

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA SIMPANG APILL TEGAL GENDU MENGGUNAKAN METODE PKJI 2023 DAN MODEL MIKROSIMULASI PTV VISSIM (*PERFORMANCE EVALUATION OF THE TEGAL GENDU APILL INTERSECTION USING PKJI 2023 METHOD AND THE PTV VISSIM MICROSIMULATION MODEL*)

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



**MUHAMMAD FADHIL IHSANUDIN
21511199**

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

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA SIMPANG APILL TEGAL GENDU MENGGUNAKAN METODE PKJI 2023 DAN MODEL MIKROSIMULASI PTV VISSIM (*PERFORMANCE EVALUATION OF THE TEGAL GENDU APILL INTERSECTION USING PKJI 2023 METHOD AND THE PTV VISSIM MICROSIMULATION MODEL*)

Disusun Oleh

Muhammad Fadhil Ihsanudin
21511199

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

Diuji pada tanggal 20 Januari 2026
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM,
ASEAN Eng.
NIK : 015110101

28/01/2026

Penguji I

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

Penguji II

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP.
NIK : 215111307

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil penjiplakan (plagiasi) dari karya orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali pada bagian-bagian yang secara tertulis telah dirujuk dan disebutkan sumbernya sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa Laporan Tugas Akhir ini mengandung unsur plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku di perguruan tinggi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya

Yogyakarta, 29 Januari 2026

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Fadhil Ihsanudin
(21511199)

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “Evaluasi Kinerja Simpang APILL Tegal Gendu Menggunakan Metode PKJI 2023 Dan Model Mikrosimulasi PTV VISSIM (*Performance Evaluation Of The Tegal Gendu Apill Intersection Using PKJI 2023 Method And The PTV VISSIM Microsimulation Model*)” ini dengan baik. Penyusunan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Terselesaikannya laporan penelitian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM, ASEAN Eng., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, koreksi, dan motivasi selama proses penyusunan laporan ini.
2. Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji I atas kritik dan saran yang sangat membantu dalam penyempurnaan penelitian ini.
3. Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP., selaku dosen penguji II atas kritik dan saran yang sangat membantu dalam penyempurnaan penelitian ini.
4. Ketua Program Studi Teknik Sipil dan seluruh dosen di lingkungan Program Studi Teknik Sipil, yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
5. Orang tua dan keluarga tercinta, Abi dan Ummi atas doa, dukungan, dan pengorbanan yang tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan studi hingga tahap ini.
6. Teman – teman terdekat, yang selalu memberikan semangat dan bantuan baik dalam proses penelitian maupun penulisan laporan.
7. Seluruh pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang

telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam kelancaran penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan menjadi kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang transportasi. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan berharap Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan atas segala upaya dan langkah kita.

Yogyakarta, 29 Januari 2026

Penulis,

Muhammad Fadhil Ihsanudin

(21511199)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kinerja Simpang dengan PKJI 2023	5
2.2 Pemodelan Simpang Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM	6
2.3 Perbandingan Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Simpang	12
3.1.1 Simpang Tak Bersinyal	12
3.1.2 Simpang Bersinyal (APILL)	12
3.2 Komponen Simpang Bersinyal	13
3.2.1 Geometri Simpang	14
3.2.2 Arus Jenuh (J)	14

3.2.3 Arus Jenuh Dasar (J0)	19
3.2.4 Lebar Pendekat Efektif	20
3.2.5 Rasio Arus Jenuh	21
3.2.6 Penentuan Waktu Sinyal	21
3.2.7 Volume Dan Arus Lalu Lintas	22
3.2.8 Kapasitas Simpang	23
3.2.9 Derajat Kejenuhan	24
3.2.10 Tundaan	25
3.2.11 Panjang Antrean	26
3.2.12 Tingkat Pelayanan	28
3.3 Koordinasi Simpang Bersinyal	28
3.3.1 <i>Offset</i> dan <i>Bandwidth</i>	29
3.4 Pemodelan Lalu Lintas dengan Perangkat Lunak PTV VISSIM	30
3.5 Kalibrasi dan Validasi Data	30
3.5.1 Metode Pendekatan GEH	31
3.5.2 Metode Pendekatan MAPE	32
BAB IV METODE PENELITIAN	34
4.1 Jenis Penelitian	34
4.2 Lokasi Penelitian	34
4.3 Data Penelitian	35
4.4.1 Waktu Pelaksanaan	37
4.4.2 Alat yang digunakan	38
4.5 Metode Analisis Data	38
4.6 Pemodelan Lalu Lintas Dengan Perangkat Lunak VISSIM	39
4.5 Bagan Alir Penelitian	51
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	53
5.1 Data Hasil Survei (Data Primer)	53
5.1.1 Data Geometri Simpang	53
5.1.2 Data Volume Lalu Lintas	54
5.1.3 Data Waktu Siklus	56
5.1.4 Data Kecepatan Kendaraan	57

5.1.5 Data Panjang Antrean	57
5.1.6 Data <i>Driving Behavior</i>	58
5.2 Data Sekunder	59
5.2.1 Jumlah Penduduk Kota Yogyakarta	59
5.2.2 Peta Lokasi Penelitian	59
5.3 Analisis Kinerja Simpang Tegal Gendu Berdasarkan PKJI 2023	59
5.3.1 Analisis Volume Lalu Lintas	60
5.3.2 Analisis Lebar Pendekat Efektif	63
5.3.3 Analisis Arus Jenuh	64
5.3.4 Waktu Siklus Eksisting	74
5.3.5 Waktu Hijau	74
5.3.6 Analisis Kapasitas Simpang	74
5.3.7 Analisis Derajat Kejenuhan	75
5.3.8 Analisis Jumlah Kendaraan Antrean	76
5.3.9 Analisis Rasio dan Jumlah Kendaraan Terhenti	79
5.3.10 Analisis Tundaan	81
5.3.11 Penentuan Tingkat Pelayanan	84
5.5 Kalibrasi dan Validasi Hasil Pemodelan PTV VISSIM	85
5.5.1 Hasil Pemodelan Sebelum Kalibrasi	85
5.5.2 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi	88
5.6 Alternatif Solusi	93
5.6.1 Alternatif 1	93
5.6.2 Alternatif 2	99
5.6.3 Alternatif 3	103
5.6.4 Alternatif 4	108
5.7 Pembahasan Simpang Tegal Gendu	115
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	124
6.1 Kesimpulan	124
6.2 Saran	125
DAFTAR PUSTAKA	127
LAMPIRAN	130

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang	9
Tabel 3. 1 Nilai Normal Waktu Antar Hijau	13
Tabel 3. 2 FHS sebagai fungsi dari tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan RKTB	15
Tabel 3. 3 Faktor koreksi untuk ukuran kota (FUK)	16
Tabel 3. 4 Waktu siklus (s) yang layak	22
Tabel 3. 5 Ekuivalensi Mobil Penumpang	23
Tabel 3. 6 Tabel Tingkat Pelayanan	28
Tabel 3. 7 Ketentuan Nilai <i>Error</i> Rumus Statistik <i>Geoffery E. Havers</i>	31
Tabel 3. 8 Kesimpulan Hasil Perhitungan Menggunakan Metode MAPE	33
Tabel 5. 1 Data Geometri Simpang Tegal Gendu	53
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Data Volume Lalu Lintas Simpang Tegal Gendu	55
Tabel 5. 3 Data Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu	57
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Data Rata-rata Kecepatan Kendaraan	57
Tabel 5. 5 Panjang Antrean Maksimum	58
Tabel 5. 6 Data Survei <i>Driving Behavior</i>	58
Tabel 5. 7 Rekap Analisis Volume Kendaraan Pada Jam Puncak	63
Tabel 5. 8 Kriteria Hambatan Samping	65
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Arus Jenuh	73
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (DJ)	76
Tabel 5. 11 Tabel Rekapitulasi Hasil Analisis Panjang Antrean	81
Tabel 5. 12 Tabel Rekapitulasi Analisis Tundaan Simpang Tegal Gendu	84
Tabel 5. 13 Hasil Pemodelan Uji GEH Sebelum Kalibrasi	87
Tabel 5. 14 Hasil Pemodelan Uji MAPE Sebelum Kalibrasi	88
Tabel 5. 15 Kalibrasi <i>Driving Behavior</i>	88
Tabel 5. 16 Hasil Pemodelan Uji GEH Setelah Kalibrasi Pada Parameter Volume Kendaraan	92
Tabel 5. 17 Hasil Pemodelan Uji MAPE Setelah Kalibrasi Pada Parameter	

Volume Kendaraan	92
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM	93
Tabel 5. 19 Penentuan <i>Trial</i> and <i>Error</i> Waktu Siklus Alternatif 1	94
Tabel 5. 20 Waktu Siklus Pada Alternatif Solusi 1	95
Tabel 5. 21 Waktu Siklus Pada Kondisi Eksisting	96
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Alternatif 1	97
Tabel 5. 23 Panjang Antrean Alternatif 1	98
Tabel 5. 24 Tundaan Alternatif 1	98
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Alternatif 2	101
Tabel 5. 26 Panjang Antrean Alternatif 2	102
Tabel 5. 27 Tundaan Alternatif 2	102
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Alternatif 3	106
Tabel 5. 29 Panjang Antrean Alternatif 3	107
Tabel 5. 30 Tundaan Alternatif 3	107
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Alternatif 4 Arah Utara	113
Tabel 5. 32 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Alternatif 4 Arah Selatan	113
Tabel 5. 33 Panjang Antrean Simpang Tegak Genduk Arah Utara	114
Tabel 5. 34 Panjang Antrean Simpang Tegak Genduk Arah Selatan	114
Tabel 5. 35 Tundaan Alternatif 4 Simpang Tegak Genduk Arah Utara	114
Tabel 5. 36 Tundaan Alternatif 4 Simpang Tegak Genduk Arah Selatan	115
Tabel 5. 37 Persentase Perbandingan Nilai Tundaan Simpang	121
Tabel 5. 38 Perbandingan Nilai Antar Tingkat Pelayanan	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kondisi Lalu Lintas di Lengan Utara Simpang Tegal Gendu	3
Gambar 3. 1 Faktor Koreksi Untuk Kelandaian (FG)	16
Gambar 3. 2 Faktor Koreksi Kendaraan Belok Kiri	17
Gambar 3. 3 Faktor Koreksi Pergerakan Kendaraan Belok Kiri	18
Gambar 3. 4 Faktor Koreksi Pergerakan Kendaraan Belok Kiri	19
Gambar 3. 5 Arus jenuh dasar untuk pendekat terlindung (Tipe P)	20
Gambar 3. 7 <i>Offset</i> dan <i>Bandwith</i> Dalam Diagram Koordinasi	29
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian	34
Gambar 4. 2 Denah Lokasi Penempatan <i>Surveyor</i>	37
Gambar 4. 3 <i>Input Background Image</i>	40
Gambar 4. 4 <i>Input Background Image</i>	40
Gambar 4. 5 <i>Image Background Scale</i>	41
Gambar 4. 6 <i>Network Setting</i>	42
Gambar 4. 7 <i>Network Setting</i>	42
Gambar 4. 8 Pengaturan <i>Link</i>	43
Gambar 4. 9 Pengaturan <i>Connector</i>	43
Gambar 4. 10 <i>Vehicle Input</i>	44
Gambar 4. 11 Pengaturan <i>Vehicle Composition</i> dan Input Kecepatan	45
Gambar 4. 12 <i>Vehicle Route</i>	45
Gambar 4. 13 Pengaturan <i>Conflict Area</i>	46
Gambar 4. 14 Pengaturan <i>Reduce Speed Area</i>	47
Gambar 4. 15 Pengaturan <i>Signal Head</i>	48
Gambar 4. 16 Pengaturan <i>Signal Controller</i>	48
Gambar 4. 17 Garis <i>Queue Counters</i>	49
Gambar 4. 18 <i>Data Collection Point</i>	50
Gambar 4. 19 <i>Simulatios Parameter</i>	50
Gambar 4. 20 Bagan Alir Penelitian	51
Gambar 5. 1 Geometri Simpang Tegal Gendu	54

Gambar 5. 2 Grafik Rekapitulasi Data Volume Lalu Lintas Simpang Tegal Gendu	56
Gambar 5. 3 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu	57
Gambar 5. 4 Distribusi Volume Jam Puncak Simpang Tegal Gendu	60
Gambar 5. 5 Hambatan Samping Lengan Pendekat Utara	66
Gambar 5. 6 Hambatan Samping Lengan Pendekat Timur	67
Gambar 5. 7 Hambatan Samping Lengan Pendekat Selatan	67
Gambar 5. 8 Hambatan Samping Lengan Pendekat Barat	68
Gambar 5. 9 Titik Kendaraan Parkir Di Tepi Jalan Pada Pendekat Utara	69
Gambar 5. 10 Titik Kendaraan Parkir Di Tepi Jalan Pada Pendekat Barat	70
Gambar 5. 11 Pemodelan <i>Driving Behavior</i> Sebelum Kalibrasi	89
Gambar 5. 12 Pemodelan <i>Driving Behavior</i> Setelah Kalibrasi	90
Gambar 5. 13 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu Alternatif 1	95
Gambar 5. 14 Jalur BKiJT Timur Alternatif 2	99
Gambar 5. 15 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu Alternatif 2	100
Gambar 5. 16 Geometri Lengan Utara Simpang Tegal Gendu Setelah Dilakukan Pelebaran	103
Gambar 5. 17 Geometri Lengan Selatan Simpang Tegal Gendu Setelah Dilakukan Pelebaran	104
Gambar 5. 18 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu Alternatif 3	105
Gambar 5. 19 Fase Apill Simpang Tegal Gendu Arah Utara	108
Gambar 5. 20 Fase APILL Simpang Tegal Gendu Koordinasi Arah Selatan	108
Gambar 5. 21 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu Arah Utara	109
Gambar 5. 22 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu Arah Selatan	109
Gambar 5. 23 Diagram Waktu Koordinasi Fase 1 Alternatif 4 Simpang Tegal Gendu	110
Gambar 5. 24 Diagram Perbandingan Nilai Antar Derajat Kejenuhan	117
Gambar 5. 25 Diagram Perbandingan Nilai Antar Panjang Antrean	118
Gambar 5. 26 Diagram Perbandingan Nilai Antar Tundaan	120

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas	131
Lampiran 2 Data Survei Panjang Antrean Hari Sabtu	155
Lampiran 2 Data Survei Panjang Antrean Hari Senin	159
Lampiran 3 Data Survei Kecepatan	163
Lampiran 4 Data Survei <i>Driving Behavior</i>	167
Lampiran 5 Dokumentasi Survei	168

