times* pada bagian *Network Object*. Nantinya akan keluar jendela seperti pada Gambar 4.16 setelah itu beri nama untuk mempermudah pembacaan setelah hasil *running*.

Queue Counters adalah fitur yang berfungsi untuk mengukur panjang antrean kendaraan yang terbentuk pada jalur atau link tertentu dimana alat ini dipasang. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk mendapatkan data kuantitatif mengenai tingkat kemacetan atau penumpukan kendaraan di titik-titik tertentu dalam jaringan lalu lintas yang disimulasikan. Untuk menambahkan data Untuk mengimplementasikan dan mengkonfigurasi penghitung panjang antrean di VISSIM dapat menggunakan *Tool Queue Counters* di bagian *Network Object*. Setelah itu beri nama untuk mempermudah pembacaan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut ini.

Measurement Definition memiliki peran penting dalam mengorganisir data. Fungsi utamanya adalah mengelompokkan pengukuran pengumpulan data dan pengukuran keterlambatan. Dengan pengelompokan ini, informasi yang telah diatur

sebelumnya melalui titik pengumpulan data (*Data Collection Points*) dan waktu perjalanan kendaraan (*Vehicle Travel Times*) dapat ditampilkan dalam hasil simulasi. Untuk mengatur *Measurement Definition* di VISSIM dapat menggunakan *Tools Measurement Definition* pada menu bar *Evaluation* lalu pilih *Data Collection Measurement* dan *Delay Measurement*. Tambahkan sesuai dengan yang diinginkan untuk dianalisis. Nantinya data yang dipilih akan dikelompokkan untuk mendapatkan hasil *running* yang diinginkan.



Number: 6	No	Name	Lane	Pos
1	1	Jl Raya Boyolali - Kartasura B-T 1	1 - 2	299,619
2	2	Jl Raya Boyolali - Kartasura B-T 2	1 - 1	299,529
3	3	Jl Jendral A. Yani T-B 1	4 - 1	336,683
4	4	Jl Jendral A. Yani T-B 2	4 - 2	337,164
5	5	Jl Yogyakarta - Solo S-U 1	5 - 2	262,731
6	6	Jl Yogyakarta - Solo S-U 2	5 - 1	262,418

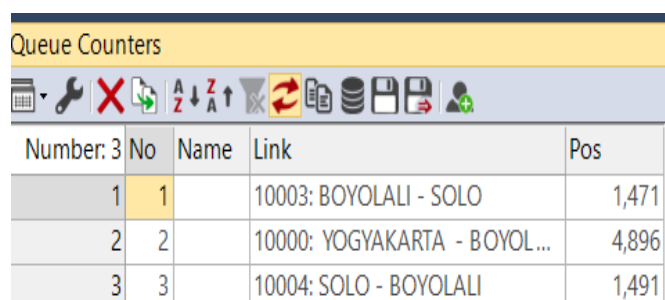
Gambar 4. 15 Pengaturan Data Collection Point

Vehicle Travel Time Measurements

 <Single List> 

Number: 3	No	Name	StartLink	StartPos	EndLink	EndPos	Dist
1	1	5: Jl Yogyakarta - Solo S-U	252,125	5: Jl Yogyakarta - Solo S-U	272,125	20,00	
2	2	1: Jl Raya Boyolali-Kartasura B-T	288,492	1: Jl Raya Boyolali-Kartasura B-T	308,492	20,00	
3	3	4: Jl Jendral A. Yani T-B	327,227	4: Jl Jendral A. Yani T-B	347,227	20,00	

Gambar 4. 16 Pengaturan Vehicle Travel Time

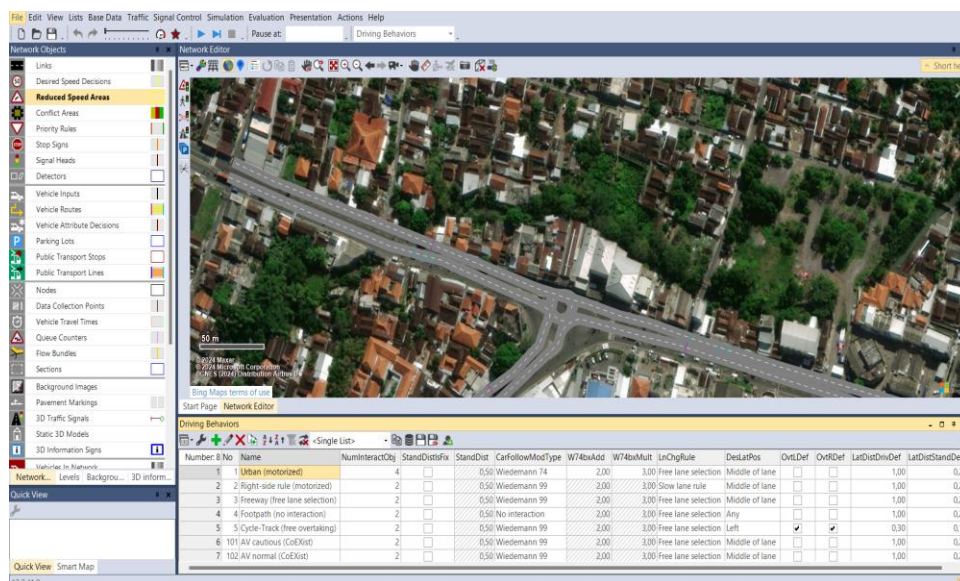


Number: 3	No	Name	Link	Pos
1	1		10003: BOYOLALI - SOLO	1,471
2	2		10000: YOGYAKARTA - BOYOL ...	4,896
3	3		10004: SOLO - BOYOLALI	1,491

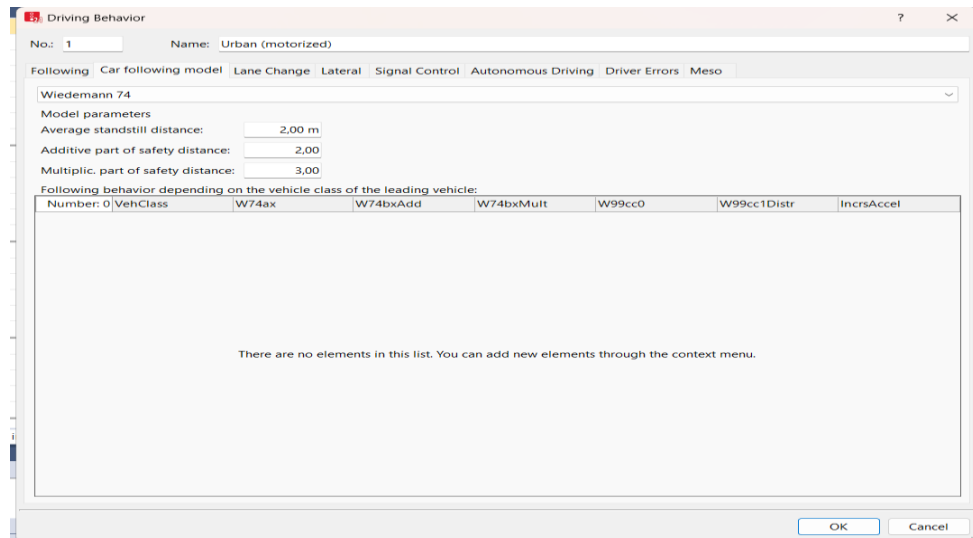
Gambar 4. 17 Pengaturan Queue Counters

4.5.10 Driving Behavior

Perilaku Pengemudi atau *Driving Behaviour* merupakan parameter kunci dalam VISSIM yang secara langsung memengaruhi interaksi antar kendaraan dalam simulasi. Agar simulasi dapat mencerminkan kondisi nyata di lapangan dengan akurat, *Driving Behavior* perlu disesuaikan dengan situasi aktual yang diamati. Proses penyesuaian ini dikenal sebagai kalibrasi. Jika hasil simulasi tidak cukup merepresentasikan keadaan sebenarnya, maka diperlukan pengaturan ulang atau kalibrasi lebih lanjut. Kalibrasi ini dilakukan dengan memasukkan data yang diperoleh dari survei lapangan ke dalam sistem. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk memastikan bahwa simulasi yang dihasilkan oleh perangkat lunak VISSIM dapat mewakili kondisi lalu lintas yang sebenarnya dengan setepat mungkin. Untuk mengonfigurasi *Driving Behaviour* dalam VISSIM, untuk mengubah *Driving Behavior* bisa ke *Driving Behavior* di menu *Base Data* seperti pada Gambar 4.18, pada bagian *Urban (motorized)* diedit beberapa parameter pada menu *Car Following*, *Lane Change*, dan di menu *Lateral*. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4.19 berikut



Gambar 4. 18 Pengaturan *Driving Behavior* (1/2)



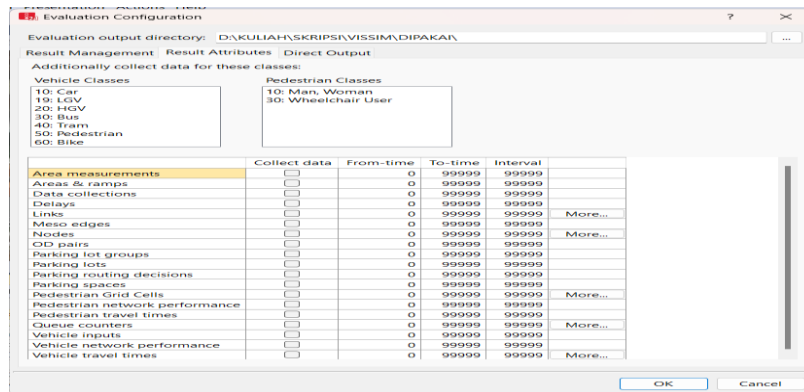
Gambar 4. 19 Pengaturan *Driving Behavior* (2/2)

4.5.11 *Result List, Configuration, dan Running*

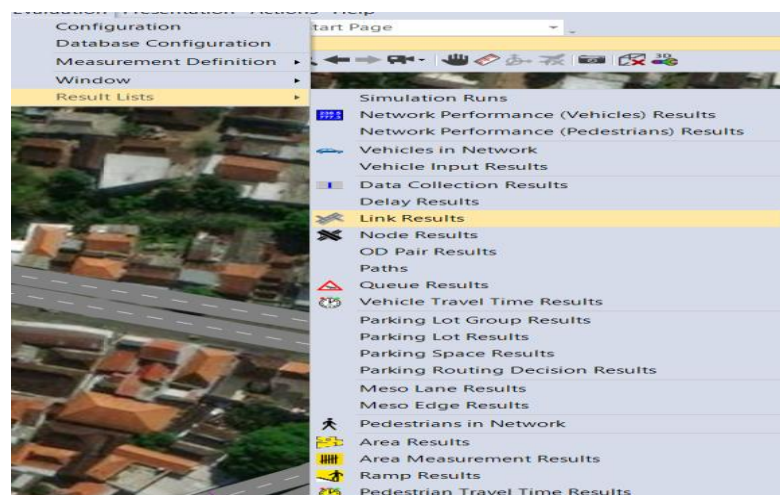
Result List digunakan untuk menampilkan jendela hasil running. Untuk menampilkan *Result List* pada menu *Evaluation* di Menu Bar pilih *Result List*, lalu pilih *Data Collection*, *Delays*, *Queue Length* dan *Vehicle Travel Times* seperti pada Gambar 4.21.

Configuration digunakan untuk mengatur parameter yang dipakai dalam proses *running*. Untuk mengatur *Configuration* pada menu *Evaluation* di Menu Bar pilih *Configuration*, lalu pilih *Data Collection*, *Delays*, *Queue Length* dan *Vehicle Travel Times* Seperti Gambar 4.20.

Sebelum running diubah parameters terlebih dahulu untuk mengatur waktu atau *Periode*, *Simulation Resolution*, *Random Seed*, *Number of Run* untuk menentukan jumlah running yang diinginkan, dan *Random seed increment* untuk menambah jumlah angka pada *Random Seed* di setiap *runningnya*. Untuk hasil running bisa dilihat pada Gambar 4.22 berikut.



