

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA SIMPANG APILL DAN ESTIMASI KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA SIMPANG EMPAT TUNGKAK

*(Evaluation of Signalized Intersection Performance and
Fuel Consumption Estimation at Tungkak Four-Legged
Intersection)*

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



**M Fadlan Ariq Ramadhany
21511128**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2026**

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA SIMPANG APILL DAN ESTIMASI KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA SIMPANG EMPAT TUNGKAK (*Evaluation of Signalized Intersection Performance and Fuel Consumption Estimation at Tungkak Four-Legged Intersection*)

Disusun oleh

Muhammad Fadlan Ariq Ramadhany
21511128

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

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK : 955110103

Pravogo Afang P, S.T., M.Sc.
NIK : 205111303

Dr. Eng Faizul C, S.T., M.Sc
NIK : 145110101

Menngesahkan

Ketua Prodi Studi Teknik Sipil



29/5/2026

Ir. Yunalia Muntah, S.T., M.T., Ph.D.(Eng), IPM

NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan secara sadar dan bertanggung jawab bahwa Tugas Akhir yang disusun sebagai salah satu syarat penyelesaian studi pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil pemikiran dan karya saya sendiri. Setiap bagian tertentu yang bersumber dari karya atau pendapat pihak lain telah dicantumkan rujukannya secara jelas sesuai dengan ketentuan, kaidah, serta etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa seluruh atau sebagian isi Tugas Akhir ini bukan merupakan hasil karya saya sendiri atau mengandung unsur plagiarisme, maka saya bersedia menerima segala konsekuensi dan sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh.

Yogyakarta,
Yang membuat pernyataan



M.Fadlan Ariq Ramadhany
(21511128)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Dan Estimasi Konsumsi Bahan Bakar Pada Simpang Empat Tungkak”. Penyusunan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

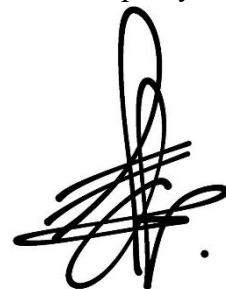
Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai hambatan dan keterbatasan. Namun demikian, berkat bimbingan, arahan, serta dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, atas bimbingan, arahan, serta masukan yang diberikan kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prayogo Afang P., S.T., M.Sc. dan Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran, kritik, dan masukan yang sangat bermanfaat dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan dalam menunjang kegiatan akademik.
4. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pelayanan, serta fasilitas selama penulis menjalani masa studi.
5. Kedua orang tua, keluarga penulis, serta Athaya Farhah Pradita yang telah memberikan doa, semangat, dukungan, dan motivasi kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.

6. Rekan-rekan penulis, khususnya Pasukan Drama, North Crew, dan Unknown Garage yang telah memberikan dukungan, semangat, dan kebersamaan selama masa studi hingga proses penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Rekan-rekan surveyor lapangan yang telah berkontribusi dalam proses pengambilan data, sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan berbagai pihak yang berkepentingan.

Yogyakarta,
Yang membuat pernyataan

A handwritten signature in black ink, consisting of a large loop at the top and several horizontal strokes below it, ending with a period.

M. Fadlan Ariq Ramadhany
(21511128)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Tinjauan Umum	8
2.2 Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal	8
2.3 Analisis Kinerja Simpang dan Biaya Bahan Bakar	10
2.4 Pemodelan Simpang Bersinyal dengan <i>software</i> VISSIM	11
2.5 Penelitian Terdahulu mengenai Kinerja Simpang Tungkal	12
2.6 Perbandingan Penelitian mengenai Evaluasi Kinerja Simpang dan Estimasi Konsumsi Bahan Bakar	12
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Persimpangan	15

3.2 Kinerja Simpang Bersinyal	15
3.3 Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Berdasarkan PKJI 2023	17
3.3.1 Tipe Pendekat	17
3.3.2 Lebar Efektif	18
3.3.3 Arus Jenuh	20
3.3.4 Rasio Arus terhadap Arus Jenuh	24
3.3.5 Waktu Isyarat APILL	25
3.3.6 Arus Lalu Lintas dan EMP	28
3.3.7 Kapasitas	28
3.3.8 Derajat Kejenuhan	29
3.3.9 Panjang Antrean	29
3.3.10 Rasio Kendaraan Henti	30
3.3.11 Tundaan	31
3.4 Penilaian Tingkat Pelayanan Simpang APILL	32
3.5 Mikrosimulasi Lalu Lintas dengan PTV VISSIM	33
3.5.1 Kalibrasi dan Validasi Data	34
3.6 Biaya Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan LAPI-ITB tahun 1996	35
3.7 Biaya Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Persamaan Lamsal (ATIS- India) tahun 2013	36
BAB IV METODE PENELITIAN	38
4.1 Lokasi Penelitian	38
4.2 Data Penelitian	38
4.3 Metode Pengumpulan Data	39
4.3.1 Peralatan Penelitian	39
4.3.2 Waktu Pelaksanaan Survei	40
4.3.3 Survei Data Lalu Lintas	40
4.4 Analisis Data	43
4.5 Bagan Alir Penelitian	47
BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	49
5.1 Data Hasil Pengamatan	49
5.1.1 Data Geometri Simpang	49

5.1.2 Data Pengaturan Isyarat Lalu Lintas	51
5.1.3 Data Volume Lalu Lintas	52
5.1.4 Data Panjang Antrean	56
5.1.5 Data Kecepatan Kendaraan	56
5.1.6 Data Perilaku Berkendara / <i>Driving Behaviour</i>	57
5.1.7 Data Hambatan Samping	58
5.1.8 Data Pendukung	60
5.2 Analisis Kinerja Simpang Tungkak Berdasarkan PKJI 2023	60
5.2.1 Konversi Volume Lalu Lintas (q)	61
5.2.2 Perhitungan Arus Jenuh Dasar (J_0)	66
5.2.3 Penentuan Nilai Faktor Koreksi	66
5.2.4 Perhitungan Arus Jenuh (J)	70
5.2.5 Perhitungan Kapasitas (C)	71
5.2.6 Perhitungan Derajat Kejenuhan (D_j)	72
5.2.7 Analisis Panjang Antrean (P_A)	74
5.2.8 Perhitungan Tundaan Simpang (T_i)	76
5.2.9 Penentuan Tingkat Layanan / <i>Level of Service</i> (LOS)	78
5.3 Pemodelan Simpang Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM	79
5.3.1 Hasil Simulasi Pemodelan Sebelum Kalibrasi	79
5.3.2 Hasil Simulasi Pemodelan Setelah Kalibrasi	82
5.4 Estimasi Dampak Tundaan terhadap Biaya Bahan Bakar di Simpang Tungkak	86
5.4.1 Estimasi Biaya Bahan Bakar Kendaraan Berdasarkan LAPI-ITB	87
5.4.2 Estimasi Biaya Bahan Bakar Kendaraan Berdasarkan Lamsal (ATIS-India)	89
5.5 Solusi Alternatif	94
5.5.1 Solusi Alternatif 1	94
5.5.2 Solusi Alternatif 2	99
5.5.3 Solusi Alternatif 3	103
5.6 Pembahasan	108

5.6.1 Kinerja Eksisting Simpang Tungkak Berdasarkan PKJI 2023 dan Simulasi VISSIM	109
5.6.2 Kinerja Usulan Alternatif Perbaikan Simpang Tungkak Berdasarkan VISSIM	114
5.6.3 Kerugian Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Pada Setiap Kondisi	125
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	135
6.1 Kesimpulan	135
6.2 Saran	136
DAFTAR PUSTAKA	138
LAMPIRAN	141

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Mengenai Evaluasi Kinerja Simpang dan Estimasi Konsumsi Bahan Bakar	13
Tabel 3.1	Nilai Normal Waktu antar Hijau	16
Tabel 3.2	Faktor Koreksi Hambatan Samping (F_{HS})	21
Tabel 3.3	Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})	21
Tabel 3.4	Waktu Siklus (s) yang Layak	27
Tabel 3.5	Ekuivalensi mobil penumpang (EMP)	28
Tabel 3.6	Tingkat Pelayanan pada Persimpangan	32
Tabel 3.7	Penilaian Hasil Uji Statistika GEH	34
Tabel 3.8	Kesimpulan dari Hasil Perhitungan MAPE	35
Tabel 3.9	Nilai Konversi Koefisien Konsumsi BBM	37
Tabel 4.1	Data Penelitian	39
Tabel 5.1	Data Geometri Simpang Tungkak	50
Tabel 5.2	Data Waktu Isyarat Simpang Tungkak	52
Tabel 5.3	Data Volume Lalu Lintas Sesi Pagi	53
Tabel 5.4	Data Volume Lalu Lintas Sesi Siang	54
Tabel 5.5	Data Volume Lalu Lintas Sesi Sore	54
Tabel 5.6	Rekapitulasi Data Panjang Antrean pada Simpang Tungkak	56
Tabel 5.7	Rekapitulasi Data Kecepatan Kendaraan Simpang Tungkak	56
Tabel 5.8	Data Perilaku Berkendara / <i>Driving Behaviour</i> Pendekat Utara	57
Tabel 5.9	Rekapitulasi Volume Kendaraan Periode Jam Puncak Simpang Tungkak	65
Tabel 5.10	Rekapitulasi Nilai Faktor Hambatan Samping	68
Tabel 5.11	Nilai Faktor Koreksi Kelandaian	68
Tabel 5.12	Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Simpang Tungkak Kondisi Eksisting	72
Tabel 5.13	Rekapitulasi Perhitungan Derajat Kejenuhan	74

Tabel 5.14 Rekapitulasi Panjang Antrean (PA) Simpang Tungkak Berdasarkan PKJI 2023	76
Tabel 5.15 Rekapitulasi Tundaan pada Setiap Pendekat	77
Tabel 5.16 Rekapitulasi Kinerja Eksisting Simpang Tungkak	79
Tabel 5.17 Perubahan Komponen Perilaku Berkendara (<i>Driving Behaviour</i>) Setelah Kalibrasi	83
Tabel 5.18 Hasil Pemodelan Volume Lalu Lintas Setelah Kalibrasi	85
Tabel 5.19 Hasil Pemodelan Panjang Antrean Setelah Kalibrasi	85
Tabel 5.20 Hasil Pemodelan Kecepatan Setelah Kalibrasi	85
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM Kondisi Eksisting	86
Tabel 5.22 Rekapitulasi Konsumsi Bahan Bakar Metode LAPI ITB Berdasarkan Hasil Tundaan PKJI 2023	88
Tabel 5.23 Rekapitulasi Konsumsi Bahan Bakar Metode LAPI ITB Berdasarkan Hasil Tundaan VISSIM	89
Tabel 5.24 Rekapitulasi Konsumsi BBM Berdasarkan Perhitungan Tundaan Hasil PKJI dengan Menggunakan Metode Lamsal	90
Tabel 5.25 Rekapitulasi Kerugian BBM Berdasarkan Perhitungan Tundaan Hasil PKJI dengan Menggunakan Metode Lamsal	91
Tabel 5.26 Rekapitulasi Konsumsi BBM Berdasarkan Perhitungan Tundaan Hasil VISSIM dengan Menggunakan Metode Lamsal	92
Tabel 5.27 Rekapitulasi Kerugian BBM Berdasarkan Perhitungan Tundaan Hasil VISSIM dengan Menggunakan Metode Lamsal	93
Tabel 5.28 Rekapitulasi Penyesuaian Waktu Isyarat Hijau (WHi)	95
Tabel 5.29 Hasil Pemodelan PTV VISSIM Alternatif Solusi 1	96
Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Simulasi PTV VISSIM Alternatif Solusi 1	98
Tabel 5.31 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 1 Berdasarkan Tundaan VISSIM	98
Tabel 5.32 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 1 Berdasarkan Tundaan PKJI 2023	99
Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Uji Coba Perubahan Waktu Siklus	99
Tabel 5.34 Hasil Pemodelan PTV VISSIM Alternatif Solusi 2	101

Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Simulasi PTV VISSIM Alternatif Solusi 2	102
Tabel 5.36 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 2 Berdasarkan Tundaan VISSIM	103
Tabel 5.37 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 2 Berdasarkan Tundaan PKJI 2023	103
Tabel 5.38 Rekapitulasi Waktu isyarat APILL Skema Solusi Alternatif 3	104
Tabel 5.39 Hasil Pemodelan PTV VISSIM Skema solusi alternatif 3	105
Tabel 5.40 Rekapitulasi Hasil Simulasi dan Analisis PTV VISSIM Skenario Alternatif Solusi 3	107
Tabel 5.41 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 3 Berdasarkan Tundaan VISSIM	108
Tabel 5.42 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 3 Berdasarkan Tundaan PKJI 2023	108
Tabel 5.43 Perbandingan Hasil Kinerja Eksisting Simpang Tungkak Berdasarkan PKJI 2023 dan PTV VISSIM	111
Tabel 5.44 Persentase Perbedaan Panjang Antrean PKJI 2023 dan PTV VISSIM terhadap Observasi Lapangan	112
Tabel 5.45 Perbandingan Kinerja Keseluruhan Simpang Tungkak	123
Tabel 5.46 Perbandingan Biaya Kerugian Konsumsi BBM Metode LAPI ITB Berdasarkan Tundaan PKJI 2023	126
Tabel 5.47 Perbandingan Biaya Kerugian Konsumsi BBM Metode LAPI ITB Berdasarkan Tundaan VISSIM	126
Tabel 5.48 Perbandingan Biaya Kerugian Konsumsi BBM Metode Lamsal Berdasarkan Tundaan PKJI 2023	129
Tabel 5.49 Perbandingan Biaya Kerugian Konsumsi BBM Metode Lamsal Berdasarkan Tundaan VISSIM	129
Tabel 5.50 Perbandingan Total Biaya Kerugian Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan pada Kondisi Eksisting dan Alternatif Solusi	131
Tabel 5.51 Persentase Perubahan Biaya Kerugian Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan terhadap Kondisi Eksisting	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Simpang Tungkak	3
Gambar 1.2 Kondisi Lalu Lintas Simpang Tungkak Lengan Selatan	3
Gambar 1.3 Kondisi Lalu Lintas Simpang Tungkak Lengan Barat	4
Gambar 1.4 Kondisi Lalu Lintas Simpang Tungkak Lengan Timur	4
Gambar 1.5 Kondisi Lalu Lintas Simpang Tungkak Lengan Utara	4
Gambar 3.1 Konflik Yang Terjadi pada Persimpangan	15
Gambar 3.2 Ilustrasi Tipikal Simpang Empat Bersinyal dengan Dua Fase	16
Gambar 3.3 Tipe Pendekat	17
Gambar 3.4 Lebar Pendekat dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas	18
Gambar 3.5 Faktor Koreksi Kelandaian (F_G)	22
Gambar 3.6 Faktor Koreksi Pengaruh Parkir (F_p)	22
Gambar 3.7 Faktor Koreksi untuk Belok Kiri (FBKi) pada Pendekat Tipe P dengan Jalan Dua Arah, dan LE Ditentukan oleh (LM)	23
Gambar 3.8 Faktor Koreksi untuk Belok Kanan (FBKa), pada Pendekat Tipe P dengan Jalan Dua Arah, dan LE Ditentukan oleh LM	24
Gambar 3.9 Titik Konflik Kritis dan Jarak untuk Keberangkatan dan Kedatangan	25
Gambar 3.10 Grafik untuk Menentukan (N_{qmax})	30
Gambar 3.11 Grafik Penentuan Rasio Kendaraan Henti (R_{KH})	31
Gambar 4.1 Lokasi Simpang Tungkak	38
Gambar 4.2 Sketsa Rencana Penempatan Surveyor di Lapangan	43
Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian	47
Gambar 5.1 Geometri Simpang Tungkak	50
Gambar 5.2 Urutan Fase Kondisi Eksisting Simpang Tungkak	51
Gambar 5.3 Diagram Waktu Siklus Simpang Tungkak Kondisi Eksisting	52
Gambar 5.4 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Pagi	53
Gambar 5.5 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Siang	54
Gambar 5.6 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Sore	55

Gambar 5.7 Distribusi Pergerakan Volume Lalu Lintas Simpang Tungkak	55
Gambar 5.8 Hambatan Samping Jalan Taman Siswa (Pendekat Utara)	58
Gambar 5.9 Hambatan Samping Jalan Menteri Supeno (Pendekat Timur)	59
Gambar 5.10 Hambatan Samping Jalan Lowanu (Pendekat Selatan)	59
Gambar 5.11 Hambatan Samping Jalan Kolonel Sugiyono (Pendekat Barat)	60
Gambar 5.12 Nilai N_{qmax} yang Digunakan dalam Analisis Panjang Antrean	76
Gambar 5.13 Pemodelan Kondisi Awal (<i>default</i>) Sebelum Kalibrasi	84
Gambar 5.14 Pemodelan Kondisi Setelah Proses Kalibrasi	84
Gambar 5.15 Diagram Fase APILL Alternatif 1	96
Gambar 5.16 Diagram Fase APILL Alternatif 2	100
Gambar 5.17 Diagram Fase APILL Skema Solusi Alternatif 3	105
Gambar 5.18 Urutan Fase Simpang Tungkak Skema Solusi Alternatif 3	105
Gambar 5.19 Perbandingan Derajat Kejenuhan pada Setiap Pendekat Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi	115
Gambar 5.20 Perbandingan Panjang Antrean pada Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan PKJI	117
Gambar 5.21 Perbandingan Panjang Antrean pada Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan VISSIM	118
Gambar 5.22 Perbandingan Tundaan pada Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan PKJI 2023	119
Gambar 5.23 Perbandingan Tundaan pada Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan VISSIM	120
Gambar 5.24 Perbandingan Tundaan Simpang dan Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan PKJI 2023	121
Gambar 5.25 Perbandingan Tundaan Simpang dan Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan VISSIM	121
Gambar 5.26 Perbandingan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Metode LAPI-ITB Berdasarkan Tundaan PKJI 2023	127
Gambar 5.27 Perbandingan Analisis Biaya Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Metode LAPI-ITB Berdasarkan Tundaan VISSIM	127

Gambar 5.28 Perbandingan Analisis Biaya Konsumsi Bahan Bakar	
Berdasarkan Metode Lamsal Berdasarkan Tundaan PKJI 2023	129
Gambar 5.29 Perbandingan Analisis Biaya Konsumsi Bahan Bakar	
Berdasarkan Metode Lamsal Berdasarkan Tundaan PKJI 2023	130

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Survei Data Volume Lalu Lintas Senin	142
Lampiran 2 Survei Data Panjang Antrean Lintas Senin	148
Lampiran 3 Survei Data <i>Driving Behaviour</i>	154
Lampiran 4 Survei Data Hambatan Samping	155
Lampiran 5 Survei Data Kecepatan	157
Lampiran 6 Dokumentasi Survey	158

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

APILL	=	Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas
BBM	=	Bahan Bakar Minyak
B_{kijt}	=	Belok Kiri Jalan Terus
C	=	Kapasitas
C_0	=	Kapasitas Dasar
D_j	=	Derajat Kejenuhan
EMP	=	Ekuivalensi Mobil Penumpang
FB_{ki}	=	Faktor Koreksi Belok Kiri
FB_{ka}	=	Faktor Koreksi Belok Kanan
F_{cs}	=	Faktor Koreksi Ukuran Kota
F_G	=	Faktor Kelandaian
F_{HS}	=	Faktor Koreksi Hambatan Samping
F_p	=	Faktor Koreksi Parkir
F_{UK}	=	Faktor Ukuran Kota
GEH	=	Geoffery E. Havers (Validasi dengan GEH)
J	=	Arus Jenuh
J_0	=	Arus Jenuh Dasar
KS	=	Kendaraan Sedang
L	=	Lebar Pendekat
L_E	=	Lebar Pendekat Efektif
L_K	=	Lebar Keluar
L_M	=	Lebar Masuk
LOS	=	<i>Level of Service</i> (Tingkat Pelayanan)
MP	=	Mobil Penumpang
N_{KH}	=	Jumlah Rata-Rata Kendaraan Berhenti
N_q	=	Jumlah rata-rata antrean kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

N_{q1}	=	Jumlah kendaraan antrean pada awal fase hijau
PA	=	Panjang Antrean
P_{BKA}	=	Rasio Belok Kanan
P_{BKI}	=	Rasio Belok Kiri
PKJI	=	Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia
PTV-VISSIM	=	<i>planung Transportasi Verkher-Verkher in Stadten Simulations Model</i>
q	=	Arus Lalu Lintas / Volume Lalu Lintas
RH	=	Rasio Hijau
RKH	=	Rasio Kendaraan Terhenti
s	=	Waktu Siklus
SM	=	Sepeda Motor
smp	=	Satuan Mobil Penumpang
TG	=	Tundaan Geometri
T_i	=	Tundaan / Tundaan Simpang
TLL	=	Tundaan Lalu Lintas

ABSTRAK

Simpang Empat Tungkak merupakan salah satu simpang bersinyal strategis di Kota Yogyakarta yang menghubungkan Jalan Taman Siswa, Jalan Menteri Supeno, Jalan Lowanu, dan Jalan Kolonel Sugiyono. Tingginya aktivitas kawasan di sekitar simpang menyebabkan peningkatan volume lalu lintas, panjang antrean, dan tundaan kendaraan yang berdampak pada menurunnya kinerja simpang serta meningkatnya konsumsi bahan bakar kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja Simpang Empat Tungkak berdasarkan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, merumuskan alternatif perbaikan menggunakan simulasi mikroskopis PTV VISSIM, serta mengestimasi kerugian konsumsi bahan bakar akibat tundaan lalu lintas.

Penelitian dilakukan melalui survei lalu lintas berupa volume kendaraan, panjang antrean, kecepatan kendaraan, hambatan samping, dan perilaku berkendara pada Simpang Empat Tungkak. Analisis kinerja simpang dilakukan menggunakan metode PKJI 2023 dengan parameter derajat kejenuhan, panjang antrean, tundaan, dan tingkat pelayanan simpang. Selanjutnya, kondisi lalu lintas dimodelkan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM melalui proses kalibrasi dan validasi untuk mengevaluasi kondisi eksisting serta alternatif perbaikan simpang. Estimasi kerugian konsumsi bahan bakar dihitung menggunakan metode LAPI-ITB (1996) dan metode Lamsal (ATIS-India) 2013 berdasarkan nilai tundaan hasil analisis PKJI 2023 dan simulasi VISSIM.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi eksisting Simpang Empat Tungkak memiliki rata-rata derajat kejenuhan sebesar 1,44 dengan tundaan simpang sebesar 304,60 detik/kendaraan berdasarkan PKJI 2023 dan 136,98 detik/kendaraan berdasarkan simulasi VISSIM, sehingga termasuk tingkat pelayanan F. Estimasi biaya kerugian konsumsi bahan bakar pada kondisi eksisting berdasarkan metode LAPI-ITB sebesar Rp3.422.759/jam untuk tundaan PKJI 2023 dan Rp1.741.722/jam untuk tundaan VISSIM, sedangkan berdasarkan metode Lamsal sebesar Rp1.635.034/jam untuk tundaan PKJI 2023 dan Rp887.971/jam untuk tundaan VISSIM. Dari tiga alternatif perbaikan yang dianalisis, Alternatif 3 memberikan hasil terbaik dengan tundaan sebesar 188,14 detik/kendaraan berdasarkan PKJI 2023 dan 75,23 detik/kendaraan berdasarkan VISSIM. Setelah diterapkan Alternatif 3, biaya kerugian konsumsi bahan bakar berdasarkan metode LAPI-ITB menurun menjadi Rp2.337.952/jam untuk tundaan PKJI 2023 dan Rp1.376.120/jam untuk tundaan VISSIM, sedangkan berdasarkan metode Lamsal menurun menjadi Rp1.182.528/jam untuk tundaan PKJI 2023 dan Rp676.098/jam untuk tundaan VISSIM. Dengan demikian, Alternatif 3 dinilai sebagai solusi terbaik dalam meningkatkan kinerja Simpang Empat Tungkak dan mengurangi kerugian konsumsi bahan bakar akibat tundaan lalu lintas.

Kata kunci: konsumsi bahan bakar, PKJI 2023, PTV VISSIM, simpang bersinyal, dan tundaan.

ABSTRACT

Tungkak Four-Way Intersection is one of the strategic signalized intersections in Yogyakarta City connecting Jalan Taman Siswa, Jalan Menteri Supeno, Jalan Lowanu, and Jalan Kolonel Sugiyono. The high level of activity around the intersection has increased traffic volume, queue length, and vehicle delay, which has negatively affected intersection performance and increased vehicle fuel consumption. This study aims to evaluate the performance of Tungkak Four-Way Intersection based on the Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI) 2023, formulate improvement alternatives using PTV VISSIM microscopic simulation, and estimate fuel consumption losses caused by traffic delays.

The study was conducted through traffic surveys including traffic volume, queue length, vehicle speed, side friction, and *Driving Behaviour* at Tungkak Four-Way Intersection. Intersection performance analysis was carried out using the PKJI 2023 method with parameters including degree of saturation, queue length, delay, and *Level of Service*. Furthermore, traffic conditions were modeled using PTV VISSIM *software* through calibration and validation processes to evaluate existing conditions and improvement alternatives. Fuel consumption losses were estimated using the LAPI-ITB (1996) method and the Lamsal (ATIS-India) 2013 method based on delay values obtained from PKJI 2023 analysis and VISSIM simulation.

The results show that the existing condition of Tungkak Four-Way Intersection has an average degree of saturation of 1.44 with an intersection delay of 304.60 seconds/vehicle based on PKJI 2023 and 136.98 seconds/vehicle based on VISSIM simulation, indicating *Level of Service* F. The estimated fuel consumption losses under existing conditions based on the LAPI-ITB method are IDR 3,422,759/hour using PKJI 2023 delay input and IDR 1,741,722/hour using VISSIM delay input, while based on the Lamsal method the losses are IDR 1,635,034/hour using PKJI 2023 delay input and IDR 887,971/hour using VISSIM delay input. Among the three improvement alternatives analyzed, Alternative 3 provides the best results with delays of 188.14 seconds/vehicle based on PKJI 2023 and 75.23 seconds/vehicle based on VISSIM. After the implementation of Alternative 3, fuel consumption losses based on the LAPI-ITB method decrease to IDR 2,337,952/hour using PKJI 2023 delay input and IDR 1,376,120/hour using VISSIM delay input, while based on the Lamsal method the losses decrease to IDR 1,182,528/hour using PKJI 2023 delay input and IDR 676,098/hour using VISSIM delay input. Therefore, Alternative 3 is considered the best solution for improving the performance of Tungkak Four-Way Intersection and reducing fuel consumption losses caused by traffic delays.

Keywords: delay, fuel consumption, PKJI 2023, PTV VISSIM, and signalized intersection.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di kawasan perkotaan merupakan konsekuensi langsung dari pertumbuhan penduduk dan perkembangan tata guna lahan yang pesat. Fenomena ini memberikan dampak signifikan terhadap kualitas pelayanan jaringan jalan, khususnya pada simpang bersinyal yang menjadi titik temu arus kendaraan dari berbagai arah. Persimpangan, sebagai elemen krusial dalam sistem jaringan jalan, sangat rentan terhadap kemacetan karena tingginya intensitas konflik pergerakan kendaraan dari arah yang saling bersilangan Amal dkk. (2022).

Simpang APILL merupakan simpang yang pengaturan arus lalu lintasnya dikendalikan menggunakan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) berupa sinyal lampu merah, kuning, dan hijau. Penggunaan APILL bertujuan untuk mengatur pergerakan kendaraan dari berbagai arah agar konflik lalu lintas dapat dikurangi serta keselamatan dan kelancaran lalu lintas dapat ditingkatkan. Namun, apabila pengaturan fase sinyal dan pembagian waktu hijau tidak sesuai dengan kondisi arus lalu lintas, simpang APILL dapat menyebabkan tundaan dan panjang antrean kendaraan yang tinggi.

Kinerja simpang APILL umumnya dievaluasi berdasarkan beberapa parameter utama, antara lain kapasitas, derajat kejenuhan (DJ), tundaan, dan panjang antrean Ramzy dkk. (2024). Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menilai tingkat pelayanan simpang sekaligus mengidentifikasi potensi permasalahan lalu lintas yang terjadi.

Dalam analisis kinerja simpang APILL di Indonesia, PKJI 2023 menjadi pedoman yang relevan karena menyajikan metode analisis yang lebih baru, lengkap, dan sesuai dengan kondisi lalu lintas saat ini. PKJI 2023 mempertimbangkan berbagai faktor yang dapat memengaruhi kinerja simpang, seperti bentuk geometrik pendekat, komposisi kendaraan, hambatan samping,

ukuran kota, serta pengaturan fase dan waktu sinyal. Oleh karena itu, penggunaan PKJI 2023 dapat membantu menghasilkan evaluasi yang lebih sistematis dan menggambarkan kondisi operasional simpang bersinyal secara lebih nyata sesuai dengan karakteristik lalu lintas di lokasi penelitian.

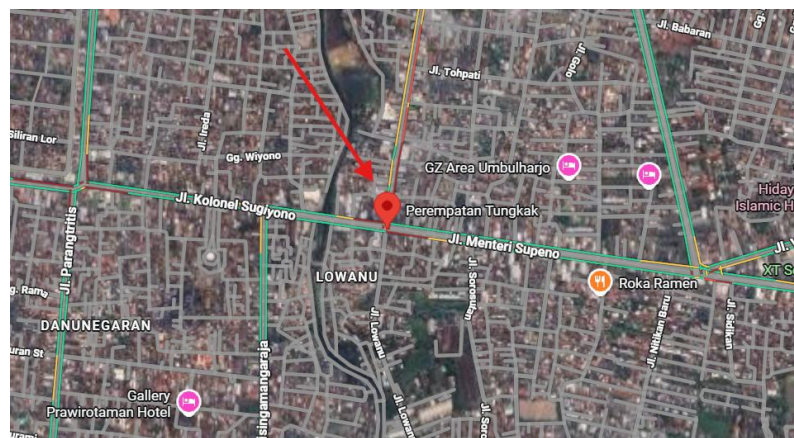
Selain evaluasi kinerja simpang, dampak operasional simpang bersinyal juga dapat ditinjau dari sisi konsumsi bahan bakar kendaraan yang dipengaruhi oleh tundaan lalu lintas. Sinambela dkk. (2021) menyatakan bahwa tundaan pada simpang bersinyal akan menyebabkan peningkatan waktu tempuh yang secara langsung berdampak pada konsumsi bahan bakar kendaraan. Kondisi *stop-and-go* atau kendaraan berhenti dalam waktu lama di simpang menyebabkan pemborosan energi. Hal ini menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara penurunan kinerja simpang dan peningkatan konsumsi bahan bakar minyak (BBM). Perhitungan konsumsi BBM pada simpang bersinyal dapat dilakukan dengan pendekatan formulasi LAPI-ITB (1996), yang memperhitungkan tundaan sebagai komponen utama konsumsi energi serta telah dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang (smp), sehingga aplikatif untuk evaluasi kinerja simpang perkotaan.

Selain itu, penelitian terbaru juga banyak menggunakan metode Lamsal (2013) dalam *Automotive Traffic Information System* (ATIS) India, yang menghitung konsumsi bahan bakar berdasarkan karakteristik jenis kendaraan. Metode ini memperkirakan konsumsi BBM kendaraan pada kondisi *idle* dalam satuan mililiter per jam, sehingga lebih representatif dalam menggambarkan pemborosan energi akibat tundaan di simpang bersinyal Ulum dkk. (2023).

Pemanfaatan perangkat lunak simulasi mikroskopis, seperti PTV VISSIM, menjadi salah satu pendekatan efektif untuk mengkaji dan mensimulasikan kondisi lalu lintas secara lebih realistis. Perangkat lunak ini memungkinkan pemodelan perilaku lalu lintas berdasarkan parameter seperti waktu siklus, pembagian fase sinyal, dan panjang antrean. Penggunaan VISSIM terbukti efektif dalam mengevaluasi kinerja simpang dan merancang skenario perbaikan lalu lintas yang lebih optimal Ado dkk. (2024).

Pada penelitian ini, Simpang Empat Tungkak merupakan salah satu simpang strategis di Kota Yogyakarta yang menghadapi tantangan serupa. Simpang ini

menjadi titik temu empat ruas jalan utama, yaitu Jalan Taman Siswa, Jalan Kolonel Sugiyono, Jalan Menteri Supeno, dan Jalan Lowanu. Kawasan di sekitar simpang memiliki fungsi lahan yang beragam, meliputi area pendidikan (sekolah dan universitas), perhotelan, pusat kuliner, pusat oleh-oleh, kawasan wisata budaya, serta permukiman. Keberagaman fungsi tersebut menyebabkan arus lalu lintas tinggi dan kompleks sepanjang waktu. Lokasi Simpang Empat Tungkak dapat dilihat pada Gambar 1.1 sampai Gambar 1.5 sebagai berikut.



Gambar 1.1 Lokasi Simpang Tungkak
(Sumber: Google Maps, 2025)



Gambar 1.2 Kondisi Lalu Lintas Simpang Tungkak Lengan Selatan



Gambar 1.3 Kondisi Lalu Lintas Simpang Tungkak Lengan Barat



Gambar 1.4 Kondisi Lalu Lintas Simpang Tungkak Lengan Timur



Gambar 1.5 Kondisi Lalu Lintas Simpang Tungkak Lengan Utara

Penelitian terdahulu pada lokasi yang sama telah dilakukan oleh Virawan dkk. (2018) yang menganalisis kinerja Simpang Tungkak menggunakan pemodelan mikrosimulasi PTV VISSIM serta evaluasi pengaturan fase sinyal. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa beban lalu lintas di Simpang Tungkak tergolong

tinggi dengan tingkat pelayanan (*Level of Service/LOS*) F berdasarkan PM 96 Tahun 2015. Temuan ini memberikan gambaran awal bahwa simpang tersebut pada saat itu menunjukkan tingkat pelayanan yang buruk. Namun demikian, penelitian tersebut dilakukan beberapa tahun yang lalu dan masih menggunakan acuan MKJI 1997, sehingga hasil analisisnya perlu ditinjau kembali dengan pedoman yang lebih mutakhir. Selain itu, sejak penelitian terdahulu dilakukan, kondisi lalu lintas di sekitar simpang dapat mengalami perubahan. Berdasarkan pengamatan visual peneliti, kondisi eksisting Simpang Tungkak saat ini masih menunjukkan kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi, terutama pada jam-jam sibuk, yang terlihat dari antrean kendaraan yang panjang pada beberapa pendekat simpang. Perkembangan aktivitas kawasan di sekitar simpang juga berpotensi memengaruhi peningkatan pergerakan lalu lintas dibandingkan kondisi pada saat penelitian terdahulu dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kembali terhadap kinerja Simpang Tungkak dengan menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 agar kondisi operasional simpang saat ini dapat digambarkan secara lebih aktual.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kinerja Simpang Tungkak berdasarkan metode PKJI 2023?
2. Bagaimana PKJI 2023 dan perangkat lunak mikrosimulasi PTV VISSIM dapat dimanfaatkan untuk merumuskan alternatif solusi perbaikan terhadap permasalahan lalu lintas di Simpang Empat Tungkak?
3. Berapa besar estimasi konsumsi bahan bakar pada kondisi eksisting yang dipengaruhi oleh tundaan lalu lintas, serta bagaimana perubahan konsumsi tersebut setelah diterapkan usulan perbaikan di Simpang Empat Tungkak?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Menentukan kinerja operasional Simpang Empat Tungkak menggunakan pendekatan PKJI 2023.

2. Merumuskan alternatif perbaikan berdasarkan hasil mikrosimulasi lalu lintas dengan perangkat lunak PTV VISSIM.
3. Memprediksi besaran konsumsi bahan bakar kendaraan pada kondisi eksisting serta membandingkannya dengan konsumsi setelah penerapan alternatif perbaikan.

1.4 Batasan Penelitian

1. Penelitian ini menggunakan metode analisis berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) tahun 2023 dan pemodelan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM.
2. Estimasi konsumsi bahan bakar dihitung menggunakan persamaan LAPI-ITB tahun 1996 dan Lamsal (ATIS-India) Tahun 2013 yang telah dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang.
3. Pengambilan data hambatan samping dilakukan melalui observasi langsung di lokasi Simpang Empat Tungkak, dengan klasifikasi jenis hambatan mengacu pada ketentuan PKJI 2023.
4. Objek penelitian dilakukan pada Simpang Empat Tungkak di Kota Yogyakarta.
5. Pengambilan data dilakukan pada hari-hari yang dinilai merepresentasikan kondisi lalu lintas dengan tingkat kepadatan tinggi. Adapun hari yang dipilih meliputi hari kerja, yaitu Senin dan Rabu, serta hari libur, yaitu Sabtu.
6. Waktu pengamatan dibatasi pada jam sibuk, yaitu pukul 06.00–08.00, 12.00–14.00, dan 16.00–18.00.
7. Jenis kendaraan yang diamati meliputi sepeda motor, mobil penumpang, dan kendaraan berat.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan dasar teknis kepada Pemerintah Daerah dalam upaya peningkatan kinerja Simpang Tungkak melalui pengaturan lalu lintas atau desain ulang geometri simpang.

2. Menjadi referensi bagi kalangan akademisi dalam pengembangan metodologi evaluasi kinerja simpang dengan pendekatan terpadu menggunakan metode PKJI 2023 dan pemodelan mikrosimulasi dengan perangkat lunak PTV VISSIM.
3. Menyediakan kajian estimatif terkait pemborosan konsumsi bahan bakar yang disebabkan oleh tundaan lalu lintas di Simpang Tungkak, melalui pendekatan perhitungan berdasarkan metode LAPI-ITB (1996) dan Lamsal (ATIS-India, 2013).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan pustaka dalam suatu penelitian berperan penting sebagai dasar konseptual yang memberikan pemahaman awal terhadap topik yang diteliti. Melalui telaah terhadap berbagai literatur dan studi sebelumnya, peneliti dapat menelusuri bagaimana perkembangan teori, pendekatan, dan metodologi yang telah diterapkan dalam lingkup permasalahan serupa. Selain itu, tinjauan pustaka juga membantu membangun kerangka berpikir yang logis dan memperkuat argumentasi penelitian yang sedang dilakukan.

Dalam studi ini, pembahasan literatur diarahkan pada evaluasi kinerja simpang bersinyal dan estimasi konsumsi bahan bakar akibat tundaan kendaraan. Evaluasi kinerja simpang dibahas melalui parameter-parameter utama seperti derajat kejenuhan, tundaan, panjang antrean, dan tingkat pelayanan. Sementara itu, estimasi konsumsi bahan bakar dikaji sebagai dampak dari kondisi operasional simpang, terutama ketika terjadi tundaan kendaraan. Metode PKJI 2023 dan pemodelan mikrosimulasi menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM digunakan sebagai pendekatan analisis untuk mendukung proses evaluasi tersebut. Dengan demikian, seluruh pembahasan literatur dalam bab ini menjadi landasan dalam proses pengumpulan data, analisis, serta interpretasi hasil penelitian.

2.2 Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal

Juwita dkk. (2024) meneliti kinerja Simpang Sultan Agung – Ki Maja dengan tujuan menganalisis kondisi eksisting serta mengidentifikasi alternatif peningkatan kinerja menggunakan metode PKJI (Bina Marga) 2023. Hasil analisis menunjukkan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,910 yang menandakan kondisi hampir jenuh. Optimalisasi dilakukan melalui penyesuaian waktu siklus dari 135 menjadi 147 detik serta redistribusi waktu hijau berdasarkan proporsi volume tiap

pendekat. Perbaikan ini menurunkan tundaan dan meningkatkan tingkat pelayanan simpang.

Studi serupa dilakukan oleh Sagraha & Puspito (2025) di Simpang Puntodewo – Ranugrati, Kota Malang. Dengan metode PKJI 2023, penelitian ini menemukan DJ sangat tinggi sebesar 1,76 dan tundaan ekstrem mencapai 857,2 detik. Tiga alternatif diuji: pengaturan ulang fase dari tiga menjadi dua fase, pelebaran pendekat Jalan Ranugrati menjadi 3,5 meter, serta kombinasi keduanya. Alternatif kombinasi terbukti paling efektif, menurunkan tundaan dari 177,4 detik menjadi 27,6 detik dan meningkatkan tingkat pelayanan dari F ke D.

Anugrah dkk. (2025) mengevaluasi kinerja simpang bersinyal pada Jalan Raya Bogor – Jalan H. Bokir Bin Dji'un menggunakan metode PKJI 2023. Kondisi eksisting menunjukkan DJ lengan Selatan 0,679, Utara 0,918, dan Timur 0,849, dengan tundaan rata-rata 66 detik yang mengindikasikan tingkat pelayanan F. Alternatif yang diterapkan berupa perubahan fase belok kiri pada lengan Timur serta penambahan U-turn sejauh 300 meter di lengan Selatan. Hasilnya, DJ menurun menjadi 0,686 untuk Selatan dan 0,502 untuk Utara, sementara tundaan menurun tajam menjadi 13,7 detik dengan tingkat pelayanan meningkat menjadi B.

Penelitian Atmajaya dkk. (2024) menunjukkan bahwa metode PKJI 2023 efektif digunakan dalam mengevaluasi kinerja simpang bersinyal. Pada kasus Simpang Tugu Wisnu Kota Surakarta, kondisi eksisting menunjukkan derajat kejenuhan sebesar 2,27, panjang antrean mencapai 427 meter, dan tundaan rata-rata 232 detik/smp. Melalui beberapa skenario perbaikan, konfigurasi empat fase dengan urutan berlawanan arah jarum jam teridentifikasi sebagai alternatif paling optimal. Pengaturan tersebut mampu menurunkan derajat kejenuhan menjadi 0,84, mengurangi panjang antrean hingga 50%, serta menurunkan tundaan menjadi sekitar 90 detik/smp. Selain itu, konfigurasi ini juga efektif mengurangi konflik pergerakan akibat keberadaan tugu di tengah simpang, sehingga meningkatkan efisiensi lalu lintas secara keseluruhan.

Berdasarkan studi di atas, dapat disimpulkan bahwa metode PKJI (Bina Marga) 2023 tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur teknis, tetapi juga sebagai dasar pertimbangan dalam perumusan strategi peningkatan kinerja simpang. Solusi

berupa penyesuaian waktu siklus, optimalisasi fase sinyal, dan pelebaran geometrik terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional simpang bersinyal di kawasan perkotaan dengan volume lalu lintas tinggi.

2.3 Analisis Kinerja Simpang dan Biaya Bahan Bakar

Penelitian oleh Sinambela dkk. (2021) di Simpang Jalan A.A. Maramis – Ringroad II Kota Manado menggunakan metode LAPI-ITB tahun 1996 untuk menghitung konsumsi bahan bakar akibat tundaan. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan waktu tundaan dengan jumlah kendaraan dan faktor konsumsi energi per kendaraan. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan derajat kejenuhan sebesar 0,837 dan tundaan rata-rata 29,345 detik/smp, konsumsi bahan bakar akibat tundaan mencapai 32,979 liter per jam. Metode ini memberikan gambaran kuantitatif yang cukup akurat terhadap besarnya energi yang terbuang akibat ketidakefisienan operasional simpang.

Sementara itu, Ulum dkk. (2023) melakukan studi pada Simpang Patung Sapi, Kabupaten Pasuruan, dengan pendekatan yang berbeda, yaitu menggunakan metode ATIS (*Automotive Traffic Information System*) yang berbasis simulasi VISSIM. ATIS menghitung konsumsi bahan bakar berdasarkan data kecepatan kendaraan, waktu tempuh, serta pola akselerasi dan deselerasi dalam model mikroskopis. Dalam kondisi eksisting, simpang tersebut mencatat konsumsi 101 liter per jam, disebabkan oleh DJ di atas 0,85 dan tundaan lebih dari 15 detik. Setelah diterapkan alternatif berupa pengurangan jumlah fase sinyal menjadi dua dan pelebaran pendekat Timur, simulasi menunjukkan penurunan konsumsi BBM hingga 92%, dari Rp11,3 juta menjadi hanya Rp855 ribu per hari, disertai peningkatan kinerja simpang secara keseluruhan.

Harahap & Fauziah (2025) meneliti keterkaitan kinerja simpang bersinyal dengan konsumsi bahan bakar di Simpang Empat Ketandan, Ringroad Timur Yogyakarta menggunakan metode PKJI, VISSIM, serta LAPI-ITB (1996) dan Lamsal ATIS–India (2013). Hasil menunjukkan kondisi eksisting memiliki derajat kejenuhan maksimum 1,84 dengan tundaan 334,54 detik/smp (PKJI) dan 235,5 detik/kendaraan (VISSIM), serta kerugian bahan bakar sebesar Rp3,6 juta (LAPI-

ITB) dan Rp1,4 juta (Lamsal). Upaya perbaikan melalui penerapan satu arah Jalan Garuda, larangan belok kanan, dan penyesuaian siklus sinyal menjadi 156 detik terbukti mampu menurunkan tundaan hingga 129,6 detik/kendaraan serta mengurangi kerugian bahan bakar secara signifikan.

Penelitian serupa dilakukan oleh Romadhona & Suhandha (2019) pada simpang bersinyal Gondomanan Yogyakarta menggunakan metode MKJI, simulasi VISSIM, dan persamaan ATIS–India untuk menghitung konsumsi BBM akibat tundaan. Pada kondisi eksisting, pendekat Selatan mencatat nilai derajat kejenuhan melebihi 0,85 dan tundaan lebih dari 25 detik dengan tingkat pelayanan D. Konsumsi BBM yang terbuang mencapai 286,668 liter per jam dengan kerugian sebesar Rp 2.150.012. Alternatif berupa pengurangan waktu siklus dan pergeseran median pada pendekat Selatan terbukti efektif, menghasilkan $DS \leq 0,85$, tundaan 18–30 detik, serta penurunan konsumsi BBM sebesar 9,6%.

2.4 Pemodelan Simping Bersinyal dengan *software* VISSIM

Penelitian oleh Nugroho & Dwiatmaja (2020) bertujuan mengevaluasi kinerja Simping Bersinyal Sompok di Kota Semarang menggunakan metode PKJI (Bina Marga) 2014 dan simulasi dengan perangkat lunak PTV VISSIM. Hasil menunjukkan kondisi eksisting berada pada tingkat pelayanan F dengan tundaan rata-rata 100 detik dan panjang antrean 154 meter. Tiga skenario perbaikan diuji, yaitu pengalihan jalur sepeda motor, pelebaran simping, dan kombinasi keduanya, di mana hasil terbaik diperoleh pada skenario kombinasi dengan penurunan tundaan menjadi 18 detik, antrean menjadi 50 meter, serta peningkatan tingkat pelayanan menjadi LOS B.