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

APILL	= Alat pemberi isyarat lalu lintas
A _H	= Angka henti
B _{KA}	= Arus kendaraan belok kanan
B _{KI}	= Arus kendaraan belok kiri
B _{KIJT}	= Arus kendaraan belok kiri jalan terus
BRT	= <i>Bus rapid transit</i>
C	= Kapasitas
C ₀	= Kapasitas dasar
DIY	= Daerah Istimewa Yogyakarta
det	= Detik
D _J	= Derajat kejenuhan
EMP	= Ekuivalensi mobil penumpang
F _{BKA}	= Faktor koreksi belok kanan
F _{BKI}	= Faktor koreksi belok kiri
F _{HS}	= Faktor hambatan samping
F _{UK}	= Faktor ukuran kota
F _P	= Faktor Parkir
F _G	= Faktor kelandaian
F _{JS}	= Faktor jam sibuk
GEH	= <i>Geoffery E. Havers</i> (Validasi dengan persamaan GEH)
J	= Arus jenuh
J ₀	= Arus jenuh dasar
k	= Waktu jenuh
KAJI	= Komite ahli jalan Indonesia
kend	= Kendaraan
km	= Kilometer
KS	= Kendaraan sedang
KTb	= Kendaraan tak bermotor

L_{BKIT}	= Lebar belok kiri jalan terus
L_E	= Lebar efektif pendekat
L_K	= Lebar keluar
L_M	= Lebar masuk
LOS	= <i>Level of service</i>
m	= Meter
MAPE	= <i>Mean absolute percentage error</i>
MKJI	= Manual kapasitas jalan Indonesia
MP	= Mobil penumpang
N_{KH}	= Jumlah rata-rata kendaraan berhenti
N_q	= Jumlah rata-rata antrean kendaraan
N_{q1}	= Jumlah rata-rata antrean kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya
N_{q2}	= Jumlah rata-rata antrean kendaraan yang datang dan terhenti dalam selama fase merah
N_{qMAX}	= Jumlah antrean kendaraan maksimal
P_A	= Panjang antrean
P_B	= Porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat
PKJI 2023	= Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023
PTV VISSIM	= <i>Planning Transportasi Verker in Stadten Simulations Model</i>
q	= Arus lalu lintas
q_{JP}	= Arus lalu lintas jam perencanaan
$R_{A/S}$	= Rasio arus simpang APILL
R_{BKa}	= Rasio kendaraan belok kanan
R_{Bki}	= Rasio kendaraan belok kiri
$R_{q/J}$	= Rasio arus terhadap arus jenuh
s	= Waktu siklus
SM	= Sepeda motor
SMP	= Satuan mobil penumpang
T	= Tundaan

T_G	= Tundaan geometri
T_{LL}	= Tundaan lalu lintas
W_{AH}	= Waktu antar hijau
W_{HH}	= Waktu hijau hilang total
W_{hi}	= Waktu hijau pada fase i
WIB	= Waktu Indonesia bagian barat
W_K	= Waktu isyarat kuning
W_M	= Waktu isyarat merah semua
W_{MS}	= Waktu isyarat merah semua

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja lalu lintas Simpang Tegal Gendu, Kota Yogyakarta, yang merupakan simpang bersinyal empat lengan dengan volume lalu lintas tinggi, serta merumuskan alternatif penanganan guna meningkatkan kinerja simpang. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui tingkat pelayanan simpang berdasarkan parameter kinerja lalu lintas dan menilai efektivitas skenario perbaikan yang diusulkan.

Metode penelitian yang digunakan meliputi survei volume lalu lintas, geometri simpang, dan pengaturan sinyal lalu lintas. Analisis kinerja simpang dilakukan menggunakan pendekatan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, sedangkan pemodelan dan evaluasi skenario penanganan dilakukan melalui simulasi mikroskopik menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi derajat kejenuhan, tundaan, panjang antrean, dan tingkat pelayanan simpang.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja simpang pada kondisi eksisting berada pada Tingkat Pelayanan F dengan nilai derajat kejenuhan, tundaan, dan panjang antrean yang tinggi. Penerapan skenario pemisahan simpang empat menjadi dua simpang tiga menunjukkan perbaikan kinerja yang ditandai dengan penurunan nilai tundaan dan panjang antrean pada beberapa lengan simpang. Berdasarkan hasil tersebut, skenario pemisahan simpang dinilai efektif sebagai alternatif penanganan untuk meningkatkan kinerja lalu lintas di Simpang Tegal Gendu.

Kata kunci : kinerja simpang, PKJI 2023, PTV VISSIM, simpang bersinyal, tundaan.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the traffic performance of the Tegal Gendu Intersection in Yogyakarta City, a four-arm signalized intersection with high traffic volume, and to formulate alternative management strategies to improve intersection performance. The evaluation was conducted to determine the intersection's level of service based on traffic performance parameters and to assess the effectiveness of proposed improvement scenarios.

The research methods used included surveys of traffic volume, intersection geometry, and traffic signal arrangements. Intersection performance analysis was conducted using the 2023 Indonesian Road Capacity Guidelines (PKJI) approach, while modeling and evaluation of the management scenarios were conducted through microscopic simulations using PTV VISSIM software. Performance parameters analyzed included saturation level, delays, queue lengths, and intersection service level.

The analysis results indicate that the intersection's performance under existing conditions is at Level F with high saturation levels, delays, and queue lengths. Implementing a scenario of splitting the four-arm intersection into two three-arm intersections demonstrated performance improvements, indicated by reduced delays and queue lengths at several intersection arms. Based on these results, the intersection separation scenario is considered effective as an alternative handling to improve traffic performance at the Tegal Gendu Intersection.

Keywords: *delay,, intersection performance, PKJI 2023, PTV VISSIM, signalized intersection.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Yogyakarta merupakan salah satu pusat kegiatan utama di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan karakteristik wilayah yang relatif kecil namun memiliki intensitas pergerakan yang sangat tinggi. Berdasarkan data kependudukan semester I tahun 2025, jumlah penduduk Kota Yogyakarta tercatat sekitar 415.771 jiwa, lebih sedikit dibandingkan Kabupaten Bantul yang mencapai sekitar 982.327 jiwa maupun Kabupaten Sleman yang jumlah penduduknya juga lebih besar dari Kota Yogyakarta (Kementrian Dalam Negeri, 2025). Meskipun demikian, Kota Yogyakarta memiliki tingkat kepadatan penduduk yang jauh lebih tinggi karena luas wilayahnya yang terbatas, sehingga aktivitas penduduk dan pergerakan lalu lintas terkonsentrasi pada jaringan jalan yang relatif pendek. Kementrian Dalam Negri (2019) dalam Permendagri Nomor 72 Tahun 2019 menyatakan bahwa luas kota Yogyakarta hanya 1,04 % dari luas wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY).

Dari sisi transportasi, kondisi ini diperkuat oleh jumlah kendaraan bermotor yang terdaftar di Kota Yogyakarta yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Sampai saat ini berdasarkan data yang diambil dari *Electronic Registration and Identification* (ERI) Korps Lalu Lintas Polri (Korlantas Polri), jumlah kendaraan bermotor di Kota Yogyakarta, DI Yogyakarta mencapai 716,76 ribu unit pada Mei 2025, diantaranya adalah jumlah sepeda motor sebanyak 595,84 ribu unit, jumlah mobil penumpang sebanyak 104,63 ribu unit, mobil bermuatan 14,81 ribu unit, bus 1.131 unit, dan kendaraan khusus (ransus) 324 unit. Dari data tersebut diketahui jumlah kendaraan yang terbesar ketiga setelah Kabupaten Bantul membuat Kota Yogyakarta mempunyai volume lalu lintas yang cukup tinggi. Jumlah ini tidak terpaut jauh dari jumlah kendaraan di Kabupaten Bantul yang juga tinggi, padahal secara luas wilayah Kabupaten Bantul jauh lebih besar dibanding Kota Yogyakarta, sehingga beban lalu lintas di Kota Yogyakarta menjadi relatif lebih padat karena

ruang jalan yang tersedia lebih terbatas.

Dalam konteks jaringan jalan, Simpang adalah bagian penting dari sistem jaringan jalan yang sangat memengaruhi kelancaran dan keselamatan arus lalu lintas. Jumlah kendaraan yang banyak pasti berpengaruh pada kondisi arus lalu lintas dan permasalahan lalu lintas di simpang seringkali menyebabkan kemacetan, waktu tunda yang lebih lama, dan konflik antar kendaraan. Simpang Tegal Gendu di Kelurahan Prenggan, Kemantren Kotagede, Kota Yogyakarta, adalah salah satu simpang yang menunjukkan tanda-tanda masalah tersebut.

Simpang Tegal Gendu merupakan simpang empat bersinyal yang menghubungkan Jalan Pramuka (utara), Jalan Imogiri Timur (selatan), Jalan Tegalturi (barat), dan Jalan Tegal Gendu (timur). Simpang ini berada di wilayah administrasi Kota Yogyakarta yang berbatasan langsung dengan Kabupaten Bantul, sehingga berfungsi sebagai salah satu jalur utama pergerakan kendaraan dari dan menuju Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul.

Berdasarkan pengamatan langsung di lapangan yang dilakukan pada tanggal 24 Juni 2025, ditemukan adanya panjang antrean kendaraan yang tinggi pada lengan utara (Jl. Pramuka) Simpang Tegal Gendu yang menunjukkan bahwa kapasitas lengan simpang tidak mampu menampung volume lalu lintas. Kondisi serupa juga ditemukan pada penelitian terdahulu di Simpang APILL Giwangan Ring Road Selatan, Bantul, yang berada pada koridor pergerakan yang sama.

Arrabby (2016) menunjukkan bahwa tingginya volume lalu lintas yang tidak sebanding dengan kapasitas simpang menyebabkan nilai tundaan rata-rata sebesar 499,42 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan F pada kondisi eksisting. Penelitian tersebut juga menegaskan bahwa karakteristik geometrik simpang, volume lalu lintas tinggi, serta pengaturan sinyal yang kurang optimal berkontribusi signifikan terhadap rendahnya kinerja simpang.

Berdasarkan kesamaan fungsi jaringan jalan dan karakteristik lalu lintas tersebut, Simpang Tegal Gendu berpotensi mengalami permasalahan kinerja yang serupa. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kinerja simpang untuk mengetahui tingkat pelayanan eksisting serta merumuskan alternatif penanganan yang tepat guna meningkatkan kinerja Simpang Tegal Gendu.

Penilaian kinerja simpang bersinyal dalam penelitian ini mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 sebagai standar nasional yang digunakan dalam evaluasi kapasitas dan tingkat pelayanan. Pedoman ini disusun dengan mempertimbangkan kondisi lalu lintas perkotaan di Indonesia, sehingga menjadi acuan utama dalam analisis kinerja simpang bersinyal. Untuk mendukung analisis tersebut, digunakan perangkat lunak PTV VISSIM sebagai alat bantu simulasi mikroskopik. PTV VISSIM dipilih dalam penelitian ini karena memiliki kemampuan simulasi mikroskopik yang mampu merepresentasikan perilaku individual kendaraan secara rinci pada simpang bersinyal. Oleh karena itu, simulasi mikroskopik menggunakan PTV VISSIM digunakan sebagai metode untuk melengkapi analisis kinerja simpang berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023.



Gambar 1. 1 Kondisi Lalu Lintas di Lengan Utara Simpang Tegal Gendu

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kinerja Simpang Tegal Gendu pada kondisi eksisting?
2. Bagaimana pengaruh geometri pendekat terhadap operasional simpang, terutama dalam kaitannya dengan tingginya volume kendaraan yang melewati simpang?

3. Rekomendasi alternatif apa saja yang dapat diajukan untuk meningkatkan efisiensi kinerja dari Simpang Tegal Gendu?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengevaluasi kinerja Simpang Tegal Gendu eksisting menggunakan PKJI 2023.
2. Pemodelan mikrosimulasi lalu lintas menggunakan PTV VISSIM.
3. Mengidentifikasi penyebab antrean panjang dan tundaan pada Simpang Tegal Gendu.
4. Menyusun solusi alternatif perbaikan dalam bentuk rekomendasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Agar penelitian ini memiliki kontribusi yang jelas, baik secara akademis maupun praktis, manfaat penelitian dirumuskan sebagai berikut.

1. Praktis: Menyediakan data dan rekomendasi kepada instansi terkait untuk perbaikan manajemen lalu lintas, khususnya pada Simpang Tegal Gendu.
2. Akademis: Menambah ilmu pengetahuan mengenai transportasi bidang lalu lintas dan dapat digunakan sebagai referensi bagi penelitian lanjutan di bidang transportasi.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Objek penelitian dibatasi pada Simpang Tegal Gendu.
2. Data lapangan dikumpulkan melalui survei volume kendaraan, geometri simpang, panjang antrean, waktu sinyal, *driving behavior*, dan hambatan samping di tiap lengan.
3. Evaluasi kinerja simpang APILL menggunakan metode PKJI 2023 dan pemodelan mikrosimulasi menggunakan PTV VISSIM.
4. Pengaruh kebijakan atau perubahan infrastruktur yang belum terealisasi tidak dimasukkan dalam penelitian ini.
5. Metode validasi hanya dibatasi pada pendekatan uji GEH dan uji MAPE.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kinerja Simpang dengan PKJI 2023

Penelitian terdahulu oleh Hidayati dkk. (2021) mengevaluasi simpang bersinyal di kawasan Universitas Muhammadiyah Surakarta. Simpang ini dikategorikan sebagai simpang tiga dari sisi bentuk serta pengaturan lampu lalu lintasnya. Akan tetapi, karena pada area simpang tersebut ada pintu gerbang menuju area perkantoran, maka langkah yang diambil adalah simpang di analisis sebagai simpang empat. Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh melalui metode MKJI 1997, dapat disimpulkan simpang Universitas Muhammadiyah Surakarta mempunyai nilai derajat kejenuhan melebihi standar yaitu 0,85, yang artinya simpang dianggap tidak layak lagi. Berdasarkan hasil tersebut, maka simpang perlu perbaikan, diantaranya melalui pengaturan ulang fase dan waktu sinyal, dan juga memperbaiki geometrik kondisi lingkungan sekitarnya.

Dalam mengevaluasi Simpang Sentul, Mahmudah dkk. (2021) menggunakan metode kuantitatif dengan parameter tundaan, panjang antrean, biaya kemacetan, dan tingkat pelayanan. Studi tersebut menunjukkan bahwa asumsi simpang empat standar tidak sepenuhnya akurat untuk diterapkan pada simpang dengan geometri tidak simetris. Hal ini terbukti dari adanya perbedaan yang besar antara hasil perhitungan manual dengan data simulasi serta survei lapangan, terutama pada parameter antrean dan waktu tunda.

Menurut Rahmayuda dkk. (2023), Simpang Jukteng Wetan merupakan salah satu titik dengan tingkat keterlambatan tertinggi di Yogyakarta. Melalui evaluasi berbasis data lapangan dan pendekatan MKJI 1997, ditemukan bahwa derajat kejenuhan pada seluruh lengan pendekat simpang telah melampaui angka 1,0, yaitu: lengan Utara (1,62), lengan Timur (1,59), lengan Selatan (1,50), dan lengan Barat (1,39). Guna meningkatkan kinerja simpang yang berada pada level F ini, penelitian tersebut mengusulkan alternatif perbaikan melalui pemodelan simulasi VISSIM dan manajemen lalu lintas yang sistematis.