Gambar 4. 20 Pengaturan Configuration



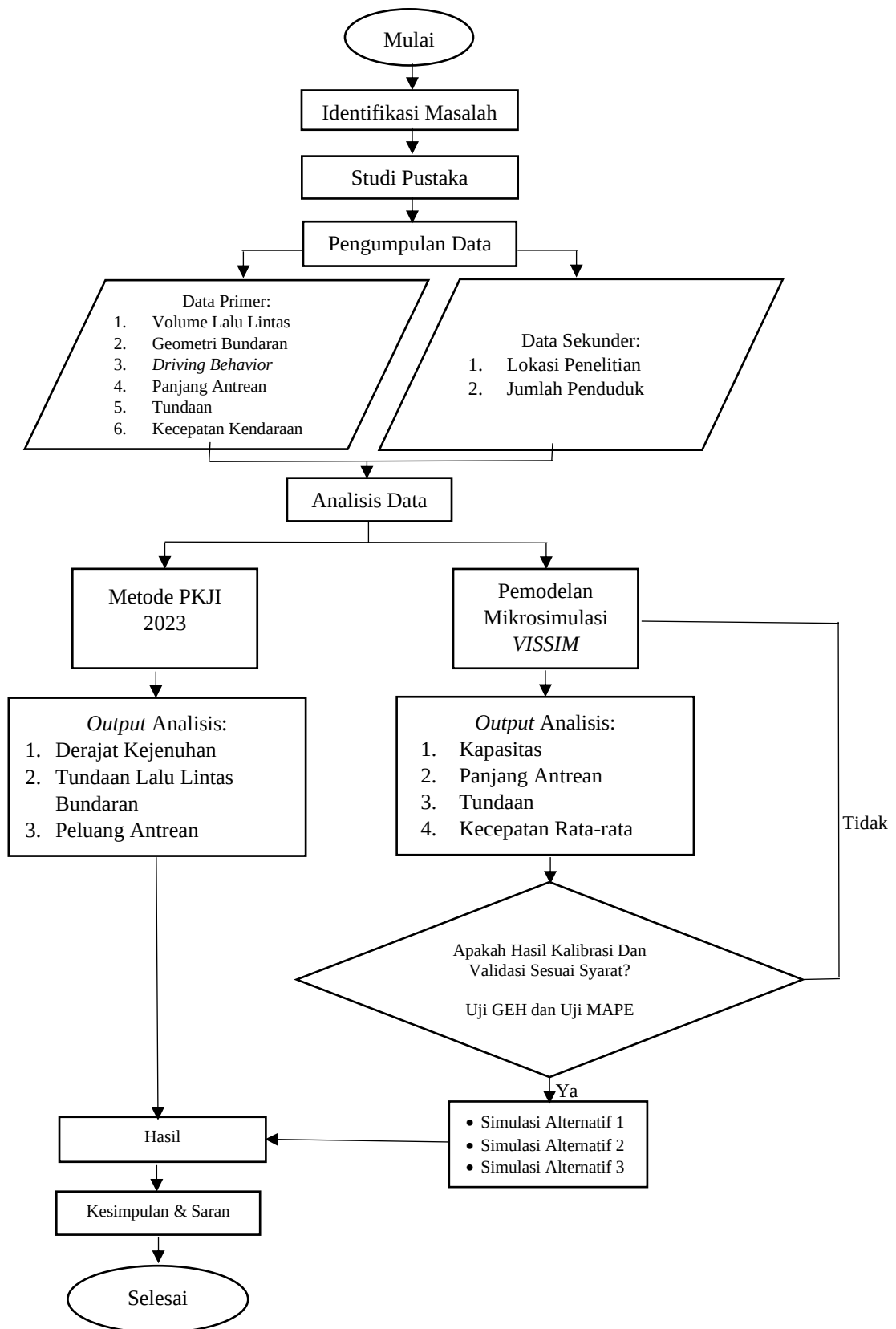
Gambar 4. 21 Pengaturan Result List

Data Collection Results												
Select layout...												
Count	SimRun	TimeInt	DataCollectionMeasurement	Vehs(All)	QueueDelay(All)	SpeedAvgArith(All)	SpeedAvgHarm(All)	SpeedAvgHarm(70)	SpeedAvgHarm(80)	SpeedAvgHarm(90)	SpeedAvgHarm(100)	SpeedAvgHarm(110)
1	132	0-3600	1: Jl Raya Boyolali - Kartasura B-T	3483	0,00	23,99	23,61	24,13	23,07	20,00	20,80	18,76
2	132	0-3600	2: Jl Jendral A. Yani T-B	2923	0,00	24,47	24,16	24,72	23,57	20,27	19,67	18,00
3	132	0-3600	3: Jl Yogyakarta - Solo S-U	4054	0,00	25,04	24,71	25,11	23,70	20,94	20,31	19,58
4	132	0-3600	4: Jl Raya Boyolali - Kartasura B-T LURU	1805	0,00	24,58	24,43	24,73	23,82	20,12	18,57	21,47
5	132	0-3600	5: Jl Raya Boyolali - Kartasura B-T KANA	1678	0,01	23,37	22,79	23,43	22,42	19,94	21,18	18,45
6	132	0-3600	6: Jl Jendral A. Yani T-B LURUS	1271	0,00	25,56	25,29	25,86	24,14	19,82		20,59
7	132	0-3600	7: Jl Jendral A. Yani T-B KIRI	1652	0,00	23,64	23,37	23,92	23,02	20,34	19,67	17,43
8	132	0-3600	8: Jl Yogyakarta - Solo S-U KIRI	1758	0,00	25,99	25,57	26,14	23,91	20,70	19,76	20,32
9	132	0-3600	9: Jl Yogyakarta - Solo S-U KANAN	2296	0,00	24,32	24,10	24,38	23,52	20,98	20,59	18,57

Gambar 4. 22 Hasil Running

4.6 Bagan Alir Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian tugas akhir dapat dilihat pada gambar 4.23 berikut.



Gambar 4. 23 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 DATA PENELITIAN

5.1.1 Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas Bundaran Tugu Kartasura didapatkan dari hasil survei yang dilakukan di lapangan selama 2 hari, yaitu pada hari sabtu (24 Agustus 2024) dan senin (26 Agustus 2024) yang dimana sebagai perwakilan dari hari kerja (*Weekdays*) dan akhir pekan (*Weekend*). Perharinya survei dilakukan dengan 2 sesi yang dimana sesi 1 dilaksanakan saat pagi pada pukul 06.30 -09.30 WIB, dan sesi 2 dilaksanakan pada saat sore pada pukul 15.00-18.00 WIB dengan interval 15 menit. Fokus kendaraan yang disurvei berupa Sepeda Motor (SM), Mobil Penumpang (MP), Kendaraan Sedang (KS), Bus Besar (BB), dan Truk Besar (TB). Data dari hasil survei lapangan dicatat dalam satuan kend/jam lalu diubah ke dalam satuan smp/jam sesuai dengan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2023). Selanjutnya semua data volume lalu lintas tersebut dijumlahkan setiap perjamnya untuk mengetahui jam puncaknya. Rekapitulasi dari volume lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2, grafik volume lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.1, dan distribusi volume lalu lintas di jam puncak dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Volume Kendaraan Hari Sabtu

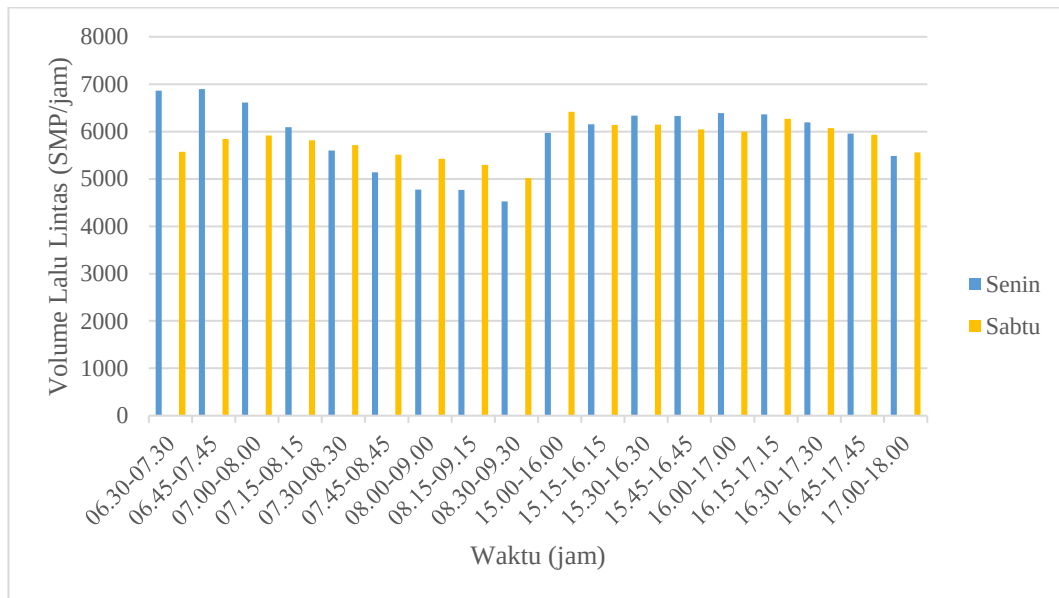
Waktu	Jumlah Volume Kendaraan (SMP/jam)
06.30-07.30	5572
06.45-07.45	5845
07.00-08.00	5916
07.15-08.15	5813
07.30-08.30	5716

Lanjutan Tabel 5. 1 Rekapitulasi Volume Kendaraan Hari Sabtu

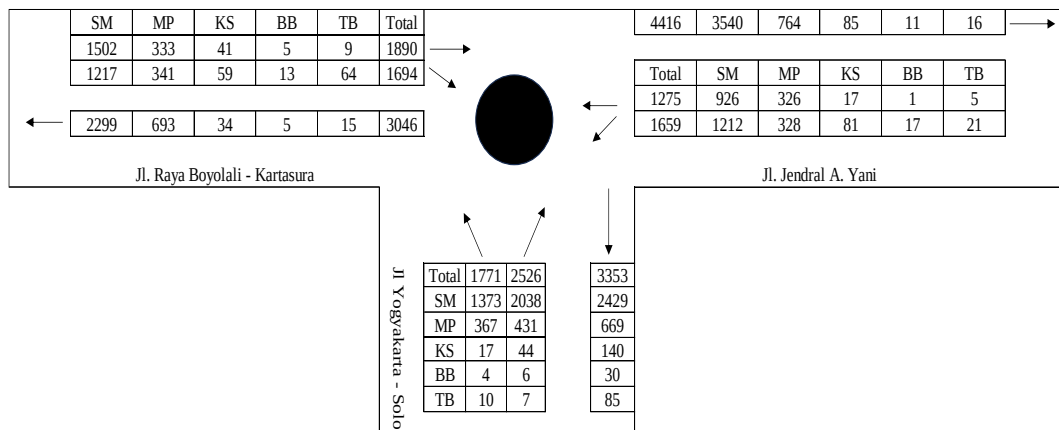
Waktu	Jumlah Volume Kendaraan (SMP/jam)
07.45-08.45	5508
08.00-09.00	5422
08.15-09.15	5292
08.30-09.30	5015
15.00-16.00	6418
15.15-16.15	6141
15.30-16.30	6149
15.45-16.45	6047
16.00-17.00	5994
16.15-17.15	6267
16.30-17.30	6072
16.45-17.45	5929
17.00-18.00	5560

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Volume Kendaraan Hari Senin

Waktu	Jumlah Volume Kendaraan (SMP/jam)
06.30-07.30	6860
06.45-07.45	6898
07.00-08.00	6614
07.15-08.15	6089
07.30-08.30	5597
07.45-08.45	5142
08.00-09.00	4773
08.15-09.15	4766
08.30-09.30	4527
15.00-16.00	5973
15.15-16.15	6150
15.30-16.30	6334
15.45-16.45	6329
16.00-17.00	6387
16.15-17.15	6363
16.30-17.30	6196
16.45-17.45	5957
17.00-18.00	5483



Gambar 5. 1 Grafik Volume Lalu Lintas

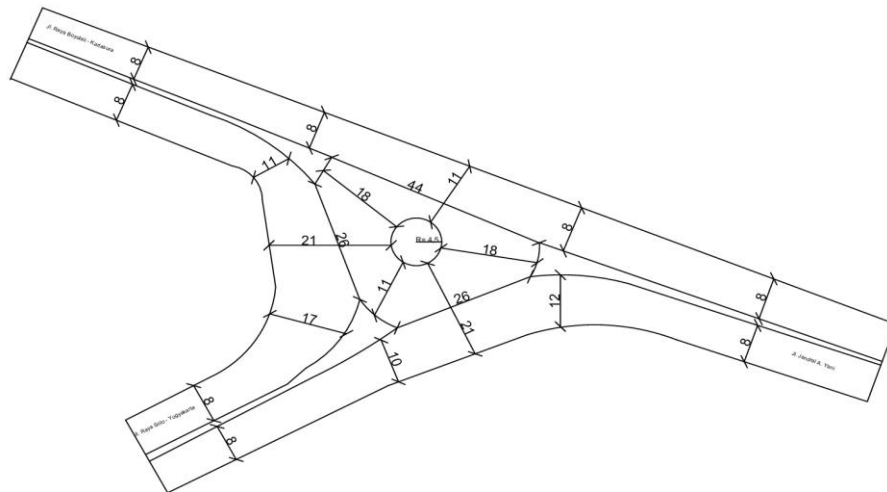


Gambar 5. 2 Distribusi Volume Lalu Lintas Di Jam Puncak Pada Bundaran Tugu Kartasura

Dari Tabel 5.1, Tabel 5.2, dan Gambar 5.1 di atas, didapatkan jam puncak di hari Sabtu pukul 15.30-16.30 dengan total volume sebesar 6418 SMP/jam dan hari Senin pukul 06.45-07.45 dengan total volume sebesar 6898 SMP/jam. Dari kedua data tersebut diambil nilai volume tertinggi sehingga didapatkan jam puncaknya pada hari Senin pukul 06.45-07.45 WIB.

5.1.2 Data Geometri Bundaran

Data dari geometri Bundaran Tugu Kartasura dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5. 3 Geometri Bundaran Tugu Kartasura

5.1.3 Data Panjang Antrean dan Tundaan pada Bundaran

Data panjang antrean dan tundaan tertinggi didapatkan dari hasil pengukuran dan survei di lokasi penelitian. Hasil dari pengamatan di lokasi dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Panjang Antrean dan Tundaan pada Bundaran

Jl. Raya Boyolali-Kartosuro		Jl Jendral A. Yani		Jl. Raya Yogyakarta - Solo	
Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)
124	31	155	30	72	12

5.1.4 Data Kecepatan Kendaraan Memasuki Bundaran

Data kecepatan rata-rata pada bundaran didapatkan dengan cara survei langsung di lokasi penelitian menggunakan alat bantu *speed gun*. Data hasil surveinya bisa dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Kecepatan Rata-rata

Kecepatan Rata-Rata (km/jam)		
Jl. Raya Boyolali- Kartrosuro	Jl Jendral A. Yani	Jl. Raya Yogyakarta - Solo
32	31	33

5.1.5 Data Driving Behavior

Data *driving behavior* didapatkan langsung dari pengamatan dan pengukuran di lokasi penelitian. data yang diambil berupa jarak bersampingan antara kendaraan serta jarak depan belakang antara kendaraan disaat kendaraan berhenti dan bergerombolan, data diambil sebanyak 15 sampel. Data *driving behavior* dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 Data Driving Behavior

No	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
1	0,2	1	1	1
2	0,5	0,5	0,7	1,5
3	0,8	0,5	1	0,6
4	0,3	1,3	1,2	2
5	0,2	0,5	1	1
6	0,4	0,6	0,7	1
7	0,6	0,5	1	1
8	0,4	0,3	1,5	1
9	0,8	1	0,5	1
10	0,6	0,3	0,8	0,6
11	0,4	1	1	1
12	0,5	1	1	1
13	0,6	0,4	1	1
14	0,5	1	1,4	1
15	0,7	1	2	1

5.2 Kinerja Bundaran Eksisting menggunakan PKJI 2023

Perhitungan kinerja Bundaran Tugu Kartasura menggunakan formulir *RWEAV-I* dan *RWEAV-II* berdasarkan format PKJI 2023 yang berisikan tabel perhitungan geometri, arus lalu lintas, parameter geometri bagian jalinan, kapasitas,

dan kinerja lalu lintas. satuan kendaraan dikonversi untuk disamakan menjadi satuan mobil penumpang yaitu SMP/jam. Untuk hasil perhitungan dari satuan kend/jam menjadi SMP/jam menggunakan nilai EMP dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Konversi Satuan Arus Lalu Lintas

Tipe Kendaraan	Mobil Penumpang (MP)		Kendaraan Sedang (KS)		Bus Besar (BB)		Truk Besar (TB)		Sepeda Motor (SM)		Kendaraan bermotor total (KB)		
EMP	1,0		1,3		1,5		2,0		0,5				
Pendekat/ Gerakan	Kend/jam	SMP/jam	Kend/jam	SMP/jam	Kend/jam	SMP/jam	Kend/jam	SMP/jam	Kend/jam	SMP/jam	Kend/jam	SMP/jam	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
A	BKi	0		0		0		0		0	0	0	
	Lurus	333	333	41	53	5	7,5	9	18	1502	751	1890	1163
	Bka	341	341	59	77	13	19,5	64	128	1217	609	1694	1174
	Putar		0		0		0		0		0	0	0
	Total	674	674	100	130	18	27	73	146	2719	1360	3584	2337
B	BKi	328	328	81	105	17	25,5	21	42	1212	606	1659	1107
	Lurus	326	326	17	22	1	1,5	5	10	926	463	1275	823
	Bka		0		0		0		0		0	0	0
	Putar		0		0		0		0		0	0	0
	Total	654	654	98	127	18	27	26	52	2138	1069	2934	1929
C	BKi	367	367	17	22	4	6	10	20	1373	687	1771	1102
	Lurus		0		0		0		0		0	0	0
	Bka	431	431	44	57	6	9	7	14	2038	1019	2526	1530
	Putar		0		0		0		0		0	0	0
	Total	798	798	61	79	10	15	17	34	3411	1706	4297	2632

5.2.1 Perhitungan Bagian Jalinan Bundaran

1. Arus masuk bundaran (Q_{masuk})

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{masuk-A}} &= A_{\text{Lurus}} + A_{\text{Bka}} \\
 &= 1163 + 1174 \\
 &= 2337 \text{ SMP/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{masuk-B}} &= B_{\text{Bki}} + B_{\text{Lurus}} \\
 &= 1107 + 823 \\
 &= 1929 \text{ SMP/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Masuk-C}} &= C_{\text{Bki}} + C_{\text{Bka}} \\
 &= 1102 + 1530 \\
 &= 2632 \text{ SMP/jam}
 \end{aligned}$$

2. Arus menjalin (Q_w)

$$\begin{aligned}
 Q_{W-AB} &= A_{\text{Bka}} + C_{\text{Bka}} \\
 &= 1174 + 1530
 \end{aligned}$$

$$= 2704 \text{ SMP/jam}$$

$$\begin{aligned} Q_{W-BC} &= A_{Bka} + B_{Lurus} \\ &= 1174 + 823 \\ &= 1996 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{W-CA} &= B_{Lurus} + C_{Bka} \\ &= 823 + 1530 \\ &= 2353 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

3. Arus total (Q_{TOT})

$$\begin{aligned} Q_{T-AB} &= Q_A + C_{Bka} \\ &= 2337 + 1530 \\ &= 3867 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{T-BC} &= A_{Bka} + Q_B \\ &= 1174 + 1929 \\ &= 3103 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{T-CA} &= B_{Lurus} + Q_C \\ &= 823 + 2632 \\ &= 3454 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

4. Rasio menjalin (P_W)

$$\begin{aligned} P_{W-AB} &= \frac{Q_{W-AB}}{Q_{T-AB}} \\ &= \frac{2704}{3867} \\ &= 0,699 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{W-BC} &= \frac{Q_{W-BC}}{Q_{T-BC}} \\ &= \frac{1996}{3103} \\ &= 0,643 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{W-CA} &= \frac{Q_{W-CA}}{Q_{T-CA}} \\ &= \frac{2353}{3454} \\ &= 0,681 \end{aligned}$$

5.2.2 Kondisi Lingkungan

Berikut merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi lingkungan di Bundaran Tugu Kartasura.