Pantulu dkk. (2025) mengevaluasi kinerja simping bersinyal pada pertemuan Jalan Raja Eyato – Jalan Moh. Yamin – Jalan A.R. Koniyo di Kota Gorontalo menggunakan PTV VISSIM. Hasil analisis menunjukkan kondisi eksisting memiliki tundaan rata-rata 37 detik (LOS D) berdasarkan PKJI dan 54,5 detik (LOS D) berdasarkan VISSIM, dengan derajat kejenuhan tertinggi mencapai 0,82 pada pendekat barat. Berbagai alternatif perbaikan diuji, dan solusi terbaik diperoleh dengan pengurangan fase sinyal dari 4 fase menjadi 3 fase, yang mampu

menurunkan tundaan hingga sekitar 30 detik, menurunkan derajat kejenuhan menjadi sekitar 0,66, serta meningkatkan tingkat pelayanan dari D menjadi C tanpa memerlukan pelebaran jalan

Cahya dkk. (2024) menganalisis Simpang Ahmad Yani dan Simpang Peterongan menggunakan simulasi mikroskopis PTV VISSIM. Kondisi eksisting kedua simpang menunjukkan tundaan tinggi, masing-masing 43,58 detik (LOS E) dan 38,04 detik (LOS D). Melalui optimalisasi waktu hijau, fase, dan rute perjalanan, kinerja kedua simpang meningkat signifikan. Tundaan di Simpang Ahmad Yani menurun menjadi 6,8 detik (LOS B), sedangkan Simpang Peterongan membaik menjadi 14,3 detik (LOS B).

2.5 Penelitian Terdahulu mengenai Kinerja Simpang Tungkak

Virawan dkk. (2018) melakukan penelitian pada Simpang Tungkak dengan tujuan menganalisis kinerja operasional eksisting serta menguji beberapa alternatif pengaturan fase sinyal untuk memperoleh skenario yang lebih optimal melalui pemodelan PTV VISSIM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi eksisting simpang berada pada tingkat pelayanan F (sangat buruk) dengan rata-rata tundaan sebesar 83,98 detik per kendaraan, yang mengindikasikan perlunya evaluasi menyeluruh terhadap pengendaliannya. Alternatif terbaik yang diperoleh dalam penelitian tersebut adalah skenario 2, yaitu penyesuaian konfigurasi fase pada pendekat Barat dan Timur dan penyesuaian waktu siklus, sehingga mampu menurunkan tundaan menjadi 67,58 detik per kendaraan dengan tingkat pelayanan E.

2.6 Perbandingan Penelitian mengenai Evaluasi Kinerja Simpang dan Estimasi Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan hasil tinjauan pustaka, perbedaan antara penelitian ini dan penelitian-penelitian terdahulu tentang evaluasi kinerja simpang serta estimasi konsumsi bahan bakar dirangkum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Mengenai Evaluasi Kinerja Simpang dan Estimasi Konsumsi Bahan Bakar

Aspek	Juwita dkk. (2024)	Sagraha dan Puspito (2025)	Virawan dkk. (2018)	Harahap dan Fauziah (2025)	Sinambela dkk. (2021)	Pantulu dkk. (2025)	Ado dkk. (2024)	Ramadhany (2026)
Judul Penelitian	Studi Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Pada Ruas Jalan Sultan Agung – Jalan Ki Maja Dengan Metode PKJI 2023	Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2023 (Studi Kasus: Simpang Puntodewo Malang)	Pemodelan Simpang Bersinyal Akibat Perubahan Urutan Fase Dengan <i>Software</i> PTV VISSIM 10 Pada Simpang Empat Bersinyal Tungkak	Evaluasi kinerja simpang dan biaya konsumsi bahan bakar pada Simpang Empat Ketandan Ringroad Timur berdasarkan PKJI 2023 dan pemodelan VISSIM	Analisa Hubungan Kinerja Simpang Bersinyal Dengan Konsumsi Bahan Bakar (Studi Kasus: Simpang Jl. A. A. Maramis – Jl. Ringroad II)	Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal dan Pengaturan Ulang Waktu Siklus APILL Menggunakan PTV VISSIM	Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan <i>Software</i> PTV Vissim (Studi Kasus : Simpang Proliman, Prambanan) Tamanmartani, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta	Evaluasi Kinerja Simpang APILL dan Estimasi Konsumsi Bahan Bakar Pada Simpang Empat Tungkak
Tujuan Penelitian	Mengetahui kinerja simpang bersinyal serta merumuskan alternatif solusi peningkatan kinerja.	Menilai kinerja simpang serta menyusun alternatif penanganan untuk meningkatkan kinerjanya.	Menganalisis kinerja eksisting dan mengevaluasi simpang untuk memperoleh skenario yang lebih optimal melalui pemodelan mikrosimulasi VISSIM.	Mengetahui keterkaitan antara kinerja simpang bersinyal dengan konsumsi bahan bakar.	Mengetahui kinerja simpang dan konsumsi BBM akibat tundaan.	Mengetahui kinerja Simpang yang ada di Kota Gorontalo dan merumuskan alternatif solusi untuk meningkatkan kinerja simpang.	Menganalisis kinerja Simpang APILL Proliman, memproyeksikan lima tahun mendatang, serta merumuskan solusi peningkatan kinerja.	Mengevaluasi kinerja Simpang Empat Tungkak, merumuskan alternatif perbaikan, dan mengestimasi kerugian konsumsi bbm akibat tundaan lalu lintas.

Sumber: Juwita dkk. (2024), Sagraha dan Puspito (2025), Virawan dkk. (2018), Harahap dan Fauziah (2025), Sinambela dkk. (2021), Pantulu dkk. (2025), Ado dkk. (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Mengenai Analisis Kinerja Simpang dan Estimasi Konsumsi Bahan Bakar

Aspek	Juwita dkk. (2024)	Sagraha dan Puspito (2025)	Virawan dkk. (2018)	Harahap dan Fauziah (2025)	Sinambela dkk. (2021)	Pantulu dkk. (2025)	Ado dkk. (2024)	Ramadhany (2026)
Metode Penelitian	Metode PKJI (Bina Marga) 2023	Metode PKJI (Bina Marga) 2023	Pemodelan Simulasi <i>Software</i> VISSIM	Metode PKJI (Bina Marga) 2023, <i>Software</i> VISSIM, Formula LAPI-ITB Tahun 2003 , dan Lamsal (ATIS – India)	Metode MKJI (Bina Marga) 1997 dan formula LAPI-ITB tahun 1996	Metode PKJI (Bina Marga) 2023 dan Pemodelan <i>Software</i> VISSIM	Metode PKJI (Bina Marga) 2023 dan Pemodelan <i>Software</i> VISSIM	Metode PKJI (Bina Marga) 2023, <i>Software</i> VISSIM, Formula LAPI-ITB Tahun 2003 , dan Lamsal (ATIS – India)
Hasil	Persimpangan memiliki tundaan 80,24 detik/smp (pelayanan F). Setelah penyesuaian siklus dan redistribusi hijau, tundaan turun menjadi 63,51 detik/smp (pelayanan E).	Simpang pada kondisi awal menunjukkan tingkat pelayanan F dengan tundaan rata-rata 177,4 detik/smp. Melalui penyesuaian fase sinyal dan pelebaran jalan, tundaan dapat ditekan menjadi 27,6 detik/smp sehingga tingkat pelayanan meningkat ke kategori D.	Kondisi eksisting berada pada LOS F dengan tundaan 83,98 detik. skenario terbaik diperoleh melalui pengaturan rasio belok 10% untuk rasio lurus dan 90% untuk rasio belok kanan pada lengan Barat dan Timur, yang menurunkan tundaan menjadi 71,31 detik/kendaraan dan meningkatkan LOS menjadi E.	simpang menunjukkan tundaan rata-rata 334,54 detik per smp, dan kerugian BBM hingga Rp3,6 juta. Solusi alternatif rekayasa lalu lintas dapat menurunkan tundaan menjadi 129,6 detik/kendaraan serta mengurangi kerugian BBM.	Penelitian pada persimpangan Jalan A.A. Maramis– Ringroad II mencatat derajat kejenuhan 0,837 dan tundaan rata-rata 29,35 detik/smp, sehingga kinerja simpang dikategorikan D (kurang) dengan tambahan konsumsi BBM sekitar 32,98 liter per jam.	Simpang di Gorontalo memiliki tundaan 34 detik dengan tingkat pelayanan D. Setelah dilakukan pengaturan waktu siklus dan pelebaran jalan, tundaan menurun menjadi 21 detik dan tingkat pelayanan meningkat menjadi B.	Simpang semula memiliki tingkat pelayanan D dengan tundaan rata-rata sekitar 56,8 detik per kendaraan, kemudian meningkat menjadi tingkat pelayanan B setelah dilakukan penyesuaian waktu siklus.	Simpang menunjukan tundaan sebesar 136,98 detik/kend. Alternatif 3 mampu menurunkan tundaan menjadi 75,23 detik/kend serta mengurangi kerugian konsumsi bahan bakar sebesar 31,7% berdasarkan metode LAPI-ITB dan 27,7% berdasarkan metode Lamsal.

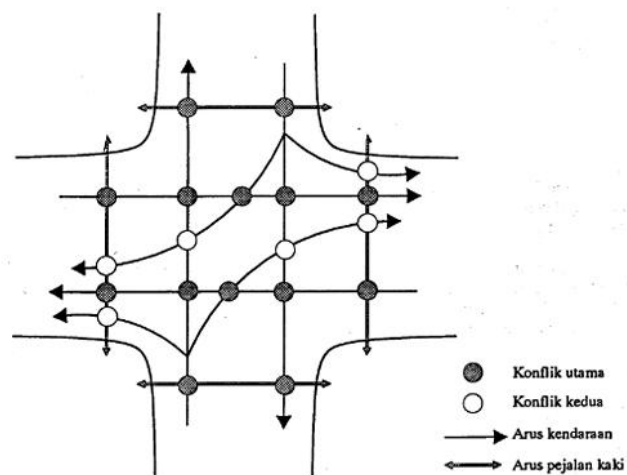
Sumber: Juwita dkk. (2024), Sagraha dan Puspito (2025), Virawan dkk. (2018), Harahap dan Fauziah (2025), Sinambela dkk. (2021), Pantulu dkk. (2025), Ado dkk. (2024)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Persimpangan

Persimpangan merupakan elemen penting dalam jaringan jalan yang berfungsi sebagai titik temu berbagai arus kendaraan, sehingga menjadi lokasi dengan potensi konflik lalu lintas yang paling tinggi Ulum dkk. (2023) Berbagai konflik pergerakan antara kendaraan dan pejalan kaki pada area ini perlu dikelola dengan baik untuk menjaga keselamatan serta kelancaran arus. Bentuk dan posisi konflik yang terjadi pada persimpangan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Konflik yang Terjadi pada Persimpangan
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.2 Kinerja Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal adalah pertemuan antara dua atau lebih ruas jalan yang arus lalu lintasnya dikendalikan oleh Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) melalui sistem sinyal lampu lalu lintas yang berfungsi mengatur giliran pergerakan kendaraan dari berbagai arah. Menurut Bina Marga (2023), pengaturan lalu lintas pada simpang dengan APILL bertujuan untuk meminimalkan potensi konflik antar

arus kendaraan, baik konflik utama maupun konflik tambahan, dengan memberikan waktu gerak yang terpisah bagi setiap arah pergerakan.

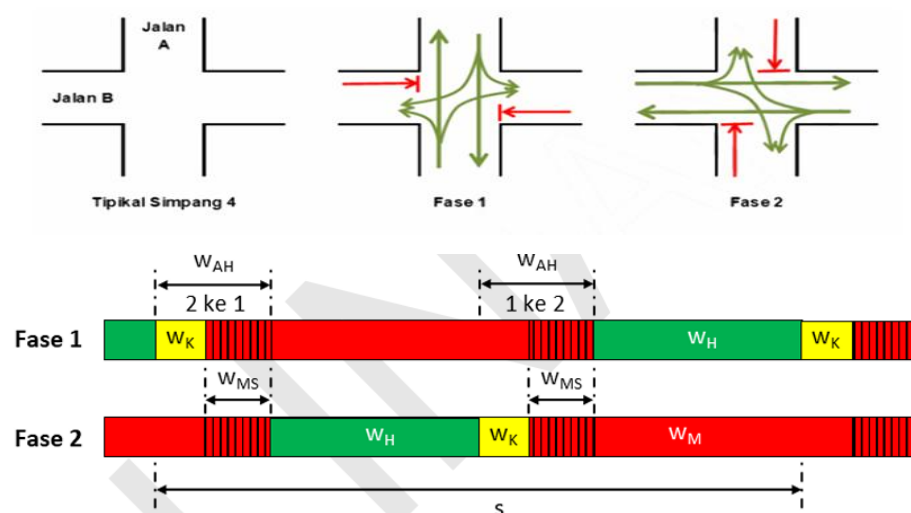
Dalam pengoperasiannya, APILL terdiri dari beberapa fase dengan alokasi waktu masing-masing. Salah satu elemen pentingnya adalah waktu antar hijau (*intergreen time*), yaitu jeda antara akhir hijau suatu fase dan awal hijau fase berikutnya. Jeda ini memastikan kendaraan yang masih berada di area konflik dapat keluar dengan aman sebelum arus lain bergerak. Nilai normal waktu antar hijau (W_{AH}) untuk berbagai tipe simpang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai Normal Waktu antar Hijau

Ukuran Simpang	Lebar Jalan Rata-Rata (m)	Nilai Normal W_{AH} (detik/fase)
Kecil	6 sampai kurang dari 10	4
Sedang	10 sampai kurang dari 15	5
Besar	Lebih dari atau sama dengan 15	≥ 6

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

Adapun ilustrasi contoh fase pergerakan serta pembagian waktu antar hijau (W_{AH}) dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Ilustrasi Tipikal Simpang Empat Bersinyal dengan Dua Fase
(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.3 Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Berdasarkan PKJI 2023

Analisis kinerja simpang bersinyal dilakukan untuk mengetahui kemampuan simpang dalam melayani arus lalu lintas pada setiap pendekat. Evaluasi ini mencakup perhitungan beberapa parameter utama seperti kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, panjang antrean, serta tingkat pelayanan (*Level of Service*).

3.3.1 Tipe Pendekat

Tipe pendekat merupakan pengelompokan pendekat berdasarkan pola pergerakan arus lalu lintas terhadap arah berlawanan. Berdasarkan Bina Marga (2023) dalam simpang bersinyal, setiap pendekat dapat memiliki pengaturan fase yang berbeda, baik terlindung (P) maupun terlawan (O). Analisis untuk masing-masing tipe dilakukan secara terpisah sesuai fase yang berlaku. Ilustrasi tipe pendekat dapat dilihat pada Gambar 3.3.

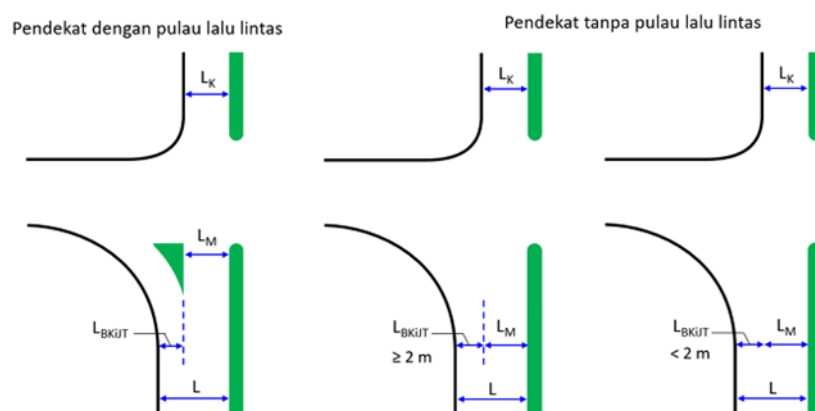
Tipe pendekat	Keterangan	Contoh pola pengaturan pada pendekat
Terlindung (Tipe P)	Arus berangkat tidak konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan satu arah
		Jalan satu arah
		Simpang-3
Terlawan (Tipe O)	Arus berangkat konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan dua arah, belok kanan dibatasi
		Jalan dua arah, fase untuk masing-masing arah terpisah
		Jalan dua arah, arus berangkat dari arah yang berlawanan dalam Fase yang sama. Semua belok kanan tidak dibatasi

Gambar 3.3 Tipe Pendekat
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2023)

3.3.2 Lebar Efektif

Berdasarkan Bina Marga (2023) Penentuan lebar pendekat efektif (L_E) pada suatu simpang tidak dilakukan secara langsung, melainkan melalui pertimbangan beberapa parameter geometrik jalan. Parameter utama yang digunakan meliputi lebar ruas pendekat awal (L), lebar masuk (L_M) dan lebar keluar (L_K). Dalam menentukan nilai lebar masuk (L_M) terdapat beberapa kondisi yang perlu diperhatikan, yaitu sebagai berikut.

1. Pada pendekat yang dilengkapi dengan pulau lalu lintas, arus kendaraan yang melakukan belok kiri biasanya memiliki lajur tersendiri yang terpisah dari arus kendaraan lainnya. Oleh karena itu, lebar masuk (L_M) diukur sebagai jarak antara tepi pulau lalu lintas dengan median jalan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.3.
2. Untuk pendekat yang tidak memiliki pulau lalu lintas, perilaku arus belok kiri jalan terus dapat berbeda tergantung pada ketersediaan ruang gerak kendaraan. Jika lebar bahu atau ruang belok kiri jalan terus (L_{BKJT}) lebih dari 2 meter, maka arus belok kiri dapat membentuk lajur tersendiri, sehingga nilai L_M dihitung sebagai $L_M = L - L_{BKJT}$. Sebaliknya, apabila (L_{BKJT}) kurang dari 2 meter, maka ruang yang tersedia tidak cukup untuk memisahkan arus belok kiri, sehingga arus tersebut akan menyatu dengan arus lurus, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.4 Lebar Pendekat dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Perhitungan lebar efektif (L_E) dilakukan dengan mengacu pada beberapa ketentuan atau aturan sebagai berikut.

1. Jika lebar (L_{BKijT}) memiliki lebar $\geq 2m$, maka arus B_{KijT} dapat bergerak lebih dahulu dari antrean kendaraan yang bergerak lurus maupun belok kanan meskipun lampu lalu lintas menunjukkan isyarat merah. Dalam kondisi tersebut, lebar efektif (L_E) ditentukan berdasarkan ketentuan berikut.

- a. Menghitung arus B_{KijT} yang dibedakan dengan perhitungan total arus sehingga hanya menganalisis arus mencakup $q = q_{Lrs} + q_{bka}$ Setelah itu baru menentukan lebar efektif menggunakan rumus pada Persamaan 3.1 sebagai berikut

$$L_E = \text{Min} \int_{L_M}^{L-B_{KijT}} \quad (3.1)$$

- b. Pada pendekat dengan tipe fase terlindung (P), perlu dilakukan pemeriksaan terhadap lebar keluar (L_K).
- c. Apabila nilai $L_K < L_{LM} \times (1 - R_{Bka})$, maka lebar efektif (L_E) ditetapkan sama dengan lebar keluar (L_K). Dalam kondisi tersebut, analisis pengaturan waktu sinyal selanjutnya hanya memperhitungkan arus kendaraan yang bergerak lurus (q_{LRS}).
2. Jika lebar L_{BKijT} memiliki lebar < 2 meter, maka arus B_{KijT} harus mengikuti antrean kendaraan lain selama selama sinyal merah. Pada kondisi ini , lebar efektif (L_E) ditentukan berdasarkan ketentuan berikut.

- a. Arus kendaraan B_{KijT} dihitung dalam total perhitungan arus lalu lintas. Perhitungan lebar efektif dengan menggabungkan B_{KijT} dapat menggunakan Persamaan 3.2 berikut.

$$L_E = \text{Min} \int_{L \times (1+R_{BKijT})-R_{BKijT}}^{L+L_{BKijT}} \quad (3.2)$$

- b. Pada pendekat tipe terlindung (P), perlu dilakukan pemeriksaan kembali terhadap Lebar Keluar (L_K), apabila nilai $L_K < L_M \times (1 - R_{Bka})$ maka lebar efektif (L_E) ditetapkan sama dengan lebar keluar (L_K), Dalam kondisi tersebut, analisis pengaturan waktu sinyal selanjutnya hanya memperhitungkan arus kendaraan yang bergerak lurus (q_{LRS})

3.3.3 Arus Jenuh

Menurut Bina Marga (2023) Jumlah maksimum kendaraan ekuivalen (SMP) yang dapat melewati garis henti pada suatu pendekat simpang bersinyal per satuan waktu (jam hijau efektif), di mana nilainya diperoleh dari hasil perkalian arus jenuh dasar (J_0) dengan berbagai faktor koreksi (F) yang menggambarkan penyimpangan kondisi lapangan terhadap kondisi ideal. Arus jenuh dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKi} \times F_{BKa} \quad (3.3)$$

Keterangan :

J = arus jenuh (smp/jam),

J_0 = arus jenuh dasar (smp/jam),

F_{HS} = faktor koreksi hambatan samping lingkungan kota,

F_{UK} = faktor koreksi ukuran kota,

F_G = faktor kelandaian memanjang pendekat,

F_P = faktor koreksi jarak garis henti terhadap kendaraan yang parkir pertama,

F_{BKi} = koreksi akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri, dan

F_{BKa} = faktor koreksi akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan.

3.3.3.1 Arus Jenuh Dasar

Menurut Bina Marga (2023), arus jenuh dasar merupakan jumlah maksimum kendaraan (SMP/jam) yang dapat keluar dari antrean pada suatu pendekat simpang dalam kondisi ideal. Persamaan untuk menentukan arus jenuh dasar (J_0) dapat dilihat pada Persamaan 3.4 berikut.

$$J_0 = 600 \times L_E \quad (3.4)$$

Keterangan :

J_0 = arus jenuh dasar (smp/jam), dan

L_E = lebar efektif pendekat (meter).

3.3.3.2 Faktor Koreksi Arus Jenuh

1. Faktor penyesuaian hambatan samping (F_{HS})

Faktor penyesuaian hambatan samping (F_{HS}) ditentukan oleh berbagai kondisi seperti tingkat hambatan samping, karakteristik lingkungan sekitar jalan, tipe

fase sinyal, dan proporsi kendaraan tak bermotor. Nilai FHS diperoleh mengacu pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Faktor Koreksi Hambatan Samping (F_{HS})

Tipe Lingkungan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan tak bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥ 0,25
Komersial (KOM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (KIM)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses terbatas (AT)	Tinggi/ Sedang/ Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

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

Nilai faktor ukuran kota (F_{UK}) terdiri atas lima kategori yang dibagi berdasarkan yang diklasifikasikan berdasarkan kriteria populasi penduduk satuan juta jiwa. Besarnya nilai koreksi ukuran kota dapat dilihat pada Tabel 3.3.

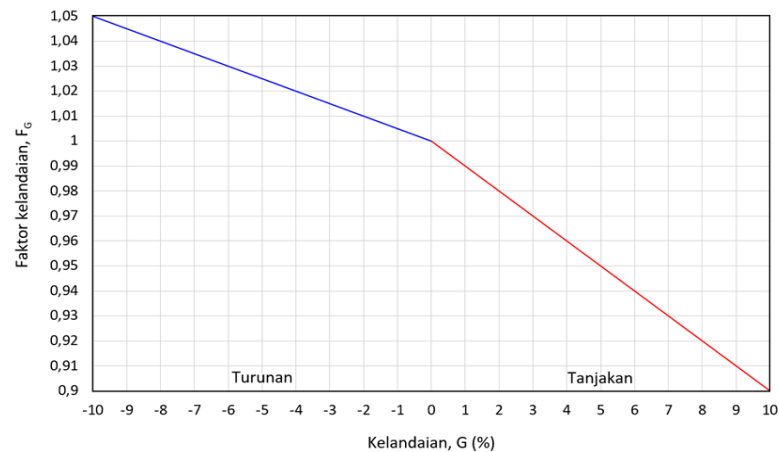
Tabel 3.3 Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Jumlah Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Koreksi Ukuran Kota (F _{UK})
>3,0	1,05
1,0 – 3,0	1,00
0,5 – 1,0	0,94
0,1 – 0,5	0,83
< 0,1	0,82

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

3. Faktor Koreksi Kelandaian (F_G)

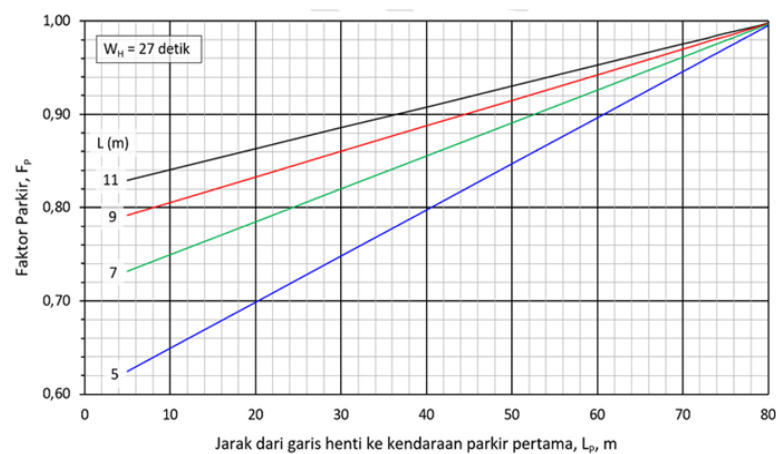
Nilai faktor kemiringan (F_G) diperoleh dari grafik faktor koreksi kelandaian yang menunjukkan hubungan antara (F_G) dan persentase kelandaian (G). Grafik faktor koreksi kelandaian (F_G) dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Faktor Koreksi Kelandaian (F_G)
(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

4. Faktor Koreksi Pengaruh Parkir (F_p)

Faktor koreksi pengaruh parkir (F_p) merupakan faktor penyesuaian terhadap arus jenuh dasar (J_0) yang dipengaruhi oleh jarak antara garis henti di mulut pendekat dan kendaraan parkir terdepan. Nilai F_p dapat ditentukan melalui grafik pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Faktor Koreksi Pengaruh Parkir (F_p)
(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

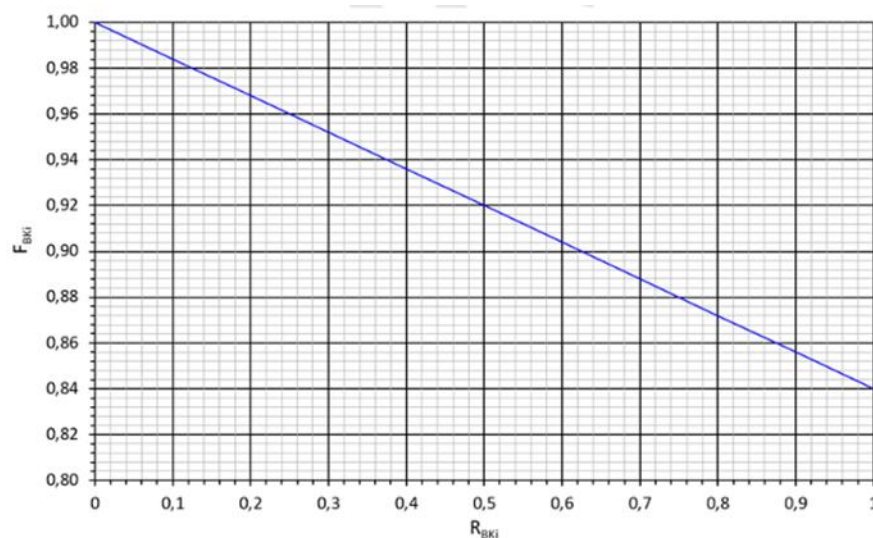
5. Faktor Koreksi Belok Kiri (F_{Bki})

Faktor koreksi belok kiri (F_{Bki}) merupakan faktor penyesuaian terhadap nilai arus jenuh dasar (J_0) yang disebabkan oleh adanya pergerakan lalu lintas yang membelok ke arah kiri. Perhitungan menggunakan Persamaan 3.5 dan 3.6 dapat diaplikasikan jika pendekat tipe P tidak ada B_{KiJT} dan $L_E = L_M$.

$$(R_{Bki}) = \frac{R_{Bka}}{q_{total}} \quad (3.5)$$

$$(F_{Bki}) = 1,0 - R_{Bki} \times 0,6 \quad (3.6)$$

Atau dapat dicari menggunakan grafik yang ada pada Gambar 3.7 berikut



Gambar 3.7 Faktor Koreksi untuk Belok Kiri (F_{Bki}) pada Pendekat Tipe P dengan Jalan Dua Arah, dan L_E Ditentukan oleh (L_M)
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

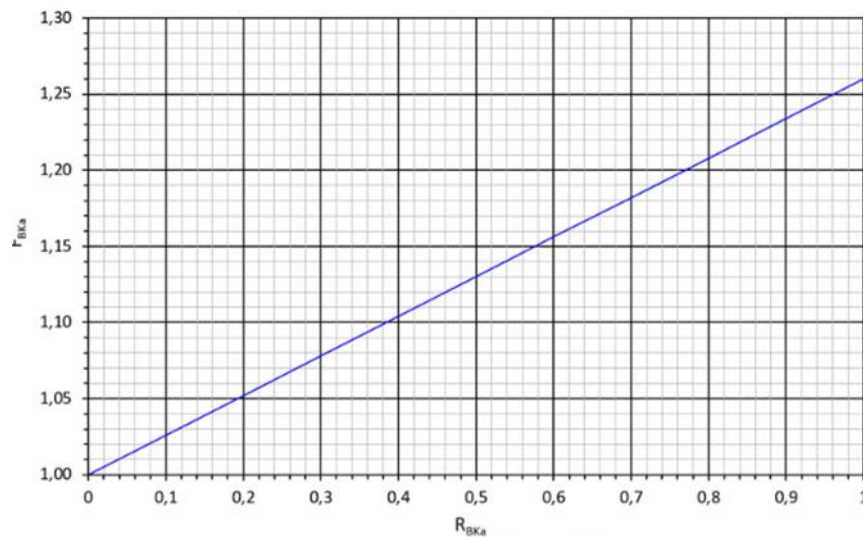
6. Faktor Koreksi Belok Kanan (F_{Bka})

Faktor koreksi belok kanan (F_{Bka}) merupakan faktor penyesuaian terhadap nilai arus jenuh dasar (J_0) yang disebabkan oleh adanya pergerakan lalu lintas yang membelok ke arah kanan. Perhitungan menggunakan Persamaan 3.7 dan 3.8 dapat diaplikasikan jika pendekat tipe P tidak ada median, tipe jalan dua arah dan $L_E = L_M$.

$$(R_{Bki}) = \frac{R_{Bka}}{q_{total}} \quad (3.7)$$

$$(F_{Bki}) = 1,0 - R_{Bki} \times 0,6 \quad (3.8)$$

Atau dapat dicari menggunakan grafik yang ada pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Faktor Koreksi untuk Belok Kanan (F_{BKa}), pada Pendekat Tipe P dengan Jalan Dua Arah, dan L_E Ditentukan oleh L_M
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.3.4 Rasio Arus terhadap Arus Jenuh

Berdasarkan Bina Marga (2023), Dalam melakukan analisis terhadap rasio antara arus dan arus jenuh (R_q/J) penting untuk memperhatikan bahwa:

1. Apabila arus belok kiri yang mendapat izin khusus B_{KiJT} dikeluarkan dari analisis, maka hanya arus lurus dan arus belok kanan yang diperhitungkan sebagai nilai q .
2. Jika panjang lengan pendekat L_E sama dengan panjang lengan keluar (L_K) maka hanya arus lurus yang digunakan dalam penentuan nilai q .
3. Bila suatu pendekat memiliki dua fase, yaitu fase pertama untuk arus terlawan (O) dan fase kedua untuk arus terlindung (P), maka perhitungan arus gabungan dilakukan dengan metode pembobotan.

R_q/J dihitung menggunakan persamaan 3.9 berikut ini.

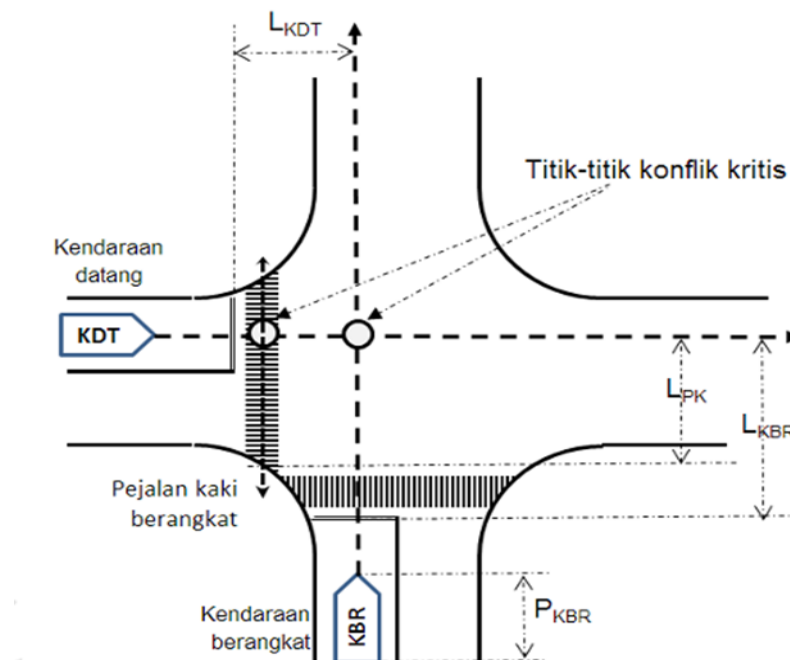
$$\frac{R_q}{J} = \frac{q}{J} \quad (3.9)$$

3.3.5 Waktu Isyarat APILL

1. Waktu merah semua dan waktu hijau hilang total

a. Waktu Merah Semua (W_{MS})

Waktu Merah Semua (W_{MS}) dibutuhkan untuk memastikan area konflik pada simpang bersinyal (APILL) benar-benar kosong di akhir setiap fase sinyal. Waktu ini memberikan kesempatan bagi kendaraan terakhir (KBR) yang melintasi garis henti pada akhir sinyal kuning untuk sepenuhnya keluar dari titik konflik. Jarak yang ditempuh merupakan gabungan antara panjang lintasan keberangkatan (L_{KBR}) dan panjang kendaraan berangkat (P_{KBR}), hingga sebelum kendaraan pertama dari arah lain (KDT) pada fase berikutnya melewati garis henti pada awal sinyal hijau dan mencapai titik konflik yang sama dengan jarak lintasan L_{KDT} . Titik konflik kritis dan jarak untuk keberangkatan dan kedatangan dapat dilihat pada Gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 3.9 Titik Konflik Kritis dan Jarak untuk Keberangkatan dan Kedatangan

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Dengan demikian, (W_{MS}) merupakan fungsi dari kecepatan dan jarak kendaraan yang berangkat maupun yang datang dari garis henti menuju titik konflik, serta panjang kendaraan berangkat (P_{KBR}), Apabila waktu lintasan pejalan kaki (L_{PK}) lebih lama dibandingkan waktu tempuh kendaraan (L_{KBR}), maka L_{PK} digunakan sebagai penentu panjang lintasan keberangkatan. Titik konflik kritis pada setiap fase (i) merupakan titik yang memiliki nilai W_{MS} tertinggi. Nilai W_{MS} yang digunakan untuk tiap fase diambil dari hasil terbesar antara waktu lintasan kendaraan yang berangkat dan waktu lintasan pejalan kaki. Waktu merah semua (W_{MS}) dapat dihitung menggunakan rumus yang ada pada Persamaan 3.10 berikut ini.

$$W_{MS} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_{KBR} + P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}} \\ \frac{L_{PK}}{V_{PK}} \end{array} \right. \quad (3.10)$$

Keterangan:

L_{KBR}, L_{KDT}, L_{PK} = jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang berangkat, kendaraan yang datang, dan pejalan kaki (meter),

P_{KBR} = panjang kendaraan yang berangkat (meter), dan

V_{KBR}, V_{KDT}, V_{PK} = kecepatan untuk masing-masing kendaraan berangkat, kendaraan datang, dan pejalan kaki (meter)

b. Waktu Hijau Hilang (W_{HH})

Setelah periode (W_{MS}) pada akhir setiap fase ditentukan, maka waktu hijau hilang total (W_{HH}) pada simpang bersinyal dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh waktu antarhijau dari setiap fase dalam satu siklus. Rumus waktu hijau hilang total (W_{HH}) dapat di lihat pada Persamaan 3.11 berikut.

$$W_{HH} = \sum_i (w_{MS} + w_K) i \quad (3.11)$$

W_{MS} = waktu merah semua (detik), dan

W_K = waktu Kuning (detik).

2. Waktu siklus dan waktu hijau

a. Waktu Siklus

Langkah pertama adalah menentukan waktu siklus untuk sistem kendali dengan waktu tetap menggunakan rumus Webster (1966), yang dirancang untuk meminimalkan tundaan total. Rumus Webster dapat dilihat pada Persamaan 3.12 berikut ini

$$S = \frac{(1,5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \sum Rq/j \text{ kritis})} \quad (3.12)$$

Keterangan :

S = waktu Siklus (detik),

W_{HH} = jumlah waktu hijau hilang per siklus (detik),

Rq/J = rasio arus dibagi dengan arus jenuh, q/j , dan

$\sum Rq/J_{Kritis}$ = rasio arus simpang pada siklus.

waktu siklus yang terlalu besar akan menyebabkan meningkatnya tundaan rata-rata. Waktu siklus (s) yang layak dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut ini

Tabel 3.4 Waktu Siklus (s) yang Layak

Tipe Pengaturan	S yang layak (detik)
Pengaturan dua-fase	40-80
Pengaturan tiga-fase	50-100
Pengaturan empat-fase	80-130

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

b. Waktu Hijau (W_H)

Selanjutnya, dilakukan penetapan waktu (W_H) untuk setiap fase (i). W_H dapat dihitung dengan rumus yang ada di Persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$W_{HI} = (s - W_{HH}) \times \frac{Rq/J_{kritis}}{\sum 1 (Rq/j \text{ kritis}) i} \quad (3.13)$$

Keterangan:

W_{Hi} = waktu hijau pada fase i (detik) dan

i = indeks untuk fase ke i.

3.3.6 Arus Lalu Lintas dan EMP

Data lalu lintas dalam satuan kendaraan per jam dikonversi menjadi SMP/jam menggunakan nilai Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) yang sesuai dengan tipe pendekat—terlindung atau terlawan. Jika satu pendekat memiliki dua tipe berbeda pada fase yang berlainan, maka digunakan dua nilai EMP yang disesuaikan dengan masing-masing fase. Nilai EMP tiap jenis kendaraan untuk kedua tipe pendekat dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Ekuivalensi mobil penumpang (EMP)

Jenis Kendaraan	EMP Untuk Tipe Pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Mobil Penumpang (MP)	1,0	1,0
Kendaraan Sedang (KS)	1,3	1,3
Sepeda Motor (SM)	0,15	0,4

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

3.3.7 Kapasitas

Kapasitas merupakan jumlah maksimum arus lalu lintas yang dapat dilayani oleh suatu simpang dengan pengaturan sinyal lalu lintas (lampu merah) dalam satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam Satuan Mobil Penumpang per jam (SMP/jam). Rumus perhitungan kapasitas dapat menggunakan Persamaan 3.14 berikut.

$$C = J \times \frac{W_H}{S} \quad (3.14)$$

Keterangan :

C = kapasitas simpang APILL (SMP/jam),

J = arus Jenuh (SMP/jam),

W_H = waktu hijau total dalam satu siklus (detik), dan

S = waktu siklus (detik).

3.3.8 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan merupakan rasio antara arus lalu lintas aktual (q) yang melintasi suatu pendekat dengan kapasitas (C) dari pendekat tersebut pada simpang. Derajat kejenuhan (D_J) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.15 berikut.

$$D_J = \frac{q}{C} \quad (3.15)$$

Keterangan :

D_J = derajat Kejenuhan,

C = kapasitas (SMP/jam), dan

q = volume Lalu lintas (SMP/jam).

3.3.9 Panjang Antrean

Panjang antrean merupakan jumlah atau panjang kendaraan yang menunggu di suatu pendekat simpang sebelum mendapat giliran melintas akibat pengaturan sinyal lalu lintas (APILL). Panjang antrean biasanya dinyatakan dalam meter atau jumlah kendaraan (kend) yang tertahan selama fase merah.

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) Jumlah rata-rata kendaraan yang mengantri pada awal fase hijau (N_q) dinyatakan dalam satuan (smp) dihitung sebagai jumlah kendaraan terhenti (smp) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) ditambah jumlah kendaraan (smp) yang datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2}). Perhitungan Nilai N_q dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.16, 3.17, 3.18 berikut

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \quad (3.16)$$

Jika $D_J \leq 0,5$ maka $N_{q1} = 0$

Jika $D_J > 0,5$ maka

$$N_{q1} = 0,25 \times s \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{s}} \right\} \quad (3.17)$$

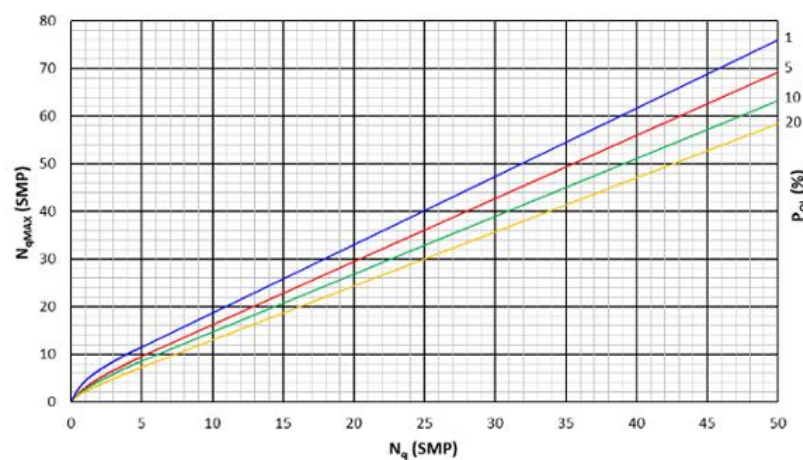
$$N_{q2} = s \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times D_J)} \times \frac{q}{6000} \quad (3.18)$$

Panjang antrean (P_A) ditentukan dengan mengalikan jumlah kendaraan antrean, N_q (dalam satuan SMP), dengan luas area rata-rata yang ditempati oleh satu kendaraan ringan, yaitu sekitar 20 m² per SMP, kemudian hasil perkalian

tersebut dibagi dengan lebar pendekat (m). Perhitungan panjang antrean (P_A) dapat dilihat pada persamaan 3.19 berikut

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M} \quad (3.19)$$

Selanjutnya mencari nilai Jumlah antrean maximum (N_{qMAX}) dengan menghubungkan nilai N_q total dengan probabilitas overloading (POL) pada grafik dalam satuan persentase. Nilai Pol (%) yang di rekomendasikan ada diantara 5% dan 10%. Grafik untuk mencari nilai N_{qMAX} dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Grafik untuk Menentukan (N_{qmax})
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.3.10 Rasio Kendaraan Henti

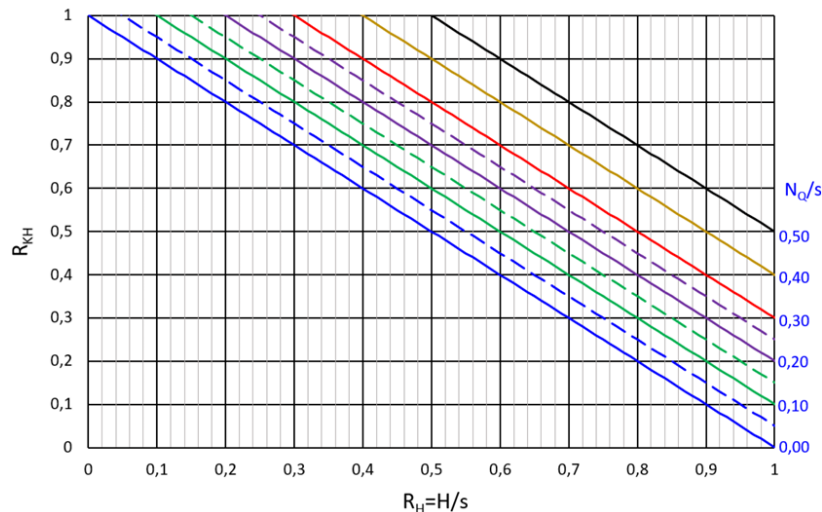
Berdasarkan Bina Marga (2023), Rasio Kendaraan Henti (R_{KH}) Rasio kendaraan pada suatu pendekat yang terpaksa berhenti karena sinyal merah sebelum melintasi simpang bersinyal (APILL) merupakan perbandingan antara jumlah kendaraan yang harus berhenti dengan total arus lalu lintas pada fase yang sama di pendekat tersebut. Rasio Kendaraan Henti (R_{KH}) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.20 atau dapat ditentukan menggunakan grafik yang ada pada Gambar 3.11.

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_q}{q \times s} \times 3600 \quad (3.20)$$

Keterangan :

N_q = jumlah rata-rata antrean kendaraan (SMP) pada awal isyarat hijau,

- S = waktu siklus (detik), dan
 q = arus lalu lintas (SMP/jam)



Gambar 3.11 Grafik Penentuan Rasio Kendaraan Henti (R_{KH})
 (Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.3.11 Tundaan

Tundaan adalah selisih waktu tempuh yang dialami kendaraan ketika melintasi suatu simpang dibandingkan dengan waktu tempuh ideal tanpa hambatan, yang umumnya terjadi akibat interaksi antar arus lalu lintas, pengaturan sinyal, serta keterbatasan kapasitas simpang. Menurut Bina Marga (2023), tundaan pada simpang bersinyal (APILL) dipengaruhi oleh dua faktor utama sebagai berikut.

1. Tundaan akibat kondisi lalu lintas (T_{LL})

Tundaan akibat kondisi lalu lintas (T_{LL}) yang umumnya disebabkan oleh yang disebabkan oleh interaksi kendaraan, volume arus, serta derajat kejenuhan simpang. Tundaan akibat kondisi lalu lintas dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.21 sebagai berikut.

$$T_{LL} = s \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_I)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{C} \quad (3.21)$$

2. Tundaan akibat faktor geometrik simpang (TG).

Tundaan yang timbul karena kondisi fisik simpang seperti lebar pendekat, jumlah lajur, serta proporsi kendaraan yang membelok. Tundaan akibat faktor

geometrik simpang dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.22 sebagai berikut.

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \quad (3.22)$$

Keterangan :

P_B = porsi kendaraan membelok pada suatu mendekat

3. Tundaan Rata- Rata

Tundaan rata-rata merupakan total dari dua jenis tundaan, Tundaan rata-rata dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.23 berikut

$$T = T_{LL} + T_G \quad (3.23)$$

Tundaan rata rata pada seluruh pendekat simpang APILL dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.24 berikut

$$T_i = \frac{\sum q \times T}{q_{total}} \quad (3.24)$$

3.4 Penilaian Tingkat Pelayanan Simpang APILL

Penilaian tingkat pelayanan simpang APILL bertujuan untuk menilai sejauh mana kinerja suatu simpang dalam melayani pergerakan lalu lintas, khususnya dalam hal kelancaran, kenyamanan, dan efisiensi perjalanan kendaraan. Menurut Republik Indonesia (2015) dalam Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015, tingkat pelayanan adalah ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas. Tingkat pelayanan pada simpang dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Tingkat Pelayanan pada Persimpangan

Tingkat Pelayanan	Tundaaan
A	< 5
B	5,1 – 15
C	15,1 – 25
D	25,1 – 40
E	40,1 – 60
F	> 60

Sumber: Kementerian Perhubungan (2015)

Pelayanan pada sebuah persimpangan bisa dinilai dari peran jalan-jalan yang terhubung di persimpangan itu. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, klasifikasi tingkat pelayanan pada simpang dibedakan menurut sistem jaringan jalan sebagai berikut. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, klasifikasi level pelayanan persimpangan dibedakan berdasarkan sistem jaringan jalan seperti berikut.