Yulianto, dkk (2024) melakukan analisis kinerja simpang Jl.Kh.Wahab Chasbulloh – Jl.Garuda di kabupaten Jombang. Simpang ini mempunyai masalah seperti kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi karena adanya pertokoan, tempat makan, SPBU, akses tol dan sarana pendidikan sehingga kawasan tersebut termasuk dalam tipe lingkungan komersial. Pada persimpangan ini juga memiliki masalah pada *traffic light* yang sudah terpasang namun di nonaktifkan kembali karena menyebabkan kemacetan yang lebih panjang. Analisis dilakukan dengan mengumpulkan data secara langsung melalui survei lalu lintas yang berisi informasi berupa volume lalu lintas serta data geometri simpangnya. Setelah data dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 (PKJI 2023). Hasil dari perhitungan kinerja simpang tiga didapatkan nilai derajat kejenuhan 0,98 dengan peluang antrian 39 – 77 % dan tundaan 18 detik/smp sehingga di dapatkan tingkat pelayanan simpang C dengan kondisi arus lalu lintas sedang, dari output yang dihasilkan dapat diketahui bahwa simpang Jl.Kh.Wahab Chasbulloh – Jl.Garuda tidak layak karena Derajat Kejenuhan (DJ) $\geq 0,85$.

Evaluasi yang dilakukan oleh Ramzy, dkk (2025) pada Simpang Dieng, Malang, menunjukkan bahwa kondisi simpang saat ini sudah tidak layak. Mengacu pada PKJI 2023, peneliti merumuskan alternatif solusi untuk mengantisipasi pertumbuhan kendaraan dalam jangka waktu lima tahun. Ditemukan bahwa peningkatan signifikan terjadi pada dua skenario utama: alternatif ketiga (perubahan menjadi 3 fase dan larangan belok kanan di pendekat tertentu) yang menghasilkan tingkat pelayanan C, serta alternatif keempat (perubahan menjadi 2 fase dengan larangan belok kanan di semua pendekat) yang memberikan tingkat pelayanan B.

2.2 Pemodelan Simpang Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM

Atmajaya dkk. (2023) mengkaji kinerja Simpang Tugu Wisnu di Kota Surakarta yang memiliki hambatan geometris berupa tugu di tengah simpang, yang memaksa kendaraan melakukan pergerakan memutar lebih lama. Pendekatan yang digunakan menggunakan pedoman PKJI 2023 dan simulasi PTV VISSIM,

ditemukan bahwa kondisi eksisting simpang sangat jenuh dengan nilai DS mencapai 2,27. Hasil studi menunjukkan bahwa optimasi kinerja paling efektif dicapai melalui pengaturan empat fase dengan urutan berlawanan arah jarum jam. Pola ini terbukti mampu mengeliminasi konflik lalu lintas yang sebelumnya muncul pada pengaturan searah jarum jam, sehingga arus kendaraan menjadi lebih teratur.

Ado (2024) melakukan analisis kinerja pada simpang bersinyal Proliman, Prambanan di kabupaten Sleman. Simpang Proliman Prambanan ini adalah simpang yang sering mengalami dampak lalu lintas karena laju pertumbuhan volume lalu lintas yang melebihi kapasitas jalan sehingga dapat mempengaruhi kinerja simpang dan juga tingkat pelayanannya. Pengumpulan data yang didapatkan di lapangan seperti, volume kendaraan, kecepatan kendaraan, waktu siklus kemudian dimasukkan kedalam *Software* PTV VISSIM. Hasil pada kondisi eksisting tingkat pelayanan pada simpang Proliman Prambanan masih D (Kurang) dengan panjang antrian rata-rata adalah 141,11 m, dan berdasarkan hasil perubahan waktu siklus terhadap kondisi lima tahun mendatang, tingkat pelayanan rata-rata B (Baik) dengan panjang antrian 47,18 m. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa waktu APILL atau perubahan waktu siklus dapat mempengaruhi atau meningkatkan tingkat pelayanan pada simpang Proliman Prambanan.

Jalus dkk. (2024) meneliti simpang bersinyal PGRI II Sonosewu, simpang PGRI II Sonosewu merupakan simpang yang terletak di kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kabupaten Bantul merupakan salah satu Kabupaten di Yogyakarta dengan persimpangan yang memiliki arus lalu lintas cukup padat. Pada jam sibuk persimpangan ini, sering terjadi kemacetan dan konflik antara pengendara. Beberapa pengendara juga tidak tertib, yang dapat menyebabkan masalah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kinerja simpang PGRI II Sonosewu, Bantul, melalui pemodelan menggunakan *software* PTV VISSIM. Selain itu, penelitian ini juga mencari solusi dan alternatif untuk meningkatkan kinerja simpang. Hasil analisis yang dilakukan dengan pemodelan *software* PTV VISSIM pada kondisi eksisting menunjukkan panjang antrian rata-rata 23,98 m dan tundaan rata-rata 40,67 det/kend dengan tingkat pelayanan D (kurang). Dengan mengubah waktu siklus dan urutan intergreen pada *signal control* didalam *software*

PTV VISSIM, panjang antrian rata-rata yang didapatkan adalah 8,76 m dan tundaan rata-rata 21,40 det/kend dengan tingkat pelayanan C (sedang).

Penelitian oleh Handayani dan Prasetya (2025) mengevaluasi kinerja Simpang Demak Ijo, Yogyakarta, menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Studi ini menyoroti permasalahan pertumbuhan lalu lintas yang melampaui kapasitas pada jam sibuk. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi eksisting dengan waktu siklus 147 detik menghasilkan tundaan rata-rata sebesar 49,383 det/skr (Tingkat Pelayanan D). Namun, melalui skenario perbaikan untuk lima tahun mendatang dengan mereduksi waktu siklus menjadi 80 detik di seluruh lengan, tundaan rata-rata berhasil diturunkan menjadi 35,205 det/skr, sehingga meningkatkan kategori pelayanan menjadi C.

2.3 Perbandingan Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini memiliki keterkaitan dengan penelitian sebelumnya dalam hal penggunaan data hasil survei lapangan. Kesamaan lainnya juga ditemukan pada penggunaan metode yang dilakukan, di mana penelitian ini menggunakan PKJI 2023 dan perangkat lunak VISSIM untuk mengevaluasi kinerja simpang yang diteliti. Perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Penelitian Terdahulu				Penelitian Sekarang
Aspek	Mahmudah dkk. (2020)	Hidayati dkk. (2021)	Atmajaya dkk. (2023)	Ihsanudin (2026)
Judul	<i>Traffic Congestion Evaluation at the Unsymmetrical Signalized Intersection of Sentul, Yogyakarta</i>	Evaluasi Kinerja Simpang Tiga Bersinyal (Studi Kasus Simpang Universitas Muhammadiyah Surakarta)	Pengaruh Geometri Dan Konfigurasi Sinyal Terhadap Kinerja Simpang Dengan Pendekatan PKJI 2023 Dan PTV VISSIM (Studi Kasus: Simpang Tugu Wisnu Kota Surakarta)	Evaluasi Kinerja Simpang 4 APILL Tegal Gendu Menggunakan Metode PKJI 2023 Dan Model Mikrosimulasi PTV VISSIM
Tujuan Penelitian	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemacetan lalu lintas yang terjadi pada simpang tidak simetris terletak di daerah Sentul Yogyakarta menggunakan PKJI 2023.	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang tiga bersinyal simpang Universitas Muhammadiyah Surakarta, menggunakan metode MKJI 1997.	Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan kinerja simpang, mencari alternatif solusi, dan memperkirakan kinerja simpang alternatif solusi untuk waktu 5 tahun yang akan datang.	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang yang memiliki karakteristik geometri yang tidak lazim dengan menggunakan pendekatan PKJI 2023 dan model mikrosimulasi PTV VISSIM.
Lokasi	Jl. Sultan Agung Gunungketur, Yogyakarta	Simpang Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta	Simpang Tugu Wisnu, Surakarta	Simpang Tegal Gendu, Yogyakarta

Sumber : Mahmudah dkk. (2020), Hidayati dkk. (2021), dan Atmajaya dkk. (2023)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Penelitian Terdahulu				Penelitian Sekarang
Aspek	Rahmayuda dkk.. (2023)	Ado dkk. (2024)	Ramzy dkk. (2024)	Ihsanudin (2026)
Judul	Analisis Kinerja Dan Pemodelan Simpang Untuk Meningkatkan Kinerja Simpang Bersinyal Jukteng Wetan Yogyakarta	Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan <i>Software</i> PTV VISSIM (Studi Kasus : Simpang Proliman, Prambanan) Tamanmartani, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta	Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Di Kota Malang Menggunakan PKJI 2023 (Studi Kasus: Simpang Dieng Malang)	Evaluasi Kinerja Simpang 4 APILL Tegal Gendu Menggunakan Metode PKJI 2023 Dan Model Mikrosimulasi PTV VISSIM
Tujuan Penelitian	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan meningkatkan kinerja dari simpang bersinyal Jukteng Wetan menggunakan metode MKJI 1997 dan <i>software</i> VISSIM.	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal simpang Proliman Prambanan menggunakan <i>software</i> PTV VISSIM dan metode PKJI 2023.	Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan kinerja simpang Dieng Malang dengan menggunakan PKJI 2023 dan mendapatkan perkiraan alternatif solusi menggunakan metode analisis regresi tunggal.	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang yang memiliki karakteristik geometri yang tidak lazim dengan menggunakan pendekatan PKJI 2023 dan model mikrosimulasi PTV VISSIM.
Lokasi	Simpang Jukteng Wetan, Yogyakarta	Simpang Proliman, Prambanan	Simpang Dieng, Malang	Simpang Tegal Gendu, Yogyakarta

Sumber : Rahmayuda dkk. (2023), Ado dkk. (2024), dan Ramzy dkk. (2024)

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Penelitian Terdahulu				Penelitian Sekarang
Aspek	Jalus dkk. (2024)	Yulianto dkk. (2024)	Handayani & Prasetya (2025)	Ihsanudin (2026)
Judul	Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Software PTV VISSIM (Studi Kasus Jalan PGRI II Sonosewu, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta)	Analisis Kinerja Simpang Tiga Menggunakan Metode PKJI 2023 Pada Jl.Kh.Wahab Chasbulloh – Jl.Garuda Kabupaten Jombang	Simulasi Perbaikan Kinerja Simpang Bersinyal Demak Ijo Yogyakarta menggunakan PTV Vissim	Evaluasi Kinerja Simpang 4 APILL Tegal Gendu Menggunakan Metode PKJI 2023 Dan Model Mikrosimulasi PTV VISSIM
Tujuan Penelitian	Penelitian pada Simpang PGRI II Sonosewu Bantul bertujuan untuk mengetahui kinerja simpang dengan pemodelan menggunakan Software PTV VISSIM serta memberikan alternatif dan solusi untuk meningkatkan kinerja simpang.	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kejenuhan, peluang antrian,tingkat pelayanan dan tundaan dari simpang Jl.Kh.Wahab Chasbulloh – Jl.Garuda dengan metode PKJI 2023.sehingga dapat dinilai seberapa baik kinerjanya	Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki kinerja simpang bersinyal Demak Ijo Yogyakarta menggunakan simulasi <i>software</i> PTV VISSIM dan PKJI 2023.	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang yang memiliki karakteristik geometri yang tidak lazim dengan menggunakan pendekatan PKJI 2023 dan model mikrosimulasi PTV VISSIM.
Lokasi	Simpang PGRI II Sonosewu Bantul, Yogyakarta	Jl. KH. Wahab Chasbulloh – Jl. Garuda, Kabupaten Jombang	Simpang Demak Ijo, Yogyakarta	Simpang Tegal Gendu, Yogyakarta

Sumber : Jalus dkk. (2024), Prasetyo dkk. (2024), dan Handayani & Prasetya (2025)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Simpang

Beberapa ahli memberikan definisi berbeda tentang simpang. Riyanto (2008) menyebut simpang adalah tempat bertemunya dua atau lebih ruas jalan yang memungkinkan kendaraan berpindah arah, dan pada umumnya merupakan titik konflik antar arus lalu lintas. Sementara Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) mendefinisikan simpang sebagai area atau tempat di mana dua atau lebih ruas jalan bertemu, bersilangan, atau berpotongan, termasuk fasilitas jalan dan sisi jalan yang digunakan untuk pergerakan lalu lintas di area tersebut. Tujuan utama dalam simpang adalah untuk meminimalisir resiko konflik yang terjadi antar pengguna jalan, memberikan kenyamanan, serta memberikan kemudahan untuk pergerakan kendaraan.

Simpang dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis pengendalian lalu lintasnya, simpang dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu, simpang tak bersinyal dan simpang bersinyal (APILL).

3.1.1 Simpang Tak Bersinyal

Simpang ini merupakan simpang yang tidak mempunyai Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL). Umumnya simpang tak bersinyal banyak digunakan pada jalan lokal yang memiliki arus lalu lintas rendah dan minim konflik. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), simpang tak bersinyal perpotongan dua atau lebih ruas jalan di mana arus lalu lintas tidak diatur oleh lampu lalu lintas (sinyal). Sering kali digunakan pada simpang sekunder, lingkungan perumahan, atau kawasan dengan aktivitas lalu lintas lokal.

3.1.2 Simpang Bersinyal (APILL)

Simpang bersinyal menggunakan lampu lalu lintas untuk mengatur giliran

pergerakan kendaraan dari setiap jalur pendekat. Jenis simpang ini umumnya digunakan di kawasan perkotaan padat, dengan tujuan mengurangi konflik dan mengatur arus kendaraan secara sistematis. Namun demikian, jika pengaturan siklus waktunya tidak optimal, simpang bersinyal (APILL) justru dapat menimbulkan tundaan dan antrean yang panjang.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), tujuan APILL yaitu menjaga kapasitas simpang pada jam puncak tetap terpenuhi dan meminimalisir insiden tabrakan kendaraan-kendaraan yang berlawanan arah.

Pada APILL, ada tiga warna isyarat: hijau untuk menunjukkan bahwa waktu untuk arus bergerak telah habis, kuning untuk menunjukkan bahwa arus fase selanjutnya tidak akan terhalang oleh arus fase sebelumnya di titik konflik, dan merah semuanya untuk menunjukkan bahwa arus fase selanjutnya tidak akan terhalang oleh arus fase sebelumnya. Berikut merupakan Tabel 3.1 yang menunjukkan nilai normal waktu antar hijau, atau durasi dari lampu kuning sampai berakhirnya merah.

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)

3.2 Komponen Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal adalah simpang yang dilengkapi dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) yang mengatur pergerakan kendaraan di setiap jalur pendekat. Tujuan utama dari simpang bersinyal adalah untuk mengurangi konflik arus lalu lintas, meningkatkan keselamatan pengguna jalan, dan memperbaiki efisiensi pergerakan kendaraan di titik pertemuan tersebut.

Simpang bersinyal harus dirancang dan dievaluasi dengan

mempertimbangkan bagaimana mereka (pengguna jalan) berinteraksi satu sama lain agar berfungsi secara optimal. Berikut merupakan komponen-komponen dari simpang bersinyal.