1. Faktor koreksi ukuran kota (F_{UK})

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik daerah Sukoharjo 2024, jumlah penduduk sebesar 941.650 jiwa. Berdasarkan Tabel 3.3 ukuran kota masuk dalam kategori sedang, sehingga didapatkan nilai $F_{UK} = 0,94$.

2. Tipe lingkungan jalan

Dari hasil pengamatan di lapangan berdasarkan PKJI 2023 kelas tipe lingkungan jalan Bundaran Tugu Kartasura adalah komersial karena kondisi lingkungan jalan yang berdekatan dengan pertokoan, rumah makan, perkantoran dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.

3. Hambatan samping

Dari hasil pengamatan langsung di lokasi penelitian dan berdasarkan PKJI 2023 maka kelas hambatan samping Bundaran Tugu Kartasura adalah rendah yang dimana arus berangkat pada tempat masuk dan keluar bagian jalinan tidak terganggu dan tidak berkurang oleh hambatan samping, sehingga didapatkan nilai F_{RSU} sebesar 0,95.

5.2.3 Perhitungan Parameter Geometri Bagian Jalinan

Dari hasil pengamatan dan perhitungan langsung di lapangan didapatkan data geometri bagian jalinan dan bisa dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

a. Jalinan AB

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar masuk rata-rata } W_E &= \frac{(\text{Pendekat 1} + \text{pendekat 2})}{2} \\
 &= \frac{(8+11)}{2} \\
 &= 9,5 \\
 \text{Lebar jalinan } W_W &= 11 \\
 W_E/W_W &= \frac{9,5}{11} \\
 &= 0,864 \\
 \text{Panjang jalinan } L_W &= 44
 \end{aligned}$$

$$W_W/L_W = \frac{11}{44} = 0,250$$

b. Jalinan BC

$$\begin{aligned} \text{Lebar masuk rata-rata } W_E &= \frac{(\text{Pendekat 1} + \text{pendekat 2})}{2} \\ &= \frac{(12+18)}{2} \\ &= 15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar jalinan } W_W &= 21 \\ W_E/W_W &= \frac{15}{21} \\ &= 0,714 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang jalinan } L_W &= 26 \\ W_W/L_W &= \frac{21}{26} \\ &= 0,808 \end{aligned}$$

c. Jalinan CA

$$\begin{aligned} \text{Lebar masuk rata-rata } W_E &= \frac{(\text{Pendekat 1} + \text{pendekat 2})}{2} \\ &= \frac{(17+11)}{2} \\ &= 14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar jalinan } W_W &= 21 \\ W_E/W_W &= \frac{14}{21} \\ &= 0,667 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang jalinan } L_W &= 26 \\ W_W/L_W &= \frac{21}{26} \\ &= 0,808 \end{aligned}$$

Tabel 5. 7 Parameter Geometrik Bagian Jalinan

	Bagian Jalinan	Lebar masuk		Lebar masuk rata-rata W_E	Lebar jalinan W_W	W_E/W_W	Panjang jalinan L_W	W_W/L_W
		Pendekat 1	Pendekat 2					
1	AB	8	11	9,5	11	0,864	44	0,250
2	BC	12	18	15	21	0,714	26	0,808
3	CA	17	11	14	21	0,667	26	0,808

5.2.4 Perhitungan Kapasitas

1. Jalinan AB

$$\begin{aligned} \text{Nilai faktor } W_W &= 135 \times 11^{1,3} \\ &= 3049 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Nilai faktor } W_E/W_W &= (1 + 0,864)^{1,5} \\
&= 2,544 \\
\text{Nilai faktor } P_W &= (1 - 0,699/3)^{0,5} \\
&= 0,876 \\
\text{Nilai faktor } W_W/L_W &= (1 + 0,250)^{-1,8} \\
&= 0,669 \\
C_0 &= 3049 \times 2,544 \times 0,876 \times 0,669 \\
&= 4546 \text{ SMP/jam} \\
F_{UK} &= 0,94 \\
F_{RSU} &= 0,95 \\
C &= C_0 \times F_{UK} \times F_{RSU} \\
&= 4546 \times 0,94 \times 0,95 \\
&= 4059 \text{ SMP/jam}
\end{aligned}$$

2. Jalinan BC

$$\begin{aligned}
\text{Nilai faktor } W_W &= 135 \times 21^{1,3} \\
&= 7067 \\
\text{Nilai faktor } W_E/W_W &= (1 + 0,714)^{1,5} \\
&= 2,245 \\
\text{Nilai faktor } P_W &= (1 - 0,643/3)^{0,5} \\
&= 0,886 \\
\text{Nilai faktor } W_W/L_W &= (1 + 0,808)^{-1,8} \\
&= 0,344 \\
C_0 &= 7067 \times 2,245 \times 0,886 \times 0,344 \\
&= 4843 \text{ SMP/jam} \\
F_{UK} &= 0,94 \\
F_{RSU} &= 0,95 \\
C &= C_0 \times F_{UK} \times F_{RSU} \\
&= 4843 \times 0,94 \times 0,95 \\
&= 4325 \text{ SMP/jam}
\end{aligned}$$

3. Jalinan CA

$$\text{Nilai faktor } W_W = 135 \times 21^{1,3}$$

$$\begin{aligned}
&= 7067 \\
\text{Nilai faktor } W_E/W_W &= (1 + 0,667)^{1,5} \\
&= 2,152 \\
\text{Nilai faktor } P_W &= (1 - 0,681/3)^{0,5} \\
&= 0,879 \\
\text{Nilai faktor } W_W/L_W &= (1 + 0,808)^{-1,8} \\
&= 0,344 \\
C_0 &= 7067 \times 2,152 \times 0,879 \times 0,344 \\
&= 4605 \text{ SMP/jam} \\
F_{UK} &= 0,94 \\
F_{RSU} &= 0,95 \\
C &= C_0 \times F_{UK} \times F_{RSU} \\
&= 4605 \times 0,94 \times 0,95 \\
&= 4112 \text{ SMP/jam}
\end{aligned}$$

5.2.5 Kinerja Lalu Lintas

1. Jalinan AB

$$\begin{aligned}
\text{Arus bagian jalinan } (Q_{TOT}) &= 3867 \text{ SMP/jam} \\
\text{Derajat kejenuhan } (D_J) &= \frac{Q_{TOT}}{C} \\
&= \frac{3867}{4059} \\
&= 0,95 \\
\text{Tundaan lalu lintas bagian jalinan} &= \frac{1}{(0,59186 - 0,52525 \times D_J)} - (1 - D_J) \times 2 \\
&= \frac{1}{(0,59186 - 0,52525 \times 0,95)} - (1 - 0,95) \times 2 \\
&= 10,828 \text{ detik/SMP} \\
Q_{TOT} \times T_r &= 3867 \times 10,828 \\
&= 41867 \text{ detik/jam} \\
\text{Peluan antrean bundaran } (P_a) & \\
\text{Batas bawah} &= 9,41 \times D_J + 29,967 \times D_J^{4,619} \\
&= 9,41 \times 0,95 + 29,967 \times 0,95^{4,619}
\end{aligned}$$

$$= 32,90 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Batas atas} &= 26,65 \times D_J - 55,55 \times D_J^2 + 108,57 \times D_J^3 \\ &= 26,65 \times 0,95 - 55,55 \times 0,95^2 + 108,57 \times 0,95^3 \\ &= 68,81 \% \end{aligned}$$

2. Jalinan BC

$$\text{Arus bagian jalinan (Q}_{TOT}) = 3103 \text{ SMP/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Derajat kejenuhan (D}_J) &= \frac{Q_{TOT}}{C} \\ &= \frac{3103}{4325} \\ &= 0,72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tundaan lalu lintas bagian jalinan} &= \frac{1}{(0,59186 - 0,52525 \times D_J)} - (1 - D_J) \times 2 \\ &= \frac{1}{(0,59186 - 0,52525 \times 0,72)} - (1 - 0,72) \times 2 \\ &= 4,087 \text{ detik/SMP} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{TOT} \times T_r &= 3103 \times 4,087 \\ &= 12681 \text{ detik/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Peluan antrean bundaran (P}_a)$$

$$\begin{aligned} \text{Batas bawah} &= 9,41 \times D_J + 29,967 \times D_J^{4,619} \\ &= 9,41 \times 0,72 + 29,967 \times 0,72^{4,619} \\ &= 13,22 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas atas} &= 26,65 \times D_J - 55,55 \times D_J^2 + 108,57 \times D_J^3 \\ &= 26,65 \times 0,72 - 55,55 \times 0,72^2 + 108,57 \times 0,72^3 \\ &= 30,63\% \end{aligned}$$

3. Jalinan CA

$$\text{Arus bagian jalinan (Q}_{TOT}) = 3454 \text{ SMP/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Derajat kejenuhan (D}_J) &= \frac{Q_{TOT}}{C} \\ &= \frac{3454}{4112} \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tundaan lalu lintas bagian jalinan} &= \frac{1}{(0,59186 - 0,52525 \times D_J)} - (1 - D_J) \times 2 \\ &= \frac{1}{(0,59186 - 0,52525 \times 0,84)} - (1 - 0,84) \times 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 6,318 \text{ detik/SMP} \\
Q_{TOT} \times Tr &= 4628 \times 6,318 \\
&= 21824 \text{ detik/jam} \\
\text{Peluan antrean bundaran (P}_a\text{)} & \\
\text{Batas bawah} &= 9,41 \times D_J + 29,967 \times D_J^{4,619} \\
&= 9,41 \times 0,84 + 29,967 \times 0,84^{4,619} \\
&= 21,30 \% \\
\text{Batas atas} &= 26,65 \times D_J - 55,55 \times D_J^2 + 108,57 \times D_J^3 \\
&= 26,65 \times 0,84 - 55,55 \times 0,84^2 + 108,57 \times 0,84^3 \\
&= 47,54\%
\end{aligned}$$

4. Tundaan lalu lintas bundaran (T_{LL})

$$\begin{aligned}
T_{LL} &= \sum_{i=1}^n \frac{Q_{TOT} \times Tr}{Q_{MASUK}} \\
&= \frac{(41867+12681+21824)}{(2337+1929+2632)} \\
&= 11,072 \text{ detik/SMP} \\
\text{Tundaan bundaran rata-rata} &= T_{LL} + T_G \\
&= 11,072 + 4 \\
&= 15,072 \text{ detik/SMP}
\end{aligned}$$

5.2.6 Hasil Analisis

Dari perhitungan yang sudah dilakukan di atas didapatkan nilai D_J pada bagian jalinan AB sebesar 0,95, D_J pada bagian jalinan BC sebesar 0,72, D_J pada bagian jalinan CA sebesar 0,84, tundaan lalu lintas bundaran (T_{LL}) sebesar 11,072 detik/SMP, nilai tundaan bundaran rata-rata sebesar 15,072 detik/SMP, dan peluang antrean bundaran (P_a) tertinggi antara 32,90-68,81%. Jika cek kualitas bundaran diukur menggunakan derajat kejenuhan $D_J < 0,85$, maka bundaran perlu dilakukan perbaikan karena nilai derajat kejenuhan pada bagian jalinan AB melebihi 0,85 dan yang lainnya sudah mendekati angka 0,85 sesuai dengan PKJI 2023. Dari pengamatan faktor yang mempengaruhi nilai D_J di Bundaran Tugu Kartasura adalah nilai volume kendaraan yang besar dan lebar masuk dan lebar jalinan pada bundaran yang kurang, sehingga sangat mempengaruhi kinerja bundaran tersebut dan rambu-

rambu untuk mengedukasi kendaraan untuk melawati bundaran juga sangat mempengaruhi karena dari hasil pengamatan langsung beberapa pengendara yang melewati bundaran belum sepenuhnya paham akan aturan penggunaan bundaran, seperti contohnya prioritaskan pengendara yang sudah berada di jalinan terlebih dahulu untuk keluar dari jalinan sehingga pengendara yang ingin memasuki jalinan harus berhenti terlebih dahulu. Fakta yang terjadi di lokasi penelitian masih banyak pengendara yang egois sehingga tidak memperhatikan aturan tersebut.

5.3 Kalibrasi dan Validasi *PTV VISSIM*

Pemodelan Bundaran Tugu Kartasura menggunakan *software VISSIM*. *output* yang akan di peroleh dari pemodelan *PTV VISSIM* ini adalah volume kendaraan, panjang antrean, dan tundaan pada bundaran. Validasi dilakukan untuk menguji apakah hasil pemodelan sudah sesuai dengan data yang diambil di lapangan atau belum.