1. Jaringan Jalan Primer
 - a. Jalan arteri primer harus setidaknya mencapai tingkat pelayanan B.
 - b. Jalan kolektor primer juga wajib memiliki tingkat pelayanan minimal B.
 - c. Jalan lokal primer harus memenuhi tingkat pelayanan minimal C.
 - d. Pada jalan tol, tingkat pelayanan minimum yang diperlukan adalah B.
2. Jaringan Jalan Sekunder
 - a. Jalan arteri sekunder harus memiliki tingkat pelayanan C.
 - b. Jalan kolektor sekunder dituntut memiliki tingkat pelayanan minimal C.
 - c. Jalan lokal sekunder harus mencapai tingkat pelayanan setidaknya D.
 - d. Jalan lingkungan diharuskan memenuhi tingkat pelayanan paling rendah D.

3.5 Mikrosimulasi Lalu Lintas dengan PTV VISSIM

VISSIM (*Versatile Integrated Simulation Modeling*) adalah perangkat lunak simulasi mikroskopis yang digunakan untuk memodelkan serta menilai kinerja sistem pengendalian lalu lintas yang bekerja berdasarkan respons atau deteksi pergerakan kendaraan (Fellendorf, 1994). VISSIM merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh PTV (*Planning Transport Verkehr AG*) yang berlokasi di Karlsruhe, Jerman. Nama VISSIM berasal dari istilah Jerman “*Verkehr Stadten – SIMulationsmodell*”, yang berarti model simulasi lalu lintas perkotaan. Perangkat lunak ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1992 dan terus mengalami perkembangan pesat hingga kini.

Perangkat lunak ini bekerja dengan memodelkan pergerakan setiap kendaraan secara individual dalam bentuk 2D dan 3D berdasarkan data geometrik simpang, volume arus lalu lintas, serta pengaturan waktu sinyal. Melalui pendekatan tersebut, VISSIM mampu merepresentasikan kondisi lalu lintas secara

mendekati nyata dan menghasilkan berbagai parameter kinerja seperti tundaan rata-rata, panjang antrian, kecepatan kendaraan, serta tingkat pelayanan (*Level of Service/LOS*). Parameter-parameter tersebut menjadi dasar dalam mengevaluasi kondisi eksisting maupun dalam mengkaji efektivitas berbagai alternatif pengaturan lalu lintas.

3.5.1 Kalibrasi dan Validasi Data

Dalam *software* VISSIM, proses kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan nilai parameter pada *driving behavior*. Parameter ini berperan penting dalam menggambarkan interaksi antar kendaraan, seperti jarak antar kendaraan, kecepatan, serta respons pengemudi terhadap situasi lalu lintas. Penyesuaian tersebut diperlukan agar perilaku kendaraan dalam simulasi dapat merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Sedangkan validasi yaitu merupakan tahapan untuk menguji tingkat kesesuaian hasil model yang telah dikalibrasi terhadap kondisi nyata.

Validasi dilakukan dengan mengevaluasi kesesuaian data digunakan pengujian metode rumus statistik GEH (Geoffrey E.Havers). Pada Persamaan 3.25 dapat dilihat dan tabel 3.7 syarat nilai *trial and error* yang dihasilkan sebagai berikut.

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{simulated} - q_{observed})^2}{0,5 \times (q_{simulated} + q_{observed})}} \quad (3.25)$$

Keterangan :

q = data volume arus lalu lintas (kendaraan / jam).

Tabel 3.7 Penilaian Hasil Uji Statistika GEH

GEH < 5,0	Diterima
5,0 ≤ GEH ≤ 10,0	Peringatan: Kemungkinan model error atau data buruk
GEH > 10,0	Ditolak

Sumber: Gustavsson (2008)

Selanjutnya, uji Mean Average Percentage Error (MAPE) digunakan sebagai tahap validasi eksternal. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi tingkat akurasi parameter kinerja pada ruas jalan dan simpang, meliputi kecepatan kendaraan serta panjang antrean. Nilai MAPE dihitung menggunakan Persamaan 3.26 berikut

$$MAPE = \frac{1}{n} \times \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100\% \quad (3.26)$$

dengan :

n = jumlah data,

A_i = data lapangan, dan

F_i = data hasil simulasi.

Pada Tabel 3.8 dapat dilihat kesimpulan perhitungan MAPE sebagai berikut.

Tabel 3.8 Kesimpulan dari Hasil Perhitungan MAPE

MAPE	Kesimpulan
<10%	Hasil simulasi sangat baik
10 – 20%	Hasil simulasi baik
20 – 50%	Hasil simulasi memadai
>50%	Hasil simulasi tidak akurat

Sumber: Gustavsson (2008)

3.6 Biaya Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan LAPI-ITB tahun 1996

Isnaeni & Lubis (2003) dalam penelitiannya mengenai konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang, mengukur konsumsi bahan bakar memakai metode formulasi yang dikembangkan oleh LAPI-ITB dan sudah diubah ke satuan mobil penumpang. Sehingga, perhitungan konsumsi bahan bakar dapat diestimasi dengan persamaan yang ada pada Persamaan 3.27, 3.28, dan 3.29 berikut

$$F1 = A + BV + CV^2 \quad (3.27)$$

$$F2 = EV^2 \quad (3.28)$$

$$F3 = D \quad (3.29)$$

Keterangan

F1 = konsumsi BBM pada keadaan konstan (liter/100smp – km),

F2 = konsumsi BBM pada saat akselerasi/deselerasi (liter/smp),

F3 = konsumsi BBM pada saat *idle* (liter/smp-jam), dan

$A = 170.10^1$, $B = -455.10^{-5}$, $D = 140.10^{-2}$, dan $E = -770.10^{-8}$.

Karena kasus yang dikaji merupakan pendekatan simpang, maka kondisi kendaraan yang diam (*idle*) saat menunggu giliran di lampu lalu lintas turut memengaruhi tingkat konsumsi bahan bakar. Dengan demikian, perhitungan konsumsi bahan bakar pada penelitian ini juga mempertimbangkan penggunaan.

3.7 Biaya Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Persamaan Lamsal (ATIS-India) tahun 2013

Lamsal (2013) melakukan penelitian mengenai estimasi konsumsi bahan bakar kendaraan dalam sistem *Automotive Traffic Information System* (ATIS) di India. Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis pemborosan bahan bakar yang timbul akibat kondisi lalu lintas yang tidak efisien, khususnya pada persimpangan bersinyal yang sering menyebabkan tundaan kendaraan. Dalam pendekatan ini, konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan karakteristik masing-masing jenis kendaraan saat berada dalam kondisi *idle*, yaitu ketika kendaraan berhenti namun mesin tetap menyala.

Kondisi *idle* umumnya terjadi pada simpang bersinyal ketika kendaraan menunggu fase lampu hijau. Pada kondisi tersebut, kendaraan tetap mengonsumsi bahan bakar meskipun tidak melakukan pergerakan. Semakin lama tundaan yang dialami kendaraan, maka semakin besar pula bahan bakar yang terbuang. Oleh karena itu, pendekatan Lamsal menekankan bahwa besarnya konsumsi bahan bakar pada simpang bersinyal sangat dipengaruhi oleh durasi tundaan dan jumlah kendaraan yang mengalami tundaan.

Metode Lamsal menggunakan koefisien konsumsi bahan bakar yang dinyatakan dalam satuan mililiter per jam (ml/jam) untuk setiap jenis kendaraan. Nilai koefisien tersebut diperoleh berdasarkan karakteristik operasional kendaraan yang berbeda, seperti sepeda motor, kendaraan ringan, dan kendaraan berat. Dengan menggunakan koefisien tersebut, konsumsi bahan bakar selama kendaraan berada

dalam kondisi *idle* dapat dihitung berdasarkan waktu tundaan yang dialami kendaraan pada simpang.

Pendekatan ini dinilai lebih representatif dibandingkan metode yang lebih sederhana karena mempertimbangkan perbedaan laju konsumsi bahan bakar pada tiap jenis kendaraan. Dengan demikian, estimasi pemborosan bahan bakar akibat tundaan pada simpang bersinyal dapat menggambarkan kondisi lalu lintas secara lebih realistis. Nilai koefisien konsumsi bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Nilai Konversi Koefisien Konsumsi BBM

Jenis Kendaraan	Koefisien Konsumsi BBM (ml/jam)
<i>Motor Cycle (MC)</i>	170
<i>Light Vehicle (LV)</i>	767
<i>Heavy Vehicle (HV)</i>	833

Sumber: Lamsal (2013)

Klasifikasi jenis kendaraan pada Tabel 3.9 mengacu pada metode Lamsal (2013), dan dalam tugas akhir ini telah disesuaikan dengan klasifikasi kendaraan berdasarkan PKJI 2023, dengan penyesuaian sebagai berikut:

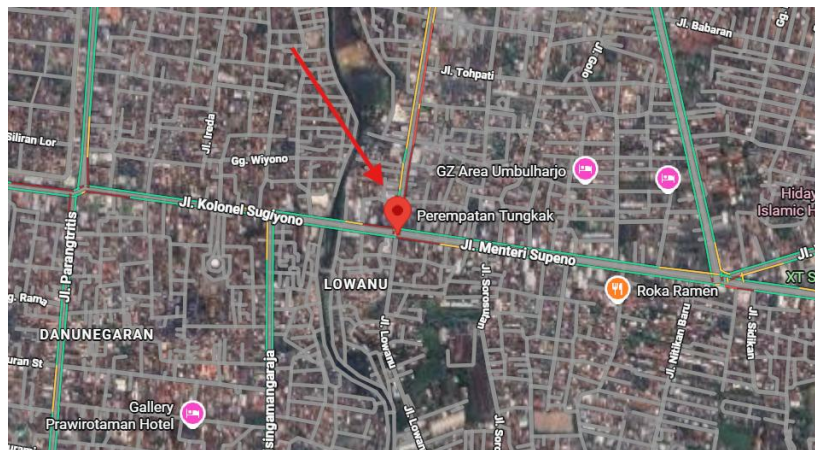
1. *Motor Cycle* (MC) dikategorikan sebagai Sepeda Motor (SM) karena keduanya mewakili kendaraan bermotor roda dua dengan karakteristik kecepatan dan konsumsi bahan bakar yang serupa.
2. *Light Vehicle* (LV) disesuaikan sebagai Mobil Penumpang (MP) karena keduanya merepresentasikan kendaraan ringan beroda empat yang digunakan untuk angkutan pribadi.
3. *Heavy Vehicle* (HV) dikonversi menjadi Kendaraan Sedang (KS) dalam penelitian ini, karena tidak adanya nilai ekuivalensi mobil penumpang (EMP) untuk kendaraan berat pada PKJI 2023, sehingga kendaraan besar seperti Bus Besar dan Truk Besar dikelompokkan ke dalam kategori KS.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Studi ini berfokus pada evaluasi kinerja operasional Simpang Tungkak, suatu persimpangan empat beraturan sinyal lalu lintas yang terletak di Kota Yogyakarta. Persimpangan ini berfungsi sebagai titik temu yang menghubungkan arus lalu lintas dari beberapa jalan, yaitu Jalan Taman Siswa, Jalan Kolonel Sugiyono, Jalan Menteri Supeno, dan Jalan Lowanu. Detail posisi geografis Simpang Tungkak dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Simpang Tungkak
(Sumber : Google Maps, 2025)

4.2 Data Penelitian

Data primer dan data sekunder digunakan dalam Tugas Akhir ini sebagai dasar dalam proses analisis. Data primer diperoleh secara langsung melalui survei di lapangan pada lokasi penelitian, meliputi pencatatan kondisi geometrik, volume lalu lintas, pola pergerakan kendaraan, serta parameter operasional simpang lainnya. Pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi manual maupun rekaman video agar kondisi aktual dapat terwakili secara akurat.

Data sekunder diperoleh dari berbagai sumber yang telah dipublikasikan sebelumnya, seperti laporan instansi terkait dan arsip dari dinas perhubungan. Ringkasan lengkap mengenai jenis dan sumber data yang digunakan ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Penelitian

Data Primer	Data Sekunder
1. Geometri Simpang 2. Hambatan Samping 3. Waktu Siklus Simpang 4. Volume Kendaraan 5. Kecepatan Kendaraan 6. Data <i>Driving Behavior</i> 7. Panjang Antrean	1. Jumlah Penduduk 2. Data Ukuran Kota

4.3 Metode Pengumpulan Data

4.3.1 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan penelitian yang digunakan dalam pengumpulan data adalah sebagai berikut.

1. Formulir survei dan alat tulis, digunakan sebagai media pencatatan data dan dokumentasi hasil observasi lapangan secara manual.
2. Meteran, digunakan untuk melakukan pengukuran dimensi geometrik jalan, terutama lebar efektif lajur lalu lintas..
3. *Stopwatch*, digunakan untuk menghitung konfigurasi waktu APILL.
4. *Speed gun*, digunakan untuk mengambil data kecepatan kendaraan.
5. Kamera, berfungsi sebagai perangkat dokumentasi visual untuk merekam arus lalu lintas secara berkelanjutan pada titik-titik pengamatan yang telah ditentukan.
6. *Powerbank*, digunakan sebagai sumber daya listrik cadangan untuk menjaga kontinuitas operasi perangkat perekaman (kamera) selama periode survei.
7. *Walking measure*, digunakan untuk mengukur geometri simpang.

8. Cat Semprot, digunakan sebagai penanda visual pada perkerasan jalan untuk membatasi area pengukuran atau menandai titik awal/akhir penghitungan data tertentu.
9. Komputer, digunakan sebagai alat untuk memproses, menganalisis, dan memodelkan data survei, serta untuk mendukung analisis simulasi ruas/persimpangan.

4.3.2 Waktu Pelaksanaan Survei

Pengumpulan data survei dilakukan dengan memperhatikan dua kondisi operasional, yaitu hari kerja dan akhir pekan. Hari kerja diwakili oleh survei pada hari Senin dan Rabu, sedangkan akhir pekan direpresentasikan melalui survei pada hari Sabtu. Waktu survei dibagi menjadi beberapa rentang waktu terpisah sebagai berikut.

Pagi, pukul : 06.00 – 08.00 WIB

Siang, pukul : 12.00 – 14.00 WIB

Sore, pukul : 16.00 – 18.00 WIB

Pemilihan hari dan rentang waktu tersebut didasarkan pada hasil observasi awal serta merujuk pada penelitian terdahulu, yaitu studi Virawan dkk. (2018) di Simpang Tungkak dan penelitian Rahmayuda (2023) pada Simpang Bersinyal Jukteng Wetan, yang berada pada koridor yang sama di ruas Jalan Kolonel Sugiyono.

4.3.3 Survei Data Lalu Lintas

Survei arus lalu lintas pada penelitian ini dilaksanakan untuk memperoleh data operasional yang diperlukan dalam proses pemodelan. Kegiatan survei tersebut disusun dalam beberapa tahapan utama sebagaimana dijelaskan sebagai berikut.

1. Tahap persiapan survei

Tahap persiapan survei mencakup sejumlah kegiatan awal yang diperlukan untuk memastikan proses pengumpulan data berjalan optimal, yaitu.

- a. Menyiapkan lembar pencatatan volume lalu lintas yang sesuai dengan pedoman PKJI (2023).

- b. Melakukan pemasangan kamera pada titik pengamatan yang telah ditetapkan, dengan memastikan sudut pandang dan kualitas rekaman memadai untuk menangkap keseluruhan pergerakan kendaraan.
 - c. Menempatkan surveyor pada posisi yang telah direncanakan, selaras dengan lokasi pemasangan kamera.
- 2. Tahap pelaksanaan survei
 - a. Pengukuran kondisi geometri ruas jalan

Pengukuran geometri dilakukan untuk memperoleh gambaran fisik simpang secara menyeluruh. Parameter yang dicatat mencakup lebar jalur masuk dan keluar, jumlah lajur simpang. Pengukuran dilakukan menggunakan roll meter untuk memastikan ketelitian, disertai observasi visual terhadap median, fasilitas pendukung, dan elemen fisik lainnya.
 - b. Pengambilan data *Driving Behaviour*

Driving Behaviour merupakan data penting yang digunakan dalam pemodelan PTV VISSIM karena memengaruhi interaksi antar kendaraan di dalam simulasi. Data perilaku pengemudi diperoleh dengan mengukur jarak antar kendaraan, baik jarak longitudinal (depan–belakang) maupun lateral (kanan–kiri). Pengukuran jarak kendaraan saat kondisi berhenti dilakukan menggunakan *walking measure*, sedangkan pengukuran pada kondisi kendaraan bergerak dibantu dengan penanda cat semprot berwarna yang dibuat pada permukaan aspal dengan interval setiap 50 cm untuk mempermudah pengamatan dan pengukuran jarak antar kendaraan.
 - c. Pengambilan Data Volume Lalu Lintas

Pengumpulan data dilakukan melalui survei video menggunakan kamera yang dipasang pada titik strategis di sekitar persimpangan. Penempatan kamera disesuaikan agar seluruh pergerakan kendaraan di setiap lengan simpang dapat terekam dengan jelas. Data arus lalu lintas yang diperoleh kemudian dianalisis dan dikelompokkan menjadi empat jenis kendaraan sesuai PKJI 2023, yaitu Mobil Penumpang, Kendaraan Sedang, Sepeda Motor, dan Kendaraan Tidak Bermotor.

d. Pengambilan Data Kecepatan Kendaraan

Pengambilan data kecepatan dilakukan melalui observasi langsung pada setiap pendekat dengan jarak pengukuran yang telah ditetapkan menggunakan alat ukur kecepatan (*speed gun*). Pengukuran kecepatan konstan dilakukan pada jarak sekitar 20–50 meter sebelum antrean terakhir agar tidak dipengaruhi kemacetan agar hasil pengambilan data dapat merepresentasikan kecepatan aktual kendaraan dalam kondisi lalu lintas yang normal.

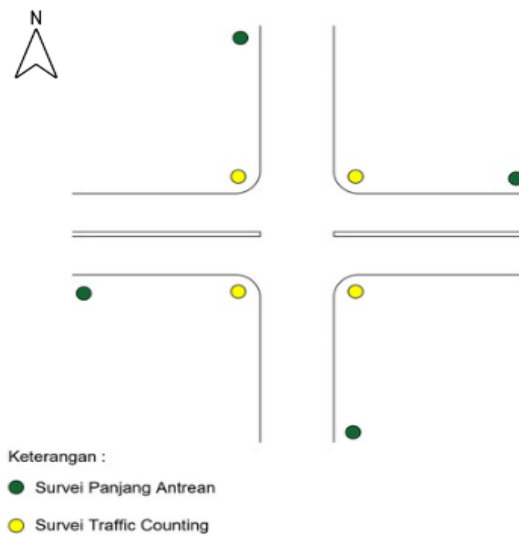
e. Pengambilan Data Panjang Antrean

Pengambilan data panjang antrean dilakukan melalui pengukuran langsung di lapangan untuk mengetahui panjang antrean yang terbentuk, terutama pada jam puncak. Pencatatan dilakukan setiap 15 menit, dengan pengukuran khusus pada fase merah. Panjang antrean diukur dari garis henti (*stop line*) hingga kendaraan paling belakang menggunakan meteran dan penanda visual yang tersedia

f. Pengambilan Data Hambatan Samping

Metode pengambilan data hambatan samping dilakukan melalui survei langsung di lapangan pada masing-masing lengan simpang. Pengamatan dilakukan pada sisi kiri dan kanan pendekat dengan mencatat jenis hambatan samping berupa pejalan kaki, kendaraan berhenti, dan kendaraan keluar masuk akses jalan. Jumlah kejadian tiap jenis hambatan samping kemudian dikalikan dengan bobot sesuai ketentuan PKJI 2023. Nilai hambatan samping total diperoleh dari penjumlahan seluruh hasil pembobotan dan digunakan untuk menentukan kategori serta faktor penyesuaian hambatan samping dalam analisis kinerja simpang.

Sebagai penjabar pelaksanaan survei lapangan, khususnya pada kegiatan pengambilan data volume lalu lintas dan panjang antrean, sketsa rencana penempatan surveyor pada masing-masing pendekat simpang disajikan pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Sketsa Rencana Penempatan Surveyor di Lapangan

4.4 Analisis Data

Pada penelitian ini, proses analisis data dilakukan dengan metode-metode berikut.

1. Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023

Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 digunakan sebagai dasar utama dalam menganalisis kinerja simpang bersinyal pada lokasi penelitian. Metode ini dipilih karena memberikan pendekatan perhitungan yang lebih mutakhir dan sesuai kondisi lalu lintas Indonesia saat ini. Analisis kinerja simpang yang akan dilakukan meliputi sebagai berikut.

a. Kapasitas simpang

Kapasitas merupakan jumlah maksimum arus lalu lintas yang dapat dilayani oleh suatu simpang dengan pengaturan sinyal lalu lintas (lampu merah) dalam satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam Satuan Mobil Penumpang per jam (SMP/jam). Kapasitas simpang dihitung menggunakan data arus jenuh, rasio arus jenuh, dan pengaturan waktu sinyal lalu lintas, termasuk durasi hijau, merah, dan interval antarfase.

b. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan adalah angka yang menunjukkan seberapa ramai suatu lengan simpang dibandingkan dengan batas kemampuan jalan tersebut

menampung kendaraan. Derajat kejenuhan dihitung dengan membandingkan jumlah kendaraan yang lewat dengan kemampuan maksimum simpang menampung kendaraan.

c. Panjang antrean

Panjang antrean merupakan jumlah atau panjang kendaraan yang menunggu di suatu pendekat simpang sebelum mendapat giliran melintas akibat pengaturan sinyal lalu lintas (APILL). Panjang antrean biasanya dinyatakan dalam meter atau jumlah kendaraan (kend) yang tertahan selama fase merah. Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) Panjang antrean dihitung sebagai jumlah kendaraan terhenti (smp) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya ditambah jumlah kendaraan (smp) yang datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah.

d. Tundaan

Tundaan adalah selisih antara waktu tempuh kendaraan saat melintasi simpang dengan waktu tempuh ideal tanpa hambatan. Berdasarkan Bina Marga (2023), tundaan pada simpang bersinyal dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu kondisi lalu lintas dan geometri simpang. Tundaan akibat kondisi lalu lintas muncul ketika volume kendaraan tinggi sehingga antrean bertambah dan waktu tunggu meningkat. Sementara itu, tundaan akibat faktor geometrik timbul dari kondisi fisik simpang yang kurang mendukung kelancaran, seperti lebar pendekat yang sempit atau tidak adanya lajur belok khusus.

2. Pemodelan menggunakan *software* VISSIM

Pemodelan lalu lintas dengan PTV VISSIM digunakan untuk merepresentasikan kondisi operasional simpang secara mendekati keadaan nyata, sehingga kinerja eksisting maupun alternatif perbaikan dapat dievaluasi secara lebih akurat.. Proses analisis data melalui pemodelan VISSIM dilakukan melalui tahapan berikut.

a. Mengolah data primer menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Data primer diperoleh dari survei lapangan, seperti volume lalu lintas, kecepatan

kendaraan, waktu siklus sinyal, serta data pendukung lainnya yang digunakan dalam analisis dan pemodelan lalu lintas.

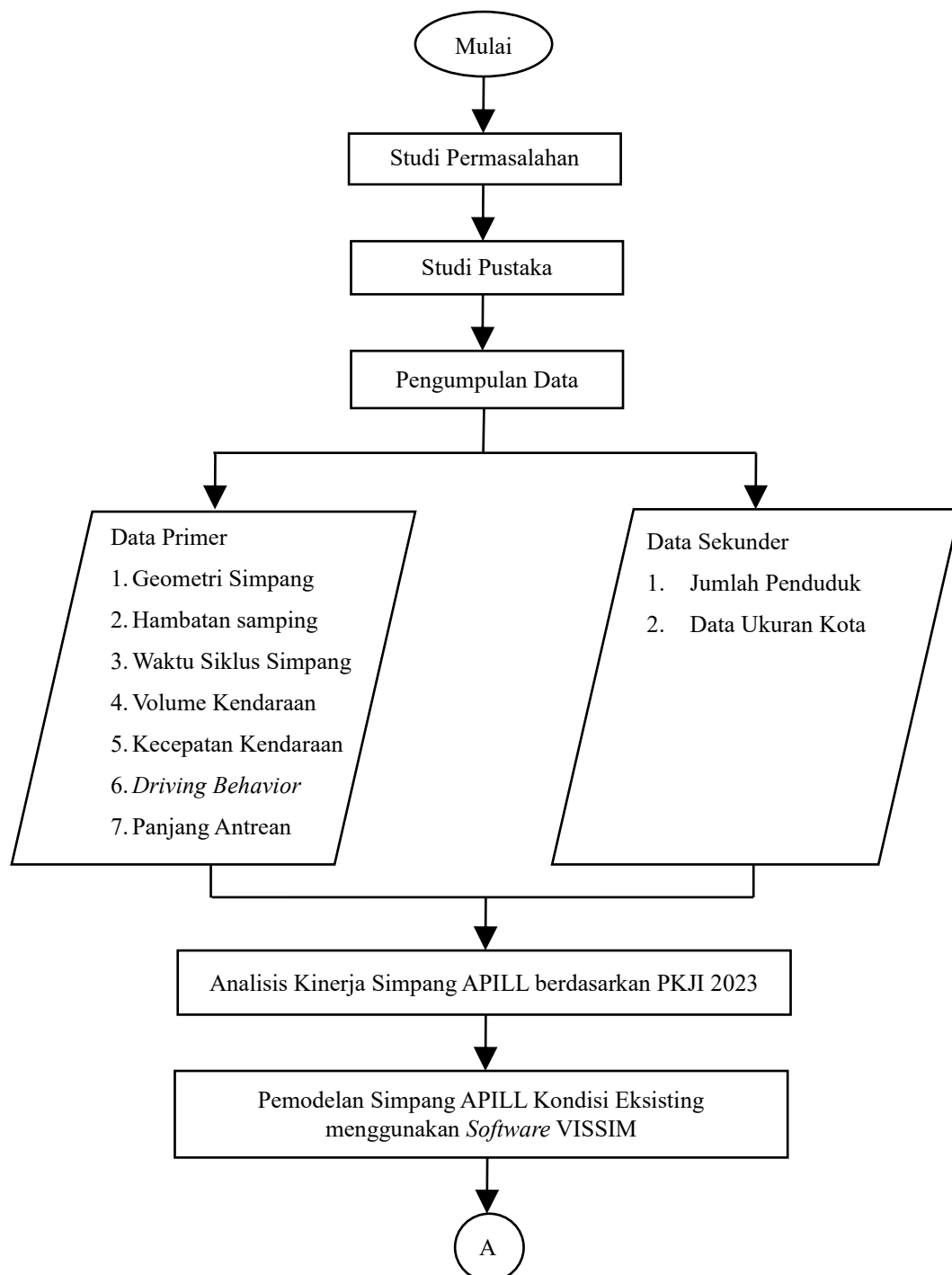
- b. Data sekunder meliputi peta lokasi, dokumentasi geometri simpang, kondisi lingkungan sekitar, serta informasi pendukung lainnya yang dibutuhkan untuk membangun model jaringan jalan secara akurat dalam perangkat lunak VISSIM.
- c. Tahap selanjutnya adalah membuat pemodelan kondisi eksisting pada perangkat lunak PTV VISSIM. Tahap ini mencakup pemodelan geometri simpang, panjang pendekat, jumlah lajur, serta konfigurasi jalur sesuai dengan kondisi hasil survei lapangan.
- d. Menginput volume kendaraan hasil survei ke dalam model simulasi, termasuk persentase masing-masing jenis kendaraan seperti sepeda motor, kendaraan ringan, dan kendaraan berat sesuai dengan komposisi lalu lintas aktual di lapangan.
- e. Menentukan pola pergerakan kendaraan pada setiap lengan simpang berdasarkan arah perjalanan kendaraan yang diamati selama survei lalu lintas berlangsung, seperti pergerakan lurus, belok kiri, dan belok kanan.
- f. Mengatur parameter perilaku pengemudi (*Driving Behaviour*) seperti jarak antar kendaraan, kecepatan, percepatan, deselerasi, dan perilaku perpindahan lajur agar sesuai dengan karakteristik pengemudi di lokasi penelitian sehingga simulasi dapat menggambarkan kondisi lalu lintas yang lebih realistis.
- g. Kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan parameter perilaku pengemudi (*Driving Behaviour*) hingga hasil simulasi, seperti volume lalu lintas dan kecepatan kendaraan, mendekati data hasil survei lapangan. Tahap ini bertujuan menghasilkan model simulasi yang mampu merepresentasikan kondisi eksisting secara akurat.
- h. Setelah model dikalibrasi, dilakukan validasi dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data lapangan menggunakan metode statistik Geoffrey E. Havers (GEH). Model dinyatakan valid apabila nilai GEH berada dalam

rentang yang dapat diterima sehingga hasil simulasi dapat digunakan dalam proses analisis.

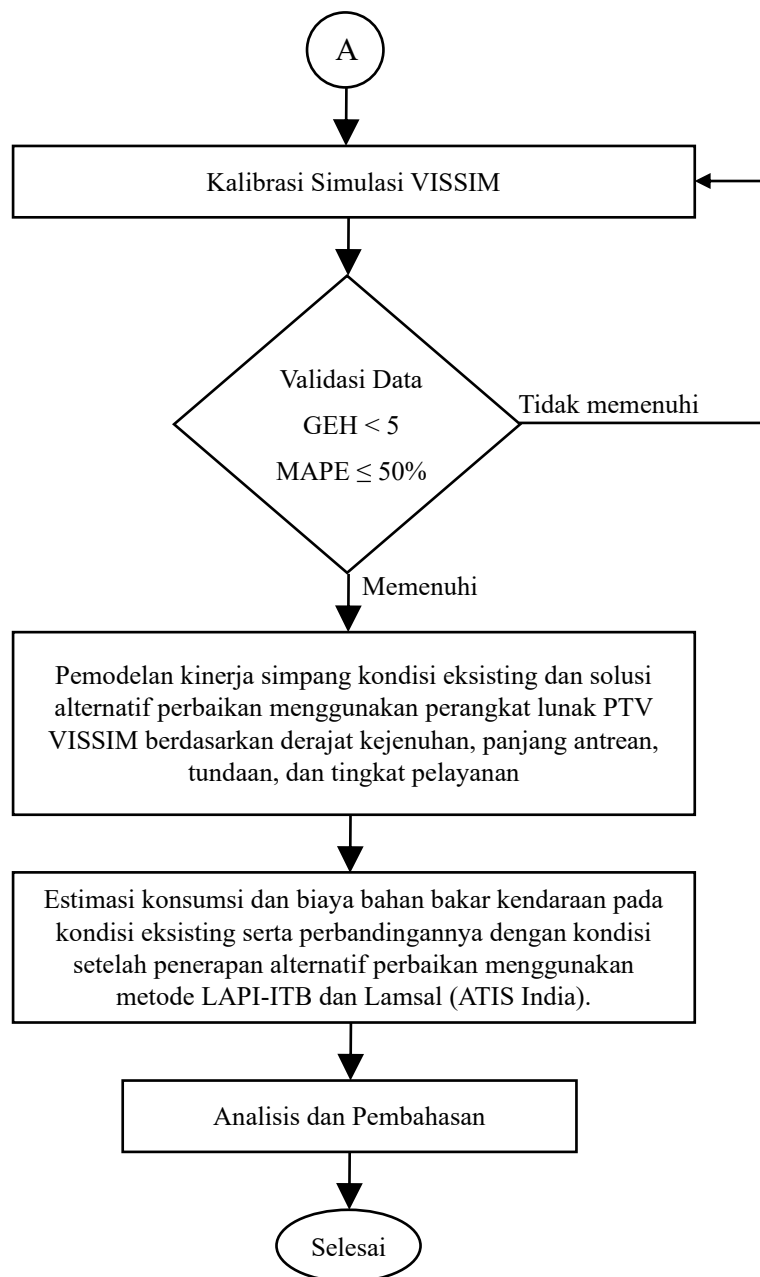
- i. Model yang telah tervalidasi selanjutnya digunakan untuk menghasilkan berbagai output simulasi, seperti volume kendaraan, kecepatan rata-rata, tundaan, panjang antrean, dan parameter lalu lintas lainnya yang diperlukan dalam analisis kinerja simpang. Hasil simulasi tersebut menjadi dasar dalam mengevaluasi tingkat pelayanan simpang dan merumuskan alternatif perbaikan.
 - j. Dilakukan perbandingan nilai derajat kejenuhan, kecepatan kendaraan, tundaan, serta panjang antrean antara kondisi eksisting dan kondisi setelah penerapan alternatif perbaikan. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk menilai efektivitas setiap skenario perbaikan berdasarkan tingkat pelayanan (*Level of Service/LOS*) mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015.
3. Analisis konsumsi bahan bakar menggunakan persamaan LAPI-ITB tahun 1996 dan Lamsal (ATIS-India)
- Analisis konsumsi bahan bakar dilakukan untuk menilai sejauh mana besarnya tundaan lalu lintas berkontribusi terhadap peningkatan kebutuhan bahan bakar kendaraan pada simpang bersinyal. Perhitungan dilakukan menggunakan model estimasi yang telah disesuaikan ke dalam satuan mobil penumpang (smp), mengacu pada persamaan yang dikembangkan oleh LAPI-ITB serta metode Lamsal (ATIS-India). Kedua metode tersebut digunakan untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar akibat kendaraan yang mengalami tundaan, perlambatan, dan kondisi berhenti saat melewati simpang. Nilai konsumsi bahan bakar (liter/smp) diperoleh berdasarkan tundaan pada masing-masing pendekat secara keseluruhan. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya digunakan untuk membandingkan tingkat efisiensi konsumsi bahan bakar antara kondisi eksisting dan kondisi setelah penerapan alternatif perbaikan simpang.

4.5 Bagan Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada bagan alir yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Hasil Pengamatan

Data hasil pengamatan dalam penelitian ini digunakan sebagai dasar analisis kinerja simpang bersinyal. Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei langsung di lapangan pada Simpang Tungkak dengan metode pengamatan dan perekaman lalu lintas. Data primer yang dikumpulkan meliputi geometri simpang, waktu siklus sinyal, volume lalu lintas, panjang antrean, kecepatan kendaraan, perilaku berkendara (*Driving Behaviour*), serta data hambatan sampang pada masing-masing lengan simpang.

Sementara itu, data sekunder diperoleh dari instansi terkait sebagai data pendukung dalam analisis kinerja simpang. Data sekunder yang digunakan meliputi data kependudukan dan informasi lain yang relevan dengan kondisi lalu lintas di sekitar Simpang Tungkak. Seluruh data yang telah dikumpulkan kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan kinerja simpang menggunakan metode PKJI 2023, serta sebagai input dalam pemodelan simulasi menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Dengan demikian, hasil analisis yang diperoleh diharapkan dapat merepresentasikan kondisi lalu lintas aktual pada lokasi penelitian secara lebih akurat.

5.1.1 Data Geometri Simpang

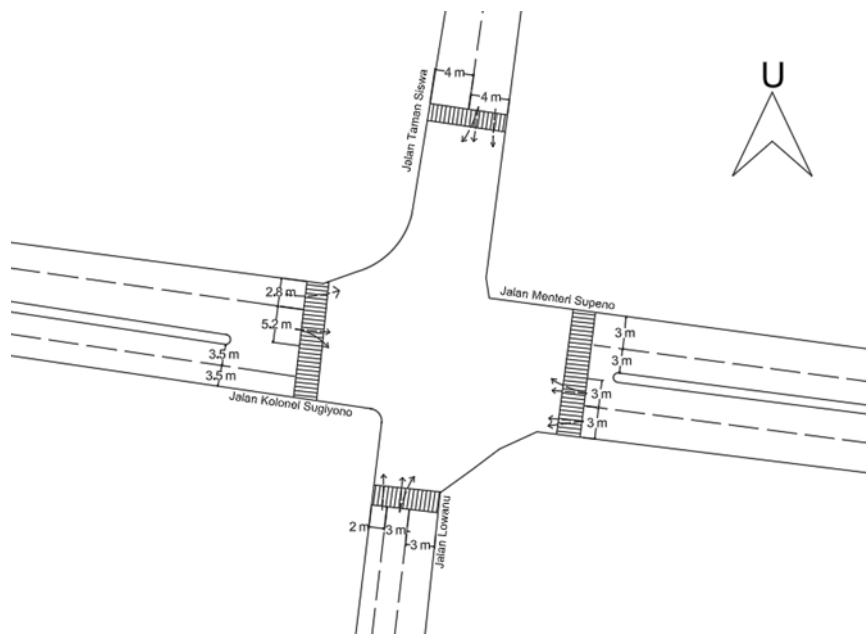
Data geometri simpang merupakan data yang menggambarkan kondisi fisik dan dimensi simpang yang menjadi objek penelitian. Data ini diperoleh melalui survei dan pengukuran langsung di lapangan pada setiap lengan simpang guna mengetahui karakteristik geometrik yang memengaruhi kinerja lalu lintas. Pengukuran dilakukan terhadap lebar pendekat, lebar lajur, lebar masuk dan keluar simpang. Pengumpulan data dilakukan menggunakan alat ukur berupa *walking measure* sehingga diperoleh nilai lebar aktual yang selanjutnya digunakan untuk menentukan lebar efektif pendekat sesuai ketentuan PKJI 2023. Selain pengukuran

dimensi, dilakukan pula pengamatan terhadap tipe lajur dan konfigurasi simpang untuk memastikan kesesuaian kondisi lapangan.

Data dan sketsa geometrik Simpang Tungkak, Yogyakarta dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Data Geometri Simpang Tungkak

Pendekat	Ruas Jalan	Median	Belok Kiri Jalan Terus	Lebar Pendekat (m)			
				pada awal lajur	pada garis henti	pada lajur belok kiri	pada lajur keluar
Utara	Jalan Taman Siswa	Tidak	Ya	4	2	2	3
Timur	Jalan Menteri Supeno	Ada	Tidak	6	6	0	7
Selatan	Jalan Lowanu	Tidak	Ya	5	3	2	4
Barat	Jalan Kolonel Sugiyono	Ada	Ya	8	5,2	2,8	6



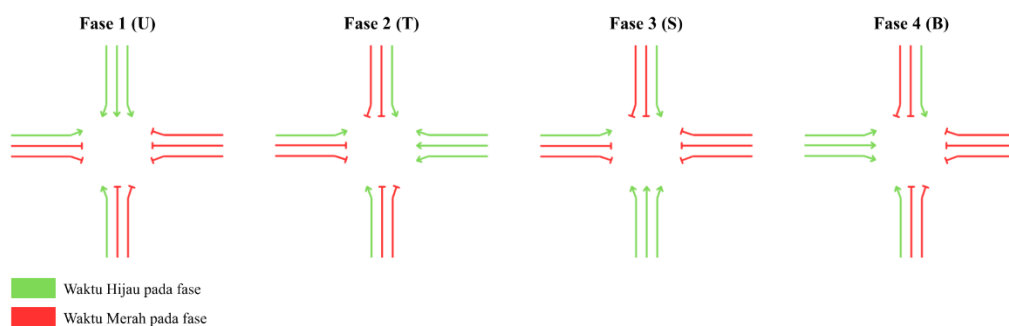
Gambar 5.1 Geometri Simpang Tungkak

5.1.2 Data Pengaturan Isyarat Lalu Lintas

Data pengaturan isyarat lalu lintas digunakan untuk menggambarkan sistem pengendalian pada simpang bersinyal di lokasi penelitian. Data tersebut meliputi jumlah fase, urutan fase, serta durasi waktu isyarat berupa waktu hijau, kuning, merah, dan waktu antar merah (*all-red*) pada masing-masing pendekat simpang. Informasi ini diperlukan untuk mengetahui pola pengoperasian simpang dan sebagai dasar analisis kinerja lalu lintas.

Pengambilan data dilakukan melalui pengamatan langsung di lapangan dengan mencatat perubahan sinyal menggunakan *stopwatch*. Pengukuran dilakukan secara berulang untuk memperoleh durasi waktu yang representatif. Hasil pengamatan kemudian digunakan untuk menentukan waktu siklus sinyal yang merupakan akumulasi seluruh waktu isyarat dalam satu putaran penuh pengendalian simpang.

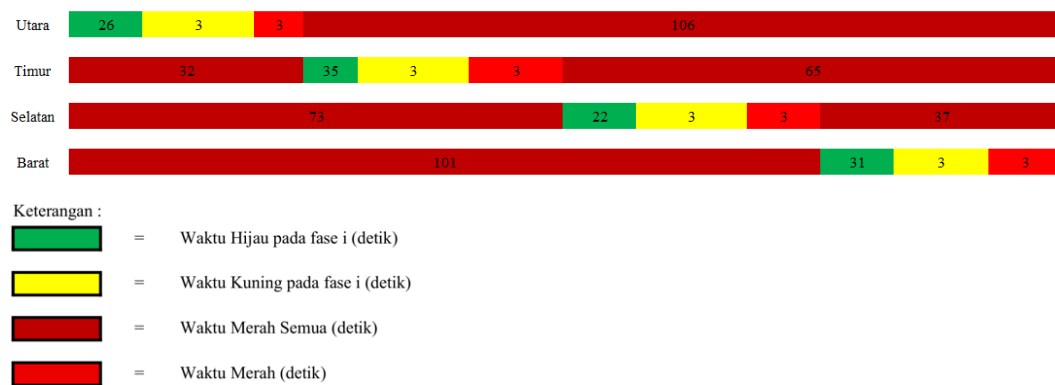
Dari hasil pengamatan di lapangan, Simpang Tungkak memiliki waktu siklus sebesar 138 detik dengan konfigurasi pengaturan yang terdiri atas empat fase. Seluruh fase pada setiap pendekat beroperasi sebagai fase terlindung, sehingga setiap pergerakan kendaraan mendapatkan alokasi waktu tersendiri untuk melintasi persimpangan tanpa menimbulkan konflik dengan arus dari arah berlawanan. Ilustrasi mengenai urutan fase dapat dilihat pada Gambar 5.2 sedangkan untuk data rincian waktu isyarat dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Gambar 5.3.



Gambar 5.2 Urutan Fase Kondisi Eksisting Simpang Tungkak

Tabel 5.2 Data Waktu Isyarat Simpang Tungkak

Pendekat	Fase ke-	Waktu Isyarat				B _{KIJT}	Waktu siklus (detik)
		Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah semua (detik)	Merah (detik)		
Utara	1	26	3	3	106	Ada	138
Timur	2	35	3	3	97	Tidak	
Selatan	3	22	3	3	110	Ada	
Barat	4	31	3	3	101	Ada	



Gambar 5.3 Diagram Waktu Siklus Simpang Tungkak Kondisi Eksisting

5.1.3 Data Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas diperoleh melalui survei langsung di lapangan yang dilaksanakan selama tiga hari, yaitu Senin, 19 Januari 2026; Rabu, 21 Januari 2026; dan Sabtu, 24 Januari 2026. Pengumpulan data dilakukan dengan metode perekaman menggunakan kamera pada setiap lengan simpang untuk merekam pergerakan kendaraan. Survei dilaksanakan pada tiga periode waktu, yaitu pagi (06.00–08.00 WIB), siang (12.00–14.00 WIB), dan sore (16.00–18.00 WIB), yang mewakili kondisi lalu lintas pada jam-jam sibuk.

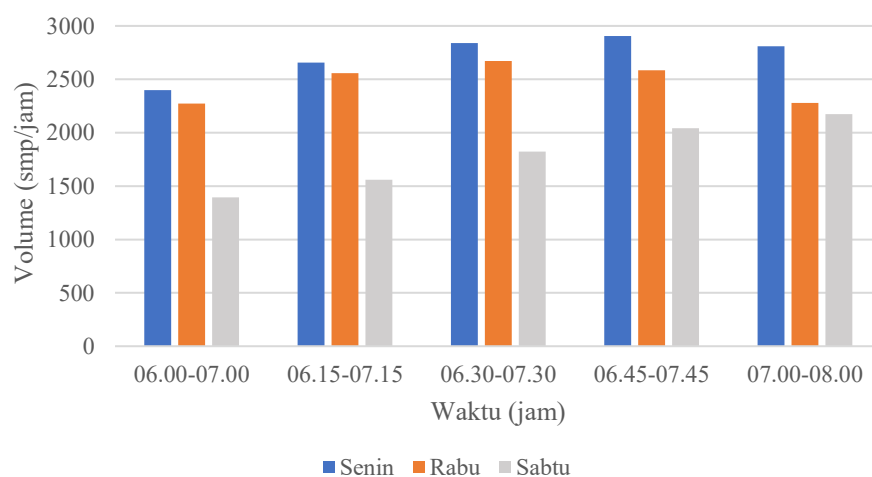
Hasil rekaman survei dianalisis dengan menghitung jumlah kendaraan secara manual dan dinyatakan dalam satuan kendaraan per jam (kend/jam). Data

volume lalu lintas tersebut kemudian dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang per jam (SMP/jam) sesuai dengan ketentuan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Rekapitulasi volume lalu lintas digunakan untuk menentukan jam puncak dan selanjutnya dimanfaatkan sebagai input utama dalam analisis kinerja simpang serta pemodelan simulasi lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM.

Rincian volume lalu lintas disajikan pada Tabel 5.3 hingga Tabel 5.5 serta Gambar 5.4 hingga Gambar 5.6, sedangkan visualisasi distribusi volume lalu lintas disajikan pada Gambar 5.7.