3.2.1 Geometri Simpang

Geometri simpang bersinyal mencakup ukuran dan bentuk fisik simpang, dan mencakup hal-hal berikut:

- 1) Jumlah dan lebar lajur untuk setiap pendekat
- 2) Sudut pertemuan antara ruas jalan
- 3) Radius belokan
- 4) Posisi median dan lajur khusus (belok kiri atau kanan)

Pada kondisi lapangan, tidak semua simpang sesuai dengan bentuk standar yang dicakup dalam PKJI 2023. Simpang dengan geometri *T offset* merupakan salah satu simpang yang dimiliki oleh Simpang Tegal Gendu.

3.2.2 Arus Jenuh (J)

Arus jenuh simpang adalah jumlah kendaraan yang dapat melewati persimpangan jalan dalam satu jam, selama lampu hijau terus menyala. Arus Jenuh adalah kapasitas maksimum jumlah kendaraan yang bisa ditampung simpang sebelum terjadi antrean yang signifikan. Arus jenuh untuk simpang bersinyal (APILL) dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \quad (3.1)$$

Keterangan :

- J_0 = Arus jenuh dasar
 F_{HS} = Faktor koreksi untuk hambatan samping
 F_{UK} = Faktor koreksi untuk ukuran kota
 F_G = Faktor koreksi untuk kelandaian
 F_P = Faktor koreksi penyesuaian parkir
 F_{BK_i} = Faktor koreksi pergerakan kendaraan belok kiri

FBK_a = Faktor koreksi pergerakan kendaraan belok kanan

a. Faktor Koreksi untuk Hambatan Samping (FHS)

Berdasarkan panduan dari Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), faktor koreksi hambatan samping merupakan variabel yang digunakan untuk menyesuaikan nilai kapasitas dasar jalan. Penyesuaian ini didasarkan pada karakteristik lingkungan jalan, tingkat hambatan samping yang terjadi, serta pengaruh dari arus kendaraan tidak bermotor. Besaran nilai faktor koreksi tersebut secara terperinci disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 FHS sebagai fungsi dari tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan RKTb

Tipe Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	FHS untuk Nilai RKTb					
		0,00	0,05	0,1	0,15	0,2	$\geq 0,25$
Komersial	Tinggi	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	Sedang	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
	Rendah	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
Pemukiman	Tinggi	0,96	0,91	0,86	0,82	0,77	0,72
	Sedang	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73
	Rendah	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74
Akses Terbatas	Tinggi/Sedang/Rendah	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

b. Faktor koreksi untuk ukuran kota (FUK)

Nilai faktor penyesuaian ukuran kota (FUK) merepresentasikan pengaruh kepadatan penduduk terhadap kemampuan pelayanan simpang. Faktor ini dihitung berdasarkan total populasi kota (juta penduduk) dan digunakan sebagai pengali dalam perhitungan kapasitas nyata. Daftar nilai koreksi (FUK) untuk berbagai kategori ukuran kota disajikan secara mendalam pada Tabel 3.3.

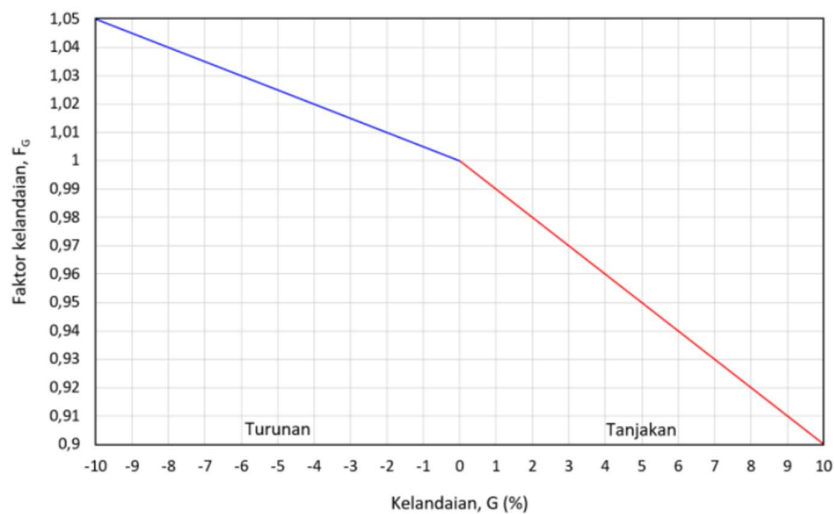
Tabel 3. 3 Faktor koreksi untuk ukuran kota (FUK)

Jumlah Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Koreksi Ukuran Kota (FUK)
>3,0	1,05
1-3	1
0,5-1,0	0,94
0,1-0,5	0,88
<0,1	0,82

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

c. Faktor koreksi kelandaian (FG)

Faktor koreksi kelandaian, juga dikenal sebagai faktor gradien, merupakan faktor koreksi kelandaian memanjang pendekat. Pendekatan persen menunjukkan tingkat kelandaian. Nilai persennya positif jika kondisinya mengalami tanjakan, dan nilainya negatif jika kondisinya mengalami turunan. Untuk menghitung nilai faktor kelandaian dapat dilihat pada grafik pada Gambar 3.1.

**Gambar 3. 1 Faktor Koreksi Untuk Kelandaian (FG)**

(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

d. Faktor koreksi penyesuaian parkir (FP)

Faktor koreksi penyesuaian parkir (FP) adalah faktor koreksi yang dihitung

berdasarkan jarak antara garis henti dan kendaraan yang diparkir pertama di pendekat. Faktor penyesuaian parkir termasuk jarak garis henti ke kendaraan yang diparkir pertama, waktu hijau untuk pendekat, dan lebar pendekat. Persamaan 3.2 dapat digunakan untuk menghitung faktor penyesuaian parkir.

$$FP = \frac{\left(\frac{LP}{3} + \frac{(L-2) \times \left(\frac{LP}{3} - WH \right)}{L} \right)}{WH} \quad (3.2)$$

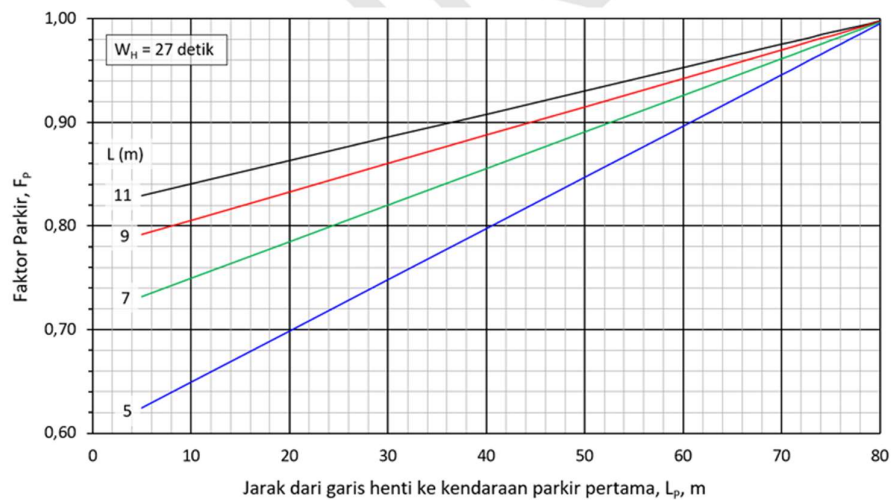
Keterangan :

LP = jarak pertama garis henti terhadap kendaraan yang parkir di lajur belok kiri dalam satuan meter,

L = lebar pendekat dalam satuan meter, dan

WH = waktu hijau pendekat yang diamati (biasanya nilainya 27 detik).

Perhitungan faktor koreksi untuk pengaruh parkir juga bisa ditentukan melalui grafik pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Faktor Koreksi Kendaraan Belok Kiri
(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

d. Faktor Koreksi Belok Kiri (FBKi)

Faktor koreksi kendaraan belok kiri (FBKi) adalah faktor koreksi yang ditentukan berdasarkan besarnya rasio kendaraan kiri dalam suatu pendekat. Jika tipe pendekat P tidak ada belok kiri jalan terus (BKJT) dan $LE = LM$, maka perhitungan faktor koreksi pergerakan kendaraan belok kiri dapat digunakan. Perhitungan untuk faktor koreksi pergerakan kendaraan belok kiri dapat dilihat pada Persamaan 3.3.

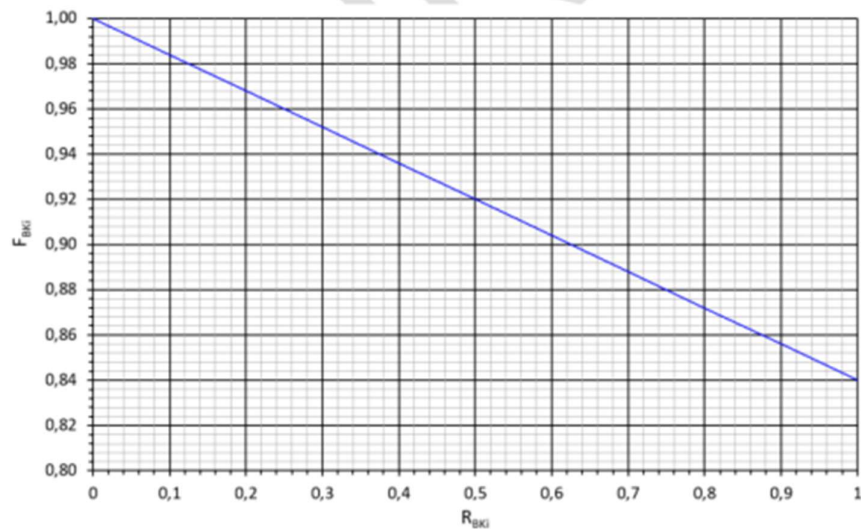
$$FBKi = 1,0 - RBKi \times 0,16 \quad (3.3)$$

Keterangan :

FBKi = Faktor belok kiri

RBKi = Rasio belok kiri

Perhitungan faktor koreksi kendaraan belok kiri juga bisa ditentukan melalui grafik pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Faktor Koreksi Pergerakan Kendaraan Belok Kiri
(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

e. Faktor koreksi kendaraan belok kanan (FBK_a)

Nilai rasio kendaraan belok kanan (RBK_a) dalam pendekatan menentukan faktor koreksi. Hanya dalam kondisi pendekatan tipe P, tidak ada median, tipe jalan dua arah, dan LE menggunakan nilai LM faktor ini maka faktor koreksi pergerakan kendaraan belok kanan (FBK_a) dapat digunakan. Perhitungan untuk faktor koreksi pergerakan kendaraan belok kanan dapat dilihat pada Persamaan 3.4.

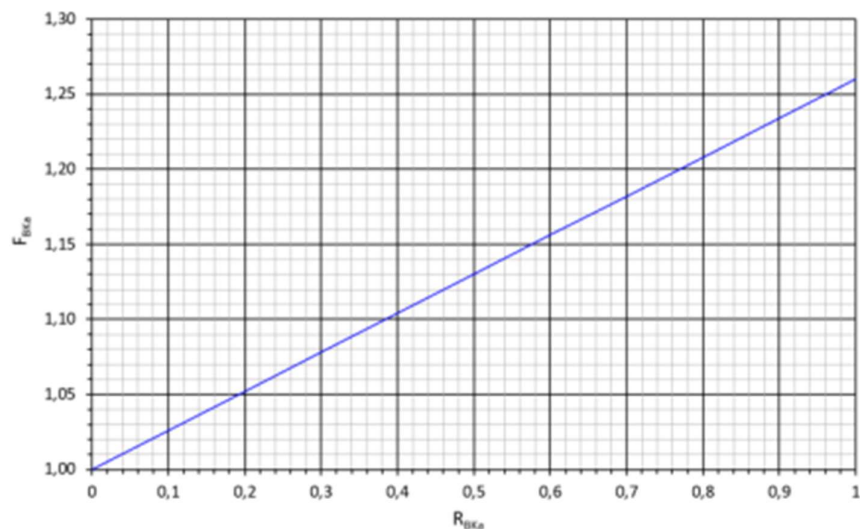
$$FBK_a = 1,0 - RBK_a \times 0,26 \quad (3.4)$$

Keterangan :

FBK_a = Faktor belok kanan

RBK_a = Rasio belok kanan

Perhitungan faktor koreksi pergerakan kendaraan belok kanan juga bisa ditentukan melalui grafik pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Faktor Koreksi Pergerakan Kendaraan Belok Kiri
(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.2.3 Arus Jenuh Dasar (J0)

Arus Jenuh Dasar adalah Nilai besar dari arus lalu lintas keberangkatan antrean

di dalam suatu pendekat pada kondisi ideal dan dinyatakan dalam satuan smp/jam. Nilai J_0 untuk pendekat yang terlindung dapat ditemukan dengan menggunakan Persamaan 3.5.

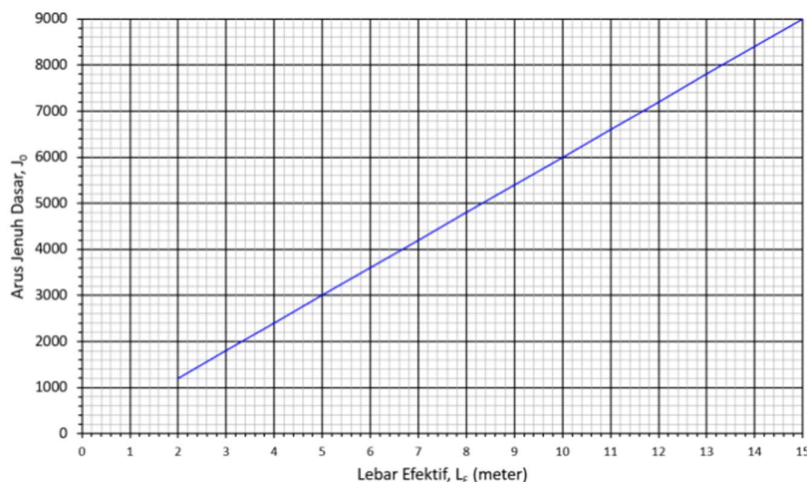
$$J_0 = 600 \times L_E \quad (3.5)$$

Keterangan :

J_0 = Arus Jenuh dasar (smp/jam)

L_E = Lebar efektif pendekat (m)

Perhitungan Arus Jenuh Dasar juga bisa ditentukan melalui grafik pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Arus jenuh dasar untuk pendekat terlindung (Tipe P)

(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.2.4 Lebar Pendekat Efektif

Lebar pendekat efektif adalah lebar pendekat simpang yaitu sebagai parameter dalam mengukur kinerja pada suatu pendekat yang dianalisis. Perhitungan analisis kinerja simpang sangat dipengaruhi oleh lebar pendekat efektif. Oleh karena itu, nilai dari lebar pendekat efektif dalam kinerja simpang harus diteliti. Terdapat 2 jenis lebar pendekat efektif yaitu lebar pendekat efektif dengan belok kiri jalan terus (BKJT) dan lebar pendekat efektif tanpa belok kiri jalan

terus (B_{KiJT}). Lebar pendekat dari belok kiri jalan terus dapat dihitung langsung sebagai lebar masuk (L_M) dari suatu pendekat, tetapi jika perhitungan nilai $L_{Keluar} < L_{Masuk} \times (1 - RB_{Ka} - RB_{KiJT})$ maka lebar pendekat efektif tersebut sama dengan lebar keluar (L_K), dan analisis dari penelitian ini hanya sebatas untuk arus lalu lintas lurus saja.