5.3.1 *Output* pemodelan sebelum kalibrasi

Output volume dari pemodelan menggunakan *software VISSIM* ini akan diuji menggunakan rumus GEH, karena rumus GEH merupakan gabungan antara perbedaan nilai relatif dan mutlak dalam uji T. untuk *output* kecepatan, Panjang antrean, dan tundaan disini diuji menggunakan uji MAPE, Karena uji MAPE menunjukkan seberapa akurat suatu prediksi dengan mengukur persentase penyimpangan antara hasil perkiraan dan nilai sebenarnya dalam suatu periode. Metrik ini membantu mengidentifikasi apakah estimasi yang dihasilkan terlampaui tinggi atau rendah. Secara teknis, MAPE dihitung dengan mengambil rata-rata dari nilai absolut kesalahan prediksi, yang kemudian dikonversi ke bentuk persentase dengan mengalikannya dengan 100%. Untuk analisis ini, data yang digunakan mencakup beberapa parameter lalu lintas yang telah dimodelkan menggunakan *Software VISSIM*, berikut merupakan data volume kendaraan, kecepatan, tundaan, dan panjang antrean, bisa dilihat dalam Tabel 5.8 hingga Tabel 5.11.

Tabel 5. 8 Volume Eksisting Sebelum Kalibrasi

Nama Lengan	Volume Eksisting (kend/jam)	Volume PTV VISSIM (kend/jam)	GEH
Jl Raya Boyolali - Kartasura	3584	1904	32
Jl Jendral A.Yani	2934	1808	23
Jl Yogyakarta - Solo	4297	3099	20

Dari Tabel 5.8 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai GEH untuk parameter volume sebelum kalibrasi masih belum memenuhi syarat yang dimana nilainya masih diatas 5 sehingga perlu dilakukan kalibrasi agar nilai GEH dapat memenuhi syarat yaitu $GEH < 5$.

Tabel 5. 9 Panjang Antrean Sebelum Kalibrasi

Nama Lengan	Panjang Antrean Eksisting (m)	Panjang Antrean PTV VISSIM (m)	MAPE (%)
Jl Raya Boyolali - Kartasura	124	473	218
Jl Jendral A.Yani	155	472	204
Jl Yogyakarta - Solo	72	229	218

Dari Tabel 5.9 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai MAPE untuk parameter panjang antrean sebelum kalibrasi masih belum memenuhi syarat yang dimana nilainya masih diatas 50% sehingga perlu dilakukan kalibrasi agar nilai MAPE dapat memenuhi syarat yaitu $MAPE < 50\%$.

Tabel 5. 10 Tundaan Sebelum Kalibrasi

Nama Lengan	Tundaan Eksisting (detik/SMP)	Tundaan PTV VISSIM (detik/SMP)	MAPE (%)
Jl Raya Boyolali - Kartasura	31	82	165
Jl Jendral A.Yani	30	141	371
Jl Yogyakarta - Solo	12	8	33

Dari Tabel 5.10 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai MAPE untuk parameter tundaan sebelum kalibrasi masih belum memenuhi syarat yang dimana

nilainya masih diatas 50% sehingga perlu dilakukan kalibrasi agar nilai MAPE dapat memenuhi syarat yaitu $MAPE < 50\%$.

Tabel 5. 11 Kecepatan Sebelum Kalibrasi

Nama Lengan	Kecepatan Rata-rata (km/jam)	Kecepatan Rata-rata PTV VISSIM (km/jam)	MAPE (%)
Jl Raya Boyolali - Kartasura	32	25	22
Jl Jendral A.Yani	31	28	9
Jl Yogyakarta - Solo	33	26	22

Dari Tabel 5.11 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai MAPE untuk parameter kecepatan sebelum kalibrasi sudah memenuhi syarat yang dimana nilainya dibawah 50%.

5.3.2 Output Pemodelan Setelah Kalibrasi

Dari hasil pemodelan VISSIM masih terdapat beberapa *output* yang belum sesuai dengan kondisi asli di lapangan atau belum lulus uji GEH dan uji MAPE. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah mengubah angka *driving behavior*, yang dimana angka *driving behavior default* itu diperuntukan untuk kondisi pengendara yang ada di Eropa khususnya di Jerman dengan agresivitasnya yang rendah dibandingkan di Indonesia yang memiliki agresivitas pengendara yang tinggi. Dengan mengganti komponen yang ada di *driving behavior* pemodelan dapat mempresentasikan dengan kondisi asli di lapangan. Tabel 5.12 berikut merupakan beberapa komponen yang akan diubah pada parameter *driving behavior*.

Tabel 5. 12 Parameter Driving Behavior yang Diganti

Parameter yang Diganti	Komponen yang Diganti	Nilai	
		Sebelum	Sesudah
<i>Car Following</i>	<i>Average Standstill Distance</i>	2 m	0,50 m
	<i>Additive Part of Safety Distance</i>	2 m	0,80 m
	<i>Multiplicative Part of Safety Distance</i>	3 m	1 m
<i>Lateral</i>	<i>Desired Position at Free Flow</i>	<i>Middle of Lane</i>	<i>Any</i>
	<i>Minimum Distance Driving</i>	1 m	1 m

Lanjutan Tabel 5. 12 Parameter *Driving Behavior* yang Diganti

Parameter yang Diganti	Komponen yang Diganti	Nilai	
		Sebelum	Sesudah
<i>Lateral</i>	<i>Overtake On Same Lane</i>	<i>None</i>	<i>on left</i> <i>on right</i>

Tabel 5.12 merupakan beberapa komponen yang diubah seperti pada jendela *Car Following* merupakan model yang digunakan untuk mengontrol perilaku pengendara atau pengemudi terhadap pengendara yang lainnya yang berada pada jalur yang sama model ini dikembangkan oleh Gipps (1981) dalam Rakha dan Wang (2009) dalam Ramadhona dkk (2019). Di dalam menu *Car Following* sendiri ada komponen *Average Standstill Distance* atau jarak rata-rata minimum antar kendaraan berhenti dihitung dari bumper ke bumper yang sebelumnya 2 m menjadi 0,50 m, *Additive Part of Safety Distance* atau jarak aman tambahan dalam kecepatan yang lebih besar yang sebelumnya memiliki angka *default* 2 m menjadi 0,80 m, *Multiplicative Part of Safety Distance* atau faktor yang mengatur perubahan jarak aman antara kendaraan ketika kecepatan bertambah yang sebelumnya memiliki angka *default* 3 m menjadi 1 m. Dan pada jendela *lateral* ada komponen *Desired Position at Free Flow* adalah parameter yang menentukan posisi yang diinginkan kendaraan dalam lajunya saat kondisi arus bebas (*free flow*) yang sebelumnya *Middle of Lane* menjadi *Any*. *Minimum Distance Standing* digunakan untuk mengatur jarak aman kendaraan dengan kendaraan lain saat keduanya dalam kondisi berhenti sebelumnya memiliki angka default 1m menjadi 0,50 m. *Minimum Distance Driving* digunakan untuk mengatur jarak aman kendaraan saat melaju dengan kecepatan 50 km/jam tidak ada perubahan atau angka default 1 m. *Overtake On Same Lane* digunakan untuk mengkonfigurasi fleksibilitas pengemudi dalam melakukan manuver mendahului atau menyalip kendaraan lain sebelumnya dari *None* diubah menjadi *on left* dan *on right*. Perubahan *driving behavior* ini bertujuan agar hasil dari simulasi VISSIM bisa lebih mendekati dengan keadaan asli di lapangan. Perubahan pada angka-angka di atas dapat dilakukan dengan cara *trial and error* atau dengan data dari hasil survei di lapangan. Hasil permodelan setelah kalibrasi untuk parameter volume, panjang antrean, tundaan, dan kecepatan bisa

dilihat pada Tabel 5.13 hingga Tabel 5.16. Untuk rekapitulasi dari hasil pemodelan sesudah dan sebelum kalibrasi bisa dilihat pada Tabel 5.17. Untuk perbandingan kondisi pemodelan sesudah dan sebelum kalibrasi bisa dilihat pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.



Gambar 5. 4 Kondisi Pemodelan Sebelum Kalibrasi



Gambar 5. 5 Kondisi Pemodelan Setelah Kalibrasi

Tabel 5. 13 Volume Eksisting Setelah Kalibrasi

Nama Lengan	Volume Eksisting (kend/jam)	Volume PTV VISSIM (kend/jam)	GEH
Jl Raya Boyolali - Kartasura	3584	3486	1,648
Jl Jendral A.Yani	2934	2909	0,463
Jl Yogyakarta - Solo	4297	4119	2,744

Dari Tabel 5.13 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai GEH untuk parameter volume setelah kalibrasi telah memenuhi syarat yang dimana nilainya dibawah 5 sehingga pemodelan telah dikatakan aman atau sudah sesuai seperti keadaan dilapangan. Nilai GEH sudah memenuhi syarat yaitu $GEH < 5$.

Tabel 5. 14 Panjang Antrean Eksisting Setelah Kalibrasi

Nama Lengan	Panjang Antrean Eksisting (m)	Panjang Antrean PTV VISSIM (m)	MAPE (%)
Jl Raya Boyolali - Kartasura	124	119	4
Jl Jendral A.Yani	155	149	4
Jl Yogyakarta - Solo	72	43	40

Dari Tabel 5.14 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai MAPE untuk parameter panjang antrean setelah kalibrasi sudah memenuhi syarat yang dimana nilainya dibawah 50% sehingga pemodelan telah dikatakan aman atau sudah sesuai seperti keadaan dilapangan. Nilai MAPE telah memenuhi syarat yaitu $MAPE < 50\%$.

Tabel 5. 15 Tundaan Eksisting Setelah Kalibrasi

Nama Lengan	Tundaan Eksisting (detik/SMP)	Tundaan PTV VISSIM (detik/SMP)	MAPE (%)
Jl Raya Boyolali - Kartasura	31	26	17
Jl Jendral A.Yani	30	32	6
Jl Yogyakarta - Solo	12	10	14

Dari Tabel 5.15 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai MAPE untuk parameter tundaan setelah kalibrasi telah memenuhi syarat yang dimana nilainya

dibawah 50% sehingga pemodelan telah dikatakan aman atau sudah sesuai seperti keadaan dilapangan. Nilai MAPE sudah memenuhi syarat yaitu $MAPE < 50\%$.

Tabel 5. 16 Kecepatan Eksisting Setelah Klibrasi

Nama Lengan	Kecepatan (km/jam)	Kecepatan PTV VISSIM (km/jam)	MAPE (%)
Jl Raya Boyolali - Kartasura	32	24	25
Jl Jendral A.Yani	31	24	20
Jl Yogyakarta - Solo	33	25	23

Dari Tabel 5.16 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai MAPE untuk parameter kecepatan setelah kalibrasi sudah memenuhi syarat yang dimana nilainya dibawah 50%.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Parameter Sebelum dan Setelah Kalibrasi

Nama Lengan	Kondisi	Parameter			
		Volume Lalu Lintas	Panjang Antrean	Tundaan	Kecepatan
		kend/jam	m	detik/SMP	km/jam
Jl Raya Boyolali - Kartasura	Sebelum Kalibrasi	1904	473	82	25
	Setelah Kalibrasi	3486	119	26	24
Jl Jendral A.Yani	Sebelum Kalibrasi	1808	472	141	28
	Setelah Kalibrasi	2909	149	32	24
Jl Yogyakarta - Solo	Sebelum Kalibrasi	3099	229	8	26
	Setelah Kalibrasi	4119	43	10	25

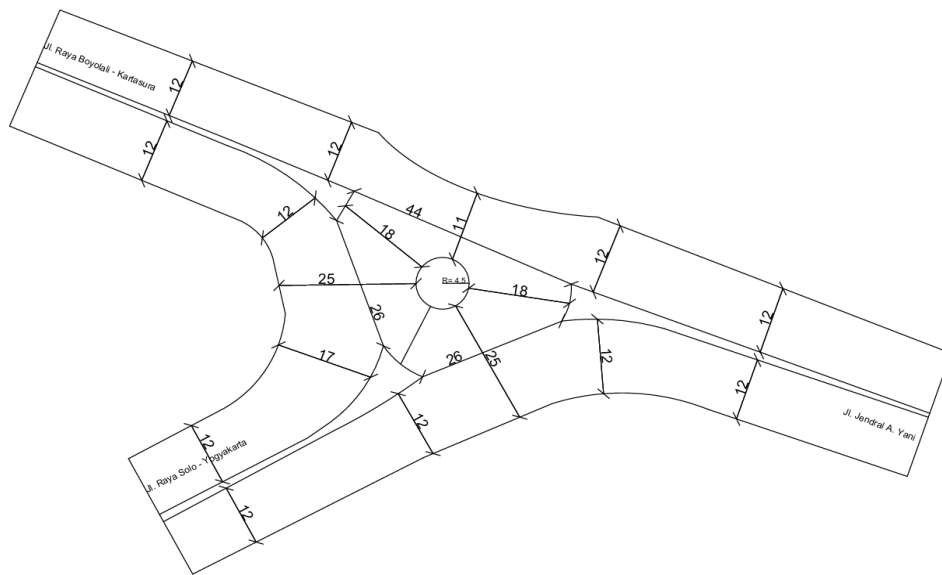
5.4 Perencanaan Alternatif

Tujuan alternatif yang akan dibuat adalah untuk mengurangi nilai panjang antrean dan tundaan pada bundaran. Ada 3 alternatif yang akan di buat, yang pertama adalah dengan cara merubah geometri jalan di setiap simpang atau ruas

jalan, yang kedua adalah dengan cara merubah geometri di bagian jalinan, dan yang ketiga adalah menggabungkan antara kedua alternatif yang telah dibuat tadi untuk mencari nilai panjang antrean dan tundaan yang terbaik.

5.4.1 Alternatif I

Pada alternatif I ini akan dilakukan beberapa perubahan pada geometri setiap simpang atau ruas jalan yang dimana lebar ruas jalan sebelumnya adalah 8 m diubah menjadi 12 m. Tabel 5.18 dan Tabel 5.19 berikut merupakan hasil rekapitulasi nilai panjang antrean dan tundaan pada alternatif I dan juga perbandingan dengan data eksisting dari hasil pemodelan simulasi *PTV VISSIM*. Perubahan pada geometri bisa dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5. 6 Geometri Bundaran Tugu Kartasura Alternatif I

Tabel 5. 18 Perbandingan Panjang Antrean Alternatif I Dengan Eksisting

No	Nama Lengan	Panjang Antrean Eksisting (m)	Panjang Antrean Alternatif I (m)	Selisih (%)
1	Jl Raya Boyolali - Kartasura	119	11,88	-90
2	Jl Jendral A.Yani	149	40,52	-73
3	Jl Yogyakarta - Solo	43	13,3	-69

Dari Tabel 5.18 di atas dapat dinyatakan bahwa dengan melebarkan setiap simpang sebesar 4 m dapat mengurangi jumlah panjang antrean di Jl. Raya Boyolali – Kartasura sebesar 90% dari eksisting, Jl Jendral A. Yani berkurang sebesar 73% dari eksisting, dan di Jl Yogyakarta – Solo berkurang sebesar 69% dari eksisting.