Tabel 5.3 Data Volume Lalu Lintas Sesi Pagi

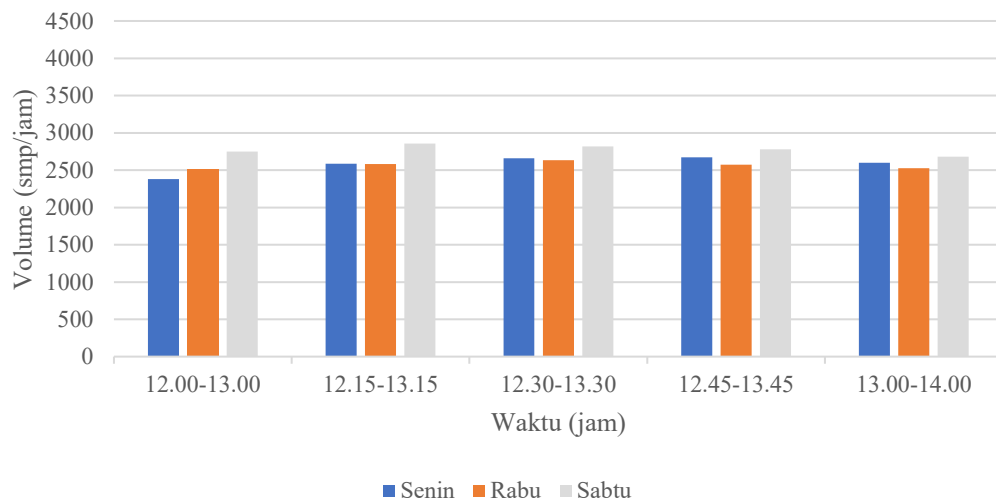
Waktu	Volume lalu lintas Senin, 19 Januari 2026 (smp/jam)	Volume lalu lintas Rabu, 21 Januari 2026 (smp/jam)	Volume lalu lintas Sabtu, 24 Januari 2026 (smp/jam)
06.00-7.00	2397,6	2273,3	1394,4
06.15-7.15	2655,9	2558,4	1558,3
06.30-7.30	2839	2671,9	1823,3
06.45-7.45	2903,9	2584	2043,2
07.00-8.00	2809,8	2277,4	2174



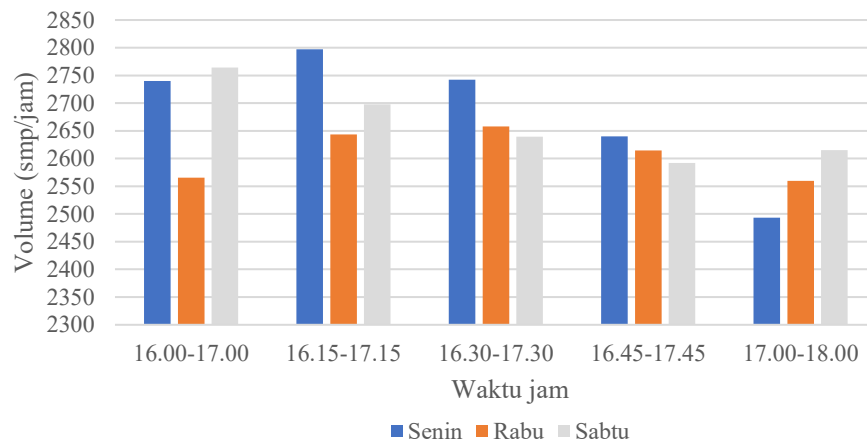
Gambar 5.4 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Pagi

Tabel 5.4 Data Volume Lalu Lintas Sesi Siang

Waktu	Volume lalu lintas Senin, 19 Januari 2026 (smp/jam)	Volume lalu lintas Rabu, 21 Januari 2026 (smp/jam)	Volume lalu lintas Sabtu, 24 Januari 2026 (smp/jam)
12.00-13.00	2379,8	2513,8	2751,3
12.15-13.15	2585,8	2582,0	2856,9
12.30-13.30	2657,3	2632,3	2817,9
12.45-13.45	2674	2571,5	2779,9
13.00-14.00	2596,9	2525,2	2682

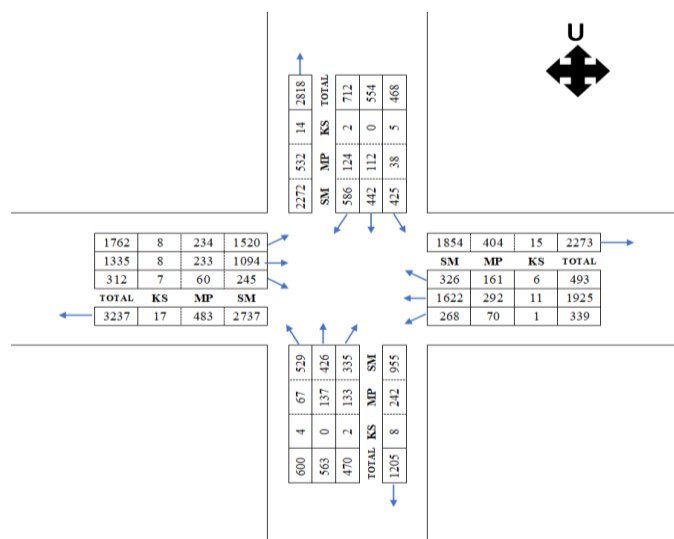
**Gambar 5.5 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Siang****Tabel 5.5 Data Volume Lalu Lintas Sesi Sore**

Waktu	Volume lalu lintas Senin, 19 Januari 2026 (smp/jam)	Volume lalu lintas Rabu, 21 Januari 2026 (smp/jam)	Volume lalu lintas Sabtu, 24 Januari 2026 (smp/jam)
16.00-17.00	2739,7	2565,3	2764
16.15-17.15	2797,1	2643,3	2697,6
16.30-17.30	2742	2658	2639,1
16.45-17.45	2640	2614,6	2591,9
17.00-18.00	2493,3	2559,6	2614,9



Gambar 5.6 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Sore

Berdasarkan hasil pengolahan data volume lalu lintas, dapat disimpulkan bahwa jam puncak lalu lintas pada Simpang Tungkak terjadi pada hari Senin pada periode waktu 06.45–07.45 WIB dengan total volume sebesar 2903,9 smp/jam. Volume lalu lintas tersebut didominasi oleh kendaraan bermotor yang terdiri dari mobil penumpang (MP), kendaraan sedang (KS), dan sepeda motor (SM), dengan distribusi pergerakan yang bervariasi pada setiap lengan pendekat.



Gambar 5.7 Distribusi Pergerakan Volume Lalu Lintas Simpang Tungkak

5.1.4 Data Panjang Antrean

Pengambilan data dilakukan melalui pengamatan langsung di lapangan dengan mencatat panjang antrean terjauh dari garis henti selama periode survei berlangsung. Data ini digunakan untuk merepresentasikan tingkat kepadatan lalu lintas yang terjadi pada masing-masing lengan simpang. Rekapitulasi hasil pengamatan panjang antrean dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Data Panjang Antrean pada Simpang Tungkak

Pendekat	Ruas Jalan	Maksimum (m)	Rata-Rata (m)
Utara	Jalan Taman Siswa	215	124
Timur	Jalan Menteri Supeno	150	93
Selatan	Jalan Lowanu	195	126
Barat	Jalan Kolonel Sugiyono	180	104

5.1.5 Data Kecepatan Kendaraan

Pengukuran kecepatan kendaraan dilakukan secara langsung menggunakan alat ukur *speed gun* yang diarahkan ke kendaraan yang melintas pada lokasi pengamatan. Kecepatan kendaraan yang terekam kemudian dicatat dan diolah untuk memperoleh nilai kecepatan rata-rata pada setiap pendekat. Data kecepatan dimanfaatkan sebagai parameter pendukung dalam proses pemodelan dan kalibrasi simulasi lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Rekapitulasi data kecepatan kendaraan hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Data Kecepatan Kendaraan Simpang Tungkak

Pendekat	SM (Km/jam)	MP (Km/jam)	KS (Km/jam)	Rata-rata (Km/jam)
Utara	41,90	37,20	29,70	36,27
Timur	43,20	40,60	31,30	38,37
Selatan	39,30	40,70	30,80	36,93
Barat	42,10	38,50	32,40	37,67

5.1.6 Data Perilaku Berkendara / *Driving Behaviour*

Data perilaku berkendara digunakan untuk menggambarkan karakteristik pengemudi di simpang serta sebagai parameter dalam proses kalibrasi pemodelan lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Parameter ini diperlukan agar hasil simulasi dapat merepresentasikan kondisi lalu lintas aktual, khususnya dalam hal jarak antar kendaraan dan respons pengemudi terhadap pergerakan kendaraan lain.

Pengambilan data ini tidak dilakukan pada periode jam puncak dan hanya menggunakan beberapa sampel kendaraan melalui pengamatan langsung di lokasi simpang. Data perilaku pengendara diperoleh dengan mengukur jarak antar kendaraan, baik jarak longitudinal (depan–belakang) maupun lateral (kanan–kiri). Pengukuran pada kondisi kendaraan berhenti dilakukan menggunakan walking measure, sedangkan pada kondisi kendaraan bergerak dibantu dengan penanda cat semprot berwarna pada permukaan aspal dengan interval setiap 50 cm. Dalam penelitian ini dikumpulkan masing-masing 10 sampel untuk setiap kondisi pada tiap pendekat, yaitu jarak sejajar saat berhenti, jarak depan–belakang saat berhenti, jarak sejajar saat bergerak, serta jarak depan–belakang saat bergerak. Rekapitulasi hasil pengamatan perilaku berkendara dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Data Perilaku Berkendara / *Driving Behaviour* Pendekat Utara

No	Depan-Belakang saat Berhenti	Sejajar saat Berhenti	Depan-Belakang saat Bergerak	Sejajar saat Bergerak
	(m)	(m)	(m)	(m)
1	0,4	0,2	0,6	0,5
2	0,3	0,2	0,5	0,6
3	0,3	0,3	0,5	0,6
4	0,6	0,3	0,4	0,5
5	0,4	0,2	0,6	0,4
6	0,5	0,3	0,5	0,6
7	0,6	0,4	0,5	0,3
8	0,4	0,3	0,6	0,4
9	0,5	0,2	0,6	0,3
10	0,4	0,3	0,5	0,4

5.1.7 Data Hambatan Samping

Pengamatan hambatan samping dilakukan melalui survei langsung di lapangan untuk mengidentifikasi aktivitas di sisi jalan yang berpotensi mengganggu kelancaran arus lalu lintas, seperti kendaraan parkir, kendaraan keluar-masuk akses jalan, dan pergerakan pejalan kaki. Pengamatan dilakukan dengan mencatat jumlah kejadian hambatan samping pada masing-masing pendekat selama periode survei. Selanjutnya, setiap jenis hambatan samping dikalikan dengan bobot sesuai ketentuan PKJI 2023 untuk memperoleh nilai hambatan samping total pada tiap pendekat. Hasil perhitungan hambatan samping dapat dilihat pada Lampiran 4. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, masing-masing pendekat di Simpang Tungkak memiliki karakteristik hambatan samping yang berbeda sesuai dengan kondisi aktivitas di sekitar jalan.

Pada Jalan Taman Siswa (pendekat Utara), lingkungan sekitar didominasi oleh kawasan komersial berupa sekolah, kampus, dan aktivitas perdagangan. Berdasarkan hasil perhitungan pembobotan hambatan samping, pendekat ini tergolong memiliki tingkat hambatan samping sedang. Karakteristik hambatan samping pada pendekat Utara ditunjukkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Hambatan Samping Jalan Taman Siswa (Pendekat Utara)

Pada Jalan Menteri Supeno (pendekat Timur), kawasan sekitar juga didominasi oleh aktivitas komersial. Namun, berdasarkan hasil perhitungan

pembobotan hambatan samping, pendekat ini tergolong memiliki tingkat hambatan samping rendah. Kondisi hambatan samping pada pendekat Timur ditampilkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Hambatan Samping Jalan Menteri Supeno (Pendekat Timur)

Jalan Lowanu (pendekat Selatan) berada di kawasan komersial dengan intensitas aktivitas samping jalan yang relatif minim. Berdasarkan hasil perhitungan pembobotan hambatan samping, pendekat ini tergolong memiliki tingkat hambatan samping rendah. Kondisi hambatan samping pada pendekat Selatan ditunjukkan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Hambatan Samping Jalan Lowanu (Pendekat Selatan)

Sementara itu, Jalan Kolonel Sugiyono (pendekat Barat) juga berada pada kawasan komersial dengan aktivitas samping jalan yang relatif tidak dominan. Berdasarkan hasil perhitungan pembobotan hambatan samping, pendekat ini tergolong memiliki tingkat hambatan samping rendah. Kondisi hambatan samping pada pendekat Barat ditunjukkan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Hambatan Samping Jalan Kolonel Sugiyono (Pendekat Barat)

5.1.8 Data Pendukung

Simpang Tungkak merupakan persimpangan yang menghubungkan antara Jalan Taman Siswa, Jalan Menteri Supeno, Jalan Lowanu, dan Jalan kolonel Sugiyono yang secara administratif berada di wilayah Kota Yogyakarta. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta, jumlah penduduk di Kota Yogyakarta pada tahun 2025 mencapai 466.950 Jiwa.

5.2 Analisis Kinerja Simpang Tungkak Berdasarkan PKJI 2023

Analisis kinerja Simpang Empat Tungkak dilakukan berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 sebagai acuan evaluasi simpang bersinyal. Parameter yang dianalisis meliputi kapasitas, derajat kejenuhan (D_j), tundaan lalu lintas, dan estimasi panjang antrean kendaraan pada setiap pendekat. Nilai tundaan

digunakan sebagai dasar penentuan tingkat pelayanan (*Level of Service/LOS*) sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015.

Data yang digunakan berupa volume lalu lintas pada periode jam puncak hasil survei lapangan, yang merepresentasikan kondisi operasional tertinggi simpang, yaitu pada hari Senin, 19 Januari 2026 pukul 06.45–07.45 WIB. Hasil analisis kinerja kondisi eksisting Simpang Empat Tungkak selanjutnya disajikan pada bagian berikut.

5.2.1 Konversi Volume Lalu Lintas (q)

Data volume lalu lintas hasil survei dinyatakan dalam satuan kendaraan per jam, sehingga perlu dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang per jam (smp/jam) untuk keperluan analisis lanjutan. Konversi dilakukan menggunakan faktor Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) sebagaimana tercantum pada Tabel 3.5. Proses ini bertujuan menyeragamkan berbagai jenis kendaraan ke dalam satuan yang setara, sehingga hasil analisis kinerja simpang menjadi lebih akurat dan representatif. Hasil perhitungan volume lalu lintas dalam satuan smp/jam selanjutnya disajikan sebagai berikut.

1. Pendekat Utara (Jalan Taman Siswa)

a. Sepeda Motor (SM), EMP = 0,15

$$\begin{aligned} 1) \text{ Belok Kiri (BK)} &= 425 \times 0,15 \\ &= 64 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Lurus (LRS)} &= 442 \times 0,15 \\ &= 66 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Belok Kanan (BKa)} &= 586 \times 0,15 \\ &= 88 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP), EMP = 1

$$\begin{aligned} 1) \text{ Belok Kiri (BKl)} &= 38 \times 1 \\ &= 38 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Lurus (LRS)} &= 112 \times 1 \\ &= 112 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

3) Belok Kanan (BKa) = 124×1

$$= 124 \text{ SMP/jam}$$

c. Kendaraan Sedang (KS), EMP = 1,3

$$\begin{aligned} 1) \text{ Belok Kiri (BK}_i) &= 5 \times 1,3 \\ &= 7 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Lurus (LRS)} &= 0 \times 1,3 \\ &= 0 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Belok Kanan (BK}_a) &= 2 \times 1,3 \\ &= 3 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

d. Volume kendaraan yang telah dikonversi pendekat Utara

$$\text{Volume (q)} = 501 \text{ SMP/jam}$$

2. Pendekat Timur (Jalan Menteri Supeno)

a. Sepeda Motor (SM), EMP = 0,15

$$\begin{aligned} 1) \text{ Belok Kiri (BK}_i) &= 268 \times 0,15 \\ &= 40 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Lurus (LRS)} &= 1622 \times 0,15 \\ &= 243 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Belok Kanan (BK}_a) &= 326 \times 0,15 \\ &= 49 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP), EMP = 1

$$\begin{aligned} 1) \text{ Belok Kiri (BK}_i) &= 70 \times 1 \\ &= 70 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Lurus (LRS)} &= 292 \times 1 \\ &= 292 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Belok Kanan (BK}_a) &= 161 \times 1 \\ &= 161 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

c. Kendaraan Sedang (KS), EMP = 1,3

$$\begin{aligned} 1) \text{ Belok Kiri (BK}_i) &= 1 \times 1,3 \\ &= 1 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Lurus (LRS)} &= 11 \times 1,3 \\ &= 14 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

$$3) \text{ Belok Kanan (BK}_a) = 6 \times 1,3$$

$$= 8 \text{ SMP/jam}$$

- d. Volume kendaraan yang telah dikonversi Pendekat Timur

$$\text{Volume (q)} = 879 \text{ SMP/jam}$$

3. Pendekat Selatan (Jalan Lowanu)

- a. Sepeda Motor (SM), EMP = 0,15

$$1) \text{ Belok Kiri (BK}_i) = 529 \times 0,15$$

$$= 79 \text{ SMP/jam}$$

$$2) \text{ Lurus (LRS)} = 426 \times 0,15$$

$$= 64 \text{ SMP/jam}$$

$$3) \text{ Belok Kanan (BK}_a) = 335 \times 0,15$$

$$= 50 \text{ SMP/jam}$$

- b. Mobil Penumpang (MP), EMP = 1

$$1) \text{ Belok Kiri (BK}_i) = 67 \times 1$$

$$= 67 \text{ SMP/jam}$$

$$2) \text{ Lurus (LRS)} = 137 \times 1$$

$$= 137 \text{ SMP/jam}$$

$$3) \text{ Belok Kanan (BK}_a) = 133 \times 1$$

$$= 133 \text{ SMP/jam}$$

- c. Kendaraan Sedang (KS), EMP = 1,3

$$1) \text{ Belok Kiri (BK}_i) = 4 \times 1,3$$

$$= 5 \text{ SMP/jam}$$

$$2) \text{ Lurus (LRS)} = 0 \times 1,3$$

$$= 0 \text{ SMP/jam}$$

$$3) \text{ Belok Kanan (BK}_a) = 2 \times 1,3$$

$$= 3 \text{ SMP/jam}$$

- d. Volume kendaraan yang telah dikonversi pendekat Selatan

$$\text{Volume (q)} = 538 \text{ SMP/jam}$$

4. Pendekat Barat (Jalan Kolonel Sugiyono)

- a. Sepeda Motor (SM), EMP = 0,15

$$1) \text{ Belok Kiri (BK}_i) = 1520 \times 0,15$$

$$= 228 \text{ SMP/jam}$$

- 2) Lurus (LRS) $= 1094 \times 0,15$
 $= 164 \text{ SMP/jam}$
- 3) Belok Kanan (BKa) $= 245 \times 0,15$
 $= 37 \text{ SMP/jam}$
- b. Mobil Penumpang (MP), $EMP = 1$
 - 1) Belok Kiri (BK_i) $= 234 \times 1$
 $= 234 \text{ SMP/jam}$
 - 2) Lurus (LRS) $= 233 \times 1$
 $= 233 \text{ SMP/jam}$
 - 3) Belok Kanan (BK_a) $= 60 \times 1$
 $= 60 \text{ SMP/jam}$
- c. Kendaraan Sedang (KS), $EMP = 1,3$
 - 1) Belok Kiri (BK_i) $= 8 \times 1,3$
 $= 10 \text{ SMP/jam}$
 - 2) Lurus (LRS) $= 8 \times 1,3$
 $= 10 \text{ SMP/jam}$
 - 3) Belok Kanan (BK_a) $= 7 \times 1,3$
 $= 9 \text{ SMP/jam}$
- d. Volume kendaraan yang telah dikonversi pendekat Barat
 $\text{Volume (q)} = 986 \text{ SMP/jam}$

Berdasarkan hasil perhitungan, volume kendaraan pada masing-masing pendekat tercatat sebesar 501 SMP/jam pada pendekat Utara, 879 SMP/jam pada pendekat Timur, 538 SMP/jam pada pendekat Selatan, dan 986 SMP/jam pada pendekat Barat. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pendekat Barat memiliki volume lalu lintas tertinggi dibandingkan pendekat lainnya, sedangkan pendekat Utara memiliki volume lalu lintas terendah pada periode jam puncak yang diamati. Data volume kendaraan pada periode jam puncak ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kinerja simpang, seperti derajat kejenuhan, panjang antrean, dan tundaan kendaraan. Oleh karena itu, rekapitulasi volume kendaraan dalam satuan SMP/jam pada periode jam puncak hari Senin, 19 Januari 2026 disajikan secara lengkap pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Volume Kendaraan Periode Jam Puncak Simpang Tungkak

Pendekat	Arah	SM		MP		KS		TOTAL KENDARAAN BERMOTOR		RASIO BELOK	KTB	RASIO KTB
		EMP = 0,15		EMP = 1		EMP = 1,3						
		Kend/Jam	SMP/Jam	Kend/Jam	SMP/Jam	Kend/Jam	SMP/Jam					
Utara	B _{KI}	425	64	38	38	5	7	468	108	0,216	7	0,0110
	L _{RS}	442	66	112	112	0	0	554	178	-	3	
	B _{KA}	586	88	124	124	2	3	712	215	0,428	9	
	Total	1453	218	274	274	7	9	1734	501	-	19	
Timur	B _{KI}	268	40	70	70	1	1	339	112	0,127	3	0,0065
	L _{RS}	1622	243	292	292	11	14	1925	550	-	15	
	B _{KA}	326	49	161	161	6	8	493	218	0,248	0	
	Total	2216	332	523	523	18	23	2757	879	-	18	
Selatan	B _{KI}	529	79	67	67	4	5	600	152	0,282	1	0,0031
	L _{RS}	426	64	137	137	0	0	563	201	-	2	
	B _{KA}	335	50	133	133	2	3	470	186	0,345	2	
	Total	1290	194	337	337	6	8	1633	538	-	5	
Barat	B _{KI}	1520	228	234	234	8	10	1762	472	0,479	8	0,0059
	L _{RS}	1094	164	233	233	8	10	1335	408	-	10	
	B _{KA}	245	37	60	60	7	9	312	106	0,107	2	
	Total	2859	429	527	527	23	30	3409	986	-	20	

5.2.2 Perhitungan Arus Jenuh Dasar (J_0)

Perhitungan arus jenuh dasar dilakukan dengan menggunakan perhitungan yang disajikan sebagai berikut.

1. Arus Jenuh Dasar Pendekat Utara

$$\begin{aligned} J_0 &= 600 \times L_e \\ &= 600 \times 2 \\ &= 1200 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

2. Arus Jenuh Dasar Pendekat Timur

$$\begin{aligned} J_0 &= 600 \times L_e \\ &= 600 \times 6 \\ &= 3600 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

3. Arus Jenuh Dasar Pendekat Selatan

$$\begin{aligned} J_0 &= 600 \times L_e \\ &= 600 \times 3 \\ &= 1800 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

4. Arus Jenuh Dasar Pendekat Barat

$$\begin{aligned} J_0 &= 600 \times L_e \\ &= 600 \times 5,20 \\ &= 3120 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

5.2.3 Penentuan Nilai Faktor Koreksi

Dalam perhitungan arus jenuh, terlebih dahulu ditentukan sejumlah faktor penyesuaian yang memengaruhi kapasitas pada setiap pendekat. Faktor-faktor yang diperhitungkan meliputi arus jenuh dasar, faktor koreksi ukuran kota, faktor koreksi hambatan samping, faktor koreksi kelandaian jalan, faktor koreksi parkir, serta faktor koreksi pergerakan belok kiri dan belok kanan. Penentuan nilai masing-masing faktor koreksi arus jenuh disajikan pada uraian berikut.

1. Faktor Hambatan Samping (F_{HS})

a. Pendekat Utara

Pada Simpang Tungkak Yogyakarta, pendekat Utara merupakan Jalan Taman Siswa. Karakteristik lingkungan pada ruas jalan tersebut

dikategorikan sebagai kawasan komersial (KOM) karena terdapat sekolah, universitas, pertokoan, serta aktivitas ekonomi lainnya. Berdasarkan hasil perhitungan pembobotan hambatan samping, tingkat hambatan samping pada Jalan Taman Siswa tergolong sedang. Mengacu pada Tabel 5.9, rasio kendaraan tidak bermotor sebesar 0,011. Berdasarkan Tabel 3.2, diperoleh nilai faktor hambatan samping sebesar 0,94.

b. Pendekat Timur

Pada Simpang Tungkak, pendekat Timur merupakan Jalan Menteri Supeno. Karakteristik lingkungan pada ruas jalan ini dikategorikan sebagai kawasan komersial (KOM) karena terdapat pertokoan serta aktivitas ekonomi di sepanjang sisi jalan. Berdasarkan hasil perhitungan pembobotan hambatan samping, tingkat hambatan samping pada Jalan Menteri Supeno tergolong rendah. Mengacu pada Tabel 5.9, rasio kendaraan tidak bermotor tercatat sebesar 0,006. Berdasarkan Tabel 3.2, diperoleh nilai faktor hambatan samping sebesar 0,95.

c. Pendekat Selatan

Pada Simpang Tungkak, pendekat Selatan merupakan Jalan Lowanu. Karakteristik lingkungan pada ruas jalan ini dikategorikan sebagai kawasan komersial (KOM), yang ditandai dengan keberadaan pertokoan dan aktivitas ekonomi di sekitarnya. Berdasarkan hasil perhitungan pembobotan hambatan samping, tingkat hambatan samping pada Jalan Lowanu tergolong rendah. Mengacu pada Tabel 5.9, rasio kendaraan tidak bermotor tercatat sebesar 0,003. Berdasarkan Tabel 3.2, diperoleh nilai faktor hambatan samping sebesar 0,95.

d. Pendekat Barat

Pada Simpang Tungkak, pendekat Barat merupakan Jalan Kolonel Sugiyono. Karakteristik lingkungan pada ruas jalan ini dikategorikan sebagai kawasan komersial (KOM), yang ditandai dengan keberadaan pertokoan dan aktivitas ekonomi di sekitarnya. Berdasarkan hasil perhitungan pembobotan hambatan samping, tingkat hambatan samping pada Jalan Kolonel Sugiyono tergolong rendah. Mengacu pada Tabel 5.9,

rasio kendaraan tidak bermotor tercatat sebesar 0,005. Berdasarkan Tabel 3.2, diperoleh nilai faktor hambatan samping sebesar 0,95

Rekapitulasi penentuan tipe lingkungan dan tingkat hambatan samping untuk seluruh pendekat ditampilkan secara lengkap pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Nilai Faktor Hambatan Samping

Pendekat	Ruas Jalan	Tipe Samping	Tipe Lingkungan	Faktor Hambatan Samping (F_{HS})
Utara	Jalan Taman Siswa	Terlindung	KOM	0,940
Timur	Jalan Menteri Supeno		KOM	0,950
Selatan	Jalan Lowanu		KOM	0,950
Barat	Jalan Kolonel Sugiyono		KOM	0,950

2. Faktor Ukuran Kota (F_{UK})

Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik Kabupaten Yogyakarta, jumlah penduduk Kabupaten Yogyakarta pada tahun 2025 tercatat sebanyak 466,950 jiwa. Merujuk pada ketentuan klasifikasi ukuran kota pada Tabel 3.3, jumlah penduduk tersebut menghasilkan nilai faktor koreksi ukuran kota sebesar 0,83.

3. Faktor Kelandaian (F_G)

Hasil identifikasi kemiringan yang diperoleh melalui analisis menggunakan perangkat lunak Google Earth menunjukkan bahwa *slope* pada Pendekat Utara, Timur, Selatan, dan Barat adalah 0%. Nilai tersebut dijadikan acuan dalam penetapan faktor koreksi kelandaian (F_G) untuk masing-masing pendekat. Rekapitulasi faktor kelandaian pada setiap pendekat Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Nilai Faktor Koreksi Kelandaian

Pendekat	Ruas Jalan	Kelandaian (%)	Faktor Kelandaian (F_G)
Utara	Jalan Taman Siswa	0	1,00
Timur	Jalan Menteri Supeno	0	1,00
Selatan	Jalan Lowanu	0	1,00
Barat	Jalan Kolonel Sugiyono	0	1,00

4. Faktor Koreksi Parkir

Berdasarkan ketentuan dalam PKJI 2023, kondisi tanpa aktivitas parkir tersebut tidak menimbulkan pengaruh terhadap kinerja simpang. Pada Simpang Tungkak, tidak ditemukan kendaraan yang berhenti atau terparkir di sepanjang masing-masing pendekat. Oleh karena itu, faktor koreksi parkir (F_P) yang digunakan dalam analisis ditetapkan bernilai 1.

5. Faktor Ukuran Koreksi Belok Kanan (F_{BKa})

- a. Pada Simpang Tungkak, pendekat Timur dan Barat dilengkapi median serta menerapkan fase terlindung (P) untuk pergerakan belok kanan. Mengacu pada ketentuan dalam PKJI, konfigurasi tersebut tidak memerlukan perlakuan atau penyesuaian khusus terhadap manuver belok kanan. Oleh karena itu, nilai faktor koreksi belok kanan (F_{BKa}) pada ketiga pendekat tersebut ditetapkan sebesar 1,0.
- b. Sedangkan pada Pendekat Utara dan Selatan pergerakan belok kanan dilayani dengan fase terlindung (P), namun tidak terdapat median sebagai pemisah fisik arus lalu lintas. Berdasarkan ketentuan dalam PKJI, kondisi tersebut mengharuskan dilakukannya evaluasi terhadap pengaruh manuver belok kanan melalui perhitungan tersendiri. Perhitungan faktor ukuran koreksi belok kanan (F_{BKa}) dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F_{BKa} \text{ Utara} &= 1,0 + R_{BKa} \times 0,26 \\ &= 1,0 + 0,428 \times 0,26 \\ &= 1,11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{BKa} \text{ Selatan} &= 1,0 + R_{BKa} \times 0,26 \\ &= 1,0 + 0,345 \times 0,26 \\ &= 1,09 \end{aligned}$$

6. Faktor Ukuran Koreksi Belok Kiri (F_{BKk})

Pada Simpang Tungkak, pengaturan pergerakan belok kiri berbeda antar pendekat. Di sisi Utara, Selatan, dan Barat, kendaraan diperbolehkan langsung berbelok kiri melalui skema B_{KIJT} tanpa terikat fase sinyal. Dengan konfigurasi tersebut, PKJI menetapkan bahwa tidak diperlukan koreksi tambahan, sehingga nilai F_{BKk} pada ketiga pendekat tersebut diambil sebesar 1,0. Sebaliknya, pada

pendekat Timur, manuver belok kiri sepenuhnya dikontrol oleh siklus lampu lalu lintas. Karena tidak terdapat fasilitas B_{KIJT} , maka pengaruhnya terhadap arus jenuh harus dianalisis secara kuantitatif. Oleh sebab itu, nilai F_{BK_i} untuk pendekat Timur dihitung menggunakan formulasi yang disyaratkan dalam PKJI, bukan ditetapkan secara langsung. Perhitungan F_{BK_i} dapat dilihat sebagai berikut.

a. Pendekat Timur

$$\begin{aligned} F_{BK_i} &= 1,0 - R_{BK_i} \times 0,16 \\ &= 1,0 - 0,127 \times 0,16 \\ &= 0,98 \end{aligned}$$

5.2.4 Perhitungan Arus Jenuh (J)

Setelah nilai arus jenuh dasar dan seluruh faktor koreksi pada masing-masing pendekat dianalisis, langkah selanjutnya adalah menghitung arus jenuh efektif menggunakan persamaan yang sesuai. Perhitungan ini dilakukan dengan mengintegrasikan arus jenuh dasar dengan faktor-faktor penyesuaian yang telah ditentukan sebelumnya. Perhitungan ini dapat menggunakan persamaan 3.3. Uraian lengkap mengenai proses perhitungannya disajikan pada bagian berikut.

1. Arus Jenuh Pendekat Utara

$$\begin{aligned} J &= J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \\ &= 1200 \times 0,940 \times 0,83 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,11 \\ &= 1040 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

2. Arus Jenuh Pendekat Timur

$$\begin{aligned} J &= J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \\ &= 3600 \times 0,950 \times 0,83 \times 1 \times 1 \times 0,98 \times 1 \\ &= 2781 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

3. Arus Jenuh Pendekat Selatan

$$\begin{aligned} J &= J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \\ &= 1800 \times 0,950 \times 0,83 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,09 \\ &= 1547 \text{ SMP/jam} \end{aligned}$$

4. Arus Jenuh Pendekat Barat

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3120 \times 0,950 \times 0,83 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \\
 &= 2460 \text{ SMP/jam}
 \end{aligned}$$

5.2.5 Perhitungan Kapasitas (C)

Dengan menggunakan data arus jenuh serta waktu hijau dan waktu siklus yang tercantum pada Tabel 5.2, maka dapat dilakukan perhitungan kapasitas pada masing-masing pendekat simpang. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kemampuan setiap pendekat dalam melayani arus lalu lintas yang masuk pada kondisi eksisting. Adapun prosedur perhitungan kapasitas simpang dijelaskan secara lebih rinci pada bagian berikut.

1. Kapasitas Pendekat Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1040 \times \frac{26}{138} \\
 &= 196 \text{ SMP/jam}
 \end{aligned}$$

2. Kapasitas Pendekat Timur

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 2781 \times \frac{35}{138} \\
 &= 705 \text{ SMP/jam}
 \end{aligned}$$

3. Kapasitas Pendekat Selatan

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1547 \times \frac{22}{138} \\
 &= 247 \text{ SMP/jam}
 \end{aligned}$$

4. Kapasitas Pendekat Barat

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 2460 \times \frac{31}{138} \\
 &= 553 \text{ SMP/jam}
 \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan kapasitas simpang disajikan secara lengkap pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Simpang Tungkak Kondisi Eksisting

Parameter	Satuan	Pendekat			
		Utara	Timur	Selatan	Barat
Ruas Jalan	-	Jalan Taman Siswa	Jalan Menteri Supeno	Jalan Lowanu	Jalan Kolonel Sugiyono
Volume Lalu Lintas (q)	SMP/jam	393	879	387	513
Lebar efektif (L_E)	meter	2	6	3	5.2
Arus Jenuh Dasar (J_0)	SMP/jam	1200	3600	1800	3120
Faktor Hambatan Samping (F_{HS})	-	0,940	0,950	0,950	0,950
Faktor Ukuran Kota (F_{UK})	-	0,83	0,83	0,83	0,83
Faktor Kelandaian (F_G)	-	1	1	1	1
Faktor Parkir (F_P)	-	1	1	1	1
Faktor Belok Kanan (F_{BKk})	-	1,11	1,00	1,09	1,00
Faktor Belok Kiri (F_{BKk})	-	1	0,98	1	1
Arus Jenuh (J)	SMP/jam	1040	2781	1547	2460
Waktu Hijau (W_H)	detik	26	35	22	31
Waktu Siklus (s)	detik	138			
Kapasitas (C)	SMP/jam	196	705	247	553

5.2.6 Perhitungan Derajat Kejenuhan (D_J)

Derajat kejenuhan (D_J) merupakan perbandingan antara volume lalu lintas (q) dengan kapasitas (C) pada masing-masing pendekat simpang. Nilai D_J

digunakan sebagai indikator untuk menggambarkan tingkat pemanfaatan kapasitas yang tersedia pada suatu pendekat. Melalui parameter ini, dapat diketahui sejauh mana arus lalu lintas yang terjadi masih dapat dilayani oleh kapasitas simpang secara memadai. Dengan demikian, nilai DJ dapat menunjukkan apakah kondisi arus lalu lintas masih tergolong lancar, mulai padat, atau telah mendekati kondisi jenuh. Semakin besar nilai DJ, maka semakin tinggi tingkat penggunaan kapasitas dan semakin besar pula potensi terjadinya kepadatan maupun tundaan pada pendekat tersebut.

Nilai volume lalu lintas (q) yang digunakan dalam perhitungan derajat kejenuhan diperoleh dari hasil rekapitulasi volume lalu lintas periode jam puncak yang disajikan pada Tabel 5.9 dalam satuan SMP/jam. Pada analisis ini, arus belok kiri jalan terus (B_{KIJT}) tidak dimasukkan ke dalam perhitungan arus pendekat karena pergerakan tersebut tidak dipengaruhi oleh pengaturan sinyal APILL sehingga kendaraan dapat bergerak langsung tanpa tundaan sinyal. Perhitungan derajat kejenuhan pada setiap pendekat dilakukan menggunakan Persamaan 3.15 sebagai berikut.

1. Derajat Kejenuhan Pendekat Utara

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{q}{c} \\ &= \frac{393}{196} \\ &= 2,00 \end{aligned}$$

2. Derajat Kejenuhan Pendekat Timur

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{q}{c} \\ &= \frac{879}{705} \\ &= 1,25 \end{aligned}$$

3. Derajat Kejenuhan Pendekat Selatan

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{q}{c} \\ &= \frac{387}{247} \\ &= 1,57 \end{aligned}$$

4. Derajat Kejenuhan Pendekat Barat

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{q}{c} \\ &= \frac{513}{553} \\ &= 0,93 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan derajat kejenuhan untuk masing-masing pendekat terdapat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Perhitungan Derajat Kejenuhan

Pendekat	Volume Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (D_J)	Rata-rata D_J
	(SMP/jam)	(SMP/jam)		
Utara	393	196	2,00	1,44
Timur	879	705	1,25	
Selatan	387	247	1,57	
Barat	513	553	0,93	

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5.13, derajat kejenuhan rata-rata Simpang Tungkak sebesar 1,44. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kinerja simpang belum memenuhi kriteria yang dipersyaratkan, yaitu derajat kejenuhan $\leq 0,85$.

5.2.7 Analisis Panjang Antrean (P_A)

Analisis panjang antrean (P_A) pada masing-masing pendekat kondisi eksisting Simpang Empat Tungkak dilakukan menggunakan persamaan berdasarkan PKJI 2023. Sebelum menentukan nilai panjang antrean, terlebih dahulu dihitung rasio hijau (R_H). Perhitungan rasio hijau dan panjang antrean mengacu pada Persamaan 3.17 hingga Persamaan 3.20, sedangkan penentuan nilai N_{qMax} mengacu pada Gambar 3.10.

Untuk memperjelas tahapan analisis, pada bagian berikut disajikan contoh analisis panjang antrean pada salah satu pendekat di Simpang Empat Tungkak sebagai gambaran proses perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Pendekat Barat

Pendekat Barat memiliki derajat kejenuhan (D_J) sebesar 0,93, nilai derajat kejenuhan tersebut melebihi ambang batas $\geq 0,5$. Oleh sebab itu, rata-rata kendaraan yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) dihitung menggunakan Persamaan 3.18. Rincian Analisis panjang antrean (P_A) Pendekat Barat disajikan sebagai berikut.

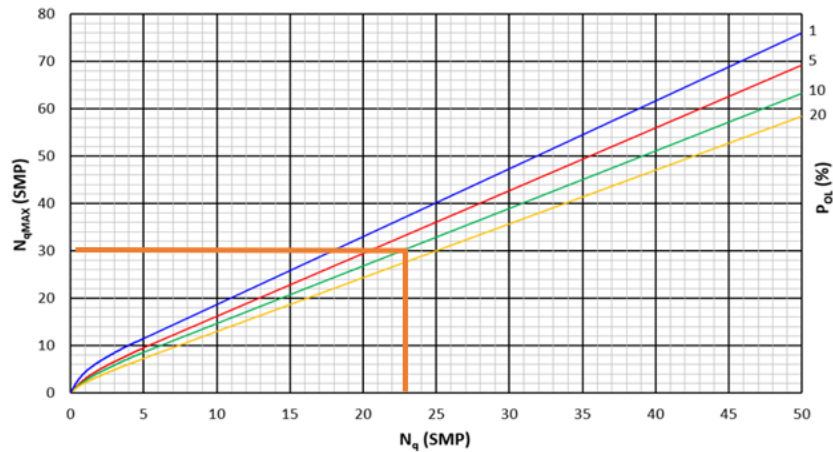
$$\begin{aligned} \text{a. } R_H &= \frac{WHI}{s} \\ &= \frac{31}{138} \\ &= 0,22 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } N_{q1} &= 0,25 \times s \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{s}} \right\} \\ &= 0,25 \times 138 \times \left\{ (0,93 - 1) + \sqrt{(0,93 - 1)^2 + \frac{8 \times (0,93 - 0,5)}{138}} \right\} \\ &= 4 \text{ SMP} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } N_{q2} &= s \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times D_J)} \times \frac{q}{(3600)} \\ &= 138 \times \frac{(1 - 0,22)}{(1 - 0,22 \times 0,93)} \times \frac{513}{(3600)} \\ &= 19 \text{ SMP} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } N_q &= N_{q1} + N_{q2} \\ &= 4 + 19 \\ &= 23 \text{ SMP} \end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai rata-rata antrean kendaraan (N_q), langkah selanjutnya adalah menentukan nilai antrean maksimum (N_{qmax}). Nilai N_{qmax} ditentukan berdasarkan kurva hubungan antara N_q dan *Probability of Overloading* (P_{OL}) yang ditunjukkan pada Gambar 3.10. Kurva tersebut digunakan untuk memperkirakan jumlah antrean maksimum yang mungkin terjadi pada kondisi lalu lintas tertentu. Adapun nilai N_{qmax} yang digunakan dalam analisis selanjutnya disajikan pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Nilai N_{qmax} yang Digunakan dalam Analisis Panjang Antrean

e. $P_{OL} = 5\%$ sampai dengan 10% (digunakan 10%)

f. $N_{qmax} = 30 \text{ SMP}$

$$\begin{aligned} \text{g. } P_A &= N_{qmax} \times \frac{20}{L_M} \\ &= 30 \times \frac{20}{5,20} \\ &= 115 \text{ m} \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan Panjang Antrean untuk masing-masing pendekat terdapat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Panjang Antrean (PA) Simpang Tungkak Berdasarkan PKJI 2023

Pendekat	L_M	N_{q1}	N_{q2}	N_q	N_{qmax}	P_A
	(m)	(SMP)	(SMP)	(SMP)	(SMP)	(m)
Utara	2	69	20	89	120	904
Timur	6	18	36	54	75	188
Selatan	3	41	17	58	79	384
Barat	5.2	4	19	23	30	115

5.2.8 Perhitungan Tundaan Simpang (T_i)

Nilai tundaan simpang (T_i) diperoleh dari tundaan lalu lintas rata-rata (T_{LL}) dan tundaan geometrik rata-rata (T_G) pada setiap lengan simpang sesuai dengan

ketentuan pada Persamaan 3.22 hingga Persamaan 3.25 dalam PKJI 2023. Untuk memperjelas tahapan analisis yang dilakukan, berikut disajikan contoh perhitungan tundaan pada pendekat di Simpang Empat Tungkak pada kondisi eksisting.

1. Pendekat Barat

$$\begin{aligned}
 \text{a. } T_G &= (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \\
 &= (1 - 1,043) \times (0,586 \times 6) + (1,043 \times 4) \\
 &= 4,0 \text{ det/SMP} \\
 \text{b. } T_{LL} &= s \times \frac{0,5 \times (1 - RH)^2}{(1 - RH \times DJ)} + \frac{Nq1 \times 3600}{C} \\
 &= 138 \times \frac{0,5 \times (1 - 0,22)^2}{(1 - 0,22 \times 0,93)} + \frac{4 \times 3600}{553} \\
 &= 22,90 \text{ det/SMP} \\
 \text{c. } T_i &= T_{LL} + T_{Gi} \\
 &= 22,90 + 4,0 \\
 &= 26,9 \text{ det/SMP} \\
 \text{d. } T_{Total} &= T \times q \\
 &= 26,9 \times 513 \\
 &= 13818 \text{ SMP.det}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi nilai tundaan (T_i) pada seluruh pendekat Simpang Tungkak dalam kondisi eksisting disajikan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Tundaan pada Setiap Pendekat

Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Tundaan Geometri (T_G)	Tundaan Lalu Lintas (T_{LL})	Tundaan T_i	T_{Total}
	(SMP/Jam)	(det/SMP)	(det/SMP)	(det/SMP)	(det/SMP)
Utara	393	4,6	1371,96	1376,6	540709
Timur	879	4,9	100,03	104,9	92198
Selatan	387	4,6	598,93	603,5	233413
Barat	513	4,0	22,90	26,9	13818

2. Tundaan Belok Kiri Jalan Terus

Berdasarkan PKJI 2023 tundaan untuk kendaraan jalan belok tidak berhenti mempunyai nilai yang normal yaitu 6 detik. Pada Simpang Tungkak lengan yang memiliki arus Belok kiri jalan terus adalah lengan Utara, Selatan, dan Barat. Perhitungan perhitungan belok kiri jalan terus dapat dilihat sebagai berikut.

$$q_{BKJT} \text{ Total} = 732 \text{ SMP/Jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Total} &= T \times q \\ &= 6 \times 732 \\ &= 4393,2 \text{ SMP.det} \end{aligned}$$

3. Tundaan Simpang Rata-Rata

$$\begin{aligned} T_i &= \frac{\sum(q \times T)}{q_{\text{Total}}} \\ &= \frac{884869}{2904} \\ &= 304,72 \end{aligned}$$

5.2.9 Penentuan Tingkat Layanan / *Level of Service* (LOS)

Berdasarkan hasil analisis kinerja simpang menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, diketahui bahwa tundaan rata-rata Simpang Tungkak sebesar 304,72 det/SMP. Tingginya tundaan tersebut dipengaruhi oleh besarnya volume lalu lintas yang melebihi kapasitas pelayanan simpang pada beberapa pendekat, sehingga menyebabkan antrean dan waktu tunggu kendaraan menjadi tinggi. Mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, simpang dengan nilai tundaan lebih dari 60 detik/SMP dikategorikan berada pada tingkat pelayanan F. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, tundaan rata-rata pada Simpang Tungkak berada di atas batas tersebut, sehingga secara keseluruhan simpang ini dapat diklasifikasikan pada tingkat pelayanan F. Rekapitulasi kinerja eksisting Simpang Tungkak dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Kinerja Eksisting Simpang Tungkak

Pendekat	(D _j)	Panjang Antrean (m)		Tundaan Pendekat (det/SMP)	Tingkat Pelayanan Pendekat	Tundaan Simpang Rata-rata (det/SMP)	Tingkat Pelayanan Simpang
		PKJI 2023	Observasi				
Utara	2,00	904	215	1376,6	F	304,60	F
Timur	1,25	188	150	104,9	F		
Selatan	1,57	384	195	603,5	F		
Barat	0,93	115	180	26,9	D		

5.3 Pemodelan Simpang Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM

Berdasarkan data hasil survei lapangan, dilakukan pemodelan lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM untuk merepresentasikan kondisi eksisting di Simpang Empat Tungkak. Pemodelan ini digunakan sebagai dasar dalam evaluasi kinerja simpang serta pengujian alternatif perbaikan pengaturan lalu lintas. Hasil pemodelan menghasilkan beberapa parameter kinerja lalu lintas, meliputi volume lalu lintas, panjang antrean, kecepatan rata-rata kendaraan, dan nilai tundaan pada setiap pendekat simpang. Parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan kondisi operasional lalu lintas pada lokasi penelitian.

5.3.1 Hasil Simulasi Pemodelan Sebelum Kalibrasi

Agar model simulasi merepresentasikan kondisi aktual di lapangan, dilakukan proses kalibrasi dan validasi dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data survei menggunakan metode *GEH Statistic* dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Apabila hasil simulasi awal dengan parameter *default* belum memenuhi tingkat akurasi yang ditetapkan, maka dilakukan penyesuaian parameter hingga hasil simulasi mendekati kondisi lalu lintas aktual. Berikut disajikan hasil perhitungan pemodelan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM pada kondisi awal (*default*), yaitu sebelum dilakukan proses kalibrasi.