Pada pendekat tanpa pulau lalu lintas, arus belok kiri jalan terus ($q_{BK_{iJT}}$) dapat membentuk lajur sendiri atau bergabung dengan arus yang lurus tergantung pada ruang yang tersedia untuk kendaraan yang belok kiri. Apabila lebar belok kiri jalan terus (LB_{KiJT}) lebih dari 2 meter, arus belok kiri dapat membentuk lajur sendiri, dan nilai $L_M = L - LB_{KiJT}$.

3.2.5 Rasio Arus Jenuh

Rasio arus jenuh merupakan perbandingan antara volume lalu lintas yang melewati suatu titik pada jalan dengan kapasitas maksimum jalan tersebut. Di dalam persimpangan, nilai rasio ini menunjukkan seberapa padat lalu lintas dibandingkan dengan kemampuan jalan untuk menampungnya, Rasio arus jenuh $R_{q/J}$ dapat dihitung melalui Persamaan 3.6.

$$R_{q/J} = \frac{q}{J} \quad (3.6)$$

Keterangan :

$R_{q/J}$ = rasio arus terhadap arus jenuh

q = arus lalu lintas (smp/jam)

J = arus jenuh (smp/jam)

Sebelum menghitung arus jenuh ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu.

- Hanya ada arus kendaraan lurus dan arus kendaraan berbelok kanan jika B_{KiJT} tidak dimasukkan dalam perhitungan.
- Jika $L_E = L_K$, maka besar nilai q hanya ada arus lurus.

3.2.6 Penentuan Waktu Sinyal

Pengaturan durasi sinyal mencakup penetapan waktu siklus dan waktu hijau

(W_{HH}). Dalam sistem kendali waktu tetap (*fixed-time control*), penentuan waktu siklus awal dilakukan dengan mengadopsi metode *Webster* (1966) yang berorientasi pada minimalisasi tundaan total. Waktu siklus yang terlalu besar akan menyebabkan meningkatnya tundaan rata-rata. Waktu siklus (s) dapat diperhitungkan menggunakan Persamaan 3.7.

$$s = \frac{(1,5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \sum Rq / J \text{ kritis})} \quad (3.7)$$

Keterangan :

s = waktu siklus (detik)

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

Rq/J = rasio arus, yaitu arus dibagi arus jenuh, q/J

Setiap waktu siklus pada masing-masing persimpangan memiliki beberapa pengaturan fase yang berbeda-beda, Waktu siklus yang layak untuk setiap fase pengaturan pergerakan kendaraan akan berpengaruh pada kinerja pada persimpangan, berikut merupakan nilai Waktu siklus (s) yang layak untuk setiap fase pengaturan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

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)

3.2.7 Volume Dan Arus Lalu Lintas

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang melintasi setiap pendekat simpang dalam satuan waktu tertentu. Dalam analisis kinerja simpang bersinyal berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, volume lalu lintas dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang (SMP) untuk

merepresentasikan pengaruh masing-masing jenis kendaraan terhadap arus lalu lintas. Nilai arus lalu lintas (q) yang dinyatakan dalam satuan SMP/jam mencerminkan komposisi lalu lintas pada setiap pendekat simpang.

Mengacu pada ketentuan PKJI 2023 untuk jalan perkotaan, kendaraan bus besar dan truk besar dikelompokkan sebagai kendaraan sedang (KS) karena keberadaannya relatif kecil dalam jaringan jalan perkotaan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini klasifikasi kendaraan dibagi menjadi mobil penumpang (MP), kendaraan sedang (KS), dan sepeda motor (SM). Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) yang digunakan disesuaikan dengan tipe pendekat, yaitu pendekat terlindung dan pendekat terlawan, nilai EMP ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Ekuivalensi Mobil Penumpang

Jenis Kendaraan	EMP untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
MP	1,00	1,00
KS	1,30	1,30
SM	0,15	0,40

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

Untuk menghitung arus lalu lintas dapat menggunakan Persamaan 3.8.

$$Q = Q_{MP} + Q_{KS} \times EMP_{KS} + Q_{SM} \times EMP_{SM} \quad (3.8)$$

Keterangan :

Q	= Arus lalu lintas (smp/jam)
Q_{MP}	= Arus kendaraan mobil penumpang (kend/jam)
Q_{KS}	= Arus kendaraan sedang (kend/jam)
Q_{SM}	= Arus kendaraan sepeda motor (kend/jam)
EMP_{KS}	= EMP kendaraan sedang
EMP_{SM}	= EMP kendaraan motor

3.2.8 Kapasitas Simpang

Kapasitas suatu persimpangan adalah jumlah arus lalu lintas maksimum yang

dapat diakomodasi dalam satuan waktu. Kapasitas simpang diukur dalam satuan smp/jam. Kapasitas simpang dapat dihitung berdasarkan tiap pendekatan. Perhitungan kapasitas dapat dilakukan dengan menggunakan rumus yang ditemukan dalam Persamaan 3.9.

$$C = J \times \frac{WH}{s} \quad (3.9)$$

Keterangan :

C = kapasitas simpang APILL (smp/jam).

J = arus jenuh (smp/jam).

WH = total waktu hijau dalam satu siklus (detik).

s = waktu siklus (detik).

3.2.9 Derajat Kejenuhan

Derajat Kejenuhan (Dj) merupakan ukuran utama yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja simpang. Nilai Dj menunjukkan kualitas kinerja lalu lintas, untuk nilai Dj yang mendekati nol menunjukkan arus yang tidak jenuh, yang berarti kondisi arus yang lengang di mana kehadiran kendaraan lain tidak mempengaruhi kendaraan lain, sedangkan untuk nilai yang mendekati 1 (satu) menunjukkan kondisi arus pada kondisi kapasitas. Untuk nilai Dj tertentu, kecepatan arus dan kepadatan arus dapat bertahan selama satu jam. Dj dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10.

$$DJ = \frac{q}{c} \quad (3.10)$$

Keterangan:

DJ = derajat kejenuhan.

C = kapasitas segmen jalan, dalam smp/jam.

q = volume lalu lintas, dalam smp/jam, yang dalam analisis kapasitas terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu q eksisting hasil perhitungan lalu lintas dan qJP hasil prediksi atau hasil perancangan.

3.2.10 Tundaan

Tundaan merupakan waktu tempuh tambahan yang dialami kendaraan akibat berhenti atau melambat untuk melalui simpang. Tundaan pada suatu simpang APILL terjadi karena 2 hal, yaitu tundaan lalu lintas (TLL) dan tundaan geometri (TG). TLL adalah tundaan yang disebabkan karena interaksi antara kendaraan di dalam arus lalu lintas, sedangkan TG adalah perlambatan dan percepatan dari kendaraan yang terganggu ketika sedang berbelok pada suatu simpang. Tundaan rata-rata dapat digunakan untuk menunjukkan tingkat pelayanan untuk masing-masing pendekat dan simpang APILL secara keseluruhan.

Tundaan Lalu Lintas (TLLi) dan Tundaan Geometri (TGi) untuk suatu pendekat (i) dapat dicari menggunakan Persamaan 3.11 dan Persamaan 3.12.

$$T_{LLi} = s \times \frac{0,5 \times (1-RH)^2}{(1-RH \times DJ)} + \frac{Nq \times 3600}{C} \quad (3.11)$$

Keterangan :

RH = Rasio Hijau merupakan waktu hijau dibagi dengan waktu total siklus.

DJ = Derajat Kejenuhan.

Nq1 = Jumlah rata-rata antrean kendaraan pada awal isyarat lampu hijau smp.

C = Kapasitas simpang (smp/jam).

$$T_{Gi} = (1 - R_{KH}) \times (PB \times 6) + (R_{KH} \times 4) \quad (3.12)$$

Keterangan :

RKH = Rasio Kendaraan Terhenti (stop/smp)

PB = PB merupakan porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat

Setelah mendapatkan nilai TLLi dan TGi, selajutnya tundaan rata-rata (T) untuk suatu pendekat (i) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.13.

$$T_i = T_{LLi} + T_{Gi} \quad (3.13)$$

3.2.11 Panjang Antrean

Untuk menilai kinerja tingkat pelayanan suatu simpang APILL, apakah simpang sudah memiliki tingkat pelayanan yang baik atau malah memiliki tingkat pelayanan yang buruk, maka dapat diukur dengan 3 parameter salah satunya adalah panjang antrian (P_A).

Panjang antrean yaitu perhitungan jumlah kendaraan yang datang dan berhenti dalam antrian saat awal fase lampu merah sampai isyarat lampu hijau. Panjang antrian (P_A) dihitung dengan mengalikan (N_q), yaitu jumlah rata-rata antrian kendaraan (SMP) pada awal isyarat lampu hijau (N_q) dihitung sebagai jumlah kendaraan berhenti (SMP) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) ditambah jumlah kendaraan (SMP) yang datang dan berhenti dalam antrian selama fase merah (N_{q2}). Untuk mendapatkan N_q dapat dilihat pada persamaan 3.14, 3.15, dan 3.16.

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \quad (3.14)$$

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

$$\text{Jika } DJ > 0,5 \text{ maka } N_{q1} = 0,25 \times s \times \left\{ (DJ - 1) + \sqrt{(DJ - 1)^2 + \frac{8 \times (DJ - 0,5)}{s}} \right\} \quad (3.15)$$

$$N_{q2} = s \times \frac{(1 - RH)}{(1 - RH \times DJ)} \times \frac{q}{3600} \quad (3.16)$$

selanjutnya untuk mencari Panjang antrean (P_A), memasukkan nilai N_q yang merupakan jumlah rata-rata antrean selama isyarat lampu hijau berlangsung sampai isyarat merah, 20 m² yang merupakan luas area rata-rata untuk satu mobil penumpang (SMP), dibagi lebar masuk (LM), (P_A) bisa dilihat pada Persamaan 3.17.

$$P_A = N_q \times \frac{20}{LM} \quad (3.17)$$

Keterangan :

N_q = Jumlah rata-rata antrean kendaraan (smp)

20 = luas area rata-rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang (smp)

yaitu 20 m2.

LM = lebar pendekat (m).

Rasio Kendaraan Henti (R_{KH}) adalah rasio kendaraan pada pendekat yang harus berhenti karena isyarat merah sebelum melewati simpang APILL terhadap jumlah arus pada fase yang sama pada pendekat tersebut. R_{KH} dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.18.

$$R_{KH} = 0.9 \times \frac{Nq}{q \times s} \times 3600 \quad (3.18)$$

Keterangan :

Nq = jumlah rata-rata antrian kendaraan (SMP) pada awal isyarat hijau.

s = waktu siklus (detik)

q = arus lalu lintas dari pendekat yang ditinjau (smp/jam)

Jumlah berhenti rata-rata per kendaraan (termasuk berhenti berulang dalam antrian) sebelum melewati suatu Simpang APILL diketahui sebagai N_{KH} , yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.19.

$$N_{KH} = q \times R_{KH} \quad (3.19)$$

Angka henti pada seluruh simpang dihitung dengan membagi jumlah kendaraan yang terhenti pada tiap lengan di persimpangan dengan arus total simpang. Angka henti seluruh simpang APILL dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.20.

$$R_{KH \text{ Total}} = \frac{\sum N_{KH}}{q_{\text{total}}} \quad (3.20)$$

Keterangan :

$R_{KH \text{ Total}}$ = angka henti seluruh simpang APILL.

N_{KH} = jumlah kendaraan terhenti.

3.2.12 Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan merupakan parameter dalam mengevaluasi kualitas kinerja suatu persimpangan. Penentuan kategori kualitas pelayanan ini merujuk pada regulasi Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015, yang mengklasifikasikan efektivitas simpang berdasarkan nilai tundaan simpang. Rincian mengenai batasan nilai dan kriteria masing-masing tingkat pelayanan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Tabel Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan	Kriteria Tundaan (detik/smp)
A	Tundaan kurang dari 5 detik per kendaraan
B	Tundaan lebih dari 5 detik sampai 15 detik per kendaraan
C	Tundaan lebih dari 15 detik sampai 25 detik per kendaraan
D	Tundaan lebih dari 25 detik sampai 40 detik per kendaraan
E	Tundaan lebih dari 40 detik sampai 60 detik per kendaraan
F	Tundaan lebih dari 60 detik per kendaraan

(Sumber : Kementerian Perhubungan No. 96 Tahun 2015)

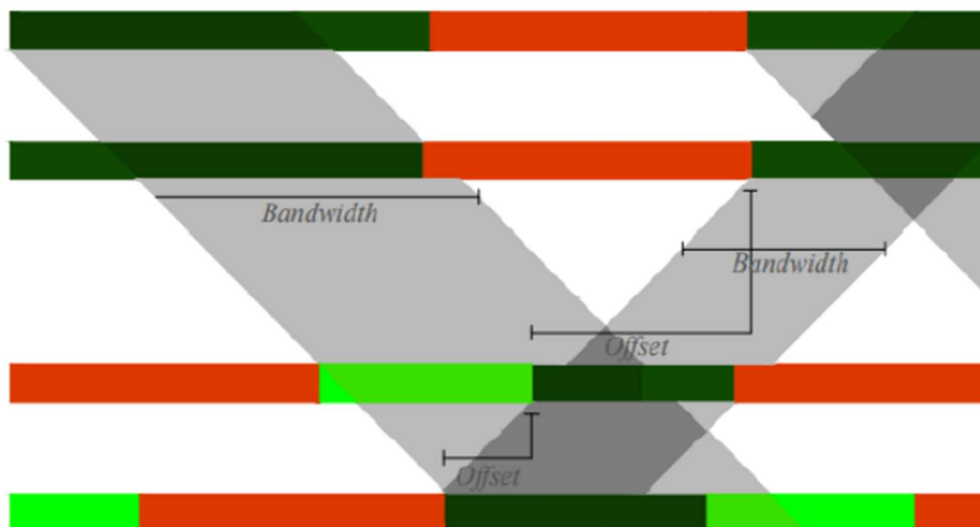
3.3 Koordinasi Simpang Bersinyal

Dalam sistem sinyal terkoordinasi, kelancaran perjalanan sangat bergantung pada sinkronisasi antar-simpang. Menurut Papacostas (2005), hal ini dicapai melalui penetapan *offset*, yaitu jeda waktu hijau antara dua simpang yang berurutan. Di sini, kecepatan kendaraan menjadi variabel kunci, pengemudi yang melaju terlalu cepat atau terlalu lambat akan keluar dari jalur koordinasi dan tertahan oleh lampu merah. Oleh karena itu, *offset* dirancang sedemikian rupa agar kendaraan yang bergerak pada kecepatan rencana tetap berada dalam rentang *bandwidth* (selisih waktu lintasan hijau pertama dan terakhir), sehingga meminimalisir tundaan di sepanjang jalur.