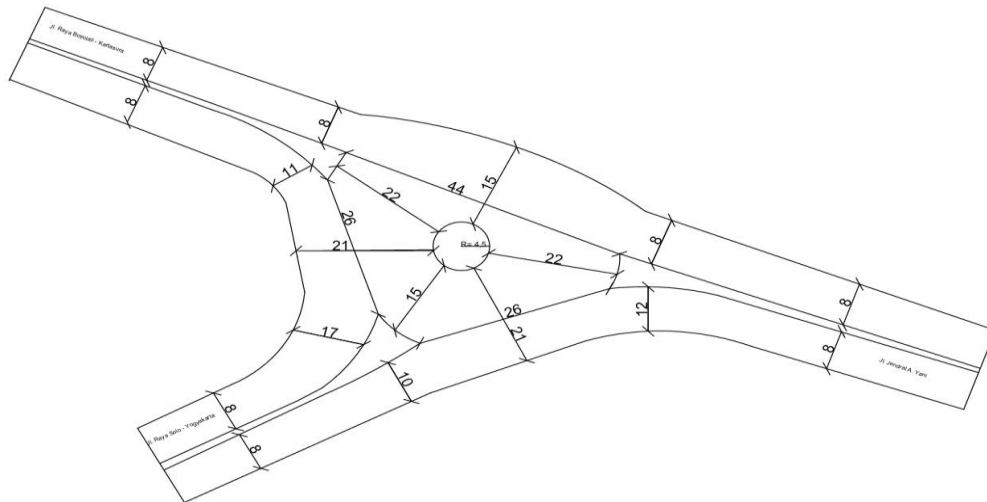
Tabel 5. 19 Perbandingan Tundaan Alternatif I Dengan Eksisting

No	Nama Lengan	Tundaan Eksisting (detik/SMP)	Tundaan Alternatif I (detik/SMP)	Selisih (%)
1	Jl Raya Boyolali - Kartasura	26	9,8	-62
2	Jl Jendral A.Yani	32	35,68	13
3	Jl Yogyakarta - Solo	10	5,52	-46

Berdasarkan Tabel 5.19 di atas dapat dinyatakan bahwa dengan melebarkan setiap simpang sebesar 4 m maka tundaan yang terjadi di Jl Raya Boyolali – Katasura mengalami penurunan hingga 62% dari eksisting, Jl Jendral A. Yani mengalami peningkatan sebesar 13% lebih besar dari pada eksisting, sedangkan Jl Yogyakarta – Solo mengalami penurunan sebesar 46% dari eksisting.

5.4.2 Alternatif II

Pada alternatif II ini akan dilakukan beberapa perubahan pada geometri bagian jalinan yang dimana setiap pendekat dilebarkan sebesar 4 m. Tabel 5.20 dan Tabel 5.21 berikut merupakan hasil rekapitulasi panjang antrean dan tundaan pada alternatif II dan juga perbandingan dengan data eksisting dari hasil pemodelan simulasi *PTV VISSIM*. Perubahan pada geometri bisa dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5. 7 Geometri Bundaran Tugu Kartasura Alternatif II

Tabel 5. 20 Perbandingan Panjang Antrean Alternatif II Dengan Eksisting

No	Nama Lengan	Panjang Antrean Eksisting (m)	Panjang Antrean Alternatif II (m)	Selisih (%)
1	Jl Raya Boyolali - Kartasura	119	187,43	57
2	Jl Jendral A.Yani	149	26,51	-82
3	Jl Yogyakarta - Solo	43	67,97	58

Berdasarkan Tabel 5.20 di atas dapat dinyatakan dengan melebarkan setiap pendekat pada bagian jalinan sebesar 4 m maka panjang antrean pada Jl Raya Boyolali – Katasura mengalami peningkatan sebesar 57% dari eksisting, Jl Jendral A. Yani mengalami penurunan sebesar 82% dari eksisting, sedangkan Jl Yogyakarta – Solo mengalami peningkatan sebesar 58% dari eksisting.

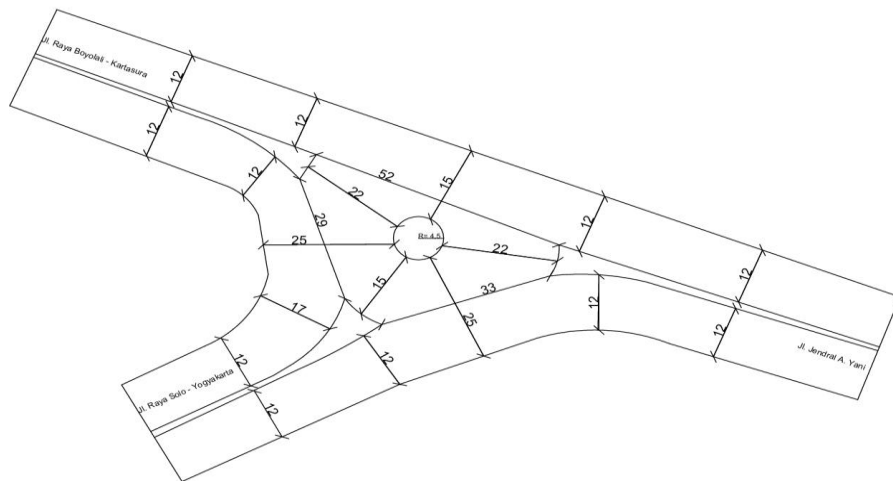
Tabel 5. 21 Perbandingan Tundaan Alternatif II Dengan Eksisting

No	Nama Lengan	Tundaan Eksisting (detik/SMP)	Tundaan Alternatif II (detik/SMP)	Selisih (%)
1	Jl Raya Boyolali - Kartasura	26	30,89	20
2	Jl Jendral A.Yani	32	22,86	-28
3	Jl Yogyakarta - Solo	10	10,55	2

Berdasarkan Tabel 5.21 di atas dapat dinyatakan dengan melebarkan setiap pendekat pada bagian jalinan sebesar 4 m maka tundaan pada Jl Raya Boyolali – Katasura mengalami peningkatan sebesar 20% dari eksisting, Jl Jendral A. Yani mengalami penurunan sebesar 28% dari eksisting, sedangkan Jl Yogyakarta – Solo mengalami peningkatan sebesar 2% dari eksisting.

5.4.3 Alternatif III

Pada alternatif III ini merupakan gabungan antara alternatif I dan alternatif II. Tabel 5.22 dan Tabel 5.23 berikut merupakan hasil rekapitulasi panjang antrean dan tundaan pada alternatif III dan juga perbandingan dengan data eksisting dari hasil pemodelan simulasi *PTV VISSIM*. Perubahan pada geometri bisa dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5. 8 Geometri Bundaran Tugu Kartasura Alternatif III

Tabel 5. 22 Perbandingan Panjang Antrean Alternatif III Dengan Eksisting

No	Nama Lengan	Panjang Antrean Eksisting (m)	Panjang Antrean Alternatif III (m)	Selisih (%)
1	Jl Raya Boyolali - Kartasura	119	21,63	-82
2	Jl Jendral A.Yani	149	12,75	-91
3	Jl Yogyakarta - Solo	43	8,59	-80

Berdasarkan Tabel 5.22 di atas dapat dinyatakan dengan menggabungkan alternatif 1 dan 2 maka panjang antrean pada Jl Raya Boyolali – Katasura mengalami penurunan sebesar 82% dari eksisting, Jl Jendral A. Yani mengalami penurunan sebesar 91% dari eksisting, sedangkan Jl Yogyakarta – Solo mengalami penurunan sebesar 80% dari eksisting.

Tabel 5. 23 Perbandingan Tundaan Alternatif III Dengan Eksisting

No	Nama Lengan	Tundaan Eksisting (detik/SMP)	Tundaan Alternatif III (detik/SMP)	Selisih (%)
1	Jl Raya Boyolali - Kartasura	26	9,05	-65
2	Jl Jendral A.Yani	32	7,92	-75
3	Jl Yogyakarta - Solo	10	4,26	-59

Berdasarkan Tabel 5.23 di atas dapat dinyatakan dengan menggabungkan alternatif 1 dan 2 maka tundaan pada Jl Raya Boyolali – Katasura mengalami penurunan sebesar 65% dari eksisting, Jl Jendral A. Yani mengalami penurunan sebesar 75% dari eksisting, sedangkan Jl Yogyakarta – Solo mengalami penurunan sebesar 59% dari eksisting.

5.4.4 Pembahasan

Sebelumnya dari penelitian tesis Kusumasari (2011) didapatkan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,69 dan tundaan sebesar 6,58 detik/SMP. Sedangkan pada penelitian ini didapatkan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,95 dan tundaan sebesar 15,072 detik/SMP.

Berdasarkan uraian perhitungan di atas telah didapatkan beberapa alternatif yang dapat dilihat pada Tabel 5.24 – 5.25 serta pada Gambar 9 – 10 sebagai diagram perbandingan nilai panjang antrean dan tundaan. Pada alternatif I dilakukan perubahan berupa pelebaran jalan di setiap ruas jalan sebesar 4 m di mana pada ruas Jl Boyolali – Kartasura yang sebelumnya memiliki lebar ruas jalan dan pendekat 1 sebesar 8 m lalu dilakukan pelebaran menjadi 12 m, Jl Jendral A. Yani yang sebelumnya memiliki lebar ruas jalan 8 m dan lebar jalinan (W_w) sebesar 21 m dilakukan pelebaran menjadi 12 m dan lebar jalinan (W_w) menjadi 25 m, serta di Jl

Yogyakarta - Solo yang sebelumnya memiliki lebar ruas jalan 8 m dan lebar jalinan (W_w) sebesar 21 m dilakukan pelebaran menjadi 12 m dan lebar jalinan (W_w) menjadi 25 m. Berdasarkan hasil pemodelan alternatif I terjadi penurunan panjang antrean sebesar 90% pada ruas Jl. Raya Boyolali – Kartasura yang sebelumnya 119 m menjadi 12 m. Serta terjadi penurunan waktu tundaan sebesar 62% yang sebelumnya 26 detik/SMP menjadi 10 detik/SMP. Pada ruas Jl. Jendral A. Yani juga terjadi penurunan pada panjang antrean sebesar 73% dari yang sebelumnya 149 m menjadi 41 m. Tetapi terjadi peningkatan waktu tundaan sebesar 13% yang sebelumnya 32 detik/SMP menjadi 36 detik/SMP. Pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo terjadi penurunan panjang antrean sebesar 69% yang sebelumnya 43 m menjadi 13 m. selain itu juga mengalami penurunan waktu tundaan sebesar 46% yang sebelumnya 10 detik/SMP menjadi 6 detik/SMP.

Pada alternatif II dilakukan perubahan berupa pelebaran bagian jalinan sebesar 4 m. Pada jalinan AB yang sebelumnya memiliki lebar pendekat 2 (W_2) sebesar 18 m diperlebar menjadi 22 m dan lebar jalinan (W_w) yang sebelumnya 11 m diperlebar menjadi 15 m. Pada jalinan BC yang sebelumnya memiliki lebar pendekat 2 (W_2) sebesar 18 m diperlebar menjadi 22 m. Pada jalinan CA yang sebelumnya memiliki lebar pendekat 2 (W_2) sebesar 11 m diperlebar menjadi 15 m. Berdasarkan hasil pemodelan alternatif II terjadi peningkatan panjang antrean sebesar 57% pada ruas Jl. Raya Boyolali – Kartasura yang sebelumnya 119 m menjadi 187 m dan juga terjadi peningkatan waktu tundaan sebesar 20% yang sebelumnya 26 detik/SMP menjadi 31 detik/SMP. Pada ruas Jl. Jendral A. Yani juga terjadi penurunan pada panjang antrean sebesar 82% dari yang sebelumnya 149 m menjadi 27 m dan terjadi peningkatan waktu tundaan sebesar 28% yang sebelumnya 32 detik/SMP menjadi 23 detik/SMP. Pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo terjadi peningkatan panjang antrean sebesar 58% yang sebelumnya 43 m menjadi 68 m selain itu juga mengalami peningkatan waktu tundaan sebesar 2% yang sebelumnya 10 detik/SMP menjadi 11 detik/SMP.

Alternatif III merupakan gabungan antara alternatif I dan II. Berdasarkan hasil pemodelan, terjadi penurunan panjang antrean di ruas Jl. Boyolali - Kartasura sebesar 82% yang sebelumnya 119 m menjadi 22 m dan juga terjadi penurunan

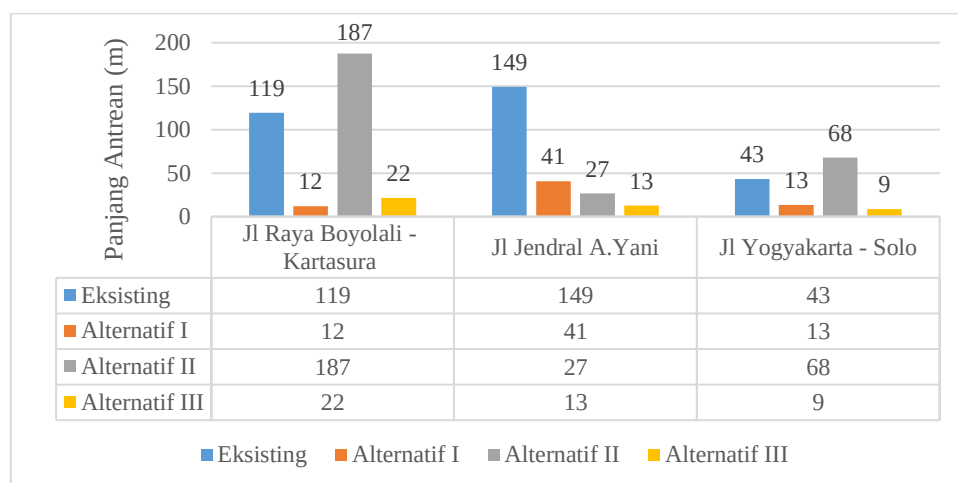
waktu tundaan sebesar 65% yang sebelumnya 26 detik/SMP menjadi 9 detik/SMP. Pada ruas Jl. Jendral A. Yani juga terjadi penurunan pada panjang antrean sebesar 91% dari yang sebelumnya 149 m menjadi 13 m dan terjadi penurunan waktu tundaan sebesar 75% yang sebelumnya 32 detik/SMP menjadi 8 detik/SMP. Pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo terjadi penurunan panjang antrean sebesar 80% yang sebelumnya 43 m menjadi 9 m selain itu juga mengalami penurunan waktu tundaan sebesar 59% yang sebelumnya 10 detik/SMP menjadi 4 detik/SMP.