1. Perhitungan Volume Kendaraan

a. Pendekat Utara (Jalan Taman Siswa)

$$\begin{aligned} \text{GEH} &= \sqrt{\frac{(Q_{\text{simulasi}} - Q_{\text{eksisting}})^2}{0,5 \times (Q_{\text{eksisting}} + Q_{\text{simulasi}})}} \\ &= \sqrt{\frac{(994 - 1734)^2}{0,5 \times (1734 + 994)}} \\ &= 20,037 \end{aligned}$$

b. Pendekat Timur (Jalan Menteri Supeno)

$$\begin{aligned} \text{GEH} &= \sqrt{\frac{(Q_{\text{simulasi}} - Q_{\text{eksisting}})^2}{0,5 \times (Q_{\text{eksisting}} + Q_{\text{simulasi}})}} \\ &= \sqrt{\frac{(1140 - 2757)^2}{0,5 \times (2757 + 1140)}} \\ &= 36,632 \end{aligned}$$

c. Pendekat Selatan (Jalan Lowanu)

$$\begin{aligned} \text{GEH} &= \sqrt{\frac{(Q_{\text{simulasi}} - Q_{\text{eksisting}})^2}{0,5 \times (Q_{\text{eksisting}} + Q_{\text{simulasi}})}} \\ &= \sqrt{\frac{(654 - 1633)^2}{0,5 \times (1633 + 654)}} \\ &= 28,951 \end{aligned}$$

d. Pendekat Barat (Jalan Kolonel Sugiyono)

$$\begin{aligned} \text{GEH} &= \sqrt{\frac{(Q_{\text{simulasi}} - Q_{\text{eksisting}})^2}{0,5 \times (Q_{\text{eksisting}} + Q_{\text{simulasi}})}} \\ &= \sqrt{\frac{(1810 - 3409)^2}{0,5 \times (3409 + 1810)}} \\ &= 31,302 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Panjang Antrean

a. Pendekat Utara (Jalan Taman Siswa)

$$\begin{aligned} \text{MAPE} &= \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{215 - 326}{215} \right| \times 100\% \\ &= 52\% \end{aligned}$$

b. Pendekat Timur (Jalan Menteri Supeno)

$$\begin{aligned}
 \text{MAPE} &= \frac{1}{n} A \sum_{t=1}^n \left| \frac{At-Ft}{At} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{150-391}{150} \right| \times 100\% \\
 &= 161 \%
 \end{aligned}$$

c. Pendekat Selatan (Jalan Lowanu)

$$\begin{aligned}
 \text{MAPE} &= \frac{1}{n} A \sum_{t=1}^n \left| \frac{At-Ft}{At} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{195-330}{195} \right| \times 100\% \\
 &= 69 \%
 \end{aligned}$$

d. Pendekat Barat (Jalan Kolonel Sugiyono)

$$\begin{aligned}
 \text{MAPE} &= \frac{1}{n} A \sum_{t=1}^n \left| \frac{At-Ft}{At} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{180-350}{180} \right| \times 100\% \\
 &= 94\%
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Kecepatan

a. Pendekat Utara (Jalan Taman Siswa)

$$\begin{aligned}
 \text{MAPE} &= \frac{1}{n} A \sum_{t=1}^n \left| \frac{At-Ft}{At} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{36,27-16,30}{36,27} \right| \times 100\% \\
 &= 55 \%
 \end{aligned}$$

b. Pendekat Timur (Jalan Menteri Supeno)

$$\begin{aligned}
 \text{MAPE} &= \frac{1}{n} A \sum_{t=1}^n \left| \frac{At-Ft}{At} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{38,37-20,72}{38,37} \right| \times 100\% \\
 &= 46 \%
 \end{aligned}$$

c. Pendekat Selatan (Jalan Lowanu)

$$\begin{aligned}
 \text{MAPE} &= \frac{1}{n} A \sum_{t=1}^n \left| \frac{At-Ft}{At} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{36,93-26,20}{36,93} \right| \times 100\% \\
 &= 29\%
 \end{aligned}$$

d. Pendekat Barat (Jalan Kolonel Sugiyono)

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} A \sum_{t=1}^n \left| \frac{At-Ft}{At} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{37,67 - 17,22}{37,67} \right| \times 100\%$$

$$= 54\%$$

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode GEH dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), nilai GEH pada setiap pendekat masih belum memenuhi kriteria karena beberapa nilai masih melebihi batas yang ditetapkan, yaitu 10. Hal tersebut menunjukkan bahwa volume kendaraan hasil simulasi masih memiliki perbedaan yang cukup besar dibandingkan dengan data hasil survei lapangan. Selain itu, hasil pengujian MAPE untuk panjang antrean menunjukkan nilai di atas 50% pada seluruh pendekat, sehingga tingkat akurasi model terhadap kondisi antrean eksisting masih belum dapat diterima.

Sementara itu, hasil pengujian MAPE untuk parameter kecepatan menunjukkan bahwa pendekat Utara dan Barat masih memiliki nilai di atas 50%, sedangkan pendekat lainnya telah menunjukkan tingkat kesesuaian yang lebih baik. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa simulasi belum mampu merepresentasikan kondisi eksisting secara akurat, sehingga diperlukan proses kalibrasi pada pemodelan untuk meningkatkan tingkat kesesuaian hasil simulasi dengan kondisi lalu lintas di lapangan.

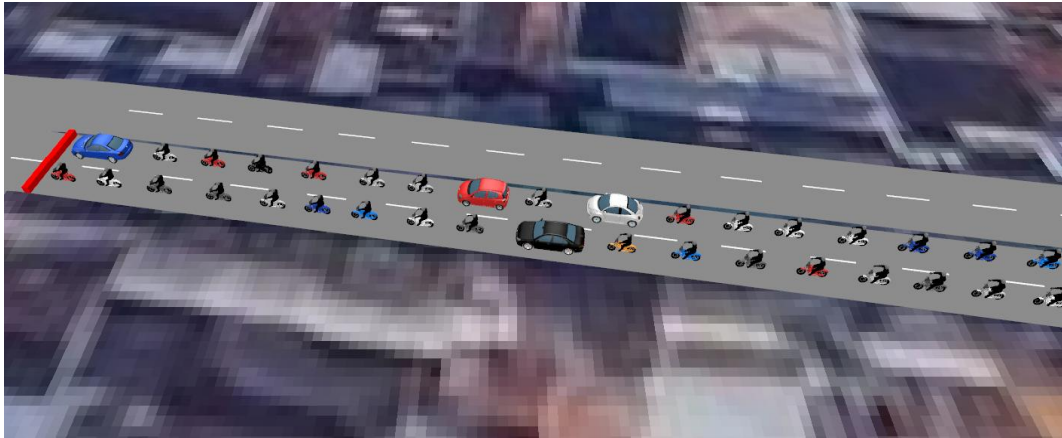
5.3.2 Hasil Simulasi Pemodelan Setelah Kalibrasi

Untuk memperoleh hasil kalibrasi yang memenuhi ambang batas toleransi nilai GEH dan MAPE sebagaimana disyaratkan dalam proses validasi pemodelan lalu lintas, perlu dilakukan penyesuaian terhadap sejumlah parameter perilaku berkendara (*Driving Behaviour*) pada perangkat lunak PTV VISSIM. Penyesuaian parameter ini bertujuan agar model simulasi yang dibangun dapat merepresentasikan kondisi lalu lintas di lapangan secara lebih mendekati kondisi sebenarnya. Dengan demikian, hasil keluaran model diharapkan memiliki tingkat kesesuaian yang lebih baik terhadap data observasi lapangan. Adapun perubahan parameter perilaku berkendara yang diterapkan dalam proses kalibrasi tersebut disajikan pada Tabel 5.17

**Tabel 5.17 Perubahan Komponen Perilaku Berkendara (*Driving Behaviour*)
Setelah Kalibrasi**

Parameter yang diubah	Komponen yang diubah		Default	Kalibrasi
			Nilai	
Car Following	Average standstill distance (m)		2	0,40
	Additive part of safety distance		2	0,40
	Multipliative part of safety distance		3	0,45
Car Following	Look ahead distance (m)	minimum	0	0
		maximum	20	250
		observed vehicles	4	6
	Look back distance (m)	minimum	0	0
		maximum	150	150
Lane change	Waiting time before diffusion (s)		60	20
	Min. Headway (front/rear) (m)		0,5	0,1
Lateral	Desired position at free flow		Middle of lane	Any
	Minimum distance standing (m)		0,2	0,2
	Minimum distance driving (m)		1	0,4
	Overtake on same lane		None	On left
				On right
Signal controller	Behavior at red/amber signal		Stop (same as red)	Go (same as green)

Berdasarkan Tabel 5.17 yang memuat perubahan komponen perilaku berkendara (*Driving Behaviour*), hasil dari proses kalibrasi selanjutnya dapat ditinjau melalui perbandingan visual yang ditampilkan pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.14. Kedua gambar tersebut masing-masing menunjukkan kondisi model sebelum dan sesudah proses kalibrasi dilakukan, sehingga perbedaan karakteristik simulasi yang dihasilkan dapat diamati secara lebih jelas.



Gambar 5.13 Pemodelan Kondisi Awal (*default*) Sebelum Kalibrasi



Gambar 5.14 Pemodelan Kondisi Setelah Proses Kalibrasi

Selanjutnya dilakukan pengujian kembali menggunakan metode GEH dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) terhadap hasil simulasi setelah proses kalibrasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian model setelah dilakukan penyesuaian parameter *Driving Behaviour* pada perangkat lunak PTV VISSIM. Rekapitulasi hasil pengujian GEH dan MAPE setelah kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 5.18 hingga Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.18 Hasil Pemodelan Volume Lalu Lintas Setelah Kalibrasi

Pendekat	Volume Lalu Lintas Eksisting	Volume Lalu Lintas PTV VISSIM	Nilai GEH	Keterangan
	(kend/jam)	(kend/jam)		
Utara	1734	1655	1,919	Hasil Diterima
Timur	2757	2721	0,688	Hasil Diterima
Selatan	1633	1506	3,206	Hasil Diterima
Barat	3409	3177	4,043	Hasil Diterima

Berdasarkan Tabel 5.18, seluruh nilai GEH pada setiap pendekat setelah kalibrasi telah memenuhi kriteria penerimaan. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi volume lalu lintas telah sesuai dengan kondisi eksisting di lapangan.

Tabel 5.19 Hasil Pemodelan Panjang Antrean Setelah Kalibrasi

Pendekat	Panjang Antrean (P_A) Eksisting	Panjang Antrean (P_A) Pemodelan PTV VISSIM	Nilai MAPE (%)	Keterangan
Utara	215	193	10	Hasil simulasi sangat baik
Timur	150	191	25	Hasil simulasi memadai
Selatan	195	205	5	Hasil simulasi sangat baik
Barat	180	259	13	Hasil simulasi baik

Tabel 5.20 Hasil Pemodelan Kecepatan Setelah Kalibrasi

Pendekat	Kecepatan Kendaraan Eksisting	Kecepatan Kendaraan Pemodelan PTV VISSIM	Nilai MAPE (%)	Keterangan
Utara	36,27	50,19	38	Hasil simulasi memadai
Timur	38,37	49,80	30	Hasil simulasi memadai
Selatan	36,93	49,77	35	Hasil simulasi memadai
Barat	37,67	50,39	34	Hasil simulasi memadai

Berdasarkan Tabel 5.19 dan 5.20, hasil pemodelan setelah proses kalibrasi menunjukkan bahwa nilai MAPE telah berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan, yaitu $\leq 50\%$. Hal ini menunjukkan bahwa model telah memenuhi kriteria validasi sehingga tingkat akurasi hasil simulasi dapat diterima. Dengan demikian, hasil keluaran model mampu merepresentasikan kondisi lalu lintas aktual di lapangan secara memadai. Rekapitulasi hasil analisis dan simulasi dari pemodelan PTV VISSIM dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM Kondisi Eksisting

No	Parameter	Satuan	Kode Pendekat			
			U	T	S	B
1	Derajat Kejenuhan	-	2,00	1,25	1,57	0,93
2	Rata-rata Derajat kejenuhan simpang	-	1,44			
3	Panjang Antrean	m	193	191	205	259
4	Tundaan	det/Kend	241	172	218	229
5	Tundaan Simpang	det/Kend	136,98			
6	Tingkat Pelayanan Simpang	-	F			

Berdasarkan Tabel 5.21, nilai tundaan rata-rata pada simpang tercatat sebesar 136.98 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan berada pada kategori F. Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja simpang masih sangat rendah.

5.4 Estimasi Dampak Tundaan terhadap Biaya Bahan Bakar di Simpang Tungkak

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tundaan di Simpang Tungkak terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar kendaraan dengan menggunakan metode LAPI-ITB dan Lamsal (ATIS-India). Kedua metode tersebut memiliki parameter perhitungan yang berbeda, khususnya pada kondisi kendaraan berhenti atau mengalami antrean akibat kemacetan.

Durasi tundaan pada setiap pendekat diperoleh melalui perhitungan menggunakan metode PKJI 2023 serta hasil pemodelan menggunakan PTV VISSIM. Nilai tundaan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam mengestimasi konsumsi bahan bakar serta kerugian ekonomi akibat pemborosan bahan bakar kendaraan.

5.4.1 Estimasi Biaya Bahan Bakar Kendaraan Berdasarkan LAPI-ITB

Estimasi kebutuhan bahan bakar dihitung dengan memanfaatkan Persamaan LAPI-ITB yang telah dikonversi ke satuan mobil penumpang. Pada tahap ini, perhitungan menggunakan Persamaan 3.30 yang dihitung berdasarkan lama tundaan yang terjadi di setiap pendekat APILL. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa konsumsi bahan bakar bersifat seragam untuk seluruh jenis kendaraan tanpa mempertimbangkan perbedaan tipe maupun kapasitas mesin. Dalam perhitungannya, seluruh kendaraan diasumsikan menggunakan bahan bakar jenis Pertalite. Berikut disajikan contoh perhitungan kerugian konsumsi bahan bakar berdasarkan metode tersebut.

1. Berdasarkan tundaan hasil analisis PKJI 2023

a. Perhitungan konsumsi BBM pendekat Utara

$$\begin{aligned} F &= 140.10^{-2} \times Tundaan \\ &= \frac{140.10^{-2}}{3600} \times 1376,5 \\ &= 0,535 \text{ Liter/SMP} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Kerugian BBM Pendekat Utara

$$\begin{aligned} \text{Biaya konsumsi BBM} &= F \times \text{Arus Lalu Lintas} \times \text{Harga BBM/liter} \\ &= 0,535 \times 393 \times 10000 \\ &= \text{Rp}2.102.759 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan biaya konsumsi bahan bakar pada Simpang Tungkak dengan tundaan berdasarkan hasil analisis PKJI 2023 dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

**Tabel 5.22 Rekapitulasi Konsumsi Bahan Bakar Metode LAPI ITB
Berdasarkan Hasil Tundaan PKJI 2023**

Pendekat	Tundaan (Detik/SMP)	Konsumsi BBM (Liter/SMP)	Arus Lalu Lintas (SMP)	BBM (Liter)	Total Biaya (Rp/Jam)
Utara	1376,6	0,535	393	210,276	2.102.759
Timur	104,9	0,041	879	35,855	358.548
Selatan	603,5	0,235	387	90,772	907.715
Barat	26,9	0,010	513	5,374	53.736

Berdasarkan pada Tabel 5.22, besarnya kerugian akibat tundaan pada Simpang Tungkak berdasarkan perhitungan menggunakan metode LAPI ITB mencapai Rp3.424.074 per jam.

2. Berdasarkan tundaan hasil Pemodelan PTV VISSIM

a. Perhitungan konsumsi BBM pendekat Utara

$$\begin{aligned}
 F &= 140.10^{-2} \times Tundaan \\
 &= \frac{140.10^{-2}}{3600} \times 240,868 \\
 &= 0,0937 \text{ Liter/SMP}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Kerugian BBM Pendekat Utara

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya konsumsi BBM} &= F \times \text{Arus Lalu Lintas} \times \text{Harga BBM/liter} \\
 &= 0,0937 \times 393 \times 10000 \\
 &= \text{Rp}367,393
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan biaya konsumsi bahan bakar pada Simpang Tungkak dengan tundaan berdasarkan hasil pemodelan VISSIM dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

**Tabel 5.23 Rekapitulasi Konsumsi Bahan Bakar Metode LAPI ITB
Berdasarkan Hasil Tundaan VISSIM**

Pendekat	Tundaan (Detik/SMP)	Konsumsi BBM (Liter/SMP)	Arus Lalu Lintas (SMP)	BBM (Liter)	Total Biaya (Rp/Jam)
Utara	240,87	0,0937	393	36,794	367.939
Timur	171,71	0,0668	879	58,684	586.842
Selatan	218,88	0,0851	387	32,920	329.200
Barat	229,29	0,0892	513	45,774	457.741

Berdasarkan pada Tabel 5.23, besarnya kerugian akibat tundaan pada Simpang Tungkak berdasarkan perhitungan menggunakan metode LAPI ITB mencapai Rp1.741.722 per jam.

5.4.2 Estimasi Biaya Bahan Bakar Kendaraan Berdasarkan Lamsal (ATIS-India)

Estimasi konsumsi bahan bakar selanjutnya dilakukan menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) pada kondisi kendaraan berhenti (*idle*). Pada metode ini, kebutuhan bahan bakar dibedakan berdasarkan jenis kendaraan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.9.

1. Berdasarkan tundaan hasil analisis PKJI 2023

a. Perhitungan Konsumsi BBM

Tundaan Utara = 1376,55 detik

- 1) SM

$$= 170 \text{ (ml/jam-smp)}$$

$$= 170/3600 \text{ (ml/detik-smp)} \times 1376,55 \text{ detik}$$

$$= 0,065 \text{ (liter/smp)}$$
- 2) MP

$$= 767 \text{ (ml/jam-smp)}$$

$$= 767/3600 \text{ (ml/detik-smp)} \times 1376,55 \text{ detik}$$

$$= 0,293 \text{ (liter/smp)}$$
- 3) KS

$$= 833 \text{ (ml/jam-smp)}$$

$$= 833/3600 \text{ (ml/detik-smp)} \times 1376,55 \text{ detik}$$

$$= 0,319 \text{ (liter/smp)}$$

Rekapitulasi konsumsi BBM berdasarkan perhitungan tundaan hasil PKJI dengan menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) dapat dilihat pada Tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Konsumsi BBM Berdasarkan Perhitungan Tundaan Hasil PKJI dengan Menggunakan Metode Lamsal

Pendekat	Tundaan (Det/SMP)	Konsumsi BBM (Liter/SMP)			Jumlah Kendaraan (SMP/Jam)		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS
Utara	1376,55	0,065	0,293	0,319	218	274	9
Timur	105,30	0,005	0,022	0,024	332	523	23
Selatan	603,52	0,028	0,129	0,140	194	337	8
Barat	26,92	0,001	0,006	0,006	429	527	30

Berdasarkan Tabel 5.24, nilai tundaan tertinggi terjadi pada pendekat Utara dengan tundaan sebesar 1376,55 detik/smp. Besarnya tundaan tersebut menghasilkan konsumsi bahan bakar sebesar 0,065 liter/smp untuk sepeda motor (SM), 0.293 liter/smp untuk mobil penumpang (MP), dan 0.319 liter/smp untuk kendaraan sedang (KS). Sebaliknya, tundaan terendah terjadi pada pendekat Barat dengan nilai tundaan sebesar 26,92 detik/smp, sehingga konsumsi bahan bakar yang dihasilkan juga relatif kecil, yaitu 0,001 liter/smp untuk SM, 0,006 liter/smp untuk MP, dan 0,006 liter/smp untuk KS.

b. Perhitungan Biaya kerugian BBM

Pada perhitungan ini, konsumsi bahan bakar diasumsikan berlaku untuk seluruh jenis kendaraan yang melewati Simpang Tungkak, baik kendaraan ringan, sepeda motor, maupun kendaraan sedang. Sepeda motor dan mobil penumpang diasumsikan menggunakan bahan bakar Pertalite, sedangkan kendaraan sedang diasumsikan menggunakan bahan bakar solar. Perhitungan Kerugian BBM dapat dilihat sebagai berikut

Pertalite = Rp 10.000,-/liter

Solar = Rp 6.800,-/liter

1) Biaya konsumsi BBM untuk SM

$$\begin{aligned}
 &= F \text{ (liter/smp)} \times \text{Jumlah kendaraan} \times \text{Biaya per liter} \\
 &= 0.065 \times 218 \times \text{Rp}10,000 \\
 &= \text{Rp}141,676
 \end{aligned}$$

2) Biaya konsumsi BBM untuk MP

$$\begin{aligned}
 &= F \text{ (liter/smp)} \times \text{Jumlah kendaraan} \times \text{Biaya per liter} \\
 &= 0.293 \times 274 \times \text{Rp}10,000 \\
 &= \text{Rp}803,592
 \end{aligned}$$

3) Biaya konsumsi BBM untuk KS

$$\begin{aligned}
 &= F \text{ (liter/smp)} \times \text{Jumlah kendaraan} \times \text{Biaya per liter} \\
 &= 0.319 \times 9 \times \text{Rp}6,800 \\
 &= \text{Rp}19,710
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Kerugian BBM berdasarkan perhitungan tundaan hasil PKJI dengan menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) dapat dilihat pada Tabel 5.25 sebagai berikut.

Tabel 5.25 Rekapitulasi Kerugian BBM Berdasarkan Perhitungan Tundaan Hasil PKJI dengan Menggunakan Metode Lamsal

Pendekat	Biaya Total Konsumsi BBM (liter/ kendaraan)			Total Biaya Pengeluaran (Rp/Jam)
	SM	MP	KS	
Utara	Rp141.676	Rp803.592	Rp19.710	964.978
Timur	Rp16.528	Rp117.332	Rp3.877	137.737
Selatan	Rp55.147	Rp433.328	Rp7.407	495.882
Barat	Rp5.451	Rp30.223	Rp1.266	36.940

Berdasarkan pada Tabel 5.25, total kerugian yang ditimbulkan akibat tundaan lalu lintas hasil PKJI di Simpang Tungkak, Berdasarkan perhitungan menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) adalah sebesar Rp1,635,538 per jam.

2. Berdasarkan tundaan hasil Pemodelan VISSIM

a. Perhitungan Konsumsi BBM

$$\text{Tundaan Utara} = 240,87 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ SM} &= 170 \text{ (ml/jam-smp)} \\ &= 170/3600 \text{ (ml/detik-smp)} \times 240,87 \text{ detik} \\ &= 0,011 \text{ (liter/smp)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5) \text{ MP} &= 767 \text{ (ml/jam-smp)} \\ &= 767/3600 \text{ (ml/detik-smp)} \times 240,87 \text{ detik} \\ &= 0,051 \text{ (liter/smp)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6) \text{ KS} &= 833 \text{ (ml/jam-smp)} \\ &= 833/3600 \text{ (ml/detik-smp)} \times 240,87 \text{ detik} \\ &= 0,056 \text{ (liter/smp)} \end{aligned}$$

Rekapitulasi konsumsi BBM berdasarkan perhitungan tundaan hasil PKJI dengan menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) dapat dilihat pada Tabel 5.26 sebagai berikut.

Tabel 5.26 Rekapitulasi Konsumsi BBM Berdasarkan Perhitungan Tundaan Hasil VISSIM dengan Menggunakan Metode Lamsal

Pendekat	Tundaan (Det/SMP)	Konsumsi BBM (Liter/SMP)			Jumlah Kendaraan (SMP/Jam)		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS
Utara	240,87	0,011	0,051	0,056	218	274	9
Timur	171,71	0,008	0,037	0,040	332	523	23
Selatan	218,88	0,010	0,047	0,051	194	337	8
Barat	229,29	0,011	0,049	0,053	429	527	30

Berdasarkan Tabel 5.26, tundaan tertinggi terjadi pada pendekat Utara sebesar 240,87 detik/smp, sehingga menghasilkan konsumsi bahan bakar terbesar, yaitu 0,011 liter/smp untuk sepeda motor (SM), 0,051 liter/smp untuk mobil penumpang (MP), dan 0,056 liter/smp untuk kendaraan sedang (KS). Sebaliknya, tundaan terendah terjadi pada pendekat Timur sebesar 171,71 detik/smp, sehingga konsumsi bahan bakar yang dihasilkan juga lebih rendah.

b. Perhitungan Biaya kerugian BBM

Pada perhitungan ini konsumsi bahan bakar diasumsikan untuk seluruh jenis kendaraan menggunakan bahan bakar pertalite dan solar. Perhitungan kerugian dapat dilihat sebagai berikut.

Pertalite = Rp 10.000,-/liter

Solar = Rp 6.800,-/liter

4) Biaya konsumsi BBM untuk SM

$$\begin{aligned} &= F (\text{liter/smp}) \times \text{Jumlah kendaraan} \times \text{Biaya per liter} \\ &= 0,011 \times 218 \times \text{Rp}10,000 \\ &= \text{Rp}24,790 \end{aligned}$$

5) Biaya konsumsi BBM untuk MP

$$\begin{aligned} &= F (\text{liter/smp}) \times \text{Jumlah kendaraan} \times \text{Biaya per liter} \\ &= 0,051 \times 274 \times \text{Rp}10,000 \\ &= \text{Rp}140.612 \end{aligned}$$

6) Biaya konsumsi BBM untuk KS

$$\begin{aligned} &= F (\text{liter/smp}) \times \text{Jumlah kendaraan} \times \text{Biaya per liter} \\ &= 0,056 \times 9 \times \text{Rp}6,800 \\ &= \text{Rp}3.449 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Kerugian BBM berdasarkan perhitungan tundaan hasil PKJI dengan menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) dapat dilihat pada Tabel 5.27 sebagai berikut.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Kerugian BBM Berdasarkan Perhitungan Tundaan Hasil VISSIM dengan Menggunakan Metode Lamsal

Pendekat	Biaya Total Konsumsi BBM (liter/ kendaraan)			Total Biaya Pengeluaran (Rp/Jam)
	SM	MP	KS	
Utara	Rp24.790	Rp140.612	Rp3.449	Rp168.851
Timur	Rp26.953	Rp191.338	Rp6.322	Rp224.613
Selatan	Rp20.000	Rp157.154	Rp2.686	Rp179.841
Barat	Rp46.434	Rp257.445	Rp10.787	Rp314.666

Berdasarkan pada Tabel 5.27, total kerugian yang ditimbulkan akibat tundaan lalu lintas hasil VISSIM di Simpang Tungkak, Berdasarkan perhitungan menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) adalah sebesar Rp887.971 per jam.

5.5 Solusi Alternatif

Alternatif solusi merupakan upaya penanganan yang dirumuskan untuk meningkatkan kinerja lalu lintas di Simpang Tungkak berdasarkan hasil evaluasi kondisi eksisting. Perumusan alternatif dilakukan dengan mengacu pada hasil analisis kinerja simpang menggunakan metode PKJI 2023, yang selanjutnya diuji dan dievaluasi melalui pemodelan mikrosimulasi menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Setiap alternatif disusun untuk mengatasi permasalahan utama yang teridentifikasi, seperti tingginya derajat kejenuhan, tundaan, dan panjang antrean di masing-masing lengan pada simpang. Terdapat 3 alternatif solusi untuk meningkatkan kinerja Simpang Tungkak.

5.5.1 Solusi Alternatif 1

Alternatif pertama yang diterapkan dalam penelitian ini adalah melakukan penyesuaian terhadap waktu isyarat hijau pada sistem pengendalian sinyal lalu lintas di simpang, adapun tahapan tahapan sebagai berikut.

1. Menentukan waktu isyarat hijau (WHi)

a. Pendekat Utara

$$\begin{aligned} W_{Hi} &= (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J \text{ Kritis}}}{\sum_i (R_{q/J \text{ Kritis}})_i} \\ &= (138 - 24) \times \frac{0,378}{1,152} \\ &= 37 \text{ detik} \end{aligned}$$

b. Pendekat Timur

$$\begin{aligned} W_{Hi} &= (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J \text{ Kritis}}}{\sum_i (R_{q/J \text{ Kritis}})_i} \\ &= (138 - 24) \times \frac{0,316}{1,152} \\ &= 31 \text{ detik} \end{aligned}$$

c. Pendekat Selatan

$$\begin{aligned}
 W_{Hi} &= (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J \text{ Kritis}}}{\sum i(R_{q/J \text{ Kritis}})^i} \\
 &= (138 - 24) \times \frac{0,250}{1,152} \\
 &= 25 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

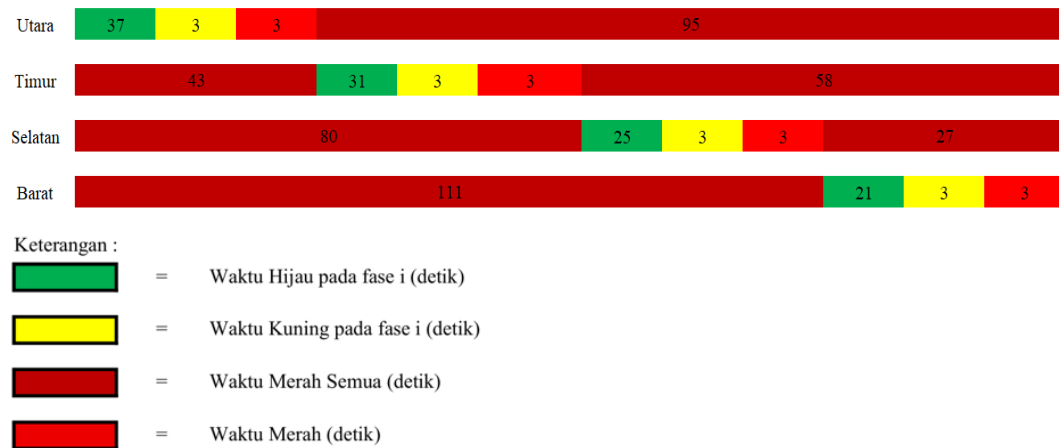
d. Pendekat Barat

$$\begin{aligned}
 W_{Hi} &= (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J \text{ Kritis}}}{\sum i(R_{q/J \text{ Kritis}})^i} \\
 &= (138 - 24) \times \frac{0,209}{1,152} \\
 &= 21 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Waktu hijau tersebut bertujuan untuk mengoptimalkan pembagian waktu pada masing-masing pendekat sehingga kinerja lalu lintas di simpang dapat meningkat. Proses penyesuaian ini dilakukan dengan mengacu pada metode dan ketentuan dalam PKJI 2023 agar pengaturan isyarat lalu lintas menjadi lebih efektif dan sesuai dengan standar yang berlaku. Rekapitulasi hasil penyesuaian waktu isyarat hijau (WHi) pada setiap fase dapat dilihat pada Tabel 5.28 dan Gambar 5.15 berikut.

Tabel 5.28 Rekapitulasi Penyesuaian Waktu Isyarat Hijau (WHi)

Pendekat	Fase ke-	Waktu Isyarat				Waktu siklus (detik)
		Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah semua (detik)	Merah (detik)	
Utara	1	37	3	3	95	138
Timur	2	31	3	3	101	
Selatan	3	25	3	3	107	
Barat	4	21	3	3	111	



Gambar 5.15 Diagram Fase APILL Alternatif 1

2. Pemodelan perangkat lunak PTV VISSIM

Tahap selanjutnya dilakukan simulasi pemodelan kinerja lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM berdasarkan solusi alternatif 1. Alternatif ini mencakup perubahan pada pengaturan waktu sinyal (*signal control*) untuk meningkatkan kinerja simpang. Hasil simulasi dari penerapan alternatif tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut.

Tabel 5.29 Hasil Pemodelan PTV VISSIM Alternatif Solusi 1

Lengan	Panjang Antrean (m)	Tundaan (det/kend)	Tundaan Simping (det/kend)
Utara	127	58	116,06
Timur	196	214	
Selatan	203	165	
Barat	259	400	

3. Perhitungan kapasitas (C) dan derajat kejenuhan (D_j)

Setelah output simulasi PTV VISSIM diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan kembali kapasitas dan derajat kejenuhan. Perhitungan ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang setelah penerapan alternatif perbaikan. Perhitungan kapasitas dan derajat kejenuhan disajikan pada bagian berikut.

a. Pendekat Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1040 \times \frac{37}{138} \\
 &= 279 \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{393}{279} \\
 &= 1,41
 \end{aligned}$$

b. Pendekat Timur

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 2871 \times \frac{31}{138} \\
 &= 625 \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{879}{625} \\
 &= 1,41
 \end{aligned}$$

c. Pendekat Selatan

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1547 \times \frac{25}{138} \\
 &= 280 \\
 DJ &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{387}{280} \\
 &= 1,38
 \end{aligned}$$

d. Pendekat Barat

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 2434 \times \frac{21}{138} \\
 &= 370 \\
 DJ &= \frac{q}{c}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{513}{370}$$

$$= 1,39$$

4. Rekapitulasi hasil alternatif solusi 1

Rekapitulasi Hasil Skema alternatif solusi 1 dapat dilihat pada Tabel 5.30 sebagai berikut.

Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Simulasi PTV VISSIM Alternatif Solusi 1

No	Parameter	Satuan	Kode Pendekat			
			U	T	S	B
1	Kapasitas	-	279	625	280	370
2	Derajat Kejenuhan	-	1,41	1,41	1,38	1,39
3	Rata-rata Derajat kejenuhan simpang	-	1,40			
4	Panjang Antrean	m	127	196	203	259
5	Tundaan	det/Kend	58	214	165	400
6	Tundaan Simpang	det/Kend	116,06			
6	Tingkat Pelayanan Simpang	-	F			

5. Perhitungan kerugian konsumsi BBM

Dari hasil nilai tundaan pemodelan VISSIM dan PKJI 2023, maka dapat didapatkan total kerugian yang dialami pengendara pada alternatif 1 yang dapat dilihat pada Tabel 5.31 dan 5.32 sebagai berikut.

**Tabel 5.31 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 1
Berdasarkan Tundaan VISSIM**

Pendekat	Ruas Jalan	Biaya Konsumsi BBM LAPI- ITB (Rp/Jam)	Biaya Konsumsi BBM Lamsal (Rp/Jam)
Utara	Jalan Taman Siswa	88.019	40.393
Timur	Jalan Menteri Supeno	731.176	279.857
Selatan	Jalan Lowanu	248.821	135.930
Barat	Jalan Kolonel Sugiyono	797.590	548.289
Total		1.865.606	1.004.468

**Tabel 5.32 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 1
Berdasarkan Tundaan PKJI 2023**

Pendekat	Ruas Jalan	Biaya Konsumsi BBM LAPI- ITB (Rp/Jam)	Biaya Konsumsi BBM Lamsal (Rp/Jam)
Utara	Jalan Taman Siswa	693.280	318.153
Timur	Jalan Menteri Supeno	612.198	234.318
Selatan	Jalan Lowanu	555.256	303.335
Barat	Jalan Kolonel Sugiyono	567.526	390.135
Total		2.428.260	1.245.941

5.5.2 Solusi Alternatif 2

Alternatif kedua dilakukan melalui penyesuaian waktu siklus sinyal lalu lintas berdasarkan rentang waktu siklus ideal PKJI 2023, yaitu 80–130 detik untuk simpang bersinyal. Penentuan waktu siklus dilakukan dengan metode *trial and error* menggunakan PTV VISSIM untuk memperoleh pengaturan sinyal yang menghasilkan kinerja simpang paling optimal. Rekapitulasi hasil uji coba perubahan waktu siklus ditampilkan pada Tabel 5.33.

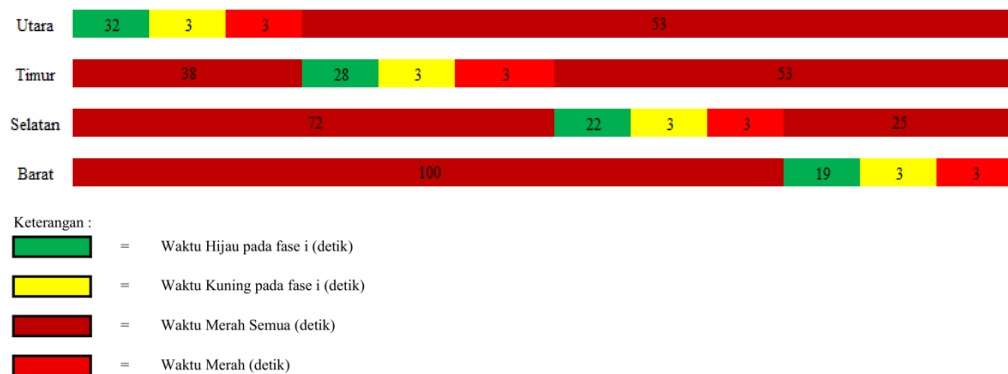
Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Uji Coba Perubahan Waktu Siklus

Pengujian Ke-	Pendekat	Waktu Isyarat (det)			Waktu Siklus (det)	Urutan Fase ke-	Tundaan (det/Kend)
		W _{Hi}	W _K	W _{MS}			
1	Utara	34	3	3	130	1	116,25
	Timur	29	3	3		2	
	Selatan	23	3	3		3	
	Barat	20	3	3		4	
2	Utara	32	3	3	125	1	109,54
	Timur	28	3	3		2	
	Selatan	22	3	3		3	
	Barat	19	3	3		4	
3	Utara	27	3	3	115	1	110,01
	Timur	24	3	3		2	
	Selatan	21	3	3		3	
	Barat	19	3	3		4	

Lanjutan Tabel 5.34 Rekapitulasi Hasil Uji Coba Perubahan Waktu Siklus

Pengujian Ke-	Pendekat	Waktu Isyarat (det)			Waktu Siklus (det)	Urutan Fase ke-	Tundaan (det/Kend)
		W_{Hi}	W_K	W_{MS}			
4	Utara	26	3	3	110	1	111,78
	Timur	21	3	3		2	
	Selatan	20	3	3		3	
	Barat	19	3	3		4	
5	Utara	24	3	3	107	1	116,17
	Timur	20	3	3		2	
	Selatan	19	3	3		3	
	Barat	20	3	3		4	

Berdasarkan hasil *trial and error* yang disajikan pada Tabel 5.33, pengujian ke-2 ditetapkan sebagai kondisi dengan waktu siklus paling optimal karena menghasilkan nilai tundaan rata-rata terendah dibandingkan dengan alternatif pengujian lainnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan waktu siklus sebesar 125 detik mampu memberikan kinerja pengaturan sinyal yang lebih efektif dalam meminimalkan tundaan kendaraan pada persimpangan. Diagram fase yang digunakan dalam pengaturan *signal control* untuk kondisi terpilih tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Diagram Fase APILL Alternatif 2

Berdasarkan skema alternatif solusi 2. Hasil analisis dan simulasi dari penerapan alternatif tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.34.

Tabel 5.35 Hasil Pemodelan PTV VISSIM Alternatif Solusi 2

Lengan	Panjang Antrean (m)	Tundaan (det/kend)	Tundaan Simpang (det/kend)
Utara	142	64	109,54
Timur	193	206	
Selatan	198	139	
Barat	259	329	

1. Perhitungan kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J)

Perhitungan kapasitas dan derajat kejenuhan disajikan pada bagian berikut.

a. Pendekat Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1040 \times \frac{32}{125} \\
 &= 266 \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{393}{206} \\
 &= 1,47
 \end{aligned}$$

b. Pendekat Timur

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 2781 \times \frac{28}{125} \\
 &= 623 \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{879}{623} \\
 &= 1,41
 \end{aligned}$$

c. Pendekat Selatan

$$C = J \times \frac{WH}{s}$$

$$= 1547 \times \frac{22}{125}$$

$$= 272$$

$$D_J = \frac{q}{c}$$

$$= \frac{387}{272}$$

$$= 1,42$$

d. Pendekat Barat

$$C = J \times \frac{WH}{s}$$

$$= 2434 \times \frac{19}{125}$$

$$= 370$$

$$D_J = \frac{q}{c}$$

$$= \frac{513}{370}$$

$$= 1,39$$

2. Rekapitulasi Hasil Alternatif Solusi 2

Rekapitulasi Hasil Skema alternatif solusi 2 dapat dilihat pada tabel 5.35 sebagai berikut.

Tabel 5.36 Rekapitulasi Hasil Simulasi PTV VISSIM Alternatif Solusi 2

No	Parameter	Satuan	Kode Pendekat			
			U	T	S	B
1	Derajat Kejenuhan	-	1,47	1,41	1,42	1,39
2	Rata-rata Derajat kejenuhan simpang	-	1,42			
3	Panjang Antrean	m	142	193	198	259
4	Tundaan	det/Kend	64	206	139	329
5	Tundaan Simpang	det/Kend	109,54			
6	Tingkat Pelayanan Simpang	-	F			

3. Perhitungan Kerugian Konsumsi BBM

Dari hasil nilai tundaan pemodelan VISSIM, maka dapat didapatkan total kerugian yang dialami pengendara yang dapat dilihat pada Tabel 5.36 dan 5.37 sebagai berikut.

Tabel 5.37 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 2
Berdasarkan Tundaan VISSIM

Pendekat	Ruas Jalan	Biaya Konsumsi BBM LAPI- ITB (Rp/Jam)	Biaya Konsumsi BBM Lamsal (Rp/Jam)
Utara	Jalan Taman Siswa	98.016	44.981
Timur	Jalan Menteri Supeno	704.268	269.558
Selatan	Jalan Lowanu	209.003	114.178
Barat	Jalan Kolonel Sugiyono	657.798	452.191
Total		1.669.086	880.907

Tabel 5.38 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 2
Berdasarkan Tundaan PKJI 2023

Pendekat	Ruas Jalan	Biaya Konsumsi BBM LAPI- ITB (Rp/Jam)	Biaya Konsumsi BBM Lamsal (Rp/Jam)
Utara	Jalan Taman Siswa	743.835	341.354
Timur	Jalan Menteri Supeno	566.249	216.731
Selatan	Jalan Lowanu	570.384	311.599
Barat	Jalan Kolonel Sugiyono	521.000	358.152
Total		2.401.469	1.227.836

5.5.3 Solusi Alternatif 3

Alternatif ketiga dalam peningkatan kinerja simpang dilakukan melalui pengaturan ulang konfigurasi fase APILL untuk mengoptimalkan pembagian waktu pelayanan pada setiap pendekat, terutama pada pendekat dengan volume lalu lintas

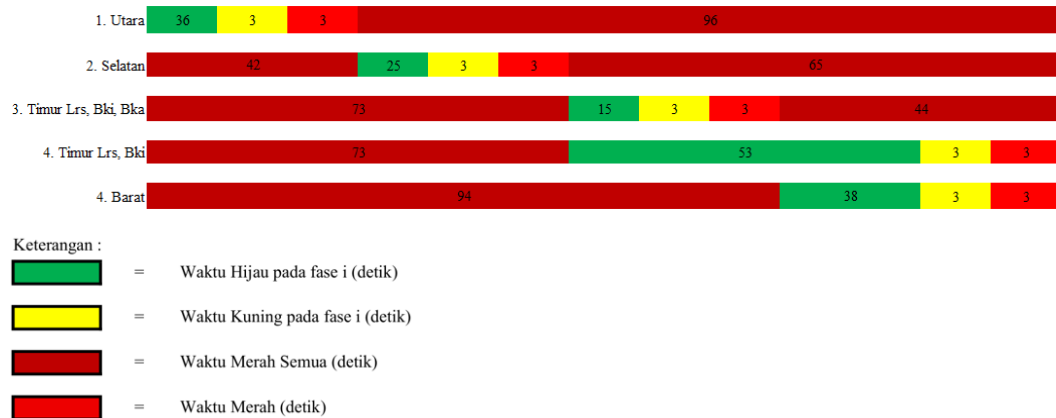
tinggi. Pada konfigurasi usulan, APILL tetap menggunakan empat fase dengan penyesuaian pola pelayanan pada tiap fase agar pergerakan kendaraan dapat dilayani lebih efektif, termasuk perubahan tipe pendekat Timur dan Barat menjadi pendekat terlawan pada fase keempat.

Fase pertama melayani pendekat Utara untuk pergerakan belok kiri jalan terus, lurus, dan belok kanan. Fase kedua melayani pendekat Selatan dengan pola pergerakan yang sama. Fase ketiga melayani pendekat Timur untuk pergerakan belok kiri, lurus, dan belok kanan yang sepenuhnya mengikuti isyarat APILL. Selanjutnya, fase keempat melayani pendekat Timur untuk pergerakan belok kiri dan lurus secara bersamaan dengan pendekat Barat yang melayani pergerakan belok kiri jalan terus, lurus, dan belok kanan.

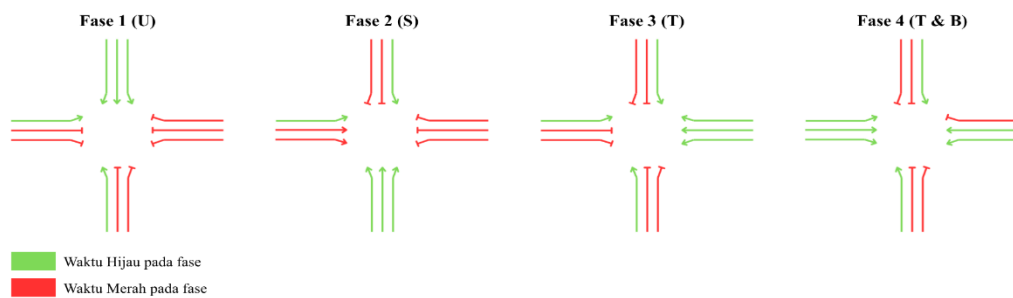
Penggabungan pelayanan pada fase keempat mempertimbangkan rasio arus belok kanan pendekat Barat yang relatif kecil, yaitu sekitar 10% dari total arus lalu lintas dan masih di bawah batas 250 SMP/jam berdasarkan PKJI 2023, sehingga perubahan tipe pendekat dari terlindung menjadi terlawan masih memungkinkan diterapkan. Selain itu, waktu pelayanan pada fase ketiga dibuat lebih singkat agar distribusi waktu hijau dapat dialihkan ke pendekat Utara, Selatan, dan barat yang memiliki tundaan lebih tinggi, sehingga kinerja simpang secara keseluruhan dapat meningkat. Ilustrasi perubahan fase APILL, tabel waktu siklus, dan diagram waktu siklus Simpang Tungkak ditampilkan pada Tabel 5.38, Gambar 5.17, dan Gambar 5.18.

Tabel 5.39 Rekapitulasi Waktu isyarat APILL Skema Solusi Alternatif 3

Pendekat	Fase ke-	Waktu Isyarat				Waktu siklus (detik)
		Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah semua (detik)	Merah (detik)	
Utara	1	36	3	3	96	138
Selatan	2	25	3	3	107	
Timur (L_{rs} , B_{ki} , B_{ka})	3	15	3	3	117	
Timur ((L_{rs}, B_{ki}) .	4	38	3	3	73	
Barat (L_{rs} , B_{ki} , B_{ka}),		38	3	3	94	



Gambar 5.17 Diagram Fase APILL Skema Solusi Alternatif 3



Gambar 5.18 Urutan Fase Simpang Tungkak Skema Solusi Alternatif 3

1. Pemodelan perangkat lunak PTV VISSIM

Hasil analisis dan simulasi dari penerapan alternatif tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.39 berikut.