3.3.1 *Offset dan Bandwith*

Berdasarkan teori Papacostas (2005), *offset* didefinisikan sebagai selisih waktu dimulainya fase hijau antara satu persimpangan dengan persimpangan berikutnya dalam suatu sistem koordinasi. Sementara itu, *bandwidth* merujuk pada rentang waktu dalam lintasan hijau paralel yang memungkinkan sekelompok kendaraan (*platoon*) melintas secara terus-menerus tanpa hambatan sinyal merah dengan kecepatan tetap. Pengaturan *offset* yang sesuai dengan kecepatan rencana kendaraan diharapkan dapat menjaga pergerakan kelompok kendaraan (*platoon*) tetap berada dalam rentang *bandwidth*, sehingga kendaraan dapat melintasi simpang-simpang bersinyal secara berurutan tanpa mengalami tundaan yang signifikan.

Pada penelitian ini, konsep *offset* dan *bandwidth* digunakan sebagai dasar teoritis dalam menganalisis keterpaduan waktu sinyal antar simpang pada koridor studi. Konsep ini selanjutnya menjadi acuan dalam pembahasan evaluasi kinerja dan alternatif pengaturan sinyal pada pembahasan. Hubungan antara *offset* dan *bandwidth* dalam sistem koordinasi simpang dapat dilihat sebagai diagram pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3. 6 *Offset dan Bandwith* Dalam Diagram Koordinasi

3.4 Pemodelan Lalu Lintas dengan Perangkat Lunak PTV VISSIM

Kučera (2021) menyatakan bahwa VISSIM adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membantu menyimulasikan atau memodelkan operasi dari berbagai transportasi secara menyeluruh. Dengan melakukan permodelan dengan perangkat lunak VISSIM, dapat menciptakan kondisi untuk mengevaluasi berbagai skenario operasi sebelum diterapkan secara langsung, sehingga dapat memastikan tingkat akurasi dan realistis dalam setiap aspeknya.

3.5 Kalibrasi dan Validasi Data

Kalibrasi dan validasi merupakan proses untuk mengetahui simulasi sudah mendekati kondisi eksisting Simpang Tegol Gendu atau belum mendekati kondisi eksisting Simpang Tegol Gendu. Proses ini melibatkan data tentang perilaku berkendara atau perilaku pengemudi kemudian dapat disesuaikan dengan kalibrasi.

Dalam pemodelan mikrosimulasi lalu lintas, terdapat berbagai pendekatan yang dapat digunakan untuk proses kalibrasi dan validasi model, seperti *Root Mean Square Error* (RMSE), GEH (*Geoffrey E. Havers*), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), *Mean Absolute Error* (MAE), koefisien determinasi (R^2), serta pendekatan visual. Namun, Pada penelitian ini, metode GEH (*Geoffrey E. Havers*) dipilih karena merupakan indikator yang secara luas digunakan dalam validasi volume lalu lintas pada pemodelan mikrosimulasi. Metode GEH mempertimbangkan selisih antara volume hasil simulasi dan data lapangan secara proporsional terhadap besarnya arus lalu lintas, sehingga mampu memberikan penilaian yang lebih representatif dibandingkan metode statistik umum.

Selain menggunakan metode GEH, metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) digunakan karena untuk mengukur besarnya kesalahan pada parameter panjang antrean antara hasil simulasi dan data observasi. MAPE menyajikan kesalahan dalam bentuk persentase, sehingga memudahkan interpretasi tingkat ketelitian hasil simulasi terhadap kondisi aktual. Penggunaan kombinasi GEH dan MAPE bertujuan untuk memastikan bahwa model tidak hanya akurat dalam merepresentasikan volume lalu lintas, tetapi juga mampu menggambarkan kinerja simpang secara komprehensif. Data input untuk kedua pendekatan tersebut

diperoleh dari hasil keluaran perangkat lunak VISSIM dan data observasi lalu lintas eksisting yang dikumpulkan di lapangan.

3.5.1 Metode Pendekatan GEH

Metode pendekatan GEH adalah rumus pendekatan dari modifikasi dasar *Chi-Squared* yang dimana menggabungkan antara nilai mutlak dan nilai relatif. Metode GEH digunakan dalam proses validasi antara volume arus lalu lintas kondisi eksisting atau hasil dari survei pengamatan lapangan dengan hasil permodelan simulasi perangkat lunak VISSIM. Rumus dari metode pendekatan GEH dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.20.

$$GEH = \sqrt{\frac{(Q_{simulasi} - Q_{eksisting})^2}{0.5 \times (Q_{simulasi} + Q_{eksisting})}} \quad (3.20)$$

Keterangan :

$Q_{simulasi}$ = Data volume arus lalu lintas simulasi (smp/jam)

$Q_{eksisting}$ = Data volume arus lalu lintas kondisi eksisting (smp/jam)

Dari hasil perhitungan menggunakan metode GEH (*Geoffrey E. Havers*) dapat diketahui apakah kondisi validasi sudah benar atau belum tergantung dari hasil perhitungan terhadap rentang klasifikasinya. Berikut merupakan klasifikasi rentang nilai hasil uji statistik GEH untuk mengukur tingkatannya dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Ketentuan Nilai *Error* Rumus Statistik *Geoffrey E. Havers*

Hasil	Keterangan
$GEH < 5,0$	Diterima
$5,0 \leq GEH \leq 10,0$	kemungkinan model terdapat error atau terdapat data yang buruk
$GEH > 10,0$	Ditolak

Sumber: Gustavsson (2007)

Berdasarkan Tabel 3.7 klasifikasi nilai GEH beserta interpretasinya, yang

digunakan sebagai acuan dalam proses validasi model. Nilai GEH kurang dari 5,0 menunjukkan bahwa hasil simulasi dapat diterima karena memiliki tingkat kesesuaian yang sama dengan data lapangan. Nilai GEH antara 5,0 hingga 10,0 mengindikasikan adanya potensi ketidaksesuaian sehingga perlu peninjauan kembali pada parameter model atau kualitas data. Sementara itu, nilai GEH lebih dari 10,0 menunjukkan bahwa model simulasi tidak merepresentasikan kondisi aktual di lapangan sehingga perlu dilakukan proses kalibrasi ulang. Oleh karena itu nilai klasifikasi GEH berfungsi sebagai dasar pengambilan keputusan dalam menentukan apakah model PTV VISSIM yang dikembangkan telah memenuhi kriteria validasi dan layak digunakan untuk analisis kinerja serta pengujian skenario penanganan pada Simpang Tegal Gendu.

3.5.2 Metode Pendekatan MAPE

Metode pendekatan MAPE atau kepanjangannya adalah *Mean Absolute Percentage Error* adalah metode untuk menguji dan mengukur tingkat akurat dari hasil simulasi. Pengujian MAPE ini dilakukan dengan membandingkan hasil permodelan sebelumnya dengan hasil survei di lapangan. Pada dasarnya, semakin kecil hasil perhitungan nilai MAPE, semakin akurat model simulasinya terhadap kondisi eksisting. Cara menghitung pendekatan MAPE dapat dilihat pada Persamaan 3.21 berikut.

$$MAPE = \frac{1}{n} A \sum_{t=1}^n \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \quad (3.21)$$

Keterangan :

At = Panjang antrean yang didapat dari hasil survei lapangan

Ft = Panjang antrean yang dihitung dari permodelan VISSIM

Dari hasil perhitungan dengan metode MAPE dapat diketahui hasil permodelan akurat atau tidak berdasarkan rentang nilai akurasi yang sudah ditentukan. Berikut merupakan klasifikasi tingkat akurasi nilai MAPE dari hasil

perhitungannya.

Tabel 3. 8 Kesimpulan Hasil Perhitungan Menggunakan Metode MAPE

Hasil	Keterangan
$MAPE < 10\%$	Kemampuan pemodelan sangat baik
$10\% \leq MAPE \leq 20\%$	Kemampuan pemodelan baik
$20\% \leq MAPE \leq 50\%$	Kemampuan pemodelan layak
$MAPE > 50\%$	Kemampuan pemodelan buruk

Sumber: Gustavsson (2007)

Berdasarkan data yang disajikan Tabel 3.8 yaitu klasifikasi tingkat akurasi pemodelan pada VISSIM berdasarkan nilai MAPE. Nilai MAPE kurang dari 10% menunjukkan bahwa kemampuan pemodelan sangat baik karena perbedaan antara hasil simulasi dan data lapangan relatif kecil. Nilai MAPE antara 10% hingga 20% mengindikasikan kemampuan pemodelan yang baik, sedangkan nilai MAPE antara 20% hingga 50% masih menunjukkan pemodelan yang layak. Sebaliknya, nilai MAPE lebih dari 50% menunjukkan kemampuan pemodelan yang buruk sehingga model tidak layak digunakan tanpa dilakukan perbaikan parameter. Dengan demikian, klasifikasi nilai MAPE berfungsi sebagai acuan dalam menilai tingkat akurasi hasil pemodelan lalu lintas menggunakan PTV VISSIM. Hasil evaluasi menggunakan MAPE, menjadi dasar dalam menentukan apakah model yang telah dikalibrasi dan divalidasi telah memenuhi kriteria kelayakan untuk digunakan pada tahap selanjutnya, yaitu dilakukan proses solusi dan simulasi alternatif untuk evaluasi simpang yang direncanakan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

Karena penelitian ini menggunakan data angka, penelitian kinerja Simpang Tegol Gendu termasuk dalam jenis penelitian kuantitatif. Selain itu, metode yang digunakan adalah metode studi kasus, dengan mempelajari setiap peristiwa, dan proses yang berkaitan dengan penelitian secara menyeluruh.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Simpang Tegol Gendu, yaitu simpang yang mempertemukan Jl. Tegol Gendu pada sisi timur dan Jl. Pramuka Pada Sisi utara, kemudian dilanjutkan sisi barat pada Jl. Tegol Turi dan sisi selatan Jl. Imogiri Timur. Berikut merupakan lokasi Simpang Tegol Gendu dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Earth, 2026)

4.3 Data Penelitian

Penelitian ini membagi data menjadi dua jenis kategori, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data penelitian yang didapatkan langsung dari hasil pengamatan atau survei di lapangan. Data sekunder adalah data penelitian yang diperoleh secara tidak langsung melalui jurnal, artikel, buku, dan dari instansi terkait sebagai data pendukung. Data sekunder mencakup data lokasi simpang, dan data jumlah penduduk. Fungsi dari data sekunder adalah sebagai pendukung kinerja dari data primer. Data primer mencakup beberapa poin sebagai berikut.

1. Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas didapatkan dengan cara mengamati dan menghitung volume lalu lintas pada setiap jenis kendaraan selama waktu yang sudah ditentukan. Jenis kendaraan yang diamati dalam penelitian ini adalah mobil penumpang (MP), sepeda motor (SM), dan kendaraan sedang (KS). Pengelompokan jenis kendaraan tersebut mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 untuk kondisi jalan perkotaan, di mana kendaraan berat seperti bus besar dan truk besar memiliki proporsi yang relatif kecil sehingga dikelompokkan ke dalam kategori kendaraan sedang (KS).

2. Geometri Simpang

Untuk mendapatkan data geometri simpang diperlukan alat pengukur yang digunakan di lapangan. Tujuan dari data geometri simpang ini adalah untuk mengetahui jumlah jalur dan lajur, jenis simpang, jenis pendekat, ukuran lebar tiap pendekat dan, apakah ada median atau tidak.

3. Kecepatan Kendaraan

Survei kecepatan atau *spot speed* digunakan untuk memasukkan data input pemodelan menggunakan PTV VISSIM. Perhitungan dimulai dari jarak 50 meter digunakan untuk menghitung kecepatan antara titik mulai dan selesai.

4. Panjang Antrean

Panjang antrean adalah nilai yang menunjukkan seberapa panjang deretan kendaraan yang mengantri di suatu bagian jalan atau area mendekati persimpangan, dan diukur dalam satuan meter. Pengambilan data panjang antrean dilakukan dengan cara mengukur kendaraan terdepan hingga

kendaraan terakhir dalam antrean waktu berhenti.

5. Hambatan Samping

Pengambilan data hambatan samping yaitu dilakukan dengan cara pengamatan kualitatif langsung di lokasi penelitian. Pengamatan mencakup kendaraan keluar-masuk lengan simpang, kendaraan bermotor, pejalan kaki, dan kendaraan lambat atau kendaraan umum. Penentuan kategori hambatan samping dilakukan dengan cara menyandingkan kondisi di lokasi penelitian dengan ketentuan yang tertera di dalam PKJI 2023 pada bagian bab ruas jalan perkotaan.

6. Waktu Siklus

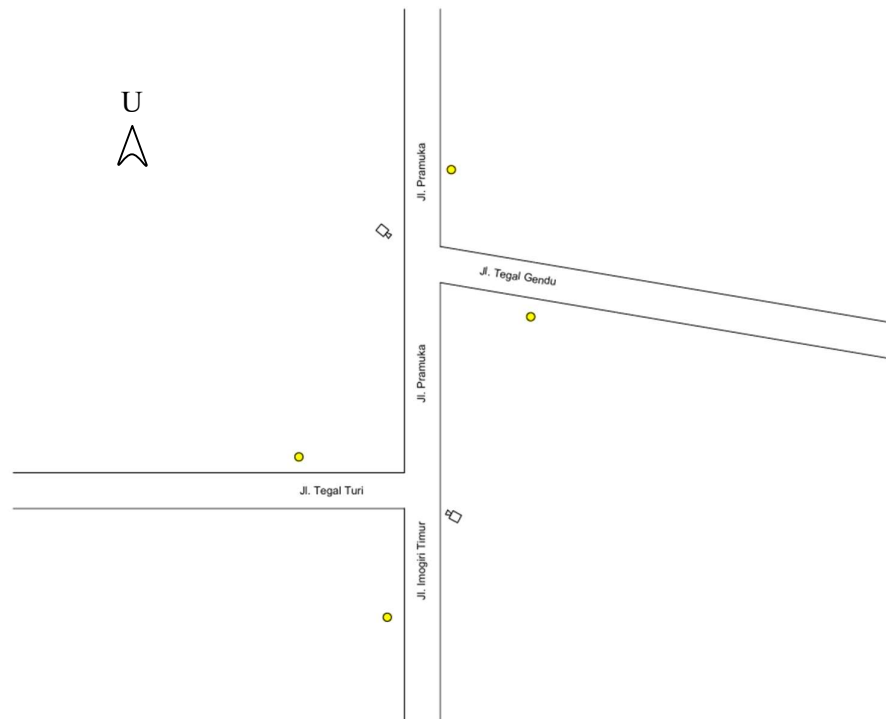
Data waktu siklus diperoleh melalui survei secara langsung di lapangan dan dengan pengamatan mendalam. Waktu siklus diperoleh dengan mencatat waktu isyarat atau APILL dari semua sinyal hijau, kuning, merah, dan merah. Waktu sinyal dari setiap pendekatan akan digabungkan untuk menghasilkan data waktu siklus simpang, yang akan digunakan untuk menentukan nilai kapasitas simpang APILL.

7. *Driving Behavior*

Driving behavior diperoleh melalui pengamatan dan pengumpulan data tentang perilaku berkendara selama jam puncak, menggunakan perangkat lunak VISSIM, dengan mempertimbangkan jarak antara kendaraan satu sama lain dalam posisi sejajar dan depan belakang, serta kondisi berhenti dan saat kondisi kendaraan mulai bergerak.