Tabel 5. 24 Rekapitulasi Panjang Antrean Bundaran Tugu Kartasura

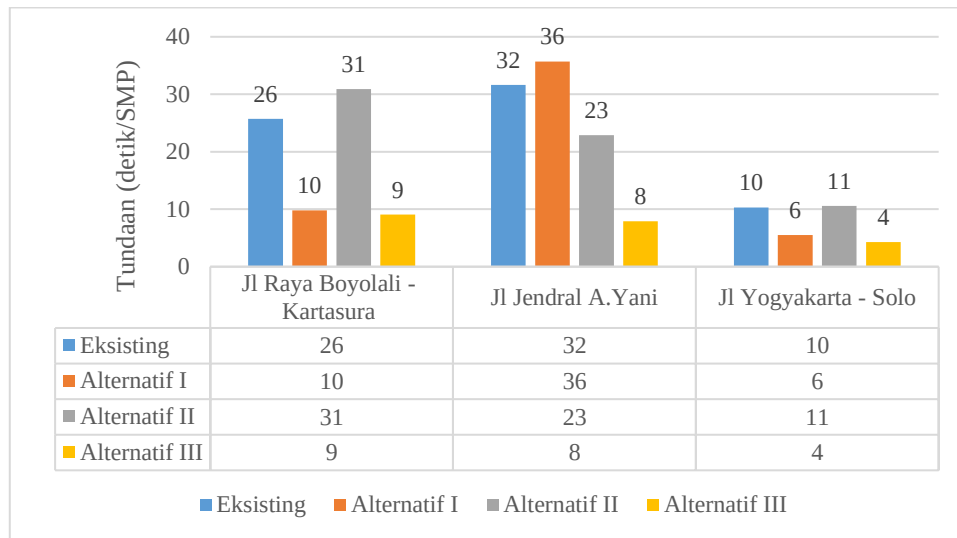
Lengan	Panjang Antrean Eksisting (m)	Panjang Antrean Alternatif I (m)	Panjang Antrean Alternatif II (m)	Panjang Antrean Alternatif III (m)
Jl Raya Boyolali - Kartasura	119	12	187	22
Jl Jendral A.Yani	149	41	27	13
Jl Yogyakarta - Solo	43	13	68	9

Tabel 5. 25 Rekapitulasi Tundaan Bundaran Tugu Kartasura

Lengan	Tundaan Eksisting (detik/SMP)	Tundaan Alternatif I (detik/SMP)	Tundaan Alternatif II (detik/SMP)	Tundaan Alternatif III (detik/SMP)
Jl Raya Boyolali - Kartasura	26	10	31	9
Jl Jendral A.Yani	32	36	23	8
Jl Yogyakarta - Solo	10	6	11	4



Gambar 5. 9 Diagram Perbandingan Nilai Panjang Antrean



Gambar 5. 10 Diagram Perbandingan Nilai Tundaan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan diperoleh Kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil analisis eksisting menggunakan perhitungan PKJI 2023 didapatkan hasil tertinggi pada jalinan AB dengan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,95, nilai tundaan lalu lintas bagian jalinan bundaran sebesar 10,828 detik/SMP, nilai T_{LL} sebesar 11,072 detik/SMP, nilai tundaan bundaran rata-rata sebesar 15,072 detik/SMP, dan peluang antrean tertinggi antara 32,90% – 68,81%.
2. Hasil analisis eksisting menggunakan *software PTV VISSIM* didapatkan nilai panjang antrean di Jl. Boyolali – Kartasura sebesar 119 m, pada ruas Jl. Jendral A. Yani sebesar 149 m, pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo sebesar 43 m. Sedangkan nilai tundaan di Jl. Boyolali – Kartasura sebesar 26 detik/SMP, pada ruas Jl. Jendral A. Yani sebesar 32 detik/SMP, pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo sebesar 10 detik/SMP.
3. Alternatif terbaik yang digunakan adalah alternatif 1 karena dengan penerapan alternatif 1 ini panjang antrean pada ruas Jl. Raya Boyolali – Kartasura berkurang sebesar 90 % dari eksisting yang sebelumnya 119 m menjadi 12 m. Serta terjadi penurunan waktu tundaan sebesar 62% yang sebelumnya 26 detik/SMP menjadi 10 detik/SMP. Pada ruas Jl. Jendral A. Yani juga terjadi penurunan pada panjang antrean sebesar 73% dari yang sebelumnya 149 m menjadi 41 m. Akan tetapi terjadi peningkatan waktu tundaan sebesar 13% yang sebelumnya 32 detik/SMP menjadi 36 detik/SMP namun peningkatannya tidak terlalu signifikan. Pada ruas Jl. Yogyakarta – Solo terjadi penurunan panjang antrean sebesar 69% yang sebelumnya 43 m menjadi 13 m. selain itu juga mengalami penurunan waktu tundaan sebesar 46% yang sebelumnya 10

detik/SMP menjadi 6 detik/SMP. Dengan terjadi penurunan angka panjang antrean dan tundaan yang signifikan dan biaya yang tidak terlalu besar dibandingkan dengan alternatif III sehingga pada alternatif I ini lebih efisien dibandingkan dengan alternatif lainnya.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode perhitungan PKJI 2023 dan pemodelan dengan *software PTV VISSIM* terdapat beberapa saran yang bisa dilakukan. Berikut merupakan sejumlah saran perbaikan yang dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kinerja Bundaran Tugu Kartasura.

1. Perlu dilakukan pelebaran jalan pada setiap ruas jalan yang akan memasuki dan keluar Bundaran Tugu Kartasura, agar ruang tunggu memasuki bundaran lebih besar dan dapat menampung volume yang lebih besar sehingga dapat menurunkan nilai panjang antrean dan tundaan.
2. Perlu menambahkan rambu lalu lintas contohnya rambu perintah mengikuti arah yang ditunjuk atau perintah mengelilingi bundaran yaitu berputar mengikut arah jarum jam, rambu peringatan bundaran di depan sehingga pengemudi dapat mengurangi kecepatan dan bersiap untuk memasuki bundaran, dan rambu prioritas untuk menandakan bahwa pengemudi yang akan memasuki bundaran memberikan prioritas pada pengemudi yang sudah berada duluan di bundaran.
3. Dilakukan penelitian lanjutan untuk mencari perbandingan pengaruh dari pembukaan Tol Jogja - Solo terhadap volume dan kinerja Bundaran Tugu Kartasura.
4. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan koordinasi dengan simpang terdekat dari Bundaran Tugu Kartasura.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, Mohamad Donie., & Abduloh, Ade Mulya. (2023). Simulasi Rekayasa Lalu Lintas Terhadap Kemacetan Bundaran Kadipaten. *Jurnal Konstruksia*, 15(1), 113. Bandung.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sukoharjo. *Jumlah Penduduk Menurut Kelompok Umur dan Jenis Kelamin di Kabupaten Sukoharjo*, 2024.
- C. Jotin Khisty. (2003). *Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi Edisi Ke-3 Jilid 1*. Terjemahan oleh Fidel Miro. 2005. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023. *Kementerian PUPR*, Jakarta.
- Fatimah S. (2019). Pengantar Transportasi. *Myria Publisher*, 112.
- Google Earth. (2024). Bundaran Kartasura pada Google Earth. Tersedia pada: <https://earth.google.com/web> Diakses pada tanggal 30 Juni 2024.
- Gustavsson, F., (2007), *New Transportation Research Progress*, Nova Publishers.
- Hernawan, Brian Rizka. 2012. *Analisis kinerja simpang tak bersinyal samirono, yogyakarta. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hobbs,F.D. 1995. *Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Irza, Muhammad., Sugiarto, & Faisal, Ruhdi. (2019). Perencanaan Bundaran (*Roundabout*) Studi Kasus Simpang Tujuh Ulee Kareng , Banda Aceh. *Journal of The Civil Engineering Student*, 1(1), 8–14. Banda Aceh.
- Kusumasari, Wildi. 2011. Analisis Kinerja Simpang Tiga Menggunakan Aplikasi Program aaSIDRA 2.0 dan TRANSYT 11.1 (Studi Kasus : Simpang Tiga Bersinyal dan Bundaran Kartasura). *Tesis*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Munawar, A. 2004. *Manajemen Lalu Lintas Perkotaan*. Beta offset. Yogyakarta.
- Nurkafi, Aditya Yayang., Cahyo, Yosef., Winarto, Sigit., & Candra, Agata Iwan. (2019). Analisa Kinerja Simpang Tak Bersinyal Jalan Simpang Branggahan Ngadiluwih Kabupaten Kediri. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 2(1), 164.
- Pemerintahan Indonesia. (1993). PM RI No 43 Tahun 1993 Tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan. *Peraturan Pemerintah No 43 Tahun 1993*, 1–89.
- Priyatmoko, Tegar Nova., Kadarini, S. Nurlaily., & Sumiyattinah. (2018). Analisis

- Dan Evaluasi Kinerja Bundaran Tugu Jam Di Kota Sintang. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 5(3), 1–14. Kalimantan.
- Putro, Bayu Tri Bawono Adhari. (2016). Analisis Kinerja Bundaran Jombor , Yogyakarta (*The Analysis of Roundabout Performance in Jombor , Yogyakarta*). *Analisis Kinerja Bundaran Jombor. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rakha, W., dan Wang., W. (2009). Procedure for Calibrating Gipps Car-Following Model. *Journal of Transportation Research Board*. 2124(2124):113-124. DOI: 10.3141/2124-11
- Ratnaningsih, Dian. (2020). Koordinasi Sinyal Simpang Jalan Yang Berdekatan Dengan Permodelan Vissim: Study Kasus Simpang Pandanaran Dan Simpang Besi Jangkang Kabupaten Sleman. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Romadhona, Prima J., Ikhsan, Tsafiq Nur., & Prasetyo, Dika. (2019). *Aplikasi Pemodelan Lalu Lintas: PTV Vissim 9.0*. UII Press Yogyakarta (pp. 1–134).
- Saputro, Yayan Adi., & Umam, Khotibul. (2021). Analisis Kinerja Bundaran Tugu Pancasila Jl. Diponegoro Kabupaten Jepara. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 7(2/Nov), 19–24.
- Setiawan, Andika. (2022). Proyeksi Kinerja Tundaaan Pada Bundaran Monumen Selamat Datang, Jakarta. *Jurnal Konstruksia*, 13(1), 128.
- Susilo, B. H. (2015). *Buku Rekayasa Lalu Lintas (Edisi Revisi)*. Jakarta: Penerbit Universitas Trisakti.
- Tunggadewi, Roositta. (2018). *Evaluasi Kinerja Simpang Sebidang Dan Simpang Susun Dengan Metode Vissim (Studi Kasus: Simpang Condongcatur, Sleman, Yogyakarta)*. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Raya Boyolali – Kartasura Sesi Pagi

Hari : Sabtu		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 24 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Raya Boyolali - Kartasura		Sesi : Pagi									
No	Waktu	Belok Kanan					Lurus				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	06.30-06.45	245	64	8	1	16	197	51	4	2	1
2	06.45-07.00	348	87	22	9	17	248	49	7	1	1
3	07.00-07.15	341	93	15	6	14	286	70	7	3	2
4	07.15-07.30	393	119	10	10	7	283	60	7	0	1
5	07.30-07.45	401	139	21	16	17	200	45	11	1	2
6	07.45-08.00	249	108	27	5	20	234	70	12	2	0
7	08.00-08.15	210	99	24	1	13	243	68	8	1	0
8	08.15-08.30	188	119	21	1	12	211	84	8	0	0
9	08.30-08.45	181	115	27	2	8	243	95	9	2	1
10	08.45-09.00	168	104	17	3	15	221	85	8	2	0
11	09.00-09.15	194	105	13	4	9	207	91	1	2	1
12	09.15-09.30	174	98	11	1	7	192	82	4	0	0

Lampiran 2 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Jendral Ahmad Yani Sesi Pagi

Hari : Sabtu		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 24 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Jendral Ahmad Yani		Sesi : Pagi									
No	Waktu	Lurus					Belok Kiri				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	06.30-06.45	139	44	5	2	2	143	71	27	7	5
2	06.45-07.00	142	52	10	3	1	138	74	21	4	11
3	07.00-07.15	143	63	8	2	1	175	71	13	4	8
4	07.15-07.30	168	65	6	2	3	129	78	22	2	14
5	07.30-07.45	120	56	9	1	2	103	66	23	8	12
6	07.45-08.00	112	55	5	4	2	123	69	21	5	10
7	08.00-08.15	120	61	7	3	3	115	80	24	9	17
8	08.15-08.30	115	48	9	6	1	126	82	26	5	15
9	08.30-08.45	108	49	11	4	3	126	82	31	4	11
10	08.45-09.00	119	79	19	2	2	104	84	28	4	9
11	09.00-09.15	109	57	5	2	2	120	95	21	3	12
12	09.15-09.30	115	45	7	1	1	102	60	12	4	5

Lampiran 3 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Yogyakarta - Solo Sesi Pagi

Hari : Sabtu		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 24 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Yogyakarta - Solo		Sesi : Pagi									
No	Waktu	Belok Kanan					Belok Kiri				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	06.30-06.45	299	101	16	4	7	328	75	4	2	7
2	06.45-07.00	285	94	20	2	6	232	67	5	1	5
3	07.00-07.15	365	113	14	3	2	265	95	12	2	5
4	07.15-07.30	379	101	18	1	1	317	59	3	1	4
5	07.30-07.45	379	115	15	1	5	341	101	11	6	2
6	07.45-08.00	291	140	25	4	8	234	90	7	5	8
7	08.00-08.15	275	115	25	3	5	219	104	13	12	2
8	08.15-08.30	243	141	40	3	4	199	103	17	13	4
9	08.30-08.45	181	134	22	5	5	145	102	16	9	9
10	08.45-09.00	198	129	16	4	4	169	124	14	9	2
11	09.00-09.15	178	118	14	3	4	172	114	11	5	2
12	09.15-09.30	180	113	16	2	3	165	115	9	4	4

Lampiran 4 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Raya Boyolali - Kartasura Sesi Sore

Hari : Sabtu						Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura					
Tanggal : 24 Agustus 2024						Cuaca : Cerah					
Lengan : Jl. Raya Boyolali - Kartasura						Sesi : Sore					
No	Waktu	Belok Kanan					Lurus				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	15.00-15.15	214	118	8	21	8	181	94	3	5	2
2	15.15-15.30	147	154	8	2	7	192	130	7	1	5
3	15.30-15.45	219	131	9	5	2	311	131	6	5	0
4	15.45-16.00	203	177	5	6	8	203	81	5	3	2
5	16.00-16.15	82	59	4	2	4	251	105	8	7	3
6	16.15-16.30	136	124	12	7	13	309	87	9	3	0
7	16.30-16.45	213	119	6	6	7	235	89	5	1	3
8	16.45-17.00	207	150	10	5	5	250	77	7	1	2
9	17.00-17.15	229	100	7	4	16	279	85	3	1	0
10	17.15-17.30	273	118	10	0	9	225	100	4	1	0
11	17.30-17.45	204	138	9	1	2	200	70	3	5	4
12	17.45-18.00	211	102	3	0	1	185	73	2	0	2

Lampiran 5 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Jendral Ahmad Yani Sesi Sore

Hari : Sabtu		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 24 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Jendral Ahmad Yani		Sesi : Sore									
No	Waktu	Lurus					Belok Kiri				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	15.00-15.15	128	101	6	0	2	164	103	32	5	7
2	15.15-15.30	136	91	6	1	1	227	124	33	3	9
3	15.30-15.45	149	85	8	0	0	166	113	17	2	2
4	15.45-16.00	136	82	5	0	1	200	96	35	7	13
5	16.00-16.15	118	86	9	2	2	168	81	38	4	16
6	16.15-16.30	195	100	9	1	3	160	92	20	1	4
7	16.30-16.45	163	94	11	2	1	162	95	24	3	3
8	16.45-17.00	156	110	11	0	3	189	106	30	2	9
9	17.00-17.15	145	83	13	3	3	132	88	11	0	2
10	17.15-17.30	160	93	7	0	0	189	98	14	0	5
11	17.30-17.45	143	69	6	0	0	132	82	13	1	1
12	17.45-18.00	112	73	4	0	1	144	80	14	3	5