Tabel 5.40 Hasil Pemodelan PTV VISSIM Skema solusi alternatif 3

Lengan	Panjang Antrean (m)	Tundaan (det/kend)	Tundaan Simpang (det/kend)
Utara	141	74,58	75,23
Timur	169	202,84	
Selatan	204	153,78	
Barat	260	169,15	

2. Perhitungan kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J)

Selanjutnya dilakukan perhitungan kapasitas (C) dan derajat kejenuhan (D_J) berdasarkan skema alternatif perbaikan yang diperoleh dari perubahan Jumlah fase dan waktu siklus. Contoh perhitungan kapasitas (C) dan derajat kejenuhan (D_J) dapat dilihat pada perhitungan berikut.

a. Pendekat Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1040 \times \frac{39}{138} \\
 &= 271 \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{393}{271} \\
 &= 1,44
 \end{aligned}$$

b. Pendekat Selatan

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1547 \times \frac{25}{138} \\
 &= 280 \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{387}{280} \\
 &= 1,38
 \end{aligned}$$

c. Pendekat Timur

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1650 \times \frac{59}{138} \\
 &= 705 \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{1005}{705} \\
 &= 1,42
 \end{aligned}$$

d. Pendekat Barat

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 2075 \times \frac{38}{138} \\
 &= 571 \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{848}{571} \\
 &= 1,48
 \end{aligned}$$

3. Rekapitulasi Hasil Alternatif Solusi 3

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai hasil perhitungan, analisis, dan evaluasi yang telah dilakukan pada alternatif tersebut, rekapitulasi ini disusun agar nilai atau capaian yang diperoleh dari penerapan skema alternatif solusi 3 dapat diketahui secara lebih terstruktur. Adapun hasil skema alternatif solusi 3 secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 5.40 berikut.

Tabel 5.41 Rekapitulasi Hasil Simulasi dan Analisis PTV VISSIM Skenario Alternatif Solusi 3

No	Parameter	Satuan	Kode Pendekat			
			U	T	S	B
1	Derajat Kejenuhan	-	1,44	1,38	1,42	1,48
2	Rata-rata Derajat kejenuhan simpang	-	1,43			
3	Panjang Antrean	m	141	169	204	260
4	Tundaan	det/Kend	75	203	154	169
5	Tundaan Simpang	det/Kend	75,23			
6	Tingkat Pelayanan Simpang	-	F			

4. Perhitungan Kerugian Konsumsi BBM

Dari hasil nilai tundaan pemodelan VISSIM, maka dapat didapatkan total kerugian yang dialami pengendara yang dapat dilihat pada Tabel 5.41 dan 5.42 sebagai berikut.

**Tabel 5.42 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 3
Berdasarkan Tundaan VISSIM**

Pendekat	Ruas Jalan	Biaya Konsumsi BBM LAPI-ITB (Rp/Jam)	Biaya Konsumsi BBM Lamsal (Rp/Jam)
Utara	Jalan Taman Siswa	113.924	52.281
Timur	Jalan Menteri Supeno	693.224	265.331
Selatan	Jalan Lowanu	231.289	126.352
Barat	Jalan Kolonel Sugiyono	337.683	232.134
Total		1.376.120	676.098

**Tabel 5.43 Rekapitulasi Perhitungan Kerugian BBM Alternatif 3
Berdasarkan Tundaan PKJI 2023**

Pendekat	Ruas Jalan	Biaya Konsumsi BBM LAPI-ITB (Rp/Jam)	Biaya Konsumsi BBM Lamsal (Rp/Jam)
Utara	Jalan Taman Siswa	764.524	350.848
Timur	Jalan Menteri Supeno	561.453	214.896
Selatan	Jalan Lowanu	558.888	305.318
Barat	Jalan Kolonel Sugiyono	453.087	311.466
Total		2.337.952	1.182.528

5.6 Pembahasan

Pembahasan pada penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja Simpang Tungkak berdasarkan kondisi eksisting menggunakan metode PKJI 2023. Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa pendekat pada Simpang Tungkak berada pada kondisi jenuh hingga sangat jenuh. Kondisi tersebut menyebabkan

tundaan rata-rata simpang menjadi tinggi serta panjang antrean kendaraan meningkat, terutama pada pendekatan dengan volume lalu lintas dominan yang menuju kawasan pusat aktivitas seperti pendidikan, wisata, dan kuliner. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas simpang belum mampu mengakomodasi arus lalu lintas secara optimal, sehingga diperlukan alternatif perbaikan untuk meningkatkan kinerja simpang.

Selanjutnya, alternatif perbaikan disusun berdasarkan hasil evaluasi kondisi eksisting dengan melakukan pengaturan ulang waktu siklus, pembagian waktu hijau, serta konfigurasi fase sinyal. Penyusunan alternatif tersebut dilakukan melalui pendekatan *trial and error* menggunakan pemodelan mikrosimulasi pada PTV VISSIM untuk memperoleh kombinasi pengaturan fase dan sinyal yang lebih optimal. Setiap skenario yang disusun kemudian dibandingkan berdasarkan perubahan nilai tundaan, derajat kejenuhan, panjang antrean, dan tingkat pelayanan simpang. Melalui proses tersebut diperoleh alternatif yang mampu meningkatkan kinerja simpang secara lebih efektif dibandingkan kondisi eksisting.

Selain evaluasi kinerja lalu lintas, dilakukan pula analisis estimasi konsumsi bahan bakar kendaraan akibat tundaan yang terjadi di simpang. Besarnya tundaan berpengaruh langsung terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan, dimana semakin tinggi tundaan maka konsumsi bahan bakar yang terbuang juga semakin besar. Oleh karena itu, alternatif dengan tundaan yang lebih rendah menghasilkan estimasi konsumsi bahan bakar yang lebih efisien. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kinerja simpang tidak hanya berdampak pada kelancaran lalu lintas, tetapi juga berpengaruh terhadap efisiensi penggunaan bahan bakar kendaraan pada Simpang Tungkak.

5.6.1 Kinerja Eksisting Simpang Tungkak Berdasarkan PKJI 2023 dan Simulasi VISSIM

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode PKJI 2023 dan simulasi PTV VISSIM, kinerja Simpang Empat Tungkak pada kondisi eksisting tahun 2026 menunjukkan kondisi jenuh hingga sangat jenuh. Nilai derajat kejenuhan berdasarkan PKJI 2023 masing-masing sebesar 2,00 pada pendekatan Utara, 1,25 pada pendekatan Timur, 1,57 pada pendekatan Selatan, dan 0,93 pada pendekatan Barat,

dengan rata-rata simpang sebesar 1,44. Nilai derajat kejenuhan tertinggi terjadi pada pendekat Utara karena pendekat tersebut memiliki lebar efektif dan kapasitas yang relatif rendah dibandingkan pendekat lainnya, sehingga arus lalu lintas yang tinggi tidak dapat dilayani secara optimal. Seluruh nilai tersebut melebihi batas ideal PKJI 2023, yaitu $\leq 0,85$, sehingga kapasitas Simpang Tungkak belum mampu melayani arus lalu lintas secara optimal.

Tingginya derajat kejenuhan berdampak pada besarnya tundaan kendaraan di Simpang Empat Tungkak. Berdasarkan analisis PKJI 2023, tundaan rata-rata simpang sebesar 304,72 detik per kendaraan, sedangkan hasil simulasi PTV VISSIM menunjukkan tundaan sebesar 136,98 detik per kendaraan. Tundaan tertinggi berdasarkan hasil PKJI 2023 terjadi pada pendekat Utara sebesar 1376,55 detik per kendaraan. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh nilai derajat kejenuhan pendekat Utara yang mencapai 2,00 akibat kapasitas pendekat yang rendah dibandingkan volume lalu lintas yang dilayani. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, nilai tundaan tersebut termasuk tingkat pelayanan (*Level of Service/LOS*) kategori F, yang menunjukkan kondisi lalu lintas sangat buruk. Kondisi ini juga belum memenuhi tingkat pelayanan minimum untuk jalan kolektor sekunder, yaitu tingkat pelayanan C. Hasil ini sejalan dengan penelitian Virawan dkk. (2018) pada Simpang Tungkak yang menunjukkan tingkat pelayanan F dengan tundaan sebesar 83,98 detik per kendaraan.

Selain derajat kejenuhan dan tundaan, kondisi eksisting juga menunjukkan panjang antrean yang cukup besar. Berdasarkan PKJI 2023, panjang antrean maksimum mencapai 907 m pada pendekat Utara, 188 m pada Timur, 384 m pada Selatan, dan 115 m pada Barat. Sementara itu, hasil simulasi PTV VISSIM menunjukkan antrean maksimum sebesar 193 m pada Utara, 191 m pada Timur, 205 m pada Selatan, dan 259 m pada Barat. Panjang antrean yang sangat tinggi pada pendekat Utara dipengaruhi oleh tingginya nilai derajat kejenuhan yang mencapai 2,00. Kondisi tersebut terjadi karena pendekat Utara memiliki lebar efektif yang relatif kecil, yaitu 2 meter, sehingga menghasilkan kapasitas pendekat yang rendah dibandingkan pendekat lainnya. Sementara itu, volume lalu lintas pada pendekat Utara tetap tinggi, sehingga arus kendaraan yang datang melebihi kapasitas

pelayanan simpang dan menyebabkan penumpukan kendaraan yang panjang. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sebagian kendaraan belum dapat terlayani dalam satu siklus sinyal. Rekapitulasi derajat kejenuhan, tundaan, dan panjang antrean disajikan pada Tabel 5.43.

Tabel 5.44 Perbandingan Hasil Kinerja Eksisting Simpang Tungkal Berdasarkan PKJI 2023 dan PTV VISSIM

Parameter	PKJI 2023				PTV VISSIM			
	U	T	S	B	U	T	S	B
Derajat Kejenuhan	2,00	1,25	1,57	0,93	-	-	-	-
Rata Rata Derajat Kejenuhan	1,44				-			
Panjang Antrean (m)	907	188	384	115	193	191	205	259
Tundaan (det/kend)	1376,6	105,3	603,5	26,9	240,8	171,7	218,8	228,2
Tundaan Simpang (det/kend)	304,72				136,98			
Tingkat Pelayanan Simpang	F				F			

Berdasarkan Tabel 5.43, hasil analisis menggunakan metode PKJI 2023 dan simulasi PTV VISSIM menunjukkan tren yang relatif sama, yaitu kinerja simpang berada pada kondisi jenuh dengan tingkat pelayanan kategori F. Namun demikian, terdapat perbedaan nilai antara kedua metode, di mana metode PKJI 2023 menghasilkan nilai derajat kejenuhan dan tundaan yang lebih besar dibandingkan simulasi PTV VISSIM. Hal yang sama juga terjadi pada tundaan simpang, di mana metode PKJI 2023 menghasilkan tundaan sebesar 304,72 detik per kendaraan, lebih besar dibandingkan simulasi PTV VISSIM sebesar 136,98 detik per kendaraan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kedua metode memberikan kecenderungan hasil yang searah, namun dengan tingkat sensitivitas yang berbeda dalam menggambarkan kondisi operasional simpang.

Berdasarkan hasil observasi lapangan yang disajikan pada Tabel 5.16, panjang antrean tercatat sebesar 215 meter pada pendekat Jalan Taman Siswa, 150 meter pada pendekat Jalan Menteri Supeno, 195 meter pada pendekat Jalan

Lowanu, dan 180 meter pada pendekat Jalan Kolonel Sugiyono. Perbedaan nilai panjang antrean antara hasil analisis PKJI 2023, simulasi PTV VISSIM, dan observasi lapangan tersebut menunjukkan adanya variasi tingkat kedekatan metode analisis terhadap kondisi aktual di lapangan. Oleh karena itu, untuk memperjelas tingkat kedekatan hasil perhitungan PKJI 2023 dan simulasi PTV VISSIM terhadap kondisi observasi lapangan pada masing-masing pendekat, persentase perbedaan panjang antrean disajikan pada Tabel 5.44.

Tabel 5.45 Persentase Perbedaan Panjang Antrean PKJI 2023 dan PTV VISSIM terhadap Observasi Lapangan

Pendekat	Panjang Antrean (m)			Persentase Perbedaan terhadap Observasi (%)	
	PKJI 2023	VISSIM	Observasi	PKJI 2023	VISSIM
Utara	907	193	215	321,86	10,23
Timur	188	191	150	25,33	27,33
Selatan	384	205	195	96,92	5,13
Barat	115	259	180	36,11	43,89
Rata Rata				120%	21%

Berdasarkan Tabel 5.44, simulasi PTV VISSIM menunjukkan selisih yang lebih kecil terhadap hasil observasi pada pendekat Utara dan Selatan, yaitu masing-masing sebesar 10,23% dan 5,13%, sedangkan PKJI 2023 lebih mendekati hasil observasi pada pendekat Timur dan Barat, dengan selisih masing-masing sebesar 25,33% dan 36,11%. Meskipun demikian, secara keseluruhan hasil simulasi PTV VISSIM cenderung lebih mendekati kondisi lapangan dibandingkan PKJI 2023, yang ditunjukkan oleh rata-rata persentase selisih sebesar 21%, lebih kecil dibandingkan PKJI 2023 sebesar 120%.

Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Muiz (2025) yang menunjukkan bahwa pemodelan menggunakan aplikasi PTV VISSIM cenderung mampu menggambarkan kondisi antrean kendaraan secara lebih realistis dibandingkan pendekatan analitis. Pada kondisi eksisting, hasil observasi panjang antrean tercatat sebesar 80 m pada pendekat Utara, 175 m pada pendekat Timur, 120 m pada

pendekat Selatan, dan 95 m pada pendekat Barat. Sementara itu, hasil simulasi PTV VISSIM menunjukkan panjang antrean masing-masing sebesar 210,53 m, 116,87 m, 225,48 m, dan 135,08 m, sedangkan hasil perhitungan menggunakan PKJI 2023 masing-masing sebesar 300 m, 157,14 m, 327,27 m, dan 160 m. Berdasarkan perbandingan selisih terhadap hasil observasi lapangan, hasil VISSIM lebih mendekati kondisi lapangan pada pendekat Utara, Selatan, dan Barat, sedangkan PKJI 2023 lebih mendekati hasil observasi pada pendekat Timur. Dengan demikian, hasil simulasi VISSIM secara umum menunjukkan kecenderungan yang lebih mendekati kondisi observasi dibandingkan metode PKJI 2023, meskipun masih terdapat perbedaan nilai pada beberapa pendekat.

Perbedaan antara metode PKJI 2023 dan simulasi PTV VISSIM juga ditemukan pada penelitian terdahulu oleh Atmajaya dkk. (2024) pada Simpang Tugu Wisnu Kota Surakarta. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, analisis menggunakan metode PKJI 2023 menghasilkan panjang antrean maksimum sebesar 427,03 meter dan tundaan sebesar 485,7 detik per kendaraan pada salah satu pendekat. Sementara itu, hasil simulasi PTV VISSIM menunjukkan panjang antrean maksimum sebesar 328,25 meter serta tundaan sebesar 286,34 detik per kendaraan pada pendekat dengan volume tertinggi. Temuan serupa juga diperoleh pada penelitian Pantulu dkk. (2025) di Kota Gorontalo pada simpang Jalan Raja Eyato – Jalan Moh. Yamin – Jalan A.R. Koniyo. Berdasarkan hasil analisis, metode PKJI 2023 menghasilkan tundaan rata-rata sebesar 37 detik dengan tingkat pelayanan D, sedangkan simulasi PTV VISSIM menghasilkan tundaan yang lebih besar yaitu 54,5 detik dengan tingkat pelayanan yang sama, yaitu D. Perbedaan ini menunjukkan bahwa hasil simulasi VISSIM dapat menghasilkan nilai yang berbeda karena mempertimbangkan perilaku pengemudi dan kondisi lalu lintas secara lebih dinamis dibandingkan pendekatan analitis PKJI 2023.

Berdasarkan perbandingan tersebut, hasil penelitian ini menunjukkan tren yang sejalan dengan penelitian terdahulu, di mana metode PKJI 2023 cenderung menghasilkan nilai tundaan dan panjang antrean yang lebih besar dibandingkan simulasi PTV VISSIM. Hal ini disebabkan karena PKJI menggunakan pendekatan analitis, sedangkan PTV VISSIM menggunakan simulasi mikroskopis yang lebih

dinamis. Selain itu, panjang antrean PKJI 2023 dapat berbeda cukup jauh dari kondisi eksisting karena pada kondisi lapangan kendaraan lurus dan belok kanan turut memanfaatkan lajur B_{KLT} sehingga antrean menjadi lebih menyebar.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa kinerja Simpang Tungkak pada kondisi eksisting belum memenuhi kriteria yang diharapkan. Nilai derajat kejenuhan yang tinggi, tundaan yang besar, serta panjang antrean yang panjang menunjukkan bahwa kapasitas simpang belum mampu melayani arus lalu lintas secara efektif. Oleh karena itu, diperlukan alternatif perbaikan melalui pengaturan ulang fase dan waktu sinyal guna meningkatkan kinerja simpang dan mengurangi kemacetan yang terjadi.

5.6.2 Kinerja Usulan Alternatif Perbaikan Simpang Tungkak Berdasarkan VISSIM

Evaluasi alternatif perbaikan Simpang Tungkak dilakukan menggunakan mikrosimulasi PTV VISSIM dan dianalisis berdasarkan PKJI 2023. Penilaian dilakukan untuk mengetahui efektivitas tiap alternatif terhadap kinerja simpang berdasarkan parameter tundaan, panjang antrean, dan derajat kejenuhan pada setiap pendekat. Alternatif difokuskan pada optimasi fase dan waktu sinyal tanpa perubahan geometrik signifikan karena keterbatasan ruang di lokasi penelitian.

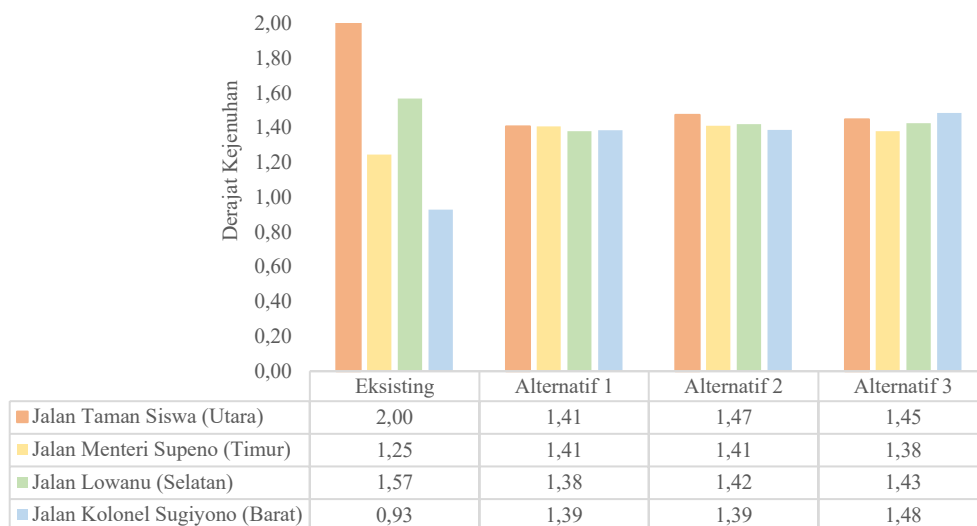
Alternatif pertama berupa penyesuaian waktu hijau tiap pendekat berdasarkan rasio arus lalu lintas. Alternatif kedua berupa penetapan ulang waktu siklus sesuai rentang waktu siklus ideal agar distribusi waktu hijau lebih efisien. Sementara itu, alternatif ketiga dilakukan dengan perubahan konfigurasi fase, yaitu pemberian fase khusus pada pendekat Timur untuk pergerakan lurus dan belok kiri yang dibarengi dengan pelayanan pendekat Barat.

Selanjutnya, hasil kinerja kondisi eksisting dan setiap alternatif dibandingkan untuk menentukan skenario perbaikan paling efektif pada Simpang Tungkak.

1. Perbandingan Derajat Kejenuhan (DJ)

Derajat kejenuhan merupakan salah satu indikator utama dalam menilai kinerja simpang bersinyal. Nilai derajat kejenuhan menggambarkan tingkat pemanfaatan kapasitas simpang terhadap volume lalu lintas yang terjadi. Semakin besar nilai derajat kejenuhan, maka kondisi simpang semakin mendekati jenuh dan berpotensi menimbulkan antrean serta tundaan yang lebih

tinggi. Perbandingan nilai derajat kejenuhan antara kondisi eksisting dengan skenario alternatif solusi 1 hingga 3 ditampilkan pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Perbandingan Derajat Kejenuhan pada Setiap Pendekat Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi

Berdasarkan Gambar 5.19, kondisi eksisting menunjukkan bahwa pendekat Jalan Taman Siswa atau pendekat Utara memiliki nilai derajat kejenuhan tertinggi sebesar 2,00. Selanjutnya, pendekat Jalan Lawanu atau pendekat Selatan memiliki nilai derajat kejenuhan sebesar 1,57, pendekat Jalan Menteri Supeno atau pendekat Timur sebesar 1,25, dan pendekat Jalan Kolonel Sugiyono atau pendekat Barat sebesar 0,93. Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh pendekat pada kondisi eksisting telah berada di atas standar derajat kejenuhan berdasarkan PKJI 2023, yaitu kurang dari 0,85, sehingga kinerja simpang pada kondisi eksisting dapat dikategorikan belum memenuhi standar pelayanan yang baik.

Pada Alternatif 1, nilai derajat kejenuhan pada pendekat Jalan Taman Siswa mengalami penurunan cukup besar dari 2,00 menjadi 1,41. Pendekat Jalan Lawanu juga mengalami penurunan dari 1,57 menjadi 1,38. Namun, pendekat Jalan Menteri Supeno mengalami peningkatan dari 1,25 menjadi 1,41, begitu pula pendekat Jalan Kolonel Sugiyono yang meningkat dari 0,93 menjadi 1,39.

Hal ini menunjukkan bahwa Alternatif 1 mampu menurunkan derajat kejenuhan pada pendekat Utara dan Selatan, tetapi menyebabkan peningkatan pada pendekat Timur dan Barat. Meskipun demikian, distribusi nilai derajat kejenuhan pada Alternatif 1 terlihat lebih merata karena seluruh pendekat memiliki nilai yang relatif berdekatan, yaitu antara 1,38 hingga 1,41.

Pada Alternatif 2, nilai derajat kejenuhan pendekat Jalan Taman Siswa menurun dari 2,00 menjadi 1,47, sedangkan pendekat Jalan Lawanu menurun dari 1,57 menjadi 1,42. Namun, pendekat Jalan Menteri Supeno meningkat dari 1,25 menjadi 1,41 dan pendekat Jalan Kolonel Sugiyono meningkat dari 0,93 menjadi 1,39. Kondisi ini menunjukkan bahwa Alternatif 2 juga mampu mengurangi derajat kejenuhan pada pendekat Utara dan Selatan, tetapi belum mampu menurunkan nilai derajat kejenuhan pada seluruh pendekat secara menyeluruh.

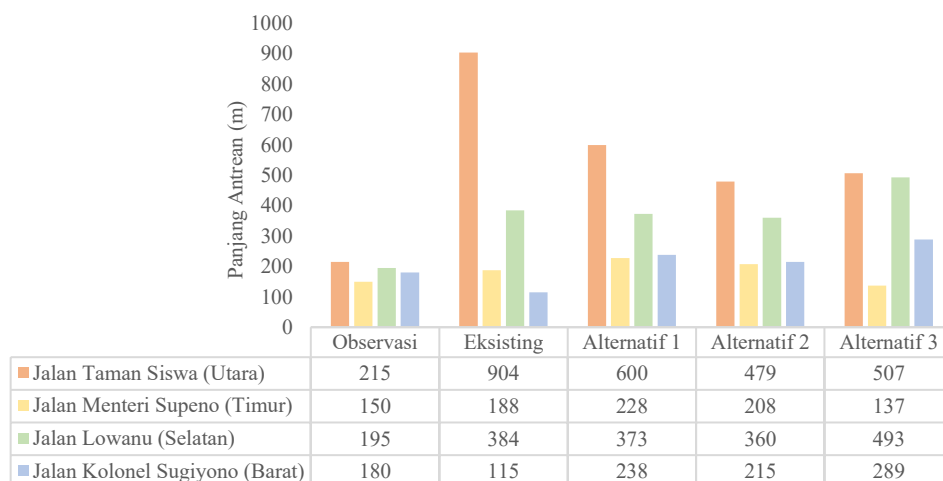
Sementara itu, pada Alternatif 3, nilai derajat kejenuhan pendekat Jalan Taman Siswa menurun dari 2,00 menjadi 1,45 dan pendekat Jalan Lawanu menurun dari 1,57 menjadi 1,43. Di sisi lain, pendekat Jalan Menteri Supeno meningkat dari 1,25 menjadi 1,38 dan pendekat Jalan Kolonel Sugiyono meningkat dari 0,93 menjadi 1,48. Pada alternatif ini, pendekat Jalan Kolonel Sugiyono menjadi pendekat dengan nilai derajat kejenuhan tertinggi. Hal tersebut menunjukkan adanya perubahan beban lalu lintas atau alokasi pelayanan simpang yang menyebabkan peningkatan derajat kejenuhan pada pendekat Barat.

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, seluruh alternatif yang diujikan masih memiliki nilai derajat kejenuhan di atas standar PKJI 2023, yaitu kurang dari 0,85. Dengan demikian, ketiga alternatif belum mampu menghasilkan kondisi simpang yang memenuhi standar kinerja berdasarkan nilai derajat kejenuhan. Setiap alternatif memiliki kelebihan dan kekurangan, karena penurunan derajat kejenuhan pada pendekat tertentu diikuti oleh peningkatan derajat kejenuhan pada pendekat lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas pelayanan simpang masih belum sebanding dengan besarnya arus lalu lintas yang harus dilayani pada masing-masing pendekat.

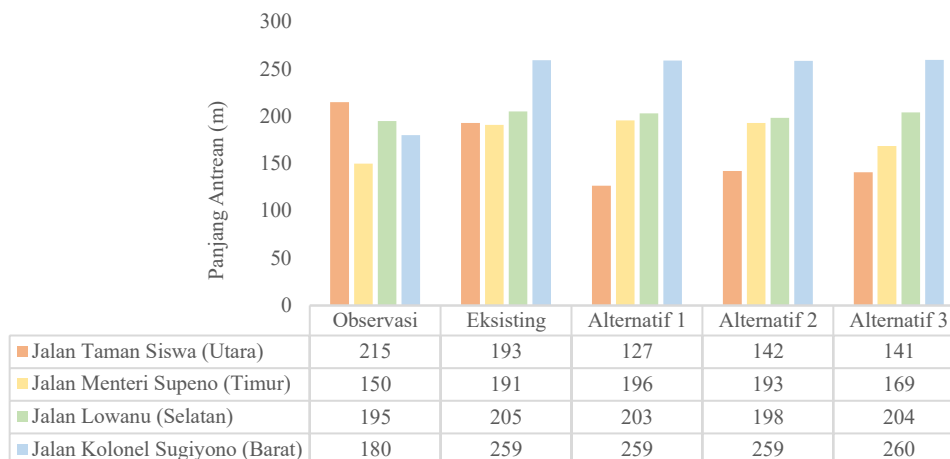
Jika dilihat dari pemerataan nilai derajat kejenuhan antarpendekat, Alternatif 1 menunjukkan distribusi yang paling merata dibandingkan kondisi eksisting, Alternatif 2, dan Alternatif 3. Hal ini terlihat dari nilai derajat kejenuhan pada Alternatif 1 yang berada pada rentang 1,38 hingga 1,41, sehingga perbedaan antarpendekat relatif kecil. Namun, secara keseluruhan nilai tersebut tetap berada di atas batas standar PKJI 2023, sehingga diperlukan upaya penanganan lanjutan agar kinerja simpang dapat ditingkatkan secara lebih optimal.

2. Perbandingan Panjang Antrean

Panjang antrean merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja simpang bersinyal karena mencerminkan tingkat kepadatan kendaraan pada setiap pendekat. Panjang antrean yang tinggi menunjukkan bahwa arus lalu lintas yang datang melebihi kapasitas pelayanan simpang sehingga menyebabkan penumpukan kendaraan. Perbandingan panjang antrean pada kondisi eksisting dan setiap skenario alternatif ditampilkan pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21



Gambar 5.20 Perbandingan Panjang Antrean pada Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan PKJI



Gambar 5.21 Perbandingan Panjang Antrean pada Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan VISSIM

Berdasarkan Gambar 5.20, hasil analisis PKJI 2023 menunjukkan bahwa pada kondisi observasi panjang antrean tercatat sebesar 215 m pada pendekat Jalan Taman Siswa atau Utara, 150 m pada Jalan Menteri Supeno atau Timur, 195 m pada Jalan Lowanu atau Selatan, dan 180 m pada Jalan Kolonel Sugiyono atau Barat. Pada kondisi eksisting, antrean tertinggi terjadi pada pendekat Utara sebesar 904 m, diikuti pendekat Selatan sebesar 384 m, Timur sebesar 188 m, dan Barat sebesar 115 m.

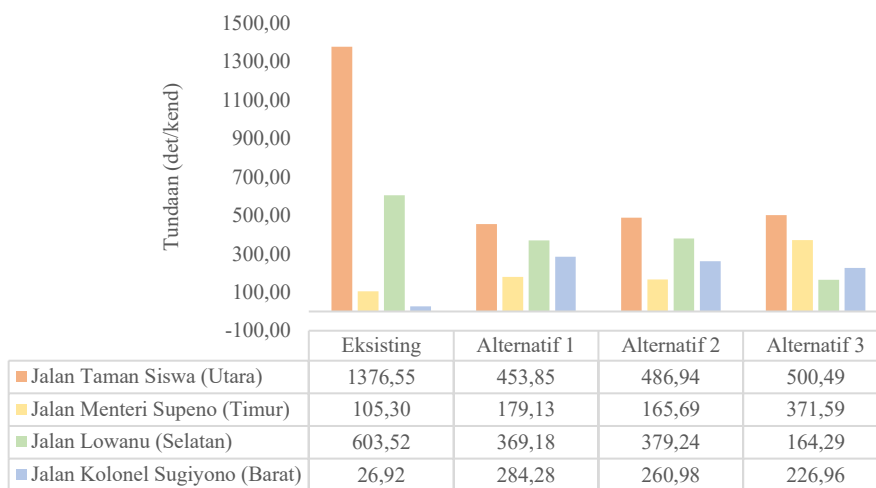
Pada Alternatif 1, panjang antrean menurun pada pendekat Utara menjadi 600 m dan Selatan menjadi 373 m, tetapi meningkat pada pendekat Timur menjadi 228 m dan Barat menjadi 238 m. Pada Alternatif 2, antrean pada pendekat Utara kembali menurun menjadi 479 m dan Selatan menjadi 360 m, sedangkan pendekat Timur meningkat menjadi 208 m dan Barat menjadi 215 m. Sementara itu, pada Alternatif 3, antrean pendekat Utara menurun menjadi 507 m dan Timur menjadi 137 m, tetapi meningkat pada pendekat Selatan menjadi 493 m dan Barat menjadi 289 m. Dengan demikian, berdasarkan PKJI 2023, tidak ada alternatif yang mampu menurunkan antrean pada seluruh pendekat. Namun, Alternatif 2 memberikan penurunan paling besar pada pendekat utama, yaitu Jalan Taman Siswa.

Berdasarkan Gambar 5.21, hasil simulasi VISSIM menunjukkan bahwa Alternatif 2 menurunkan antrean pada pendekat Utara menjadi 142 m dan

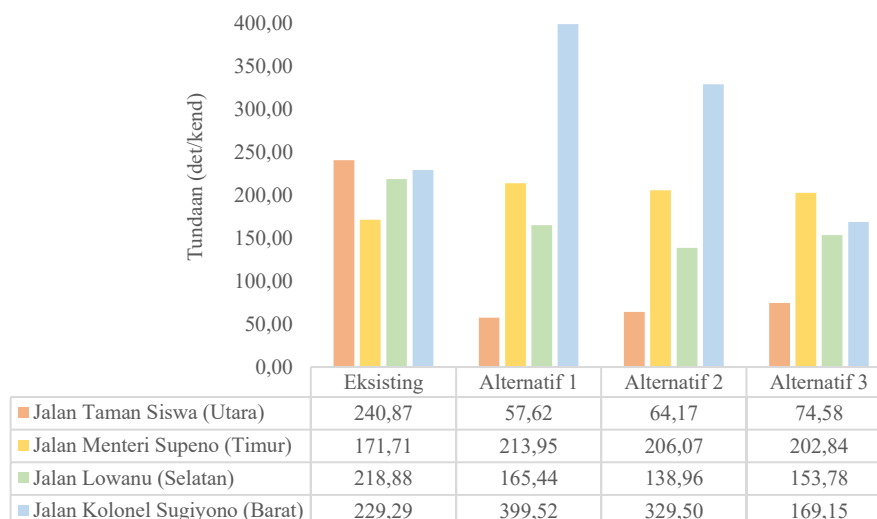
Selatan menjadi 198 m, tetapi pendekat Timur sedikit meningkat menjadi 193 m dan Barat tetap sebesar 259 m. Pada Alternatif 3, antrean menurun pada tiga pendekat, yaitu Utara menjadi 141 m, Timur menjadi 169 m, dan Selatan menjadi 204 m, sedangkan Barat sedikit meningkat menjadi 260 m. Dengan demikian, hasil PKJI 2023 dan VISSIM menunjukkan kecenderungan yang berbeda. Berdasarkan PKJI 2023, Alternatif 2 lebih efektif dalam menurunkan antrean pada pendekat utama, sedangkan berdasarkan VISSIM, Alternatif 3 menunjukkan hasil yang lebih baik karena mampu menurunkan panjang antrean pada lebih banyak pendekat.

3. Perbandingan Tundaan

Tundaan merupakan indikator penting dalam menilai kinerja simpang bersinyal karena menunjukkan tambahan waktu tempuh kendaraan akibat pengaturan sinyal dan kondisi lalu lintas di simpang. Semakin besar nilai tundaan, semakin buruk kinerja simpang, sedangkan semakin kecil nilai tundaan, semakin baik tingkat pelayanannya. Perbandingan tundaan pada masing-masing lengan simpang dan tundaan rata-rata simpang disajikan pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23.



Gambar 5.22 Perbandingan Tundaan pada Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan PKJI 2023



Gambar 5.23 Perbandingan Tundaan pada Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan VISSIM

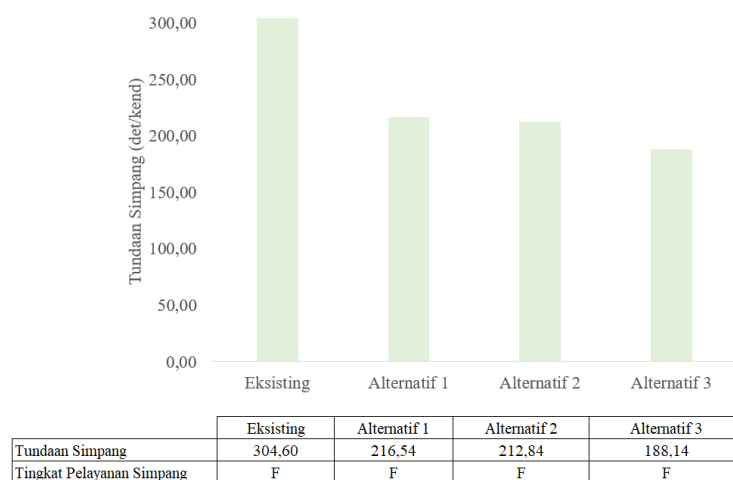
Berdasarkan Gambar 5.22, hasil analisis PKJI 2023 menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting tundaan tertinggi terjadi pada pendekat Utara (Jalan Taman Siswa) sebesar 1376,55 det/kend, diikuti Selatan sebesar 603,52 det/kend, Timur sebesar 105,30 det/kend, dan Barat sebesar 26,92 det/kend. Pada Alternatif 1 dan 2, tundaan pendekat Utara dan Selatan menurun, namun pendekat Timur dan Barat meningkat. Sementara itu, Alternatif 3 memberikan penurunan tundaan paling signifikan, terutama pada pendekat Utara menjadi 500,49 det/kend dan Selatan menjadi 164,29 det/kend. Berdasarkan PKJI 2023, Alternatif 3 menghasilkan total tundaan paling rendah dibandingkan alternatif lainnya.

Berdasarkan Gambar 5.23, hasil simulasi VISSIM menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting tundaan tertinggi terjadi pada pendekat Utara sebesar 240,87 det/kend, diikuti Barat 229,29 det/kend, Selatan 218,88 det/kend, dan Timur 171,71 det/kend. Pada Alternatif 1 dan 2, tundaan menurun pada beberapa pendekat namun masih meningkat pada pendekat lainnya. Alternatif 3 mampu menurunkan tundaan pada pendekat Utara menjadi 74,58 det/kend, Selatan menjadi 153,78 det/kend, dan Barat menjadi 169,15 det/kend, meskipun pendekat Timur meningkat menjadi 202,84 det/kend.

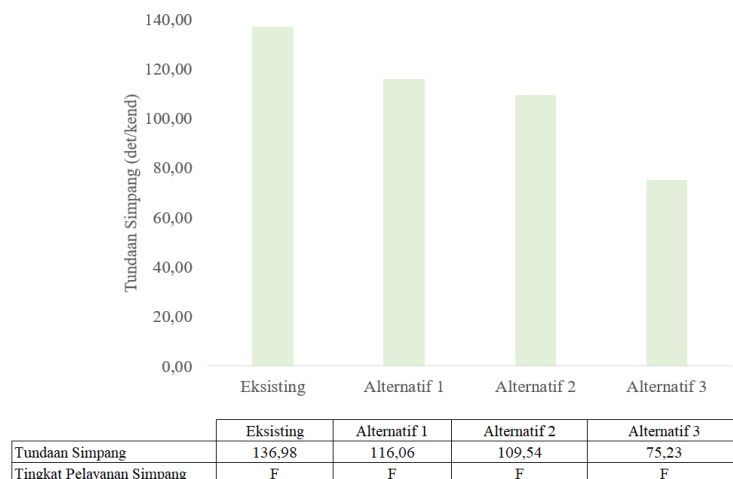
Dengan demikian, baik berdasarkan PKJI 2023 maupun simulasi VISSIM, Alternatif 3 merupakan alternatif terbaik pada parameter tundaan karena memberikan kinerja simpang yang lebih baik dibandingkan Alternatif 1 dan Alternatif 2.

4. Perbandingan Tundaan dan Tingkat Pelayanan Simpang (*Level of Service*)

Perbandingan tundaan simpang dan tingkat pelayanan pada kondisi eksisting serta setiap alternatif dilakukan untuk mengetahui alternatif yang paling efektif, sebagaimana disajikan pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25.



Gambar 5.24 Perbandingan Tundaan Simpang dan Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan PKJI 2023



Gambar 5.25 Perbandingan Tundaan Simpang dan Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi Berdasarkan VISSIM

Berdasarkan Gambar 5.24, hasil analisis PKJI 2023 menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting, tundaan simpang sebesar 304,60 det/kend dengan tingkat pelayanan F. Setelah dilakukan penerapan alternatif solusi, tundaan simpang mengalami penurunan pada seluruh alternatif. Pada Alternatif 1, tundaan simpang menurun menjadi 216,54 det/kend, pada Alternatif 2 menjadi 212,84 det/kend, dan pada Alternatif 3 menjadi 188,14 det/kend. Berdasarkan hasil tersebut, Alternatif 3 memberikan kinerja terbaik menurut PKJI 2023 karena menghasilkan tundaan simpang paling rendah dibandingkan kondisi eksisting maupun alternatif lainnya.

Berdasarkan Gambar 5.25, hasil simulasi VISSIM menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting, tundaan simpang sebesar 136,38 det/kend dengan tingkat pelayanan F. Pada Alternatif 1, tundaan simpang menurun menjadi 116,06 det/kend, pada Alternatif 2 menjadi 109,54 det/kend, dan pada Alternatif 3 menjadi 75,23 det/kend. Berdasarkan hasil tersebut, Alternatif 3 juga menunjukkan kinerja terbaik pada simulasi VISSIM karena menghasilkan nilai tundaan simpang paling rendah dibandingkan kondisi eksisting, Alternatif 1, dan Alternatif 2.

Dengan demikian, berdasarkan parameter tundaan simpang, Alternatif 3 merupakan alternatif terbaik baik menurut hasil analisis PKJI 2023 maupun simulasi VISSIM. Hal ini ditunjukkan oleh nilai tundaan simpang paling rendah pada Alternatif 3, yaitu 188,14 det/kend berdasarkan PKJI 2023 dan 75,23 det/kend berdasarkan VISSIM.

5. Perbandingan Kinerja Keseluruhan

Berikut ini merupakan perbandingan kinerja keseluruhan pada kondisi eksisting dan skema alternatif solusi yang telah dilakukan pemodelan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Hasil Perbandingan tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 5.45 berikut.

Tabel 5.46 Perbandingan Kinerja Keseluruhan Simpang Tungkak

Parameter		Eksisting				Alternatif 1				Alternatif 2				Alternatif 3			
Kode Pendekat		U	T	S	B	U	T	S	B	U	T	S	B	U	T	S	B
Derajat Kejenuhan	PKJI 2023	2,00	1,25	1,57	0,93	1,41	1,41	1,38	1,39	1,47	1,41	1,42	1,39	1,45	1,38	1,43	1,48
	VISSIM	-															
Rata-rata D _J	PKJI 2023	1,44				1,40				1,42				1,43			
	VISSIM	-															
Panjang Antrean (m)	PKJI 2023	904	188	384	115	600	228	373	238	479	208	360	215	507	137	493	289
	VISSIM	193	191	205	259	127	196	203	259	142	193	198	259	141	169	204	260
	Observasi	215	150	195	180	-											
Tundaan Setiap Pendekat (det/SMP)	PKJI 2023	1377	105	603	27	453	179	369	284	487	165	379	260	500	371	164	226
	VISSIM	241	172	219	229	58	214	165	400	64	206	138	329	74	202	154	169
Tundaan Simpang (det/SMP)	PKJI 2023	304,60				216,54				212,84				188,14			
	VISSIM	136,98				116,06				109,54				75,23			
Penurunan Tundaan (%)	PKJI 2023	-				28,91				30,12				38,24			
	VISSIM	-				15,27				20,03				45,08			
Tingkat Pelayanan	PKJI 2023	F				F				F				F			
	VISSIM	F				F				F				F			

Berdasarkan Tabel 5.45, Alternatif 3 menunjukkan kinerja terbaik dalam meningkatkan operasional Simpang Tungkak. Berdasarkan hasil simulasi VISSIM, alternatif ini mampu menurunkan tundaan simpang sebesar 45,08% dibandingkan kondisi eksisting. Sementara itu, berdasarkan analisis PKJI 2023, Alternatif 3 juga menghasilkan penurunan tundaan simpang terbesar, yaitu sebesar 38,24%. Meskipun tingkat pelayanan simpang masih berada pada kategori F. Hasil dari kedua metode tersebut menunjukkan bahwa Alternatif 3 merupakan skenario yang paling efektif dalam memperbaiki kinerja lalu lintas dan layak direkomendasikan sebagai solusi optimal untuk meningkatkan operasional simpang.

Hasil analisis menunjukkan bahwa permasalahan kinerja Simpang Tungkak tidak hanya dipengaruhi oleh tingginya volume lalu lintas, tetapi juga oleh terbatasnya kapasitas pada setiap pendekat. Pada jam puncak, masing-masing pendekat belum mampu melayani arus lalu lintas secara optimal. Kondisi ini diperparah oleh geometri jalan yang relatif sempit serta tingginya aktivitas samping jalan, seperti kendaraan keluar masuk kawasan pendidikan, wisata, dan aktivitas komersial di sekitar simpang, yang menyebabkan penurunan kecepatan kendaraan dan peningkatan antrean. Walaupun telah dilakukan pengaturan fase dan waktu sinyal, penumpukan kendaraan masih terjadi karena arus lalu lintas yang datang tetap tinggi. Hal ini tercermin dari nilai derajat kejenuhan rata-rata yang masih berada di atas standar yang direkomendasikan, yaitu 0,85.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa permasalahan kinerja Simpang Tungkak merupakan hasil dari kombinasi tingginya arus lalu lintas dan keterbatasan kapasitas pelayanan pada seluruh pendekat. Dampaknya terlihat pada masih tingginya nilai derajat kejenuhan, tundaan, dan panjang antrean, terutama pada pendekat dengan arus dominan. Sejalan dengan hal tersebut, penelitian Pantulu dkk. (2025) menunjukkan bahwa keterbatasan lebar efektif pendekat dapat menyebabkan derajat kejenuhan mendekati kondisi jenuh dan meningkatkan tundaan simpang. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas dapat memperbaiki kinerja simpang secara signifikan.

Namun, pada Simpang Tungkak, perubahan geometrik sulit diterapkan karena kawasan sekitar simpang cukup padat dan didominasi oleh bangunan pendidikan, permukiman, serta aktivitas komersial. Dengan mempertimbangkan kondisi tersebut, penanganan yang lebih realistis adalah melalui optimasi pengaturan fase dan waktu sinyal.

Pendekatan ini lebih memungkinkan diterapkan dalam jangka pendek dan tetap mampu memberikan perbaikan kinerja simpang tanpa memerlukan perubahan fisik yang besar. Secara keseluruhan, Alternatif 3 merupakan skenario yang paling efektif dalam meningkatkan kinerja Simpang Tungkak. Alternatif ini tidak hanya memberikan penurunan tundaan simpang terbesar berdasarkan PKJI 2023 maupun VISSIM, tetapi juga menghasilkan distribusi kinerja yang lebih merata pada parameter derajat kejenuhan, panjang antrean, dan tundaan antarpendekat. Oleh karena itu, Alternatif 3 dapat direkomendasikan sebagai solusi terbaik untuk meningkatkan operasional Simpang Tungkak.

5.6.3 Kerugian Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Pada Setiap Kondisi

Analisis kerugian konsumsi bahan bakar kendaraan pada Simpang Tungkak dilakukan untuk membandingkan besarnya kerugian konsumsi bahan bakar pada kondisi eksisting dengan kondisi setelah diterapkan alternatif solusi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana masing-masing alternatif penanganan mampu mengurangi kerugian konsumsi bahan bakar kendaraan sebagai dampak dari perubahan kinerja operasional lalu lintas. Semakin baik kinerja simpang setelah diterapkan alternatif solusi, maka kerugian konsumsi bahan bakar kendaraan juga cenderung semakin kecil.

Perbandingan nilai kerugian konsumsi bahan bakar pada setiap kondisi dianalisis menggunakan dua metode, yaitu metode LAPI-ITB dan metode Lamsal. Penyajian hasil dilakukan dalam bentuk tabel dan diagram agar mempermudah interpretasi serta memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai pengaruh masing-masing alternatif terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar kendaraan di Simpang Tungkak. Adapun perbandingan hasil perhitungan berdasarkan kedua metode tersebut diuraikan pada bagian berikut.