4.4 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah proses pengumpulan data dan informasi yang diperlukan untuk menyusun penelitian. Survei lapangan dilakukan untuk mengumpulkan data primer, seperti data mencari data volume lalu lintas, panjang antrean, waktu siklus, dll. Berikut merupakan titik penempatan *surveyor* yang bertugas untuk mengumpulkan data dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Denah Lokasi Penempatan *Surveyor*

Keterangan :



: Surveyor Panjang Antrean dan Waktu Siklus



: Titik Penempatan Kamera Survei Volume Lalu Lintas

4.4.1 Waktu Pelaksanaan

Pengambilan data dilaksanakan selama 2 hari satu hari kerja atau *weekday* dan satu hari libur atau *weekend*. Data dikumpulkan dalam tiga sesi berbeda: sesi pagi, sesi siang, dan sesi sore. Sesi pagi yaitu pada pukul 06:00 – 09:00 WIB, sesi siang pada pukul 11:00 – 13:00 WIB, dan sesi sore pukul 15:00 – 18:00 WIB. Penentuan waktu puncak dilakukan berdasarkan hasil observasi awal yang dilaksanakan di lokasi penelitian sebelum survei utama, dengan tujuan mengidentifikasi periode fluktuasi volume lalu lintas tertinggi. Hal ini dilakukan untuk mencari tahu waktu jam puncak dalam satu hari kerja dan satu hari libur.

4.4.2 Alat yang digunakan

Berikut merupakan peralatan yang akan digunakan selama survei langsung di lapangan.

1. Formulir survei
2. Alat Tulis
3. Alat ukur atau meteran
4. Kamera
5. Handphone
6. Powerbank
7. Laptop

4.5 Metode Analisis Data

Proses analisis data dalam penelitian ini mengintegrasikan penggunaan Microsoft Excel untuk pengolahan data dan perangkat lunak PTV VISSIM untuk pemodelan simulasi mikroskopik. Standar evaluasi yang digunakan merujuk pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 untuk perhitungan manual dan Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015 untuk penetapan tingkat pelayanan. Tahapan analisis dilakukan sebagai berikut:

1. Penentuan Jam Puncak: Data primer volume lalu lintas diolah menggunakan Microsoft Excel untuk mengidentifikasi waktu beban arus tertinggi (jam puncak).
2. Evaluasi Kondisi Eksisting: Kinerja simpang APILL dianalisis berdasarkan parameter kapasitas, derajat kejenuhan, panjang antrean, dan tundaan. Analisis ini dilakukan secara ganda melalui perhitungan manual metode PKJI 2023 dan simulasi VISSIM untuk menentukan tingkat pelayanan.
3. Pemodelan VISSIM: Tahap pemodelan meliputi pembangunan jaringan jalan (*network*), input volume kendaraan, penentuan rute (*routing decision*), serta pendefinisian komposisi kendaraan sesuai kondisi lapangan.
4. Kalibrasi dan Validasi: Akurasi model dipastikan melalui proses kalibrasi pada parameter *driving behaviour*. Validasi internal dilakukan dengan uji GEH terhadap volume lalu lintas, sementara validasi eksternal menggunakan

uji MAPE untuk parameter panjang antrian.

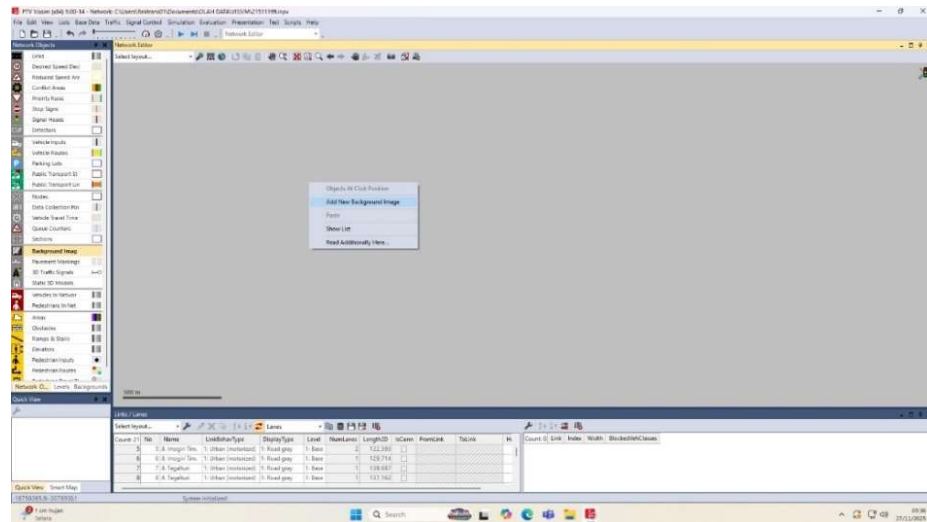
5. Komparasi dan Evaluasi Standar: Membandingkan output tingkat pelayanan antara metode PKJI 2023 dan hasil simulasi VISSIM. Jika kinerja eksisting tidak memenuhi kriteria standar, maka dirumuskan skenario perbaikan.
6. Pengembangan dan Pengujian Alternatif: Merancang solusi perbaikan, kemudian mensimulasikan skenario tersebut dalam VISSIM untuk dibandingkan dengan kondisi eksisting.
7. Pemilihan Solusi Optimal: Menetapkan alternatif perbaikan yang paling efektif dalam meningkatkan kinerja simpang.

4.6 Pemodelan Lalu Lintas Dengan Perangkat Lunak VISSIM

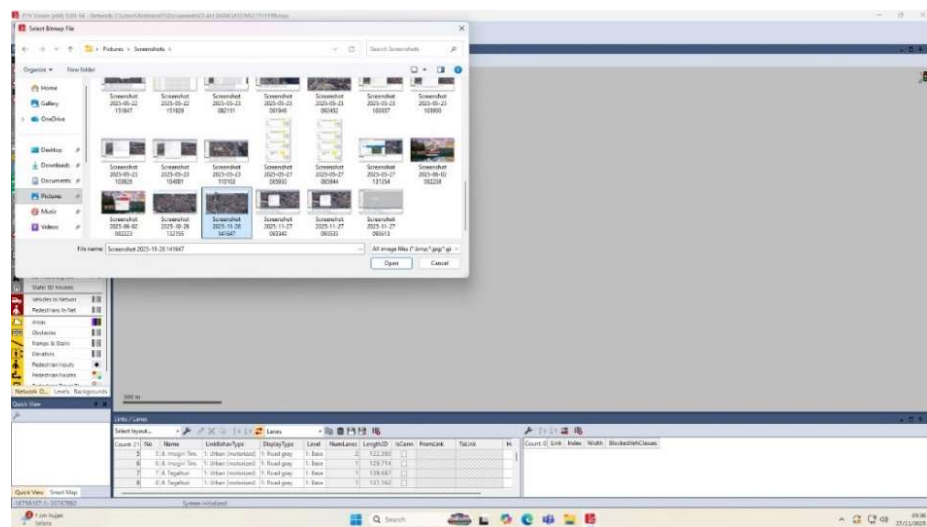
Penelitian ini menggunakan VISSIM sebagai alat bantu dalam pemodelan rekayasa lalu lintas pada Simpang Tegal Gendu. Perangkat lunak VISSIM digunakan untuk memodelkan kondisi saat ini dan solusi alternatif untuk meningkatkan layanan di Simpang Tegal Gendu. Hasil pemodelan meliputi volume kendaraan yang melintasi simpang, panjang antrian, dan waktu tundaan (*delay*). Data yang dimasukkan sebagai parameter pemodelan menggunakan perangkat lunak VISSIM adalah sebagai berikut.

1. *Input Background Image*

Background image berasal dari *Google Maps* pada lokasi penelitian dan digunakan sebagai gambar acuan untuk melakukan pemodelan lalu lintas pada lokasi penelitian. Untuk menambahkan *background image*, klik menu *Background Image* pada *Network Object* yang berada di sebelah kiri, lalu klik kanan dan pilih *Add New Background*. Pilih file gambar dari peta lokasi penelitian untuk digunakan sebagai acuan. Setelah itu, *background image* akan muncul. Berikut merupakan pengaturan VISSIM untuk input *Background image* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Input Background Image

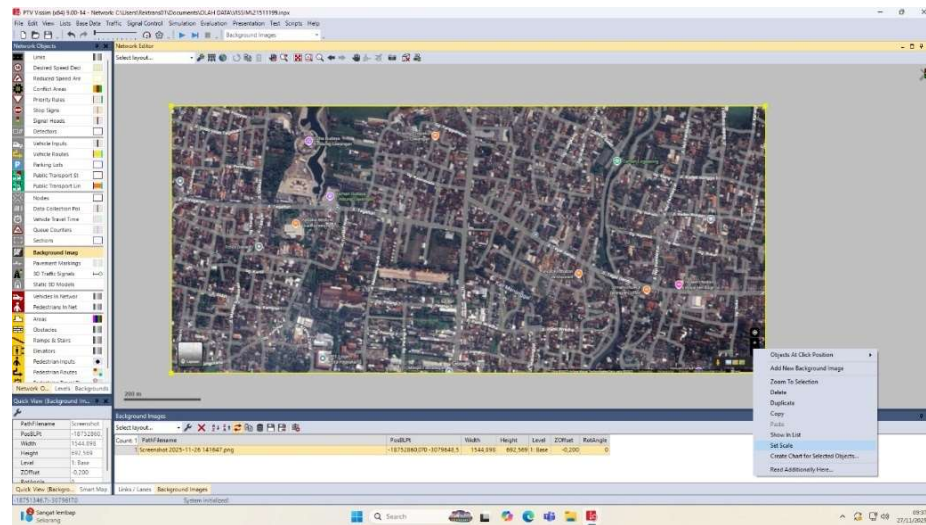


Gambar 4.4 Input Background Image

2. Pengaturan Skala

Untuk memastikan bahwa skala pada perangkat lunak PTV VISSIM sama dengan skala pada gambar peta yang diambil dari *Google Maps*, pengaturan skala dapat dilakukan dengan klik kanan pada *background image*, pilih set scale, tarik garis yang menjadi acuan skala pada *background image* sedetail

mungkin, masukkan angka skala yang tertera pada gambar peta lokasi penelitian, lalu klik ok. Pengaturan skala dapat dilihat pada Gambar 4.5.

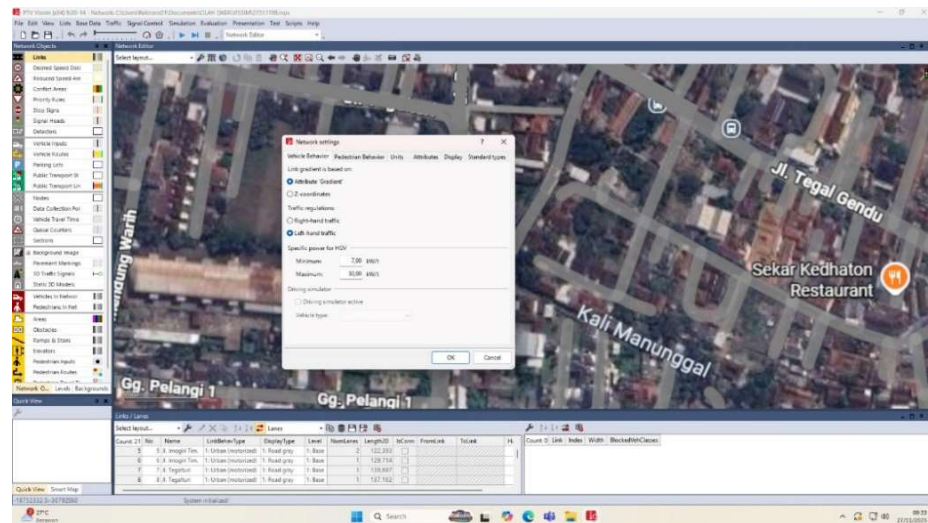


Gambar 4. 5 Image Background Scale

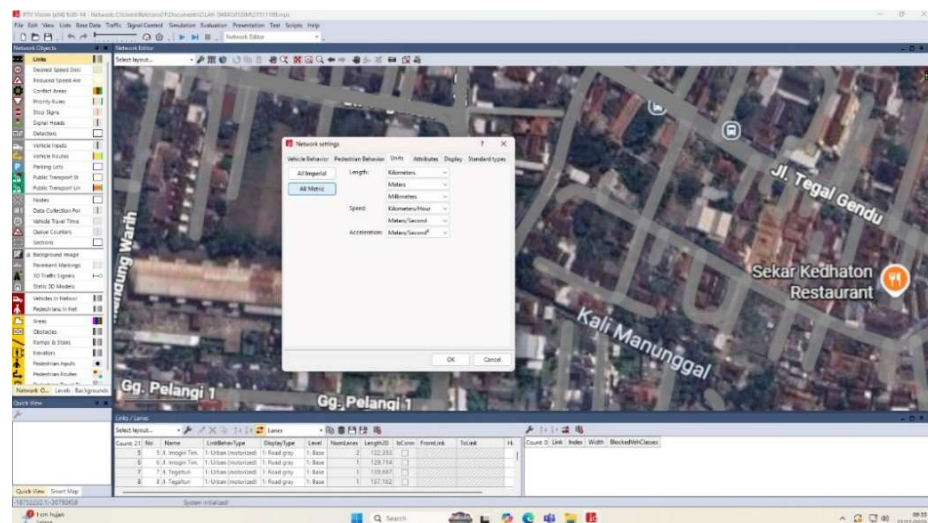
3. Network Setting

Ketidaksesuaian antara sistem berkendara yang digunakan dalam perangkat lunak dengan kondisi lalu lintas aktual di lokasi penelitian dapat menyebabkan perbedaan perilaku kendaraan dalam simulasi, seperti pola pergerakan, interaksi antar kendaraan, serta pembentukan antrean dan tundaan. Oleh karena itu, pengaturan jalur berkendara di sebelah kiri disesuaikan dengan sistem lalu lintas di Indonesia agar model yang dibangun dapat merepresentasikan kondisi eksisting secara realistis. Selain itu, pengaturan satuan ke dalam sistem metrik bertujuan untuk memastikan konsistensi data antara input hasil survei lapangan dan parameter yang digunakan dalam simulasi. Keseragaman satuan ini diperlukan agar proses kalibrasi dan validasi model dapat dilakukan secara akurat. Dengan demikian, pengaturan *network setting* menjadi dasar penting sebelum dilakukan input geometri, volume lalu lintas, serta pengaturan sinyal pada tahap pemodelan selanjutnya. Untuk mengatur *network setting*, pilih menu *base data* pada menu bar dan kemudian pilih *setting* jaringan. *Vehicle Behavior* disesuaikan menjadi pengaturan *traffic* di sebelah kiri, dan semua

satuan disesuaikan menjadi semua metrik. Berikut Gambar 4.6 dan 4.7 merupakan pengaturan untuk mengubah *network setting*.