Lampiran 6 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Yogyakarta - Solo Sesi Sore

Hari : Sabtu		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 24 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Yogyakarta - Solo		Sesi : Sore									
No	Waktu	Belok Kanan					Belok Kiri				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	15.00-15.15	207	141	19	2	9	220	137	13	1	9
2	15.15-15.30	260	154	29	5	14	204	154	13	5	9
3	15.30-15.45	265	170	20	6	8	318	137	8	2	8
4	15.45-16.00	270	191	16	3	7	320	154	13	2	12
5	16.00-16.15	186	68	11	8	6	208	80	12	2	6
6	16.15-16.30	317	212	17	0	5	290	139	7	2	7
7	16.30-16.45	311	150	16	3	5	295	116	9	0	16
8	16.45-17.00	284	168	12	2	6	313	113	5	3	12
9	17.00-17.15	347	152	18	3	2	237	119	9	2	10
10	17.15-17.30	276	118	19	3	4	219	98	10	3	9
11	17.30-17.45	339	148	12	4	3	247	115	15	4	11
12	17.45-18.00	286	133	15	2	2	215	92	11	2	10

Lampiran 7 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Raya Boyolali - Kartasura Sesi Pagi

Hari : Senin		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 26 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Raya Boyolali - Kartasura		Sesi : Pagi									
No	Waktu	Belok Kanan					Lurus				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	06.30-06.45	339	87	11	5	16	439	83	6	0	0
2	06.45-07.00	320	102	15	3	14	397	91	8	0	2
3	07.00-07.15	283	92	11	1	21	339	89	8	0	4
4	07.15-07.30	334	93	16	3	20	394	83	11	4	3
5	07.30-07.45	280	54	17	6	9	372	70	14	1	0
6	07.45-08.00	214	75	10	5	17	281	67	13	0	3
7	08.00-08.15	218	80	11	4	21	263	64	7	2	1
8	08.15-08.30	198	74	12	3	20	224	70	12	0	0
9	08.30-08.45	220	94	14	5	11	229	71	9	0	2
10	08.45-09.00	154	63	9	0	9	210	52	6	1	1
11	09.00-09.15	173	91	15	1	3	236	98	13	3	6
12	09.15-09.30	149	80	6	1	4	197	77	8	1	1

Lampiran 8 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Jendral Ahmad Yani Sesi Pagi

Hari : Senin		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 26 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Jendral Ahmad Yani		Sesi : Pagi									
No	Waktu	Lurus					Belok Kiri				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	06.30-06.45	112	40	4	0	0	109	26	10	2	0
2	06.45-07.00	260	69	4	0	2	371	81	13	2	0
3	07.00-07.15	220	82	6	1	1	360	82	22	4	7
4	07.15-07.30	214	92	5	0	2	291	89	19	4	6
5	07.30-07.45	232	83	2	0	0	190	76	27	7	8
6	07.45-08.00	230	67	11	2	4	162	68	12	6	4
7	08.00-08.15	146	68	8	0	2	105	40	18	0	5
8	08.15-08.30	145	59	16	4	7	105	59	31	9	7
9	08.30-08.45	151	47	9	1	4	122	79	17	4	6
10	08.45-09.00	126	71	5	0	0	105	56	26	7	2
11	09.00-09.15	135	82	3	0	0	115	43	16	2	4
12	09.15-09.30	118	65	5	1	3	122	47	12	0	3

Lampiran 9 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Yogyakarta - Solo Sesi Pagi

Hari : Senin		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 26 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Yogyakarta - Solo		Sesi : Pagi									
No	Waktu	Belok Kanan					Belok Kiri				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	06.30-06.45	645	131	13	5	1	479	65	9	0	3
2	06.45-07.00	469	115	8	2	2	325	87	7	0	3
3	07.00-07.15	528	104	15	0	1	315	84	3	1	3
4	07.15-07.30	494	105	7	2	3	361	93	3	1	2
5	07.30-07.45	547	107	14	2	1	372	103	4	2	2
6	07.45-08.00	411	103	21	2	1	318	75	15	0	5
7	08.00-08.15	275	94	17	2	2	196	84	6	1	3
8	08.15-08.30	266	118	19	3	4	172	99	9	5	2
9	08.30-08.45	242	98	22	2	1	146	74	11	3	4
10	08.45-09.00	258	107	16	3	3	154	74	17	5	4
11	09.00-09.15	209	115	26	2	2	135	99	7	2	7
12	09.15-09.30	221	110	15	4	1	140	81	5	0	3

Lampiran 10 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Raya Boyolali - Kartasura Sesi Sore

Hari : Senin		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 26 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Raya Boyolali - Kartasura		Sesi : Sore									
No	Waktu	Belok Kanan					Lurus				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	15.00-15.15	212	82	7	7	5	226	78	9	0	2
2	15.15-15.30	204	83	16	7	5	207	73	12	3	3
3	15.30-15.45	255	98	16	5	10	238	87	10	4	5
4	15.45-16.00	294	77	18	0	8	259	69	5	3	1
5	16.00-16.15	237	76	12	7	1	226	61	7	2	2
6	16.15-16.30	286	105	18	3	13	261	76	6	4	4
7	16.30-16.45	244	108	12	5	6	274	85	7	4	3
8	16.45-17.00	277	90	5	2	13	293	78	4	1	5
9	17.00-17.15	243	69	6	1	3	235	88	6	0	4
10	17.15-17.30	220	99	5	1	5	221	76	4	4	5
11	17.30-17.45	192	82	9	3	4	200	45	11	1	2
12	17.45-18.00	175	79	5	4	3	192	68	7	1	5

Lampiran 11 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Jendral Ahmad Yani Sesi Sore

Hari : Senin		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 26 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Jendral Ahmad Yani		Sesi : Sore									
No	Waktu	Lurus					Belok Kiri				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	15.00-15.15	227	103	8	3	3	105	56	26	4	9
2	15.15-15.30	219	98	8	3	5	223	74	34	1	12
3	15.30-15.45	275	101	9	3	8	276	75	21	3	3
4	15.45-16.00	253	89	6	2	3	322	102	20	0	7
5	16.00-16.15	328	75	8	1	5	336	87	21	2	5
6	16.15-16.30	308	86	5	2	5	363	119	26	2	5
7	16.30-16.45	267	91	8	2	4	332	81	19	0	3
8	16.45-17.00	277	87	14	1	4	378	135	33	3	12
9	17.00-17.15	265	88	11	6	4	297	93	17	1	3
10	17.15-17.30	272	60	8	5	3	309	116	16	1	1
11	17.30-17.45	178	71	3	7	0	256	93	28	3	7
12	17.45-18.00	189	67	4	3	3	172	74	21	0	4

Lampiran 12 Data Arus Lalu Lintas Bundaran Kartasura Jl. Yogyakarta - Solo Sesi Sore

Hari : Senin		Lokasi : Bundaran Tugu Kartasura									
Tanggal : 26 Agustus 2024		Cuaca : Cerah									
Lengan : Jl. Yogyakarta - Solo		Sesi : Sore									
No	Waktu	Belok Kanan					Belok Kiri				
		SM	MP	KS	BB	TB	SM	MP	KS	BB	TB
1	15.00-15.15	181	102	29	3	13	218	113	18	2	13
2	15.15-15.30	231	116	23	3	6	231	79	13	4	12
3	15.30-15.45	227	91	16	4	7	261	99	12	1	9
4	15.45-16.00	184	92	17	3	6	255	71	11	111	11
5	16.00-16.15	249	110	31	3	4	261	94	13	3	19
6	16.15-16.30	215	93	20	3	6	250	77	8	1	13
7	16.30-16.45	208	93	17	3	2	296	75	12	2	17
8	16.45-17.00	208	88	20	1	9	317	89	12	1	18
9	17.00-17.15	264	101	13	4	10	328	89	13	3	8
10	17.15-17.30	223	89	13	1	7	302	89	9	2	8
11	17.30-17.45	235	95	11	1	2	293	74	11	1	5
12	17.45-18.00	199	88	15	4	4	279	77	14	4	7

Lampiran 13 Data Panjang Antrean dan Tundaan Hari Sabtu Sesi Pagi

Hari :		Sabtu				
Tanggal :		24 Agustus 2024				
Sesi :		Pagi				
No	Jl Raya Boyolali - Kartasura		Jl Jendral A. Yani		Jl Yogyakarta - Solo	
	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)
1	22	6	8,9	12	13	8
2	56	8	7,2	5	11	5
3	29	11	6,4	2	7	5
4	54	12	6	6	11	6
5	13	10	3,5	18	14	5
6	54	9	4	15	16	8
7	38	11	9	13	20	7
8	14	8	22	26	13	6
9	17	10	19	14	36	26
10	24	8	26	13	32	11
11	13,5	10	13	15	24	9
12	48	11	26	8	35	14

Lampiran 14 Data Panjang Antrean dan Tundaan Hari Sabtu Sesi Sore

Hari :		Sabtu				
Tanggal :		24 Agustus 2024				
Sesi :		Sore				
No	Jl Raya Boyolali - Kartasura		Jl Jendral A. Yani		Jl Yogyakarta - Solo	
	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)
1	48	17	34	12	19	12
2	16	8	19	15	14	10
3	23	10	17	11	20	12
4	46	11	21	11	35	21
5	18	14	19	12	16	11
6	20	15	14	11	17	15
7	39	13	15	9	14	12
8	54	16	20	14	21	11
9	33	9	10	30	17	9
10	19	13	15	14	21	14
11	23	9	31	10	13	11
12	39	11	29	11	28	16

Lampiran 15 Data Panjang Antrean dan Tundaan Hari Senin Sesi Pagi

Hari :		Senin				
Tanggal :		26 Agustus 2024				
Sesi :		Pagi				
No	Jl Raya Boyolali - Kartasura		Jl Jendral A. Yani		Jl Yogyakarta - Solo	
	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)
1	14	6	140	15	32	16
2	52	12	78	28	24	11
3	43	7	89	10	22	9
4	114	9	25	46	10	9
5	18	7	54	17	12	13
6	124	31	26	11	28	6
7	108	20	38	20	72	11
8	84	14	118	11	50	12
9	63	18	28	18	14	8
10	85	14	75	30	55	12
11	19	10	76	14	33	11
12	43	12	155	8	18	19

Lampiran 16 Data Panjang Antrean dan Tundaan Hari Senin Sesi Sore

Hari :		Senin				
Tanggal :		26 Agustus 2024				
Sesi :		Sore				
No	Semarang		Solo		Klaten	
	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)	Panjang Antrean (m)	Tundaan (detik/SMP)
1	17	9	24	10	15	8
2	24	14	18	14	22	9
3	36	11	33	12	36	14
4	74	17	21	12	21	12
5	62	13	54	11	20	13
6	48	11	34	17	29	14
7	18	14	19	18	55	18
8	24	16	58	21	28	11
9	32	19	38	19	36	16
10	56	13	52	15	29	18
11	58	14	59	28	38	24
12	63	23	45	19	35	30

Lampiran 17 Data Kecepatan Jl. Raya Solo - Yogyakarta Hari Sabtu Sesi

Pagi

Lokasi	Jl. Raya Solo - Yogyakarta		
Tanggal	Sabtu, 24 Agustus 2024		
Sesi	Pagi		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	28	22	20
2	21	22	25
3	34	25	23
4	31	41	20
5	24	27	19
6	29	21	30
7	31	33	25
8	23	25	23
9	25	33	29
10	29	32	29
11	35	25	23
12	26	29	25
13	27	29	23
14	31	24	21
15	30	23	23
16	24	25	25
17	24	32	27
18	31	22	25
19	30	32	23
20	29	31	24
21	28	31	24
22	35	22	24
23	31	30	25
24	29	30	26
25	34	29	31
26	31	27	22
27	25	31	30
28	36	21	21
29	26	18	19
30	28	26	18

Lampiran 18 Data Kecepatan Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Sabtu Sesi

Pagi

Lokasi	Jl. Raya Boyolali - Kartasura		
Tanggal	Sabtu, 24 Agustus 2024		
Sesi	Pagi		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	32	46	20
2	26	29	19
3	24	30	28
4	22	36	26
5	32	33	24
6	28	32	17
7	31	37	18
8	37	27	26
9	44	18	30
10	46	36	2
11	40	34	24
12	48	33	22
13	31	26	24
14	33	29	30
15	36	18	23
16	33	27	24
17	35	29	24
18	37	29	19
19	41	26	25
20	35	29	21
21	39	24	32
22	27	23	31
23	23	32	31
24	48	23	26
25	36	26	24
26	32	31	30
27	28	31	23
28	29	24	32
29	27	28	17
30	34	22	19

Lampiran 19 Data Kecepatan Jl. Jendral A. Yani Hari Sabtu Sesi Pagi

Lokasi	Jl. Jendral A. Yani		
Tanggal	Sabtu, 24 Agustus 2024		
Sesi	Pagi		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	31	21	26
2	30	33	28
3	28	31	16
4	18	31	32
5	23	36	28
6	46	28	33
7	37	30	24
8	36	24	21
9	19	28	33
10	22	26	31
11	30	28	25
12	39	26	35
13	31	33	26
14	26	28	38
15	26	29	24
16	23	28	22
17	27	28	26
18	28	26	30
19	26	25	39
20	21	29	25
21	27	29	27
22	32	23	34
23	28	25	22
24	28	27	30
25	31	24	29
26	27	27	27
27	51	31	30
28	36	31	32
29	29	26	29
30	32	34	30

Lampiran 20 Data Kecepatan Jl. Raya Solo - Yogyakarta Hari Sabtu Sesi

Sore

Lokasi	Jl. Raya Solo - Yogyakarta		
Tanggal	Sabtu, 24 Agustus 2024		
Sesi	Sore		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	29	23	34
2	34	41	29
3	29	24	27
4	44	25	29
5	33	23	24
6	39	24	30
7	37	25	27
8	27	26	24
9	30	35	31
10	25	28	27
11	27	29	21
12	35	33	29
13	33	36	26
14	34	29	32
15	44	33	28
16	29	27	32
17	34	26	21
18	39	27	23
19	27	34	21
20	24	25	27
21	30	24	34
22	34	29	21
23	30	34	27
24	30	24	35
25	27	36	28
26	32	28	22
27	23	38	27
28	24	29	38
29	21	29	26
30	32	23	30

Lampiran 21 Data Kecepatan Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Sabtu Sesi Sore

Lokasi	Jl. Raya Boyolali - Kartasura		
Tanggal	Sabtu, 24 Agustus 2024		
Sesi	Sore		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	33	25	25
2	41	26	25
3	28	35	24
4	43	28	25
5	42	29	34
6	27	29	25
7	25	27	27
8	23	25	25
9	27	30	24
10	28	24	20
11	31	23	21
12	34	32	19
13	27	37	20
14	26	34	33
15	25	26	21
16	28	31	19
17	29	28	19
18	32	29	22
19	27	24	25
20	25	19	21
21	23	21	23
22	26	35	21
23	32	34	22
24	35	23	23
25	37	21	21
26	28	25	22
27	25	27	22
28	22	26	25
29	40	23	21
30	36	20	21