1. Kerugian Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Berdasarkan Metode LAPI ITB

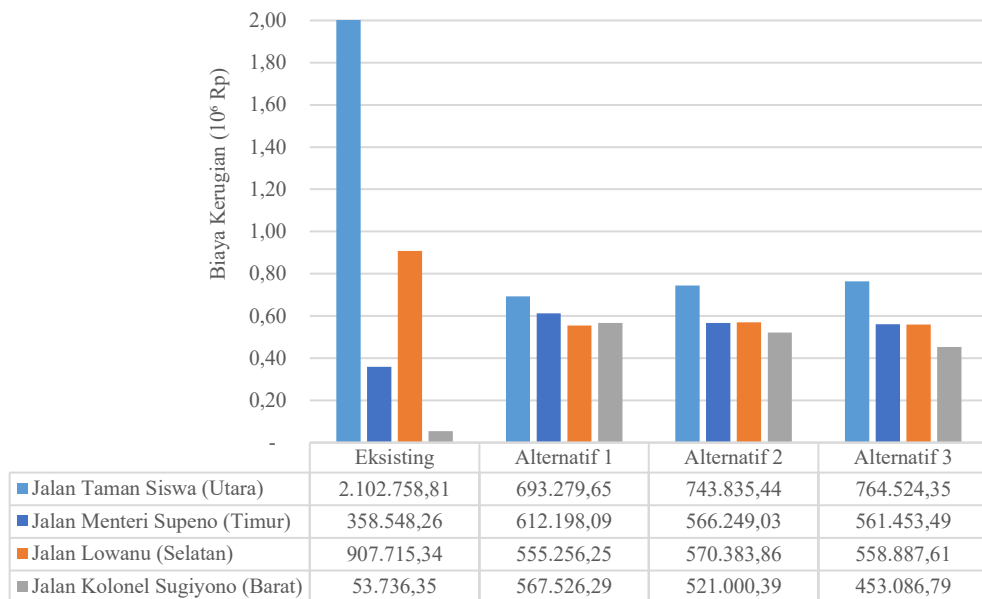
Perbandingan nilai kerugian konsumsi bahan bakar kendaraan berdasarkan metode LAPI-ITB pada setiap kondisi disajikan dalam bentuk tabel dan diagram untuk mempermudah pembacaan hasil serta menunjukkan pengaruh masing-masing alternatif terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar kendaraan di Simpang Tungkak. Hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 5.46 dan Tabel 5.47, sedangkan diagram perbandingannya ditampilkan pada Gambar 5.26 dan Gambar 5.27.

Tabel 5.47 Perbandingan Biaya Kerugian Konsumsi BBM Metode LAPI ITB Berdasarkan Tundaan PKJI 2023

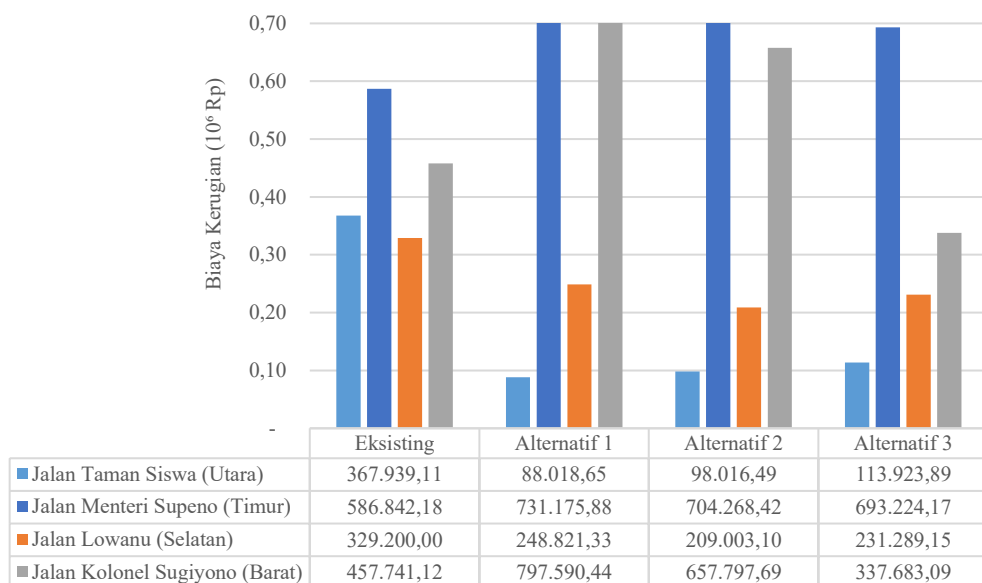
Pendekat	Biaya Kerugian (Rp/Jam)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jl. Taman Siswa (Utara)	2.102.759	693.280	743.835	764.524
Jl. Menteri Supeno (Timur)	358.548	612.198	566.249	561.453
Jl. Lowanu (Selatan)	907.715	555.256	570.384	558.888
Jl. Kolonel Sugiyono (Barat)	53.736	567.526	521.000	453.087
Total Pengeluaran	3.422.759	2.428.260	2.401.469	2.337.952

Tabel 5.48 Perbandingan Biaya Kerugian Konsumsi BBM Metode LAPI ITB Berdasarkan Tundaan VISSIM

Pendekat	Biaya Kerugian (Rp/Jam)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jl. Taman Siswa (Utara)	367.939	88.019	98.016	113.924
Jl. Menteri Supeno (Timur)	586.842	731.176	704.268	693.224
Jl. Lowanu (Selatan)	329.200	248.821	209.003	231.289
Jl. Kolonel Sugiyono (Barat)	457.741	797.590	657.798	337.683
Total Pengeluaran	1.741.722	1.865.606	1.669.086	1.376.120



Gambar 5.26 Perbandingan Analisis Biaya Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Metode LAPI-ITB Berdasarkan Tundaan PKJI 2023



Gambar 5.27 Perbandingan Analisis Biaya Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Metode LAPI-ITB Berdasarkan Tundaan VISSIM

Berdasarkan Tabel 5.46 dan Gambar 5.26, hasil perhitungan konsumsi bahan bakar menggunakan metode LAPI-ITB berdasarkan tundaan PKJI 2023 menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting total biaya pengeluaran BBM

sebesar Rp3.422.759. Setelah diterapkan alternatif solusi, total biaya BBM mengalami penurunan menjadi Rp2.428.260 pada Alternatif 1, Rp2.401.469 pada Alternatif 2, dan Rp2.337.952 pada Alternatif 3. Berdasarkan hasil tersebut, Alternatif 3 memberikan hasil terbaik karena menghasilkan total pengeluaran BBM paling rendah dibandingkan kondisi eksisting maupun alternatif lainnya.

Berdasarkan Tabel 5.47 dan Gambar 5.27, hasil perhitungan LAPI-ITB berdasarkan tundaan simulasi VISSIM menunjukkan bahwa total biaya BBM pada kondisi eksisting sebesar Rp1.741.722. Pada Alternatif 1, total biaya BBM meningkat menjadi Rp1.865.606. Sementara itu, pada Alternatif 2 biaya BBM menurun menjadi Rp1.669.086, dan pada Alternatif 3 menurun lebih besar menjadi Rp1.376.120. Dengan demikian, berdasarkan hasil tundaan VISSIM, Alternatif 3 juga menjadi alternatif terbaik karena menghasilkan total pengeluaran BBM paling rendah.

Secara keseluruhan, baik berdasarkan tundaan PKJI 2023 maupun VISSIM, Alternatif 3 merupakan alternatif paling efektif dalam menekan pengeluaran konsumsi bahan bakar kendaraan di Simpang Tungkak. Hal ini ditunjukkan oleh total biaya BBM terendah, yaitu Rp2.337.952 pada hasil tundaan PKJI 2023 dan Rp1.376.120 pada hasil tundaan VISSIM.

2. Kerugian Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Berdasarkan Metode Lamsal

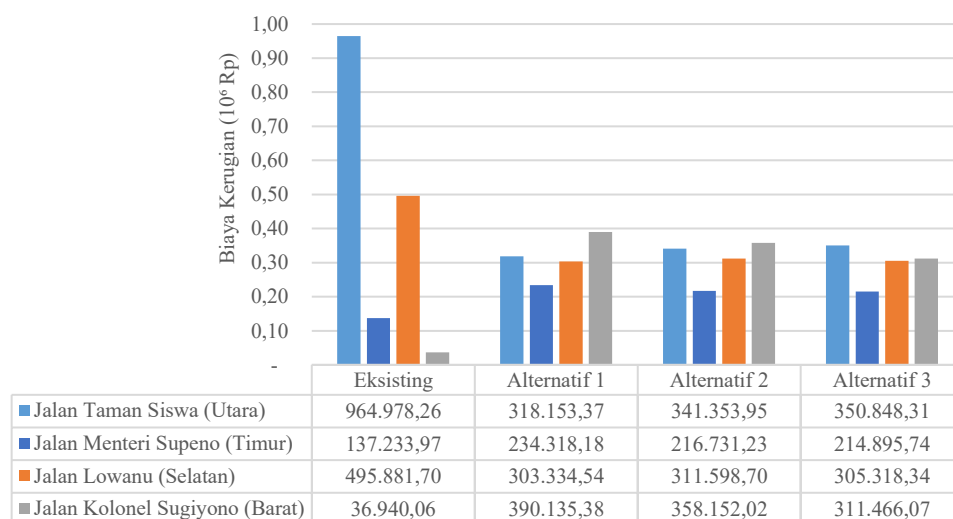
Selain metode LAPI-ITB, analisis kerugian konsumsi bahan bakar juga dilakukan menggunakan metode Lamsal untuk memberikan pembandingan terhadap hasil perhitungan yang diperoleh. Penyajian hasil dengan metode ini juga ditampilkan dalam bentuk tabel dan diagram agar perbedaan nilai kerugian konsumsi bahan bakar pada setiap kondisi dapat diamati dengan lebih mudah. Hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 5.48 sampai Tabel 5.49 dan Gambar 5.28 sampai Gambar 5.29 berikut.

**Tabel 5.49 Perbandingan Biaya Kerugian Konsumsi BBM Metode
Lamsal Berdasarkan Tundaan PKJI 2023**

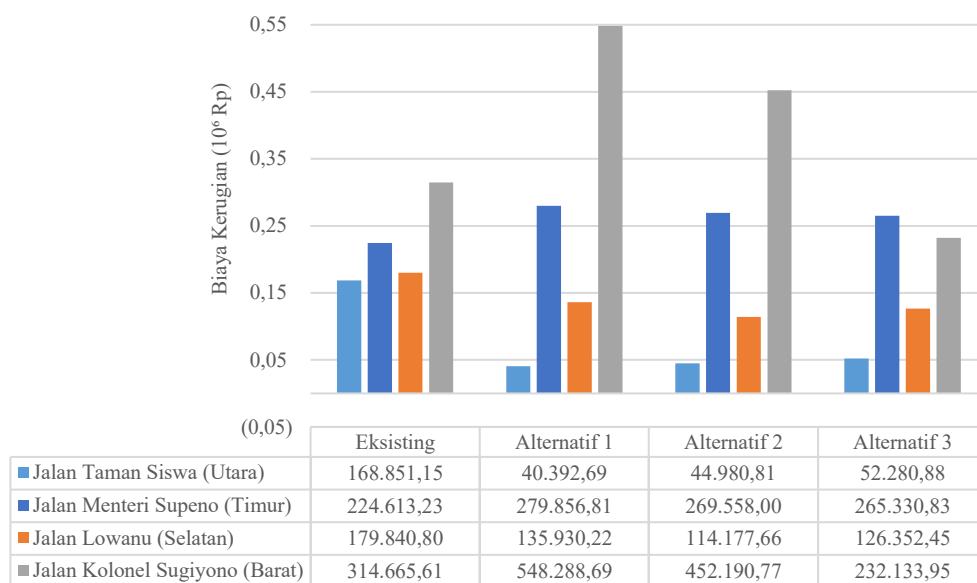
Pendekat	Biaya Kerugian (Rp/Jam)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jl. Taman Siswa (Utara)	964.978,26	318.153,37	341.353,95	350.848,31
Jl. Menteri Supeno (Timur)	137.233,97	234.318,18	216.731,23	214.895,74
Jl. Lowanu (Selatan)	495.881,70	303.334,54	311.598,70	305.318,34
Jl. Kolonel Sugiyono (Barat)	36.940,06	390.135,38	358.152,02	311.466,07
Total Pengeluaran	1.635.033,9	1.245.941,97	1.227.835,89	1.182.528,46

**Tabel 5.50 Perbandingan Biaya Kerugian Konsumsi BBM Metode
Lamsal Berdasarkan Tundaan VISSIM**

Pendekat	Biaya Kerugian (Rp/Jam)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jl. Taman Siswa (Utara)	168.851,15	40.392,69	44.980,81	52.280,88
Jl. Menteri Supeno (Timur)	224.613,23	279.856,81	269.558,00	265.330,83
Jl. Lowanu (Selatan)	179.840,80	135.930,22	114.177,66	126.352,45
Jl. Kolonel Sugiyono (Barat)	314.665,61	548.288,69	452.190,77	232.133,95
Total Pengeluaran	887.970,79	1.004.468,41	880.907,24	676.098,11



**Gambar 5.28 Perbandingan Analisis Biaya Konsumsi Bahan Bakar
Berdasarkan Metode Lamsal Berdasarkan Tundaan PKJI 2023**



Gambar 5.29 Perbandingan Analisis Biaya Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Metode Lamsal Berdasarkan Tundaan VISSIM

Berdasarkan Tabel 5.48 dan Gambar 5.28, hasil perhitungan konsumsi bahan bakar menggunakan metode Lamsal berdasarkan PKJI 2023 menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting total biaya pengeluaran BBM sebesar Rp1.635.034. Setelah diterapkan alternatif solusi, total biaya BBM mengalami penurunan menjadi Rp1.245.941 pada Alternatif 1, Rp1.227.836 pada Alternatif 2, dan Rp1.182.528 pada Alternatif 3. Berdasarkan hasil tersebut, Alternatif 3 memberikan hasil terbaik karena menghasilkan total pengeluaran BBM paling rendah dibandingkan kondisi eksisting maupun alternatif lainnya.

Berdasarkan Tabel 5.49 dan Gambar 5.29, hasil perhitungan Lamsal berdasarkan simulasi VISSIM menunjukkan bahwa total biaya BBM pada kondisi eksisting sebesar Rp887.971. Pada Alternatif 1, total biaya BBM meningkat menjadi Rp1.004.468. Sementara itu, pada Alternatif 2 biaya BBM menurun menjadi Rp880.907, dan pada Alternatif 3 menurun lebih besar menjadi Rp676.098. Dengan demikian, berdasarkan hasil VISSIM, Alternatif 3 juga menjadi alternatif terbaik karena menghasilkan total pengeluaran BBM paling rendah.

Secara keseluruhan, baik berdasarkan PKJI 2023 maupun VISSIM, Alternatif 3 merupakan alternatif paling efektif dalam menekan pengeluaran konsumsi bahan bakar kendaraan berdasarkan metode Lamsal. Hal ini ditunjukkan oleh total biaya BBM terendah, yaitu Rp1.182.528 pada hasil PKJI 2023 dan Rp676.098 pada hasil VISSIM.

3. Perbandingan Total Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Secara Keseluruhan

Perbandingan dilakukan menggunakan metode LAPI-ITB dan Lamsal dengan input tundaan hasil PKJI 2023 dan simulasi PTV VISSIM. Penyajian ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai besarnya kerugian konsumsi bahan bakar pada setiap kondisi, sekaligus menunjukkan alternatif yang paling efektif dalam menekan kerugian konsumsi bahan bakar kendaraan. Hasil perbandingan total kerugian konsumsi bahan bakar disajikan pada Tabel 5.50, sedangkan persentase perubahannya terhadap kondisi eksisting disajikan pada Tabel 5.51.

Tabel 5.51 Perbandingan Total Biaya Kerugian Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan pada Kondisi Eksisting dan Alternatif Solusi

Kondisi	LAPI-ITB (Rp/Jam)		Lamsal (Rp/Jam)	
	PKJI 2023	VISSIM	PKJI 2023	VISSIM
Eksisting	3.422.759	1.741.722	1.635.034	887.971
Alternatif 1	2.428.260	1.865.606	1.245.941	1.004.468
Alternatif 2	2.401.469	1.669.086	1.227.836	880.907
Alternatif 3	2.337.952	1.376.120	1.182.528	676.098

Tabel 5.52 Persentase Perubahan Biaya Kerugian Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan terhadap Kondisi Eksisting

Kondisi	Persentase Penurunan (%)			
	LAPI-ITB		Lamsal	
	PKJI 2023	VISSIM	PKJI 2023	VISSIM
Eksisting	-	-	-	-
Alternatif 1	29,06	-7,11	23,80	-13,12
Alternatif 2	29,84	4,17	24,90	0,80
Alternatif 3	31,69	20,99	27,68	23,86

Berdasarkan Tabel 5.50 dan Tabel 5.51, terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai kerugian konsumsi bahan bakar kendaraan antara kondisi eksisting dan setiap alternatif solusi pada Simpang Tungkak. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa perubahan tundaan akibat penerapan alternatif solusi berpengaruh terhadap besarnya konsumsi bahan bakar kendaraan. Secara umum, semakin kecil tundaan yang terjadi, maka semakin kecil pula kerugian konsumsi bahan bakar yang ditimbulkan karena waktu berhenti kendaraan menjadi lebih singkat dan pergerakan lalu lintas menjadi lebih lancar.

Pada metode LAPI-ITB dengan tundaan PKJI 2023, total kerugian konsumsi bahan bakar pada kondisi eksisting sebesar Rp3.422.759. Setelah diterapkan alternatif solusi, nilai tersebut menurun menjadi Rp2.428.260 pada Alternatif 1, Rp2.401.469 pada Alternatif 2, dan Rp2.337.952 pada Alternatif 3. Persentase penurunannya masing-masing sebesar 29,06%, 29,84%, dan 31,69%. Berdasarkan hasil tersebut, Alternatif 3 memberikan hasil terbaik karena menghasilkan total kerugian konsumsi bahan bakar paling rendah.

Pada metode LAPI-ITB dengan tundaan hasil simulasi VISSIM, total kerugian konsumsi bahan bakar pada kondisi eksisting sebesar Rp1.741.722. Pada Alternatif 1, nilai tersebut meningkat menjadi Rp1.865.606, sehingga terjadi kenaikan sebesar 7,11%. Sementara itu, pada Alternatif 2 dan Alternatif 3 terjadi penurunan menjadi Rp1.669.086 dan Rp1.376.120, dengan persentase penurunan masing-masing sebesar 4,17% dan 20,99%. Dengan demikian, berdasarkan metode LAPI-ITB menggunakan hasil VISSIM, Alternatif 3 menjadi alternatif terbaik karena menghasilkan total kerugian konsumsi bahan bakar paling rendah.

Pada metode Lamsal dengan tundaan PKJI 2023, total kerugian konsumsi bahan bakar pada kondisi eksisting sebesar Rp1.635.034. Setelah diterapkan alternatif solusi, nilai tersebut menurun menjadi Rp1.245.941 pada Alternatif 1, Rp1.227.836 pada Alternatif 2, dan Rp1.182.528 pada Alternatif 3. Persentase penurunannya masing-masing sebesar 23,80%, 24,90%, dan 27,68%. Hal ini menunjukkan bahwa Alternatif 3 kembali memberikan hasil terbaik karena

memiliki total kerugian konsumsi bahan bakar paling rendah dibandingkan alternatif lainnya.

Sementara itu, pada metode Lamsal dengan tundaan hasil simulasi VISSIM, total kerugian konsumsi bahan bakar pada kondisi eksisting sebesar Rp887.971. Pada Alternatif 1, nilai tersebut meningkat menjadi Rp1.004.468, sehingga terjadi kenaikan sebesar 13,12%. Pada Alternatif 2, nilai kerugian menurun menjadi Rp880.907 dengan persentase penurunan sebesar 0,80%. Penurunan terbesar terjadi pada Alternatif 3, yaitu menjadi Rp676.098 dengan persentase penurunan sebesar 23,86%.

Dengan demikian, secara keseluruhan Alternatif 3 merupakan alternatif yang paling konsisten dalam menurunkan kerugian konsumsi bahan bakar kendaraan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai total pengeluaran paling rendah pada seluruh metode, baik LAPI-ITB maupun Lamsal, berdasarkan hasil PKJI 2023 maupun simulasi VISSIM.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Savaras & Fuziah (2026) pada Simpang 4 APILL UPN Sleman Yogyakarta yang menunjukkan bahwa tingginya tundaan pada simpang bersinyal berdampak terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar dan kerugian ekonomi akibat kemacetan. Pada kondisi eksisting, simpang tersebut memiliki tundaan rata-rata sebesar 290,615 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan F. Berdasarkan metode LAPI-ITB, estimasi kerugian ekonomi akibat konsumsi bahan bakar pada kondisi eksisting sebesar Rp4.050.561 per jam, sedangkan berdasarkan metode Lamsal (ATIS-India) diperoleh estimasi kerugian sebesar Rp3.898.244 per jam. Setelah diterapkan Alternatif 3 berupa kombinasi penyesuaian waktu siklus sinyal dan rekayasa geometrik melalui pemindahan U-turn serta pergeseran poros lajur pada pendekat Barat, tundaan rata-rata simpang menurun menjadi 220,683 detik/kendaraan. Penurunan tundaan tersebut berdampak pada berkurangnya konsumsi bahan bakar kendaraan. Berdasarkan metode LAPI-ITB, estimasi kerugian menurun menjadi Rp3.645.240 per jam, sedangkan berdasarkan metode Lamsal (ATIS-India) estimasi kerugian berkurang menjadi Rp2.968.289 per jam.

Penelitian serupa dilakukan oleh Harahap & Fauziah (2025) pada Simpang APILL Ketandan menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting saat jam puncak terjadi pemborosan konsumsi bahan bakar yang cukup besar. Berdasarkan metode LAPI-ITB, total konsumsi bahan bakar yang terbangun mencapai 362,505 liter/jam dengan estimasi kerugian ekonomi sebesar Rp3.625.049 per jam. Sementara itu, hasil perhitungan menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) menunjukkan konsumsi bahan bakar sebesar 150,168 liter/jam dengan estimasi kerugian sebesar Rp1.449.790 per jam. Setelah diterapkan alternatif 3, terjadi perbaikan kinerja simpang yang berdampak langsung terhadap penurunan konsumsi bahan bakar kendaraan. Berdasarkan metode LAPI-ITB, konsumsi bahan bakar menurun menjadi 188,904 liter/jam dengan estimasi kerugian sebesar Rp1.889.042 per jam atau berkurang sebesar 47,89% dibandingkan kondisi eksisting. Penurunan yang hampir serupa juga ditunjukkan oleh metode Lamsal (ATIS-India), di mana konsumsi bahan bakar berkurang menjadi 78,225 liter/jam dengan estimasi kerugian sebesar Rp756.369 per jam atau mengalami penurunan sebesar 47,83%.

Temuan di atas sejalan dengan hipotesis awal penelitian, yang menyatakan bahwa konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor pada kondisi berhenti (*idle*) di simpang bersinyal sangat dipengaruhi oleh lamanya waktu tundaan yang dialami kendaraan. Semakin besar nilai tundaan yang terjadi, maka semakin lama kendaraan berada dalam kondisi berhenti atau bergerak lambat, sehingga konsumsi bahan bakar yang terbangun juga semakin besar. Sebaliknya, penurunan tundaan akan mengurangi waktu berhenti kendaraan dan membuat pergerakan lalu lintas lebih stabil, sehingga konsumsi bahan bakar menjadi lebih efisien. Hal ini menunjukkan bahwa pengurangan tundaan merupakan faktor penting dalam menekan pemborosan bahan bakar kendaraan pada simpang bersinyal.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Keseluruhan analisis serta pembahasan yang telah dilakukan mengarah pada kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil evaluasi kinerja Simpang Tungkak pada kondisi eksisting menggunakan metode PKJI 2023, diperoleh nilai derajat kejenuhan pada masing-masing pendekat, yaitu sebesar 2,00 pada pendekat Utara, 1,25 pada pendekat Timur, 1,57 pada pendekat Selatan, dan 0,93 pada pendekat Barat. Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh pendekat telah berada di atas batas standar derajat kejenuhan menurut PKJI 2023, yaitu kurang dari 0,85. Panjang antrian berdasarkan PKJI 2023 tercatat sebesar 904 m pada pendekat Utara, 188 m pada pendekat Timur, 384 m pada pendekat Selatan, dan 115 m pada pendekat Barat. Selain itu, tundaan simpang pada kondisi eksisting berdasarkan PKJI 2023 sebesar 304,60 det/kend dengan tingkat pelayanan F. Sementara itu, hasil simulasi menggunakan PTV VISSIM menunjukkan tundaan simpang sebesar 136,98 det/kend dengan tingkat pelayanan F. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa Simpang Tungkak memiliki kinerja lalu lintas yang belum optimal pada kondisi eksisting.
2. Berdasarkan hasil analisis alternatif solusi, Alternatif 3 merupakan alternatif terbaik dalam meningkatkan kinerja Simpang Tungkak, terutama pada parameter tundaan simpang. Berdasarkan PKJI 2023, Alternatif 3 menghasilkan tundaan simpang paling rendah, yaitu sebesar 188,14 det/kend, dibandingkan Alternatif 1 sebesar 216,54 det/kend dan Alternatif 2 sebesar 212,84 det/kend. Sementara itu, berdasarkan hasil simulasi VISSIM, Alternatif 3 juga menghasilkan tundaan simpang terendah sebesar 75,23 det/kend, dibandingkan Alternatif 1 sebesar 116,06 det/kend dan Alternatif 2 sebesar 109,54 det/kend. Dengan demikian, Alternatif 3 dapat dipilih sebagai alternatif paling efektif

karena mampu memberikan penurunan tundaan simpang terbesar dibandingkan alternatif lainnya.

3. Berdasarkan perbandingan total kerugian konsumsi bahan bakar kendaraan, Alternatif 3 juga menunjukkan hasil paling baik dalam menekan pengeluaran konsumsi bahan bakar. Pada metode LAPI-ITB, total pengeluaran BBM berdasarkan PKJI 2023 menurun dari Rp3.422.759 pada kondisi eksisting menjadi Rp2.337.952 pada Alternatif 3, atau berkurang sebesar 31,69%. Berdasarkan hasil VISSIM, total pengeluaran BBM metode LAPI-ITB menurun dari Rp1.741.722 menjadi Rp1.376.120, atau berkurang sebesar 20,99%. Pada metode Lamsal, total pengeluaran BBM berdasarkan PKJI 2023 menurun dari Rp1.635.034 menjadi Rp1.182.528, atau berkurang sebesar 27,68%. Sementara itu, berdasarkan hasil VISSIM, total pengeluaran BBM metode Lamsal menurun dari Rp887.971 menjadi Rp676.098, atau berkurang sebesar 23,86%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Alternatif 3 merupakan alternatif yang paling konsisten dalam menurunkan tundaan simpang dan kerugian konsumsi bahan bakar kendaraan di Simpang Tungkak.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis, pemodelan dan pembahasan yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk pertimbangan evaluasi maupun pengembangan penelitian kedepan guna meningkatkan kinerja Simpang Tungkak agar mampu memberikan pelayanan optimal bagi pengguna jalan. Adapun saran dari penulis sebagai berikut.

1. Hasil evaluasi yang diperoleh melalui analisis dan pemodelan ini diharapkan dapat dijadikan rujukan oleh Dinas Perhubungan Daerah Istimewa Yogyakarta dalam perbaikan kinerja lalu lintas di Simpang Tungkak.
2. Berdasarkan hasil evaluasi, alternatif yang memberikan kinerja terbaik dan mampu meminimalkan biaya kerugian akibat konsumsi bahan bakar kendaraan adalah Alternatif 3, yaitu penerapan satu fase khusus pada pendekat Timur untuk pergerakan lurus dan belok kiri yang dilayani bersamaan dengan pendekat Barat. Penerapan alternatif ini perlu disertai dengan penyesuaian APILL dan marka jalan agar pengaturan fase serta pembagian lajur dapat berjalan sesuai

dengan skenario yang direncanakan. Selain itu, perubahan tipe pendekat dari terlindung menjadi terlawan pada alternatif ini juga perlu dikaji lebih lanjut dari aspek keselamatan lalu lintas karena berpotensi meningkatkan konflik pergerakan kendaraan, khususnya pada pergerakan belok kanan. Dengan demikian, pelaksanaan skema alternatif solusi diharapkan dapat berjalan secara efektif, aman, dan optimal.

3. Berdasarkan alternatif yang diusulkan, meskipun penerapannya mampu menurunkan nilai tundaan, hasil tersebut masih belum memenuhi ketentuan tingkat pelayanan yang dipersyaratkan. Mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, nilai tundaan yang diperoleh masih termasuk dalam tingkat pelayanan atau (*Level of Service/LOS*) F. Kondisi tersebut belum memenuhi tingkat pelayanan minimum untuk jalan kolektor sekunder, yaitu LOS C. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut dengan mempertimbangkan perubahan geometri simpang atau pembangunan simpang tidak sebidang pada Simpang Tungkak. Opsi tersebut diharapkan mampu mengurangi konflik lalu lintas secara signifikan dan meningkatkan kinerja simpang secara menyeluruh. Namun, penerapannya tetap memerlukan kajian teknis, sosial, dan biaya yang lebih mendalam agar solusi yang dipilih dapat diterapkan secara efektif, layak, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amal, A.S., Saleh, C., dan Darmawan, A.A. 2022. Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal di Kota Malang. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*. Vol.22 No.2:1304-1308.
- Anugrah, F., Dermawan, W.B., dan Isradi, M. 2025. Analisa Kinerja Simpang Bersinyal (APILL) dan Ruas Jalan pada Jalan Raya Bogor – Jalan H Bokir Bin Dji'un, Kota Jakarta Timur Menggunakan PKJI 2023. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*. Vol.4 No.3:1143-1151.
- Atmajaya, A.B., Devi, K.W., dan Mardikawati, B. 2024. Pengaruh Geometri dan Konfigurasi Sinyal Terhadap Kinerja Simpang dengan Pendekatan PKJI 2023 dan PTV VISSIM (Studi Kasus: Simpang Tugu Wisnu Kota Surakarta). *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*. Vol.13 No.1:1-10.
- Cahya, A., Gracia, E., Setijowarno, D., dan Hartanto, D. 2024. Optimalisasi Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan Program PTV Vissim (Studi Kasus: Simpang Peterongan dan Simpang Ahmad Yani). *G-SMART*. Vol.8 No.1:17-27.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2023. *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023)*. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Fellendorf, M. 1994. VISSIM: A Microscopic Simulation Tool to Evaluate Actuated Signal Control including Bus Priority. (Online). <https://www.researchgate.net/publication/235358088>
- Google Maps. t.t. Google Maps 2025. (Online). <https://maps.google.com/>. Diakses 15 September 2025.
- Gustavsson, F.N. 2008. *New Transportation Research Progress*. Nova Science Publishers, Inc. New York.

- Harahap dan Fauziah, M. 2025. Evaluasi Kinerja Simpang dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar pada Simpang Empat Ketandan Ringroad Timur Berdasarkan PKJI 2023 dan Pemodelan VISSIM. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*. Vol.5 No.1:315-326.
- Isnaeni, M. dan Lubis, H.A.S. 2003. Efek Lingkungan Interaksi Transportasi dan Tata Ruang Kota. *Tesis Magister*. Institut Teknologi Bandung.
- Juwita, F., Pratama, R.R., dan Sujatmiko, C. 2024. Studi Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal pada Ruas Jalan Sultan Agung-Jalan Ki Maja dengan Metode PKJI 2023. *Jurnal Teknik Sains*. Vol.9 No.02:223-229.
- Lamsal, A. 2013. *Toward Geo Enabled Economy: Automotive Traffic Information System India*.
- Muiz, S. 2025. Analisis Kinerja dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Simpang Empat Bersinyal Kamdanan Kota Yogyakarta. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia.
- Nugroho, U. dan Dwiatmaja, G.C. 2020. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Bantuan Perangkat Lunak VISSIM Student Version (Studi Kasus: Simpang Sompok, Candisari, Semarang). *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.16 No.1:54-74.
- Pantulu, I.A., Kadir, Y., dan Desei, F.L. 2025. Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal dan Pengaturan Ulang Waktu Siklus APILL Menggunakan PTV VISSIM. *Composite Journal*. Vol.5 No.2:65-74.
- Rahmayuda, H. 2023. Evaluasi dan Peningkatan Kinerja Simpang Bersinyal Jukteng Wetan. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Ramzy, M., Rahardjo, B., dan Supriyanto, B. 2024. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal di Kota Malang Menggunakan PKJI 2023 (Studi Kasus: Simpang Dieng Malang). *Jurnal Inovasi Teknologi dan Edukasi Teknik*. Vol.4 No.7.

- Romadhona, P.J. dan Suhandi, A.A. 2019. Hubungan Antara Kinerja Simpang Bersinyal Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak di Gondomanan, Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil: A Scientific Journal of Civil Engineering*. Vol.23 No.1:62-69.
- Sagraha dan Puspito, I.H. 2025. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2023 (Studi Kasus: Simpang Puntodewo Malang). *Jurnal Artesis*. Vol.5 No.1:1-8.
- Savaras, K.I. dan Fuziah, M. 2026. Pengaruh U-Turn pada Lengan Barat Terhadap Biaya Kerugian Bahan Bakar Minyak Akibat Kemacetan di Simpang Empat UPN Sleman Yogyakarta. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia.
- Sinambela, T.P., Kumaat, M., dan Pandey, S.V. 2021. Analisa Hubungan Kinerja Simpang Bersinyal dengan Konsumsi Bahan Bakar. *Tekno*. Vol.19 No.78:159-170.
- Ulum, M.C., Sebayang, N., dan Ma'ruf, A. 2023. Evaluasi Kinerja Simpang dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar pada Simpang Bersinyal Jalan Raya Kasri – Jalan Raya Gempol – Jalan Patimura – Jalan WR. Supratman di Kabupaten Pasuruan. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Virawan, Z.F., Widodo, W., dan Muchlisin. 2018. Pemodelan Simpang Bersinyal Akibat Perubahan Urutan Fase dengan Software PTV VISSIM 10 pada Simpang Empat Bersinyal Tungkak. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Yakob Elu Ado, A., Handayani, A.T., dan Astutik, H.P. 2024. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Software PTV VISSIM (Studi Kasus: Simpang Proliman, Prambanan–Tamanmartani, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta). *Spektrum Sipil*. Vol.11 No.2:97-108.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Survei Data Volume Lalu Lintas Senin

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Utara												
Waktu	Arah	Belok Kiri (LT)				Lurus (ST)				Arah	Belok Kanan (RT)	
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	82	9	1	1	80	26	0	0	108	28	0	0
06.15-06.30	88	10	1	1	85	21	0	0	115	22	0	0
06.30-06.45	98	6	0	2	90	18	1	1	143	17	0	5
06.45-07.00	113	8	2	0	105	20	0	1	173	24	1	8
07.00-07.15	110	11	1	2	103	32	0	0	143	36	0	0
07.15-07.30	104	10	1	3	141	41	0	2	139	33	1	1
07.30-07.45	98	9	1	2	93	19	0	0	131	31	0	0
07.45-08.00	107	12	0	1	97	21	0	1	129	26	1	1
12.00-12.15	78	7	1	1	128	24	0	0	95	18	1	0
12.15-12.30	112	15	2	0	107	21	1	0	133	25	4	1
12.30-12.45	87	20	2	0	105	20	0	0	128	26	2	0
12.45-13.00	120	18	1	1	101	24	5	1	141	20	4	3
13.00-13.15	107	15	0	0	104	18	1	0	100	20	1	0
13.15-13.30	76	14	2	1	113	23	2	0	92	18	1	0
13.30-13.45	107	12	0	0	126	25	0	0	88	17	0	0
13.45-14.00	92	11	3	0	113	31	3	0	85	16	0	0
16.00-16.15	58	11	1	0	62	14	1	0	84	11	1	0
16.15-16.30	92	23	2	1	70	17	3	1	98	14	1	0
16.30-16.45	75	19	0	0	72	23	0	0	98	15	1	0
16.45-17.00	110	26	4	0	66	22	1	0	115	17	2	3
17.00-17.15	97	23	0	0	62	21	2	2	128	12	1	0
17.15-17.30	71	17	0	0	53	15	2	0	75	18	3	0
17.30-17.45	117	12	2	0	74	19	1	0	122	17	1	0
17.45-18.00	102	13	1	0	72	18	0	0	94	16	0	0

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Timur												
Waktu	Arah	Belok Kiri (LT)				Lurus (ST)				Arah	Belok Kanan (RT)	
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	42	13	0	0	265	41	1	2	43	22	0	0
06.15-06.30	48	15	0	1	298	46	2	2	69	26	1	0
06.30-06.45	73	10	0	0	393	42	3	1	66	41	1	0
06.45-07.00	74	14	1	0	466	63	1	1	84	40	1	0
07.00-07.15	78	25	0	0	402	74	2	3	109	38	1	0
07.15-07.30	65	17	0	2	407	92	6	4	72	35	4	0
07.30-07.45	51	14	0	1	347	63	2	7	61	48	0	0
07.45-08.00	63	13	0	0	389	67	3	5	89	26	4	2
12.00-12.15	34	9	0	0	185	28	1	1	82	15	0	0
12.15-12.30	51	14	0	0	319	59	7	1	98	23	4	0
12.30-12.45	54	17	1	0	304	84	13	0	118	24	1	0
12.45-13.00	57	10	1	0	297	73	6	0	112	36	0	0
13.00-13.15	57	24	1	0	382	61	4	0	113	31	3	0
13.15-13.30	50	16	2	0	355	57	3	0	86	24	3	0
13.30-13.45	63	19	3	0	315	49	2	1	88	14	2	0
13.45-14.00	48	9	2	0	288	45	2	0	93	21	6	0
16.00-16.15	32	12	0	0	305	37	3	0	116	25	1	0
16.15-16.30	39	14	0	0	342	43	3	0	131	29	1	0
16.30-16.45	55	17	1	0	393	51	4	3	156	33	2	0
16.45-17.00	62	19	1	1	428	56	5	2	172	37	2	0
17.00-17.15	84	18	1	2	370	53	4	0	130	35	2	0
17.15-17.30	83	16	1	1	428	47	4	1	182	32	1	0
17.30-17.45	86	13	0	0	385	41	3	1	188	28	1	0
17.45-18.00	88	10	0	1	338	34	2	1	171	24	1	0

Lampiran 1 Survei Data Volume Lalu Lintas Senin

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Selatan												
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT) 				Arah : Lurus (ST) 				Arah : Belok Kanan (RT) 			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	78	9	1	0	42	21	0	1	28	18	0	0
06.15-06.30	92	11	1	0	64	26	0	1	43	22	0	0
06.30-06.45	130	12	1	0	83	29	0	2	65	37	0	0
06.45-07.00	134	13	1	1	118	36	0	0	89	44	2	1
07.00-07.15	127	12	1	0	87	28	0	2	83	34	0	0
07.15-07.30	137	13	1	0	126	36	0	0	90	22	0	0
07.30-07.45	131	29	1	0	135	37	0	0	113	33	0	1
07.45-08.00	119	9	2	2	127	25	0	0	109	20	6	2
12.00-12.15	106	10	1	0	128	24	0	1	94	19	0	0
12.15-12.30	105	12	1	1	111	17	1	0	69	19	0	0
12.30-12.45	121	14	2	0	108	21	1	2	63	17	1	0
12.45-13.00	106	14	1	1	105	21	3	0	73	12	2	0
13.00-13.15	118	17	1	0	101	25	0	1	67	31	0	0
13.15-13.30	102	13	1	1	122	30	0	0	59	27	0	0
13.30-13.45	122	18	1	0	131	24	1	2	64	25	0	0
13.45-14.00	114	16	1	0	139	20	2	2	73	26	0	0
16.00-16.15	88	15	2	0	134	30	0	1	144	32	0	1
16.15-16.30	108	21	1	1	184	39	1	2	146	32	0	1
16.30-16.45	157	19	1	0	226	36	0	1	192	29	0	0
16.45-17.00	111	14	1	0	182	28	0	2	158	23	0	0
17.00-17.15	117	13	3	0	176	27	0	1	151	22	0	0
17.15-17.30	148	16	1	0	208	31	0	1	178	25	0	0
17.30-17.45	142	15	1	0	198	29	0	1	172	24	0	0
17.45-18.00	128	13	1	0	178	26	0	3	158	21	0	0

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Barat												
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT) 				Arah : Lurus (ST) 				Arah : Belok Kanan (RT) 			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	294	46	0	1	105	52	1	1	38	16	1	0
06.15-06.30	342	53	1	1	148	58	2	2	52	18	1	0
06.30-06.45	418	59	2	1	213	55	1	0	60	4	2	0
06.45-07.00	408	56	3	5	319	53	2	1	105	14	2	1
07.00-07.15	346	70	1	2	264	64	1	1	80	21	2	0
07.15-07.30	418	57	3	1	238	51	3	7	17	12	2	0
07.30-07.45	348	51	1	0	273	65	2	1	43	13	1	1
07.45-08.00	307	45	1	2	243	58	1	0	49	7	1	2
12.00-12.15	175	34	0	1	292	44	1	1	72	11	0	0
12.15-12.30	223	49	1	0	260	53	5	1	40	6	1	0
12.30-12.45	198	38	1	1	325	49	1	1	57	12	3	0
12.45-13.00	220	50	2	1	398	76	10	1	85	16	1	2
13.00-13.15	254	49	1	2	405	61	2	2	108	17	1	0
13.15-13.30	276	37	3	0	357	79	6	3	134	20	2	0
13.30-13.45	281	54	1	0	426	64	2	2	118	18	1	0
13.45-14.00	243	47	1	0	382	58	2	2	104	16	1	0
16.00-16.15	238	52	1	0	372	56	2	2	92	18	1	0
16.15-16.30	302	65	2	2	428	64	3	3	118	22	2	0
16.30-16.45	268	58	1	0	408	59	2	3	121	20	1	0
16.45-17.00	219	51	1	0	373	53	2	2	108	18	1	0
17.00-17.15	183	46	1	0	339	48	2	2	96	16	1	0
17.15-17.30	247	42	1	0	358	44	1	2	128	15	1	0
17.30-17.45	226	38	0	1	331	40	1	1	119	14	0	0
17.45-18.00	208	35	0	1	306	36	1	1	111	12	0	0

Lampiran 1 Survei Data Volume Lalu Lintas Rabu

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Timur												
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT) 				Arah : Lurus (ST) 				Arah : Belok Kanan (RT) 			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	40	16	2	1	164	24	0	3	68	9	1	1
06.15-06.30	48	18	0	3	157	27	1	5	79	11	1	0
06.30-06.45	63	23	0	0	153	37	2	1	109	36	1	0
06.45-07.00	80	29	1	1	190	48	2	2	142	45	2	0
07.00-07.15	76	27	1	0	183	46	3	1	134	43	1	1
07.15-07.30	58	22	0	2	147	38	1	1	106	36	1	0
07.30-07.45	46	19	0	1	123	32	4	2	86	32	0	2
07.45-08.00	36	16	0	0	105	28	3	4	72	28	2	1
12.00-12.15	73	25	0	0	154	59	2	0	107	27	1	0
12.15-12.30	61	23	0	1	183	61	1	0	113	34	1	0
12.30-12.45	78	21	1	0	221	83	1	0	121	25	0	0
12.45-13.00	87	24	0	0	279	93	0	0	142	21	1	0
13.00-13.15	74	19	0	1	298	77	1	1	111	24	1	0
13.15-13.30	69	21	0	0	256	71	0	0	97	20	0	0
13.30-13.45	71	18	2	0	244	68	0	1	92	17	0	0
13.45-14.00	77	19	1	0	304	74	0	1	114	21	2	0
16.00-16.15	99	27	0	0	234	56	3	0	212	28	1	0
16.15-16.30	88	21	0	0	161	59	3	0	189	22	1	0
16.30-16.45	94	23	1	0	221	63	1	3	206	24	0	0
16.45-17.00	89	22	1	1	192	61	2	2	194	21	0	0
17.00-17.15	103	27	1	2	282	74	1	0	165	33	0	0
17.15-17.30	93	23	1	1	193	65	1	1	202	24	1	0
17.30-17.45	58	19	0	0	203	74	0	1	135	31	0	0
17.45-18.00	54	23	0	1	194	71	1	1	112	20	1	0

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Utara												
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT) 				Arah : Lurus (ST) 				Arah : Belok Kanan (RT) 			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	77	7	0	2	40	10	1	0	126	34	1	1
06.15-06.30	90	11	0	1	49	14	0	0	151	40	0	0
06.30-06.45	113	17	0	4	67	22	1	1	198	52	1	2
06.45-07.00	137	23	1	1	89	30	2	1	191	66	1	3
07.00-07.15	123	19	0	3	78	26	1	0	176	59	0	0
07.15-07.30	107	15	0	3	65	22	1	2	171	53	1	1
07.30-07.45	96	13	2	1	59	19	0	0	173	47	0	0
07.45-08.00	82	9	1	2	47	15	0	1	146	41	1	1
12.00-12.15	68	29	2	0	55	30	2	0	157	41	1	0
12.15-12.30	72	24	1	1	82	26	0	1	154	42	2	0
12.30-12.45	83	29	0	0	102	37	0	1	189	61	0	0
12.45-13.00	96	33	1	1	86	42	1	0	184	47	1	1
13.00-13.15	87	31	1	1	77	38	3	0	179	43	0	0
13.15-13.30	79	27	1	0	68	32	0	0	154	54	2	1
13.30-13.45	81	28	0	1	103	32	1	0	161	38	1	0
13.45-14.00	86	31	1	1	94	37	0	1	153	48	0	0
16.00-16.15	143	15	1	0	99	29	0	0	107	28	1	0
16.15-16.30	122	19	2	1	108	24	2	1	94	43	1	1
16.30-16.45	138	23	0	0	104	30	0	0	92	46	1	0
16.45-17.00	127	21	0	1	89	27	1	0	106	64	0	2
17.00-17.15	167	23	1	1	103	36	2	2	118	77	1	0
17.15-17.30	133	17	1	0	93	28	2	0	139	49	0	0
17.30-17.45	119	21	0	1	58	24	1	0	144	52	0	0
17.45-18.00	106	14	1	0	54	28	0	0	119	40	1	1

Lampiran 1 Survei Data Volume Lalu Lintas Rabu

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Selatan												
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT) 				Arah : Lurus (ST) 				Arah : Belok Kanan (RT) 			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	74	10	1	2	93	16	0	1	56	13	0	2
06.15-06.30	88	12	1	0	111	19	0	1	69	16	1	1
06.30-06.45	102	16	0	3	134	23	0	1	109	19	0	0
06.45-07.00	121	19	1	1	161	29	1	0	132	24	2	1
07.00-07.15	114	18	1	0	150	27	0	2	124	22	1	0
07.15-07.30	97	15	0	1	126	23	0	1	103	19	0	0
07.30-07.45	91	13	0	0	117	21	1	0	95	18	0	1
07.45-08.00	76	11	3	2	94	17	0	2	75	14	1	2
12.00-12.15	73	23	2	0	105	28	2	0	57	14	3	0
12.15-12.30	69	19	1	0	94	23	0	0	45	21	1	0
12.30-12.45	71	10	1	1	89	26	3	0	52	13	0	0
12.45-13.00	70	13	2	2	77	29	1	0	48	12	1	0
13.00-13.15	70	16	0	0	64	21	1	0	47	12	2	1
13.15-13.30	69	18	1	0	56	23	0	0	44	23	2	0
13.30-13.45	76	13	1	0	86	34	2	1	64	19	1	0
13.45-14.00	75	17	0	0	74	39	2	1	60	21	1	0
16.00-16.15	105	31	2	0	103	32	0	1	91	25	0	1
16.15-16.30	107	24	0	2	131	24	1	2	99	22	0	1
16.30-16.45	94	14	1	0	105	20	0	1	90	20	0	0
16.45-17.00	100	11	1	0	92	15	0	2	79	19	1	0
17.00-17.15	85	14	0	1	108	20	0	1	91	20	0	0
17.15-17.30	116	12	1	0	116	21	0	1	94	21	1	0
17.30-17.45	97	16	2	1	124	22	0	1	97	26	0	0
17.45-18.00	85	13	1	0	87	23	0	3	84	23	0	0