Lampiran 22 Data Kecepatan Jl. Jendral A. Yani Hari Sabtu Sesi Sore

Lokasi	Jl. Jendral A. Yani		
Tanggal	Sabtu, 24 Agustus 2024		
Sesi	Sore		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	29	29	26
2	30	26	21
3	28	41	28
4	35	26	31
5	25	32	24
6	46	27	24
7	33	26	30
8	27	31	22
9	22	29	24
10	31	33	41
11	26	34	32
12	29	29	28
13	21	33	24
14	25	26	31
15	24	19	33
16	25	36	26
17	41	29	29
18	30	40	20
19	38	27	19
20	41	18	24
21	40	22	21
22	33	23	20
23	37	27	17
24	31	28	21
25	41	27	14
26	29	34	22
27	27	32	27
28	26	27	22
29	29	42	28
30	25	33	25

Lampiran 23 Data Kecepatan Jl. Raya Solo - Yogyakarta Hari Senin Sesi

Pagi

Lokasi	Jl. Raya Solo - Yogyakarta		
Tanggal	Senin, 26 Agustus 2024		
Sesi	Pagi		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	31	33	21
2	31	29	28
3	41	28	22
4	36	24	28
5	34	27	21
6	37	32	24
7	38	31	22
8	32	29	28
9	31	25	22
10	37	31	30
11	28	31	21
12	34	29	29
13	30	29	32
14	35	27	24
15	37	24	28
16	32	30	21
17	34	27	21
18	40	34	24
19	40	32	31
20	37	32	28
21	35	35	24
22	32	26	26
23	36	28	37
24	31	32	22
25	42	24	22
26	53	27	20
27	35	29	31
28	37	25	19
29	30	29	27
30	31	27	23

Lampiran 24 Data Kecepatan Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Senin Sesi Pagi

Lokasi	Jl. Raya Boyolali - Kartasura		
Tanggal	Senin, 26 Agustus 2024		
Sesi	Pagi		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	48	31	19
2	45	43	24
3	39	35	25
4	43	25	18
5	41	39	17
6	38	31	22
7	48	31	25
8	35	31	29
9	39	28	22
10	38	27	24
11	23	25	24
12	46	31	23
13	49	26	29
14	39	30	30
15	53	27	21
16	34	29	19
17	29	29	22
18	52	32	24
19	46	45	29
20	43	40	27
21	51	30	24
22	48	39	25
23	42	32	22
24	30	30	22
25	51	30	24
26	31	23	25
27	31	21	23
28	34	30	24
29	39	47	22
30	29	31	31

Lampiran 25 Data Kecepatan Jl. Jendral A. Yani Hari Senin Sesi Pagi

Lokasi	Jl. Jendral A. Yani		
Tanggal	Senin, 26 Agustus 2024		
Sesi	Pagi		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	35	22	29
2	27	29	25
3	32	29	26
4	39	25	23
5	27	30	27
6	32	33	26
7	26	30	22
8	36	33	19
9	40	42	31
10	33	33	25
11	31	35	21
12	29	37	24
13	45	26	27
14	44	30	23
15	40	26	25
16	33	28	27
17	46	25	26
18	41	22	25
19	26	33	19
20	40	35	19
21	34	30	20
22	35	31	29
23	24	31	21
24	40	29	20
25	40	32	23
26	31	28	25
27	44	29	25
28	41	34	20
29	39	40	21
30	33	27	25

Lampiran 26 Data Kecepatan Jl. Raya Solo - Yogyakarta Hari Senin Sesi

Sore

Lokasi	Jl. Raya Yogyakarta - Solo		
Tanggal	Senin, 26 Agustus 2024		
Sesi	Sore		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	24	23	28
2	24	23	27
3	30	22	25
4	34	20	24
5	31	27	22
6	26	22	23
7	34	19	25
8	24	32	21
9	31	22	24
10	28	19	25
11	30	21	27
12	27	33	28
13	40	30	29
14	29	30	20
15	28	35	21
16	26	45	25
17	25	26	23
18	41	25	21
19	50	24	25
20	32	39	22
21	20	26	21
22	32	36	17
23	32	35	25
24	31	30	24
25	22	23	27
26	37	39	23
27	31	32	25
28	26	24	31
29	31	23	23
30	29	25	19

Lampiran 27 Data Kecepatan Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Senin Sesi

Sore

Lokasi	Jl. Raya Boyolali - Kartasura		
Tanggal	Senin, 26 Agustus 2024		
Sesi	Sore		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	44	46	25
2	36	33	20
3	43	28	25
4	30	18	29
5	34	38	22
6	48	26	31
7	40	32	28
8	43	29	25
9	45	31	22
10	38	23	19
11	29	38	24
12	32	31	27
13	25	21	22
14	40	26	19
15	47	39	35
16	42	34	30
17	35	33	22
18	47	40	31
19	53	34	28
20	41	30	21
21	35	36	22
22	35	36	24
23	30	23	22
24	48	25	43
25	35	27	25
26	44	41	23
27	47	31	27
28	40	31	30
29	41	34	27
30	33	29	25

Lampiran 28 Data Kecepatan Jl. Jendral A. Yani Hari Senin Sesi Sore

Lokasi	Jl. Jendral A. Yani		
Tanggal	Senin, 26 Agustus 2024		
Sesi	Sore		
No	Jenis Kendaraan		
	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)
1	28	35	23
2	42	38	31
3	28	28	27
4	31	30	25
5	37	27	22
6	32	28	26
7	32	21	27
8	31	28	24
9	36	26	27
10	35	25	29
11	46	24	29
12	34	27	29
13	52	30	27
14	42	31	20
15	54	26	25
16	25	22	27
17	31	29	24
18	28	33	34
19	39	32	23
20	25	26	27
21	25	33	28
22	32	34	27
23	32	40	30
24	35	20	24
25	43	28	22
26	37	34	27
27	33	33	26
28	24	31	21
29	27	28	24
30	27	30	29

Lampiran 29 Data *Driving Behavior* Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Sabtu Sesi Pagi

Sabtu Pagi					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Raya Boyolali - Kartasura	MP	4	0,3	2	1,2
	KS	1,2	0,7	3	1,5
	KS	1	1,2	1,2	0,9
	KS	1,2	1	4	1
	KS	0,5	1,3	5,4	1,5
	KS	0,8	1,5	3	0,7
	KS	0,8	1,5	6	1
	KS	0,5	1,5	5	1,3
	KS	0,7	1,4	5	2
	MP	0,7	0,5	2	1
	KS	1	1	2,5	0,8
	KS	1	1	2	1
	SM	0,3	0,3	3	1
	KS	1	1	5	1
	MP	1	1	2	1

Lampiran 30 Data *Driving Behavior* Jl. Raya Yogyakarta - Solo Hari Sabtu Sesi Pagi

Sabtu Pagi					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Raya Yogyakarta - Solo	SM	0,4	0,6	0,9	1,1
	MP	0,5	0,3	1,2	0,7
	KS	1	1	4	1
	SM	0,3	0,3	3	1
	MP	0,5	0,6	2	1,2
	MP	0,4	0,4	2,5	1
	MP	0,7	0,5	3	1
	KS	1	1	4	1
	KS	1,2	0,7	6	1
	KS	1,5	0,7	8	0,9
	MP	0,9	0,6	3	1,4
	KS	1	1,1	4	1,8
	KS	1,4	0,8	4	1
	SM	0,3	0,4	5	1
	KS	1,4	1	4,6	2

Lampiran 31 Data *Driving Behavior* Jl. Jendral A. Yani Hari Sabtu Sesi Pagi

Sabtu Pagi					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Jendral A. Yani	MP	1,2	1	1,5	0,6
	SM	0,3	0,5	1	3
	MP	1,5	1	2	2
	KS	1,3	1	2,1	3
	SM	1	1,3	3	1,5
	SM	0,5	0,5	1	1
	KS	1,3	1,5	2	1,4
	SM	1,3	1	2	1
	MP	0,5	1	2,5	3
	MP	1,7	1,2	2	1,5
	KS	1,2	1,6	1	1,5
	SM	0,4	0,5	2	1,3
	KS	1,5	1,2	2	1,6
	MP	1,2	0,9	4	2,1
	KS	0,9	1,4	4	0,9

Lampiran 32 Data *Driving Behavior* Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Sabtu Sesi Sore

Sabtu Sore					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Raya Boyolali - Kartasura	MP	2	0,5	3	1
	KS	1	0,8	2	1
	MP	1	1	4,2	1
	MP	3	1	2	1
	SM	0,4	0,4	6	1,4
	MP	0,7	0,8	4	1,2
	KS	1,3	1	5	1,5
	MP	0,8	0,6	2	1
	MP	1	0,7	6	1
	MP	1,2	0,7	2,8	1
	MP	1,5	0,5	3	1
	MP	0,6	0,5	2	1
	MP	0,7	0,8	4	1
	KS	1,8	1,3	2	0,6
	KS	2	1,2	5	1

Lampiran 33 Data *Driving Behavior* Jl. Raya Yogyakarta - Solo Hari Sabtu Sesi Sore

Sabtu Sore					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Raya Yogyakarta - Solo	KS	1,4	0,9	3	1
	KS	1,2	1	7	1
	MP	1	0,6	4	1,5
	MP	1	0,5	5,6	1
	MP	0,8	0,5	6	1
	MP	1,2	0,7	3	1
	KS	1,7	1	3	1
	MP	0,8	0,8	2	1
	KS	1,2	1	3	1,2
	MP	0,7	1	4	2
	MP	0,6	0,6	5	1,4
	MP	0,6	0,5	3	1,6
	KS	1,2	0,7	6	1
	MP	0,5	0,5	4	1,5
	KS	1,5	1	8	1,8

Lampiran 34 Data *Driving Behavior* Jl. Jendral A. Yani Hari Sabtu Sesi Sore

Sabtu Sore					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Jendral A. Yani	MP	1	1	3	1,4
	SM	0,3	0,5	2,8	1
	MP	0,7	0,5	2	1,5
	MP	0,6	0,6	3,2	1,4
	MP	0,6	0,6	4	2
	MP	0,5	0,6	2	1,5
	SM	0,5	0,5	1,4	1
	KS	1	0,8	4,6	1,7
	MP	1	0,7	3	1,8
	MP	0,9	1	2	1
	SM	0,5	0,3	3	1
	MP	0,7	0,7	2,8	1
	MP	0,7	0,8	5	1,2
	KS	1,3	1	6	1
	MP	1,2	1	4	2

Lampiran 35 Data *Driving Behavior* Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Senin Sesi Pagi

Senin Pagi					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Raya Boyolali - Kartasura	MP	1	0,5	2	0,6
	MP	1,1	1	2	1
	KS	1,5	4	0,8	1
	SM	0,5	0,5	3	0,9
	MP	1,2	0,5	2	1
	MP	1	1	2	0,6
	MP	1	1	3	1
	SM	0,3	1	1,2	1
	MP	0,6	1	2	1
	SM	0,5	1	0,6	1
	MP	0,8	1	1	0,6
	KS	1,2	1,4	3,8	1
	KS	1	1,1	1,2	1
	KS	1,5	1	2,5	1
	KS	1	1,5	1	1

Lampiran 36 Data *Driving Behavior* Jl. Raya Yogyakarta - Solo Hari Senin Sesi Pagi

Senin Pagi					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Raya Yogyakarta - Solo	MP	0,2	1	1	1
	MP	0,5	0,5	0,7	1,5
	MP	0,8	0,5	1	0,6
	KS	0,,3	1,3	1,2	2
	MP	0,2	0,5	1	1
	MP	0,4	0,6	0,7	1
	MP	0,6	0,5	1	1
	SM	0,4	0,3	1,5	1
	MP	0,8	1	0,5	1
	SM	0,6	0,3	0,8	0,6
	MP	0,4	1	1	1
	MP	0,5	1	1	1
	MP	0,6	0,4	1	1
	MP	0,5	1	1,4	1
	SM	0,7	1	2	1

Lampiran 37 Data *Driving Behavior* Jl. Jendral A. Yani Hari Senin Sesi Pagi

Senin Pagi					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Jendral A. Yani	SM	0,3	0,4	1,2	0,6
	MP	1	1	2	1
	SM	0,5	0,5	1,5	1
	SM	0,3	0,3	1,4	0,5
	MP	0,7	0,6	4	1
	MP	0,7	0,6	2,5	2
	SM	0,5	0,4	1,5	1
	KS	1,2	1	2,5	1
	KS	1,5	1	1,5	1
	MP	0,8	1	3	1
	SM	0,6	0,4	0,6	0,5
	MP	1,8	1	1	1
	SM	0,7	0,5	3	1
	MP	1	1	2	1
	KS	1,5	1	2	0,8

Lampiran 38 Data *Driving Behavior* Jl. Raya Boyolali - Kartasura Hari Senin Sesi Sore

Senin Sore					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Raya Boyolali - Kartasura	MP	1	2	1,5	1
	KS	1,4	1	1	1
	MP	1	0,8	2	0,7
	SM	1	0,9	1	0,6
	KS	1,5	1,3	3	1
	SM	0,5	0,5	0,2	0,4
	MP	1	0,7	2	1,5
	KS	1,3	1	1,5	1
	MP	0,9	1	2	1
	KS	1,3	1,3	2	1
	SM	0,5	0,4	1,8	1,2
	MP	0,8	1	1,5	1
	MP	0,7	0,6	1	1
	MP	0,8	1,1	0,9	0,8
	MP	1	1	3	1,2

Lampiran 39 Data *Driving Behavior* Jl. Raya Yogyakarta - Solo Hari Senin Sesi Sore

Senin Sore					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Raya Yogyakarta - Solo	KS	1,5	1	2	1,3
	MP	1	1	2	1,7
	KS	1,3	1,3	4	1
	SM	0,5	0,3	2	1
	MP	1	0,7	2	1
	KS	1,5	0,9	3	1,8
	SM	0,5	0,5	2	1,2
	MP	0,9	0,7	2	1
	MP	1	0,4	1	0,4
	SM	0,3	0,3	3	1
	MP	0,9	0,9	2	1
	KS	1,3	1	4	2
	MP	1	1	2	1
	KS	1,8	1	3	1
	MP	1	0,6	2	1

Lampiran 40 Data *Driving Behavior* Jl. Jendral A. Yani Hari Senin Sesi Sore

Senin Sore					
Lengan	Jenis Kendaraan	Kendaraan berhenti depan belakang (m)	kendaraan berhenti bersampingan (m)	Kendaraan berjalan depan belakang (m)	Kendaraan berjalan bersampingan (m)
Jl. Jendral A. Yani	MP	0,8	1	4	1,3
	MP	1	0,9	1,7	0,6
	MP	1,5	1	2	1
	MP	1	1	1,5	1,3
	SM	0,5	1	0,4	0,7
	KS	1,5	0,5	1	1
	SM	1	0,5	1,5	0,7
	MP	1	0,5	3	1
	KS	1,8	1,5	4	1,5
	KS	2	1,5	3,5	1,2
	SM	0,5	0,8	2	0,6
	MP	0,5	1	0,8	0,4
	MP	1	1	1,5	0,5
	MP	1,2	1	0,9	0,4
	SM	0,4	0,7	0,6	0,6