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Barat												
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT) 				Arah : Lurus (ST) 				Arah : Belok Kanan (RT) 			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	220	26	0	0	195	44	0	0	65	13	0	1
06.15-06.30	242	30	0	0	223	51	1	0	77	19	2	0
06.30-06.45	267	34	1	2	253	59	2	1	52	25	1	2
06.45-07.00	290	38	4	3	283	67	4	3	65	31	0	1
07.00-07.15	282	36	2	1	273	64	2	2	60	29	0	1
07.15-07.30	262	33	1	1	247	57	3	1	48	23	1	0
07.30-07.45	237	29	3	2	215	50	1	2	32	17	0	1
07.45-08.00	152	25	0	4	268	43	2	0	18	11	1	0
12.00-12.15	120	35	3	0	159	56	2	3	59	7	2	0
12.15-12.30	117	30	1	0	177	46	1	4	68	11	0	0
12.30-12.45	130	35	1	0	225	69	3	5	85	23	2	1
12.45-13.00	144	38	0	1	293	80	1	6	94	28	0	0
13.00-13.15	159	33	2	1	288	62	3	5	80	22	2	0
13.15-13.30	144	32	1	0	242	56	0	4	76	18	0	0
13.30-13.45	139	31	2	0	229	59	1	4	77	19	0	0
13.45-14.00	161	24	1	1	293	61	1	5	83	23	2	1
16.00-16.15	285	53	1	0	202	34	0	2	102	31	1	0
16.15-16.30	260	45	1	2	205	37	1	3	90	33	0	0
16.30-16.45	281	39	1	0	220	46	2	3	96	26	1	0
16.45-17.00	269	31	1	0	210	43	0	2	91	24	0	0
17.00-17.15	307	47	0	0	190	57	2	2	105	34	1	0
17.15-17.30	273	42	1	0	200	47	1	2	95	26	1	0
17.30-17.45	179	36	0	1	186	35	0	1	82	20	0	0
17.45-18.00	171	34	0	1	174	49	1	1	53	19	0	0

Lampiran 1 Survei Data Volume Lalu Lintas Sabtu

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Utara												
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT) 				Arah : Lurus (ST) 				Arah : Belok Kanan (RT) 			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	44	2	0	4	36	7	0	0	43	12	0	0
06.15-06.30	46	3	1	1	32	4	0	0	39	15	1	2
06.30-06.45	45	1	0	0	45	6	0	0	55	6	1	0
06.45-07.00	58	6	1	2	46	5	1	0	69	18	0	0
07.00-07.15	60	3	0	10	88	13	0	3	125	23	2	0
07.15-07.30	87	2	1	0	69	16	1	6	97	13	1	0
07.30-07.45	105	10	0	3	74	24	0	2	101	21	1	0
07.45-08.00	86	8	3	1	64	14	0	1	92	17	0	1
12.00-12.15	107	16	0	1	98	23	2	0	139	35	2	1
12.15-12.30	92	25	2	0	90	14	0	2	107	38	1	2
12.30-12.45	98	10	2	1	78	15	2	0	155	26	0	2
12.45-13.00	106	19	2	1	114	18	1	0	148	33	0	1
13.00-13.15	94	23	1	0	85	18	1	0	125	35	0	0
13.15-13.30	82	23	1	0	92	24	0	0	146	38	1	0
13.30-13.45	100	20	1	0	95	24	0	0	133	44	2	1
13.45-14.00	105	25	0	3	91	20	2	0	118	38	0	1
16.00-16.15	98	28	0	6	133	26	1	1	196	34	1	0
16.15-16.30	97	27	2	1	157	37	2	1	168	31	0	1
16.30-16.45	89	19	2	0	127	29	2	0	121	29	1	2
16.45-17.00	67	25	1	0	104	29	1	0	102	35	2	0
17.00-17.15	73	25	1	0	80	36	1	0	197	83	2	0
17.15-17.30	84	26	1	2	125	39	2	0	127	39	1	0
17.30-17.45	93	19	0	1	125	35	0	0	176	27	1	0
17.45-18.00	100	17	0	0	119	24	1	0	157	22	0	0

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Timur												
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT) 				Arah : Lurus (ST) 				Arah : Belok Kanan (RT) 			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	19	4	0	0	170	39	4	5	37	15	0	0
06.15-06.30	14	2	0	2	147	17	3	0	53	17	1	1
06.30-06.45	15	4	0	0	233	42	2	6	78	17	2	3
06.45-07.00	23	6	0	0	266	51	3	9	91	16	4	4
07.00-07.15	37	2	0	2	284	50	1	11	97	9	1	0
07.15-07.30	36	5	0	0	347	43	2	7	143	25	1	1
07.30-07.45	32	7	0	0	406	50	4	4	104	19	3	3
07.45-08.00	27	6	0	3	364	63	3	3	101	21	2	1
12.00-12.15	36	19	0	0	227	87	6	1	72	27	1	1
12.15-12.30	40	21	2	0	349	115	15	3	112	30	4	0
12.30-12.45	36	20	1	1	306	112	8	2	104	34	2	1
12.45-13.00	53	16	1	1	340	111	12	4	110	28	5	0
13.00-13.15	46	17	2	1	309	114	10	0	103	24	2	0
13.15-13.30	53	19	2	1	296	98	10	2	103	30	5	2
13.30-13.45	36	15	0	0	245	88	6	0	90	28	2	0
13.45-14.00	43	14	1	0	215	80	4	0	84	25	1	0
16.00-16.15	56	23	0	0	311	93	13	1	88	36	1	0
16.15-16.30	70	29	1	0	284	74	5	5	92	29	1	0
16.30-16.45	54	25	1	0	280	110	2	1	75	24	1	0
16.45-17.00	62	31	2	0	194	92	10	2	71	26	0	0
17.00-17.15	54	18	0	0	192	85	5	1	57	20	4	0
17.15-17.30	63	22	0	0	198	86	4	1	75	27	4	0
17.30-17.45	76	21	0	0	262	79	3	2	91	38	1	0
17.45-18.00	76	27	1	0	293	94	4	0	99	27	1	2

Lampiran 1 Survei Data Volume Lalu Lintas Sabtu

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Selatan												
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT)				Arah : Lurus (ST)				Arah : Belok Kanan (RT)			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4		Roda 2&3	Roda 4	Roda >4		Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	
06.00-06.15	50	8	1	1	45	8	1	1	32	11	0	0
06.15-06.30	40	5	1	0	63	7	3	9	59	9	0	0
06.30-06.45	46	10	0	0	71	17	0	2	84	7	0	0
06.45-07.00	53	7	2	4	109	13	0	1	67	10	1	3
07.00-07.15	71	13	1	0	87	15	0	1	92	11	0	0
07.15-07.30	105	9	1	1	135	25	0	1	112	16	0	1
07.30-07.45	104	11	2	3	93	19	1	1	98	17	1	0
07.45-08.00	103	8	0	1	85	15	0	0	93	16	1	0
12.00-12.15	82	11	2	0	76	36	2	0	60	22	3	0
12.15-12.30	74	12	2	1	68	24	1	0	61	20	2	0
12.30-12.45	74	9	2	3	74	19	1	0	50	28	1	0
12.45-13.00	81	16	3	0	72	25	1	0	54	12	3	0
13.00-13.15	81	7	3	0	92	32	0	0	56	21	1	0
13.15-13.30	53	19	2	1	107	25	0	2	65	15	0	1
13.30-13.45	83	16	1	2	88	40	3	1	62	22	2	0
13.45-14.00	67	14	1	2	80	35	3	0	60	21	2	0
16.00-16.15	72	15	2	1	106	34	2	0	88	27	2	0
16.15-16.30	51	11	2	1	62	31	0	0	52	19	0	0
16.30-16.45	59	20	1	0	70	40	0	0	46	24	0	0
16.45-17.00	54	11	1	0	53	28	0	0	28	18	0	0
17.00-17.15	37	15	1	0	40	29	1	0	26	27	3	0
17.15-17.30	36	9	0	1	60	32	0	1	36	16	0	0
17.30-17.45	42	15	0	1	56	24	2	0	41	20	1	1
17.45-18.00	71	21	2	0	66	24	0	1	39	19	1	0

Nama Simpang : Simpang Tungkak												
Dari : Lengan Barat												
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT)				Arah : Lurus (ST)				Arah : Belok Kanan (RT)			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4		Roda 2&3	Roda 4	Roda >4		Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	
06.00-06.15	132	20	0	4	163	34	2	11	45	8	3	0
06.15-06.30	185	29	0	2	149	31	1	9	37	11	3	2
06.30-06.45	202	26	1	6	219	35	3	5	43	8	2	0
06.45-07.00	232	36	3	9	242	42	1	7	36	1	2	0
07.00-07.15	263	19	1	4	398	43	5	14	45	5	1	1
07.15-07.30	337	39	0	4	225	79	6	2	39	5	7	0
07.30-07.45	361	40	2	4	210	74	6	2	47	4	1	0
07.45-08.00	349	49	4	6	198	69	5	1	36	6	3	0
12.00-12.15	123	50	1	1	221	77	7	2	27	5	1	0
12.15-12.30	165	75	6	0	128	94	2	1	49	7	3	0
12.30-12.45	159	54	2	1	286	76	9	1	70	8	1	0
12.45-13.00	169	69	6	0	245	80	5	1	59	3	2	0
13.00-13.15	170	78	6	1	224	100	10	3	30	7	3	0
13.15-13.30	130	60	4	1	237	80	6	2	25	6	2	0
13.30-13.45	100	45	3	0	219	65	5	1	22	5	1	0
13.45-14.00	115	50	3	1	215	75	6	2	24	6	2	0
16.00-16.15	136	79	0	1	277	64	1	2	60	15	1	0
16.15-16.30	111	47	1	1	322	92	2	1	50	16	2	1
16.30-16.45	121	53	0	0	256	95	7	1	43	12	3	0
16.45-17.00	89	56	3	1	157	64	3	3	38	17	0	0
17.00-17.15	92	57	1	0	194	78	5	1	39	13	2	0
17.15-17.30	101	62	1	1	184	79	0	1	47	11	0	1
17.30-17.45	142	61	2	0	230	80	6	2	45	12	1	0
17.45-18.00	129	47	0	1	205	71	5	2	39	15	1	0

Lampiran 2 Survei Data Panjang Antrean Lintas Senin

UTARA												TIMUR											
PAGI				SIANG				SORE				PAGI				SIANG				SORE			
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
6:00	15	7:08	196	12:00	82	13:02	50	16:00	65	17:05	65	6:00	20	7:05	135	12:00	30	13:02	55	16:00	230	17:01	170
6:02	10	7:10	215	12:02	100	13:04	42	16:03	70	17:08	75	6:02	10	7:07	150	12:02	45	13:04	40	16:02	220	17:03	150
6:05	8	7:12	210	12:04	70	13:06	50	16:05	70	17:10	80	6:04	15	7:10	130	12:04	30	13:06	35	16:04	215	17:05	160
6:07	18	7:15	160	12:06	65	13:08	55	16:08	50	17:12	75	6:07	10	7:12	135	12:06	45	13:08	45	16:06	225	17:07	135
6:10	22	7:17	173	12:09	70	13:10	50	16:10	75	17:14	72	6:09	20	7:14	120	12:08	35	13:11	70	16:08	200	17:09	140
6:12	15	7:19	137	12:12	55	13:13	70	16:12	80	17:16	80	6:11	25	7:16	105	12:10	40	13:13	80	16:10	175	17:11	160
6:14	12	7:22	156	12:14	75	13:15	35	16:14	85	17:18	65	6:13	30	7:19	100	12:12	55	13:16	85	16:12	160	17:13	175
6:16	12	7:25	140	12:16	80	13:17	60	16:16	75	17:20	55	6:15	20	7:21	120	12:14	40	13:18	90	16:14	200	17:16	185
6:19	17	7:27	123	12:19	115	13:19	50	16:18	75	17:22	65	6:17	10	7:23	105	12:16	35	13:20	100	16:16	210	17:18	170
6:21	30	7:29	137	12:21	175	13:22	30	16:20	70	17:25	60	6:19	15	7:26	85	12:18	50	13:22	110	16:18	195	17:20	165
6:24	40	7:31	135	12:23	205	13:24	45	16:22	110	17:27	60	6:21	10	7:28	70	12:21	55	13:25	80	16:20	170	17:22	120
6:26	35	7:33	143	12:25	200	13:27	45	16:24	180	17:29	70	6:23	15	7:30	55	12:23	40	13:27	60	16:22	240	17:24	115
6:29	45	7:35	117	12:27	160	13:29	80	16:26	115	17:31	80	6:26	25	7:33	60	12:25	75	13:30	50	16:24	245	17:26	95
6:32	35	7:37	105	12:29	165	13:31	125	16:28	75	17:33	40	6:28	35	7:35	45	12:27	50	13:32	45	16:26	250	17:29	80
6:34	50	7:40	100	12:31	170	13:33	100	16:31	80	17:36	50	6:30	40	7:37	25	12:29	60	13:34	55	16:28	240	17:31	50
6:36	43	7:42	50	12:33	165	13:35	105	16:33	90	17:38	90	6:32	35	7:40	30	12:31	70	13:36	60	16:30	255	17:33	110
6:39	33	7:44	40	12:35	130	13:37	50	16:35	110	17:41	75	6:34	30	7:42	35	12:34	60	13:38	70	16:32	235	17:35	90
6:41	30	7:46	53	12:37	110	13:40	40	16:38	75	17:43	60	6:36	45	7:44	25	12:36	50	13:40	80	16:34	225	17:37	85
6:43	45	7:48	87	12:39	75	13:43	75	16:40	70	17:45	60	6:39	50	7:46	45	12:39	70	13:43	5	16:36	230	17:40	90
6:45	47	7:51	40	12:41	80	13:45	85	16:42	100	17:47	80	6:41	55	7:49	55	12:41	80	13:45	90	16:38	210	17:42	60
6:48	48	7:53	27	12:43	75	13:47	60	16:44	102	17:49	55	6:44	50	7:51	40	12:42	75	13:48	80	16:41	225	17:44	55
6:50	77	7:55	34	12:45	65	13:49	40	16:46	95	17:51	60	6:46	60	7:53	25	12:44	85	13:51	70	16:43	230	17:46	40
6:52	97	7:58	31	12:47	90	13:52	60	16:48	90	17:54	50	6:48	70	7:56	30	12:46	90	13:53	60	16:45	240	17:48	45
6:54	110	8:00	36	12:49	80	13:54	65	16:50	58	17:56	40	6:50	110	7:58	25	12:48	60	13:56	55	16:48	255	17:50	32
6:56	130			12:51	75	13:57	75	16:52	60	17:59	60	6:53	135	8:00	15	12:50	55	13:58	80	16:50	200	17:52	45
6:58	89			12:53	87	14:00	80	16:54	60			6:55	130			12:52	40	14:00	35	16:53	220	17:54	40
7:01	107			12:56	87			16:56	75			6:58	150			12:54	55			16:55	215	17:56	35
7:03	127			12:58	90			16:58	55			7:00	115			12:57	60			16:57	200	17:58	25
7:05	170			13:00	45			17:03	60			7:03	120			13:00	70			16:59	190	18:00	20

Lampiran 2 Survei Data Panjang Antrean Lintas Senin

BARAT												SELATAN											
PAGI				SIANG				SORE				PAGI				SIANG				SORE			
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
6:02	15	7:08	80	12:00	30	12:58	65	16:00	70	17:04	55	6:00	30	7:08	135	12:00	50	13:09	40	16:00	40	17:09	35
6:04	15	7:11	180	12:02	40	13:00	40	16:02	90	17:06	55	6:02	30	7:10	95	12:02	40	13:12	65	16:03	30	17:11	35
6:06	5	7:13	155	12:04	45	13:02	35	16:04	105	17:09	70	6:04	45	7:12	110	12:05	65	13:14	70	16:05	35	17:13	45
6:08	10	7:15	145	12:06	50	13:04	30	16:06	80	17:11	30	6:06	25	7:15	70	12:07	45	13:16	60	16:08	35	17:15	30
6:11	25	7:17	150	12:08	30	13:06	40	16:08	140	17:13	50	6:09	45	7:15	45	12:09	55	13:19	75	16:10	55	17:18	40
6:13	10	7:20	145	12:11	45	13:08	50	16:10	145	17:15	5	6:11	45	7:17	60	12:12	75	13:21	70	16:13	45	17:21	45
6:15	20	7:22	100	12:12	60	13:10	75	16:12	140	17:17	80	6:13	40	7:20	35	12:14	40	13:23	65	16:15	55	17:23	40
6:18	25	7:24	95	12:14	35	13:12	80	16:14	130	17:20	105	6:16	55	7:22	95	12:16	50	13:26	60	16:18	65	17:26	35
6:20	30	7:27	95	12:16	45	13:14	90	16:17	105	17:22	80	6:18	35	7:24	145	12:19	60	13:29	70	16:20	45	17:28	40
6:22	10	7:29	70	12:18	60	13:16	95	16:19	155	17:24	105	6:20	60	7:27	150	12:21	65	13:31	80	16:22	35	17:31	50
6:25	25	7:31	45	12:20	50	13:18	80	16:22	190	17:26	80	6:23	60	7:29	165	12:23	75	13:34	65	16:25	60	17:33	25
6:27	25	7:34	70	12:22	35	13:20	110	16:24	200	17:29	50	6:25	70	7:31	195	12:26	50	13:36	50	16:27	50	17:35	20
6:29	30	7:36	70	12:24	80	13:22	115	16:26	200	17:31	75	6:27	65	7:33	175	12:28	45	13:39	45	16:29	40	17:37	35
6:31	45	7:38	40	12:26	50	13:25	70	16:28	190	17:33	100	6:30	65	7:36	165	12:30	70	13:42	55	16:31	30	17:39	40
6:34	30	7:40	30	12:28	50	13:27	55	16:30	180	17:35	65	6:32	80	7:38	135	12:33	85	13:44	60	16:34	35	17:41	55
6:36	30	7:43	65	12:30	65	13:30	45	16:32	230	17:37	75	6:34	110	7:40	150	12:35	80	13:46	80	16:36	40	17:43	45
6:38	40	7:45	55	12:32	55	13:32	65	16:34	180	17:40	55	6:37	145	7:43	110	12:37	95	13:49	70	16:38	55	17:46	60
6:41	30	7:47	95	12:34	40	13:34	75	16:36	130	17:42	60	6:39	160	7:45	65	12:41	65	13:51	40	16:41	60	17:48	35
6:43	45	7:50	70	12:36	60	13:36	85	16:39	105	17:44	70	6:42	150	7:47	60	12:43	40	13:53	45	16:43	45	17:50	25
6:45	45	7:52	40	12:38	85	13:38	60	16:41	100	17:46	75	6:44	130	7:50	70	12:45	55	13:55	50	16:46	30	17:53	30
6:48	50	7:54	50	12:40	70	13:40	55	16:43	105	17:49	65	6:46	95	7:52	45	12:48	45	13:57	45	16:49	25	17:55	20
6:50	75	7:57	40	12:42	80	13:43	70	16:45	105	17:51	50	6:48	115	7:54	70	12:51	40	14:00	60	16:51	20	17:57	15
6:52	145	7:59	20	12:44	65	13:45	60	16:47	105	17:53	65	6:51	115	7:56	75	12:53	50			16:53	30	18:00	25
6:54	145			12:46	50	13:48	55	16:50	80	17:55	50	6:53	165	7:58	55	12:56	65			16:55	35		
6:57	170			12:48	60	13:51	40	16:52	80	17:57	65	6:55	195	8:00	50	12:58	50			16:58	25		
6:59	160			12:50	40	13:53	35	16:54	80	18:00	60	6:57	175			13:00	40			17:00	30		
7:01	170			12:52	55	13:56	60	16:57	80			7:00	170			13:02	55			17:02	15		
7:04	150			12:54	65	13:58	40	17:00	55			7:02	135			13:04	45			17:04	25		
7:06	95			12:56	45	14:00	45	17:02	40			7:04	130			13:07	50			17:06	30		

Lampiran 2 Survei Data Panjang Antrean Lintas Rabu

UTARA												TIMUR											
PAGI				SIANG				SORE				PAGI				SIANG				SORE			
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
6:01	30	7:11	110	12:00	67	13:10	50	16:02	60	17:12	55	6:00	40	7:10	160	12:01	35	13:06	60	16:02	215	17:08	255
6:03	40	7:13	90	12:02	80	13:12	20	16:04	60	17:14	70	6:03	40	7:13	180	12:03	50	13:08	45	16:04	250	17:11	265
6:05	35	7:15	80	12:04	55	13:14	40	16:06	65	17:16	70	6:05	30	7:15	155	12:05	35	13:11	60	16:06	210	17:13	250
6:08	25	7:18	75	12:07	45	13:17	35	16:09	40	17:19	70	6:07	40	7:17	115	12:07	50	13:13	95	16:08	270	17:15	270
6:10	30	7:20	20	12:09	60	13:19	10	16:11	70	17:21	62	6:10	55	7:20	95	12:10	40	13:15	105	16:11	225	17:17	245
6:13	25	7:23	50	12:12	100	13:22	30	16:14	70	17:24	75	6:12	60	7:22	85	12:12	45	13:17	115	16:13	295	17:20	185
6:15	50	7:25	70	12:14	155	13:24	25	16:16	90	17:26	55	6:15	45	7:25	85	12:14	60	13:19	85	16:15	185	17:22	225
6:17	25	7:28	85	12:16	155	13:27	65	16:18	75	17:29	50	6:17	30	7:27	75	12:17	45	13:22	60	16:18	260	17:24	180
6:20	40	7:30	105	12:19	145	13:29	105	16:21	75	17:31	55	6:19	70	7:30	50	12:19	40	13:24	45	16:20	200	17:27	205
6:22	35	7:32	65	12:21	130	13:31	85	16:23	75	17:33	55	6:22	60	7:32	60	12:21	55	13:26	40	16:22	240	17:29	130
6:25	40	7:35	110	12:24	110	13:34	85	16:26	135	17:36	50	6:24	60	7:34	60	12:24	60	13:28	50	16:25	175	17:31	155
6:27	72	7:37	115	12:26	60	13:36	22	16:28	115	17:38	65	6:27	70	7:37	55	12:26	45	13:31	65	16:27	210	17:34	105
6:30	85	7:40	90	12:29	55	13:39	35	16:31	110	17:41	70	6:29	80	7:39	70	12:28	80	13:33	55	16:29	135	17:36	120
6:32	105	7:42	80	12:31	140	13:41	35	16:33	65	17:43	35	6:32	80	7:42	85	12:30	55	13:35	50	16:31	200	17:38	60
6:34	64	7:44	75	12:33	130	13:43	35	16:35	75	17:45	40	6:34	80	7:44	65	12:33	65	13:38	60	16:34	120	17:40	80
6:37	82	7:47	25	12:36	90	13:46	35	16:38	80	17:48	85	6:36	85	7:46	55	12:35	75	13:40	65	16:36	180	17:43	30
6:39	102	7:49	15	12:38	145	13:48	20	16:40	105	17:50	65	6:39	100	7:49	55	12:37	65	13:42	75	16:38	145	17:45	55
6:42	145	7:52	40	12:41	160	13:51	60	16:43	65	17:53	55	6:41	135	7:51	55	12:39	55	13:44	85	16:41	240	17:47	65
6:44	170	7:54	25	12:43	150	13:53	65	16:45	65	17:55	40	6:44	165	7:54	40	12:41	75	13:47	45	16:43	235	17:50	70
6:46	190	7:57	30	12:45	135	13:56	45	16:47	90	17:58	35	6:46	155	7:56	70	12:43	85	13:49	95	16:45	225	17:52	55
6:49	185	7:59	15	12:48	35	13:58	20	16:50	97	18:00	50	6:48	165	7:59	60	12:46	80	13:51	85	16:48	240	17:54	55
6:51	135			12:50	60	14:00	45	16:52	85			6:51	145			12:48	90	13:54	75	16:50	210	17:57	40
6:54	148			12:53	67			16:55	85			6:53	135			12:50	95	13:56	65	16:52	190	17:59	35
6:56	112			12:55	75			16:57	48			6:56	125			12:52	65	13:58	60	16:54	170		
6:59	130			12:58	25			17:00	55			6:58	150			12:55	60	14:00	85	16:57	215		
7:01	115			13:00	35			17:02	50			7:01	130			12:57	45			16:59	220		
7:03	90			13:02	60			17:04	70			7:03	180			12:59	60			17:01	210		
7:06	110			13:05	60			17:07	45			7:05	140			13:02	65			17:04	180		
7:08	110			13:07	45			17:09	55			7:08	150			13:04	75			17:06	255		

Lampiran 2 Survei Data Panjang Antrean Lintas Rabu

BARAT												SELATAN											
PAGI				SIANG				SORE				PAGI				SIANG				SORE			
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
6:00	25	7:08	150	12:01	25	13:00	75	16:02	65	17:06	55	6:01	25	7:07	105	12:00	60	13:09	50	16:00	55	17:09	30
6:02	35	7:10	155	12:03	35	13:02	105	16:04	40	17:09	35	6:03	30	7:10	70	12:02	55	13:12	35	16:03	25	17:11	35
6:04	20	7:12	75	12:05	35	13:04	85	16:06	65	17:11	55	6:05	25	7:12	80	12:05	55	13:14	40	16:05	40	17:13	35
6:06	30	7:15	85	12:07	20	13:06	120	16:08	65	17:13	30	6:07	35	7:14	45	12:07	50	13:16	30	16:08	35	17:15	60
6:09	45	7:15	10	12:10	30	13:08	120	16:10	60	17:15	60	6:10	20	7:16	15	12:09	35	13:19	40	16:10	60	17:18	30
6:11	30	7:17	35	12:12	50	13:10	95	16:12	65	17:17	30	6:12	20	7:19	35	12:12	45	13:21	40	16:13	25	17:21	55
6:13	55	7:20	20	12:14	20	13:12	85	16:14	135	17:20	60	6:14	35	7:21	15	12:14	35	13:23	40	16:15	40	17:23	30
6:16	55	7:22	35	12:16	35	13:14	80	16:17	45	17:22	55	6:17	75	7:23	70	12:16	45	13:26	40	16:18	35	17:26	45
6:18	150	7:24	25	12:18	45	13:16	85	16:19	65	17:24	105	6:19	60	7:26	115	12:19	40	13:29	50	16:20	60	17:28	30
6:20	125	7:27	50	12:20	40	13:18	65	16:22	35	17:26	35	6:21	75	7:28	125	12:21	50	13:31	50	16:22	45	17:31	60
6:23	175	7:29	25	12:22	20	13:20	100	16:24	85	17:29	80	6:24	150	7:30	135	12:23	35	13:34	50	16:25	45	17:33	15
6:25	140	7:31	75	12:24	70	13:22	100	16:26	115	17:31	55	6:26	160	7:33	70	12:26	45	13:36	60	16:27	30	17:35	30
6:27	175	7:33	50	12:26	35	13:25	75	16:28	185	17:33	50	6:28	130	7:35	65	12:28	35	13:39	60	16:29	65	17:37	25
6:30	130	7:36	45	12:28	40	13:27	65	16:30	235	17:35	35	6:30	125	7:37	75	12:30	35	13:42	50	16:31	40	17:39	50
6:32	100	7:38	25	12:30	50	13:30	60	16:32	135	17:37	55	6:33	105	7:39	55	12:33	35	13:44	60	16:34	55	17:41	45
6:34	60	7:40	70	12:32	45	13:32	50	16:34	90	17:40	30	6:35	80	7:42	65	12:35	45	13:46	45	16:36	30	17:43	55
6:37	185	7:43	35	12:34	25	13:34	65	16:36	110	17:42	60	6:37	120	7:44	50	12:37	55	13:49	55	16:38	45	17:46	50
6:39	135	7:45	100	12:36	50	13:36	70	16:39	90	17:44	30	6:40	130	7:46	45	12:41	65	13:51	50	16:41	55	17:48	45
6:42	150	7:47	50	12:38	70	13:38	50	16:41	110	17:46	45	6:42	125	7:49	55	12:43	35	13:53	50	16:43	35	17:50	30
6:44	130	7:50	45	12:40	35	13:40	40	16:43	110	17:49	35	6:44	100	7:51	60	12:45	45	13:55	45	16:46	10	17:53	40
6:46	150	7:52	30	12:42	50	13:43	60	16:45	95	17:51	75	6:47	70	7:53	45	12:48	45	13:57	70	16:49	40	17:55	15
6:48	80	7:54	45	12:44	30	17:46	45	16:47	105	17:53	35	6:49	85	7:56	50	12:51	55	13:59	55	16:51	30	17:57	40
6:51	100	7:56	20	12:46	20	17:49	45	16:50	130	17:55	75	6:51	90	7:58	40	12:53	40			16:53	25	18:00	30
6:53	75	7:58	20	12:48	60	17:51	25	16:52	55	17:57	45	6:53	135	8:00	30	12:56	40			16:55	25		
6:55	75	8:00	25	12:50	80	17:53	25	16:54	55	17:59	60	6:56	170			12:58	35			16:58	35		
6:57	125			12:52	70	17:55	45	16:57	80			6:58	145			13:00	45			17:00	30		
7:00	150			12:54	70	17:57	30	17:00	25			7:00	145			13:02	30			17:02	40		
7:02	150			12:56	65	17:59	30	17:02	60			7:03	105			13:04	50			17:04	35		
7:04	165			12:58	80			17:04	30			7:05	105			13:07	50			17:06	45		

Lampiran 2 Survei Data Panjang Antrean Lintas Sabtu

UTARA												TIMUR											
PAGI				SIANG				SORE				PAGI				SIANG				SORE			
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
6:02	20	7:08	40	12:00	50	13:06	200	16:00	75	17:09	180	6:02	30	7:09	40	12:01	75	13:06	175	16:00	75	17:07	80
6:04	10	7:10	55	12:02	30	13:08	220	16:03	60	17:11	80	6:04	20	7:11	30	12:03	50	13:08	160	16:03	75	17:09	50
6:06	10	7:12	30	12:04	75	13:11	230	16:04	80	17:14	100	6:07	40	7:13	50	12:05	75	13:11	140	16:05	125	17:12	25
6:09	20	7:15	40	12:07	125	13:13	250	16:07	90	17:16	50	6:09	25	7:15	25	12:07	50	13:13	150	16:07	100	17:14	25
6:11	25	7:17	70	12:09	160	13:15	220	16:10	100	17:18	90	6:12	25	7:18	40	12:10	70	13:15	150	16:09	100	17:16	75
6:13	20	7:19	55	12:11	120	13:18	240	16:12	75	17:20	70	6:14	10	7:20	30	12:12	50	13:17	125	16:11	90	17:19	50
6:16	30	7:22	40	12:14	150	13:21	230	16:14	75	17:22	80	6:16	30	7:22	50	12:14	50	13:19	125	16:14	90	17:21	60
6:18	10	7:24	60	12:16	170	13:23	200	16:16	50	17:25	60	6:19	25	7:25	40	12:17	50	13:22	125	16:16	125	17:23	50
6:20	20	7:26	30	12:18	180	13:25	230	16:19	50	17:27	100	6:21	30	7:27	50	12:19	80	13:24	100	16:19	150	17:25	75
6:22	30	7:28	25	12:21	100	13:28	250	16:22	40	17:29	40	6:23	35	7:29	40	12:21	100	13:26	100	16:21	125	17:28	75
6:25	15	7:31	35	12:23	75	13:30	200	16:25	70	17:32	40	6:25	25	7:31	30	12:24	70	13:28	100	16:23	130	17:30	85
6:27	25	7:33	50	12:25	75	13:32	230	16:27	60	17:34	50	6:28	25	7:34	25	12:26	80	13:31	75	16:26	125	17:32	125
6:29	35	7:35	30	12:28	25	13:35	170	16:29	50	17:36	60	6:30	25	7:36	55	12:28	70	13:33	50	16:28	175	17:35	100
6:32	30	7:38	50	12:30	20	13:37	250	16:32	40	17:38	80	6:32	30	7:38	30	12:30	50	13:35	75	16:30	165	17:37	150
6:34	25	7:40	40	12:32	50	13:39	230	16:34	50	17:41	70	6:35	27	7:41	60	12:33	100	13:38	75	16:32	150	17:39	125
6:36	50	7:42	30	12:34	50	13:42	200	16:37	60	17:43	40	6:37	25	7:43	30	12:35	80	13:40	80	16:34	150	17:42	125
6:39	30	7:45	45	12:36	50	13:44	140	16:39	70	17:45	50	6:39	45	7:45	50	12:37	100	13:42	150	16:36	140	17:44	125
6:41	30	7:47	30	12:38	75	13:46	120	16:41	50	17:47	40	6:41	40	7:48	50	12:39	80	13:44	125	16:39	140	17:46	175
6:43	50	7:49	40	12:40	40	13:49	65	16:43	20	17:50	50	6:44	30	7:50	40	12:41	75	13:47	100	16:42	100	17:49	175
6:46	30	7:52	60	12:42	50	13:51	100	16:46	85	17:52	45	6:46	30	7:52	50	12:43	100	13:49	100	16:44	80	17:51	170
6:48	35	7:54	50	12:44	130	13:53	130	16:48	80	17:54	70	6:49	30	7:54	50	12:46	100	13:51	120	16:46	85	17:53	185
6:50	25	7:56	55	12:46	150	13:56	170	16:50	60	17:57	50	6:51	50	7:57	75	12:48	120	13:54	110	16:49	85	17:55	175
6:52	30	7:58	35	12:49	230	13:58	190	16:53	50	17:59	60	6:53	40	7:59	50	12:50	110	13:56	80	16:51	110	17:58	165
6:55	20	8:00	70	12:51	200	14:00	150	16:55	80			6:55	55			12:52	130	13:58	75	16:53	125	18:00	150
6:57	25			12:54	120			16:57	90			6:58	40			12:55	130			16:55	100		
6:59	30			12:56	100			17:00	70			7:00	50			12:57	125			16:58	100		
7:02	15			12:59	100			17:02	80			7:03	60			12:59	175			17:00	75		
7:04	20			13:02	170			17:04	70			7:05	20			13:02	150			17:02	75		
7:06	30			13:04	160			17:07	150			7:07	40			13:04	175			17:04	25		

Lampiran 2 Survei Data Panjang Antrean Lintas Sabtu

BARAT												SELATAN											
PAGI				SIANG				SORE				PAGI				SIANG				SORE			
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
6:02	35	7:02	50	12:00	85	13:09	102	16:00	150	17:06	100	6:00	50	7:07	35	12:00	50	13:09	60	16:00	170	17:09	50
6:04	40	7:04	45	12:02	98	13:11	118	16:02	135	17:08	150	6:02	40	7:09	25	12:02	65	13:11	65	16:02	180	17:12	65
6:06	30	7:06	50	12:04	105	13:13	110	16:04	138	17:11	100	6:05	45	7:11	25	12:05	60	13:13	55	16:04	150	17:14	60
6:08	45	7:08	30	12:06	88	13:15	90	16:06	100	17:13	100	6:07	35	7:13	20	12:07	75	13:15	70	16:06	145	17:18	55
6:10	40	7:10	60	12:09	110	13:18	140	16:09	50	17:16	150	6:09	25	7:15	25	12:10	70	13:17	55	16:08	125	17:20	50
6:13	35	7:12	55	12:11	92	13:20	150	16:11	100	17:18	190	6:12	30	7:18	30	12:12	60	13:19	65	16:13	75	17:22	45
6:15	40	7:14	45	12:14	100	13:22	100	16:14	40	17:20	90	6:14	25	7:20	25	12:15	50	13:21	50	16:15	80	17:25	30
6:17	30	7:16	50	12:16	98	13:24	90	16:16	100	17:22	200	6:16	30	7:22	30	12:17	55	13:24	65	16:17	80	17:27	35
6:19	30	7:18	55	12:19	85	13:27	100	16:19	145	17:25	250	6:19	30	7:25	35	12:19	60	13:26	75	16:20	75	17:29	30
6:21	40	7:20	60	12:21	95	13:29	70	16:21	148	17:28	80	6:21	35	7:27	40	12:21	75	13:28	95	16:23	50	17:31	40
6:23	45	7:22	50	12:24	108	13:31	80	16:23	175	17:30	75	6:23	25	7:29	35	12:24	65	13:30	50	16:25	80	17:34	50
6:25	40	7:24	50	12:27	88	13:33	75	16:25	140	17:32	80	6:26	30	7:32	50	12:27	70	13:33	45	16:28	75	17:36	25
6:27	35	7:26	100	12:29	100	13:37	100	16:28	100	17:34	100	6:28	25	7:34	45	12:29	60	13:35	55	16:30	70	17:38	25
6:29	40	7:28	80	12:31	105	13:39	100	16:30	150	17:36	125	6:30	20	7:36	40	12:32	55	13:37	70	16:33	60	17:40	35
6:31	30	7:30	100	12:34	112	13:41	120	16:32	100	17:38	80	6:32	25	7:37	45	12:35	70	13:40	60	16:35	50	17:43	25
6:33	45	7:32	125	12:37	115	13:43	150	16:35	150	17:40	100	6:35	30	7:39	35	12:37	75	13:42	45	16:37	55	17:45	40
6:35	50	7:34	50	12:39	108	13:46	50	16:37	100	17:42	70	6:37	45	7:41	40	12:39	110	13:44	50	16:39	45	17:47	25
6:37	30	7:36	45	12:41	105	13:48	100	16:39	200	17:44	80	6:39	50	7:43	40	12:41	95	13:47	55	16:41	75	17:50	45
6:39	35	7:38	50	12:44	95	13:50	120	16:41	150	17:47	75	6:42	25	7:46	35	12:44	120	13:49	60	16:44	60	17:52	50
6:41	40	7:40	55	12:47	160	13:52	150	16:43	80	17:49	75	6:44	30	7:48	35	12:46	90	13:51	60	16:46	55	17:54	35
6:43	35	7:42	45	12:49	145	13:54	50	16:46	75	17:51	80	6:46	35	7:50	55	12:48	75	13:53	80	16:49	45	17:56	55
6:45	40	7:44	70	12:51	100	13:56	100	16:48	80	17:53	75	6:49	40	7:53	45	12:51	70	13:56	100	16:51	40	17:59	60
6:47	25	7:46	50	12:53	50	13:59	70	16:50	100	17:55	75	6:51	30	7:55	50	12:53	135	13:58	75	16:53	55		
6:49	30	7:48	80	12:56	70			16:52	75	17:57	80	6:53	25	7:57	50	12:55	80	14:00	80	16:55	60		
6:52	35	7:50	60	12:58	140			16:54	100	17:59	75	6:55	25	8:00	45	12:57	70			16:58	45		
6:54	25	7:52	80	13:00	130			16:57	150			6:57	30			13:00	65			17:00	40		
6:56	40	7:54	85	13:02	98			16:59	80			7:00	20			13:02	75			17:03	55		
6:58	30	7:56	90	13:04	100			17:01	80			7:02	35			13:04	50			17:05	60		
7:00	30	7:58	110	13:06	115			17:03	70			7:04	40			13:07	70			17:07	65		

Lampiran 3 Survei Data *Driving Behaviour*

FORMULIR SURVEI DRIVING BEHAVIOUR				
Lokasi:	Simpang Tungkak			
Hari/Tanggal:	19 Januari 2026			
No	Depan-Belakang saat Berhenti	Sejajar saat Berhenti	Depan-Belakang saat Bergerak	Sejajar saat Bergerak
	(m)	(m)	(m)	(m)
Utara				
1	0.4	0.2	0.6	0.5
2	0.3	0.2	0.5	0.6
3	0.3	0.3	0.5	0.6
4	0.6	0.3	0.4	0.5
5	0.4	0.2	0.6	0.4
6	0.5	0.3	0.5	0.6
7	0.6	0.4	0.5	0.3
8	0.4	0.3	0.6	0.4
9	0.5	0.2	0.6	0.3
10	0.4	0.3	0.5	0.4
Timur				
1	0.5	0.3	0.6	0.3
2	0.5	0.2	0.7	0.5
3	0.3	0.2	0.5	0.4
4	0.5	0.3	0.6	0.3
5	0.4	0.2	0.5	0.4
6	0.5	0.3	0.6	0.6
7	0.4	0.3	0.6	0.3
8	0.4	0.4	0.7	0.4
9	0.5	0.3	0.7	0.3
10	0.4	0.3	0.5	0.3
Selatan				
1	0.4	0.2	0.6	0.3
2	0.6	0.3	0.7	0.6
3	0.4	0.4	0.5	0.3
4	0.4	0.3	0.6	0.4
5	0.6	0.2	0.7	0.3
6	0.3	0.3	0.5	0.5
7	0.4	0.4	0.6	0.3
8	0.5	0.3	0.7	0.4
9	0.4	0.2	0.6	0.3
10	0.5	0.3	0.5	0.4
Barat				
1	0.3	0.3	0.6	0.3
2	0.4	0.2	0.7	0.4
3	0.4	0.4	0.5	0.3
4	0.4	0.3	0.6	0.4
5	0.6	0.2	0.7	0.3
6	0.4	0.2	0.5	0.4
7	0.5	0.4	0.6	0.3
8	0.4	0.3	0.7	0.4
9	0.4	0.2	0.6	0.3
10	0.5	0.3	0.5	0.4

Lampiran 4 Survei Data Hambatan Samping

Lengan	Utara												
NO	Waktu	Sisi Sebelah Kiri						Sisi Sebelah Kanan					
		Pejalan Kaki		Kendaraan Berhenti		Kendaraan Keluar Masuk		Pejalan Kaki		Kendaraan Berhenti		Kendaraan Keluar Masuk	
		Orang	Bobot (0,5)	Kend	Bobot (1,0)	Kend	Bobot (0,7)	Orang	Bobot (0,5)	Kend	Bobot (1,0)	Kend	Bobot (0,7)
1	16.00-16.15	23	11.5	9	9	26	18.2	13	6.5	3	3	37	25.9
2	16.15-16.30	12	6	7	7	43	30.1	13	6.5	3	3	46	32.2
3	16.30-16.45	7	3.5	6	6	33	23.1	8	4	5	5	59	41.3
4	16.45-17.00	4	2	3	3	46	32.2	2	1	1	1	46	32.2
	Jumlah		23		25		103.6		18		12		131.6
Total =		313.2											
Kategori		Sedang											

Lengan	Timur												
NO	Waktu	sisi sebelah Kiri						sisi sebelah Kanan					
		Pejalan Kaki		Kendaraan Berhenti		Kendaraan Keluar Masuk		Pejalan Kaki		Kendaraan Berhenti		Kendaraan Keluar Masuk	
		Orang	Bobot (0,5)	Kend	Bobot (1,0)	Kend	Bobot (0,7)	Orang	Bobot (0,5)	Kend	Bobot (1,0)	Kend	Bobot (0,7)
1	16.00-16.15	9	4.5	12	12	4	2.8	2	1	9	9	1	0.7
2	16.15-16.30	4	2	17	17	0	0	5	2.5	5	5	1	0.7
3	16.30-16.45	7	3.5	13	13	3	2.1	3	1.5	3	3	2	1.4
4	16.45-17.00	4	2	9	9	3	2.1	5	2.5	7	7	1	0.7
	Jumlah		12		51		7		7.5		24		3.5
Total =		105											
Kategori		Rendah											

Lampiran 4 Survei Data Hambatan Samping

Lengan	Barat	sisi sebelah Kiri						sisi sebelah Kanan					
NO	Waktu	Pejalan Kaki		Kendaraan Berhenti		Kendaraan Keluar Masuk		Pejalan Kaki		Kendaraan Berhenti		Kendaraan Keluar Masuk	
		Orang	Bobot (0,5)	Kend	Bobot (1,0)	Kend	Bobot (0,7)	Orang	Bobot (0,5)	Kend	Bobot (1,0)	Kend	Bobot (0,7)
1	16.00-16.15	2	1	3	3	21	14.7	6	3	3	3	11	7.7
2	16.15-16.30	8	4	2	2	29	20.3	3	1.5	4	4	14	9.8
3	16.30-16.45	3	1.5	5	5	23	16.1	4	2	1	1	17	11.9
4	16.45-17.00	4	2	2	2	25	17.5	2	1	5	5	19	13.3
	Jumlah		8.5		12		68.6		7.5		13		42.7
Total =		152.3											
Kategori		Rendah											

Lengan	Selatan	sisi sebelah Kiri						sisi sebelah Kanan					
NO	Waktu	Pejalan Kaki		Kendaraan Berhenti		Kendaraan Keluar Masuk		Pejalan Kaki		Kendaraan Berhenti		Kendaraan Keluar Masuk	
		Orang	Bobot (0,5)	Kend	Bobot (1,0)	Kend	Bobot (0,7)	Orang	Bobot (0,5)	Kend	Bobot (1,0)	Kend	Bobot (0,7)
1	16.00-16.15	2	1	5	5	24	16.8	1	0.5	0	0	7	4.9
2	16.15-16.30	0	0	2	2	21	14.7	3	1.5	0	0	12	8.4
3	16.30-16.45	2	1	0	0	29	20.3	4	2	0	0	11	7.7
4	16.45-17.00	1	0.5	0	0	22	15.4	1	0.5	0	0	8	5.6
	Jumlah		2.5		7		67.2		4.5		0		26.6
Total =		107.8											
Kategori		Rendah											

Lampiran 5 Survei Data Kecepatan

FORMULIR SURVEI KECEPATAN						
Lokasi:	Simpang Tungkak					
Hari/Tanggal:	19 Januari 2026					
Lengan	SM		MP		KS	
	No.	Kecepatan (km/jam)	No.	Kecepatan (km/jam)	No.	Kecepatan (km/jam)
Utara	1	40	1	28	1	31
	2	33	2	52	2	29
	3	43	3	38	3	34
	4	35	4	45	4	26
	5	44	5	39	5	27
	6	42	6	38	6	27
	7	43	7	34	7	27
	8	39	8	34	8	29
	9	47	9	32	9	33
	10	53	10	32	10	34
Timur	11	31	11	55	11	23
	12	46	12	36	12	27
	13	46	13	32	13	26
	14	41	14	47	14	35
	15	49	15	38	15	29
	16	44	16	40	16	32
	17	47	17	38	17	30
	18	39	18	39	18	35
	19	44	19	39	19	37
	20	45	20	42	20	39
Selatan	21	34	21	36	21	29
	22	39	22	34	22	32
	23	40	23	38	23	31
	24	49	24	43	24	33
	25	41	25	39	25	33
	26	49	26	45	26	30
	27	43	27	43	27	32
	28	42	28	47	28	28
	29	48	29	42	29	29
	30	30	30	40	30	31
Barat	31	42	31	42	31	30
	32	48	32	38	32	31
	33	49	33	32	33	35
	34	46	34	36	34	37
	35	32	35	38	35	35
	36	46	36	35	36	31
	37	43	37	40	37	30
	38	42	38	42	38	33
	39	37	39	39	39	32
	40	36	40	43	40	30

Lampiran 6 Dokumentasi Survey