Gambar 4. 6 Network Setting

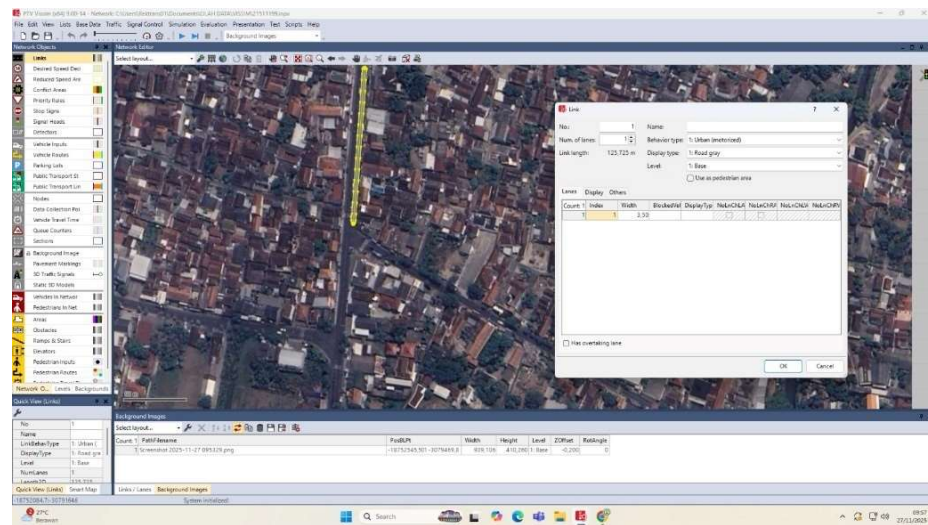


Gambar 4. 7 Network Setting

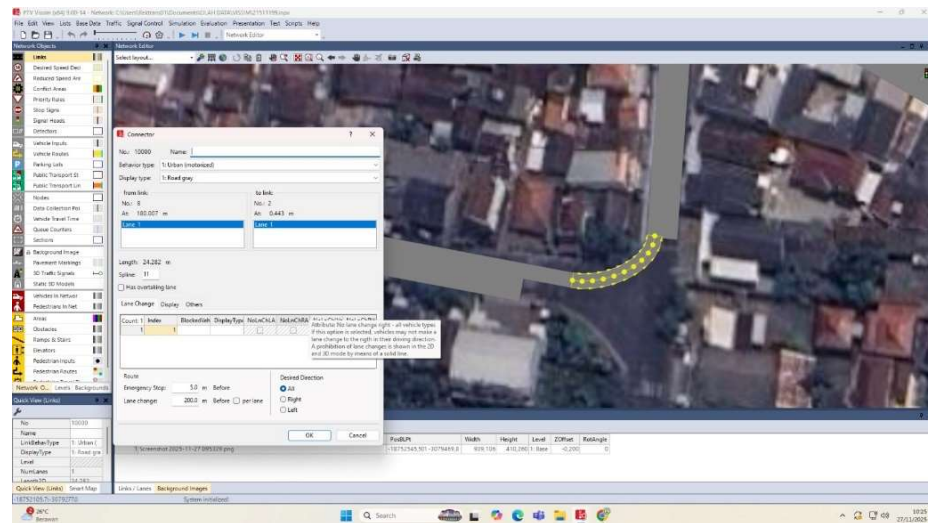
4. Link dan Connector

Pembuatan jalan dapat menggunakan link dengan menyesuaikan lebar setiap lajur di lokasi penelitian, untuk membuat jaringan jalan yaitu dengan memilih *link* pada *network object*, klik kanan mouse, dan kemudian link ditarik sesuai

arah jalan dan panjang yang dibutuhkan, langkah selanjutnya memasukkan nama ruas jalan (*link*), jumlah lajur, dan lebar lajur. Setelah pembuatan *link* selesai, selanjutnya adalah pembuatan *connector*. *Connector* dibuat untuk menghubungkan dua *link* agar kendaraan bergerak sesuai arah masing-masing.. Berikut merupakan pengaturan *link* dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan pengaturan *connector* dapat dilihat pada Gambar 4.9.



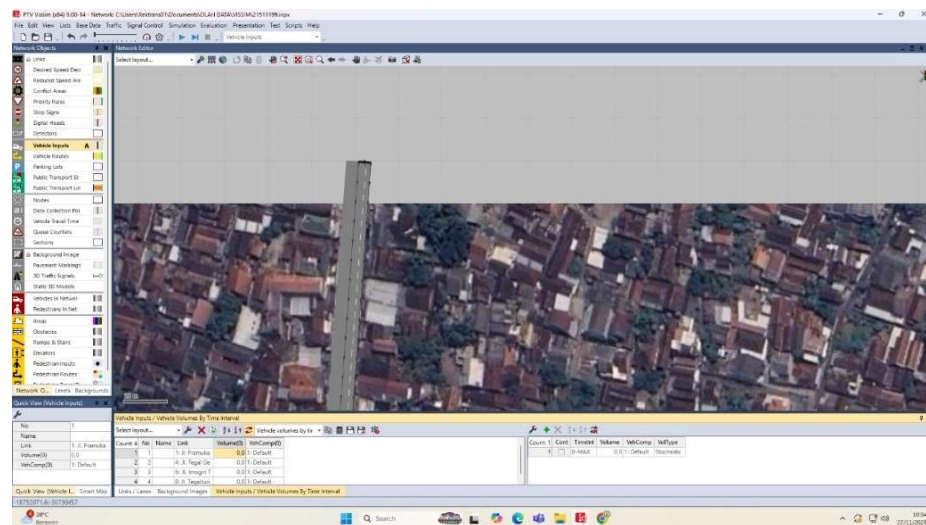
Gambar 4. 8 Pengaturan *Link*



Gambar 4. 9 Pengaturan *Connector*

5. *Vehicle Input*

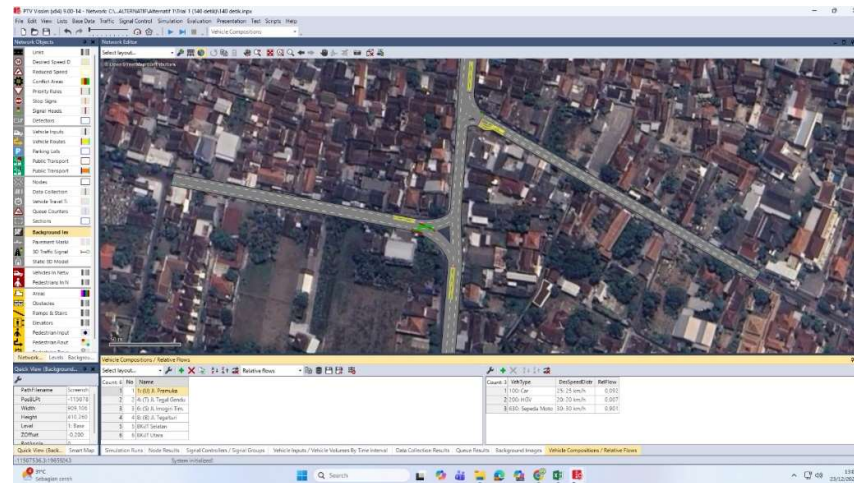
Pada kondisi yang ada di lokasi penelitian, data input kendaraan, komposisi kendaraan, kecepatan, dan rute kendaraan dimasukkan. Hal tersebut dilakukan untuk memasukkan data jumlah lalu lintas jam puncak dalam satuan kendaraan. Pada *network object*, terdapat pilihan *vehicle input*, kemudian *cursor* diarahkan pada *link* (ruas jalan) menuju simpang, setelahnya muncul menu untuk menambahkan input kendaraan baru. Data volume untuk masing-masing ruas jalan dimasukkan sesuai dengan hasil survei pada jam puncak. Berikut merupakan Gambar 4.10 menunjukkan proses input data *vehicle input*.



Gambar 4. 10 *Vehicle Input*

6. *Vehicle Composition*

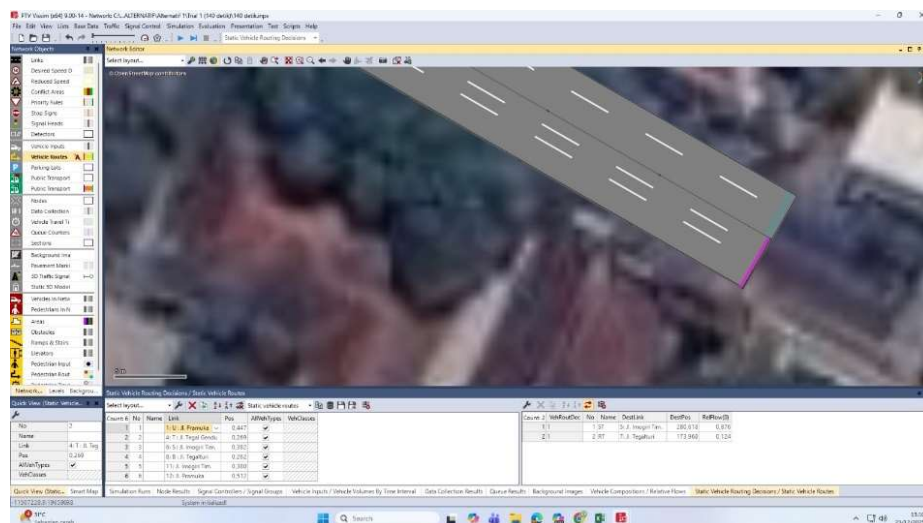
Setelah melakukan *vehicle input*, selanjutnya memasukkan *vehicle composition* agar komposisi kendaraan sesuai dengan hasil survei. *Input vehicle composition* dilakukan dengan memilih *traffic* pada menu bar, lalu terdapat pilihan *vehicle composition*, data *vehicle composition* dimasukkan pada setiap lengan yang menuju simpang. Dalam penelitian ini terdapat 3 jenis kendaraan yang dimodelkan, yaitu Sepeda Motor, *Car*, dan *HGV*. Setelah input data *vehicle composition*, kemudian data kecepatan dapat dimasukkan. Input data *vehicle composition* dan data kecepatan dapat dilihat pada Gambar 4.11 sebagai berikut.



Gambar 4. 11 Pengaturan *Vehicle Composition* dan Input Kecepatan

7. *Vehicle Route*

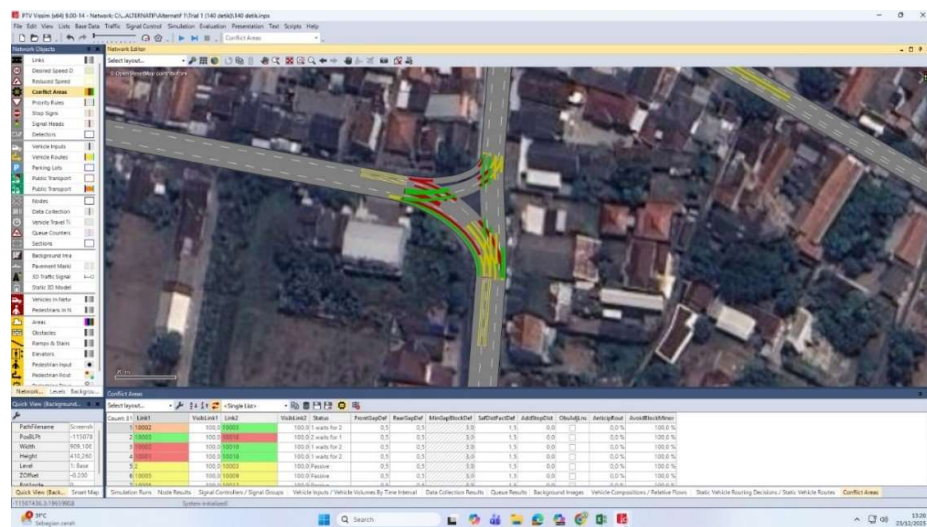
Proses input *vehicle route* dilakukan untuk membuat pergerakan kendaraan sesuai dengan data survei pada masing-masing arah. Input *vehicle route* dilakukan dengan cara pilih *vehicle route* pada *network object*, lalu pilih lajur yang akan di input data *vehicle route*. Berikut merupakan Input *vehicle route* dapat dilihat pada Gambar 4.12



Gambar 4. 12 *Vehicle Route*

8. Conflict Area

Setiap persimpangan pasti mempunyai resiko untuk bentrok antar kendaraan. Pada PTV VISSIM, *conflict area* dapat di ketahui jika pembuatan simpang sudah lengkap dan sesuai, setelah diketahui jenis *conflict area* yang akan di gunakan, maka area yang berpotensi terdapat *conflict* dapat disesuaikan dan diatur untuk mencegah bentrokan yang terjadi. Berikut merupakan *area conflict* di Simpang Tegal Gendu dapat dilihat pada Gambar 4.13.

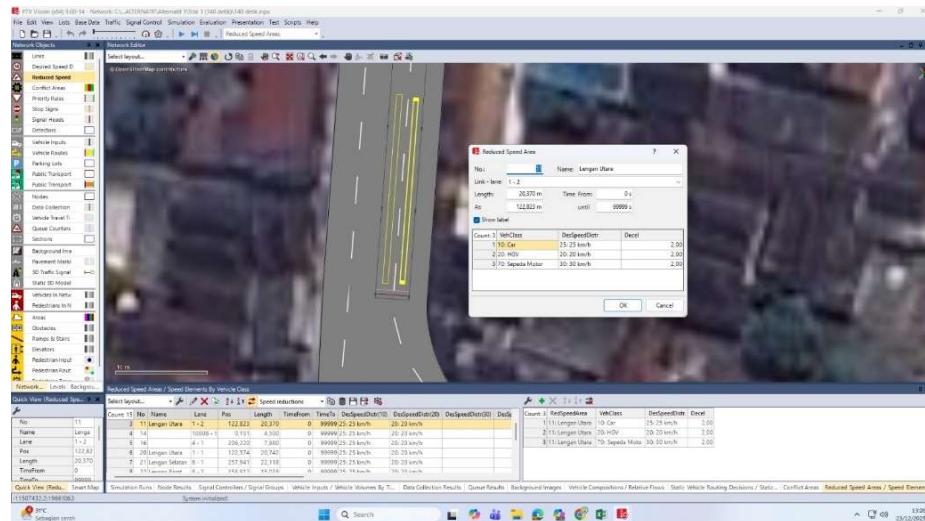


Gambar 4. 13 Pengaturan Conflict Area

9. Reduce Speed Area

Penerapan *Reduced Speed Area* bertujuan untuk menyesuaikan perilaku kendaraan dalam simulasi dengan kondisi aktual di lapangan, di mana pengemudi secara alami akan mengurangi kecepatan saat mendekati garis henti persimpangan bersinyal. Pengaturan kecepatan yang berbeda untuk setiap jenis kendaraan dilakukan untuk mencerminkan variasi karakteristik operasional kendaraan, sehingga pola perlambatan, pembentukan antrian, dan tundaan yang dihasilkan dari simulasi dapat mendekati kondisi eksisting di Simpang Tegal Gendu., untuk membuat *Reduced Speed Area* klik lajur pendekat masuk di dekat garis henti, kemudian pilih panjang area yang akan digunakan untuk mengurangi kecepatan kendaraan, kemudian tambahkan setiap jenis kendaraan

dan ubah *DesSpeedDistr* sesuai jenis kendaraan. Berikut merupakan Gambar 4.14 yang menunjukkan area kecepatan yang dikurangi.

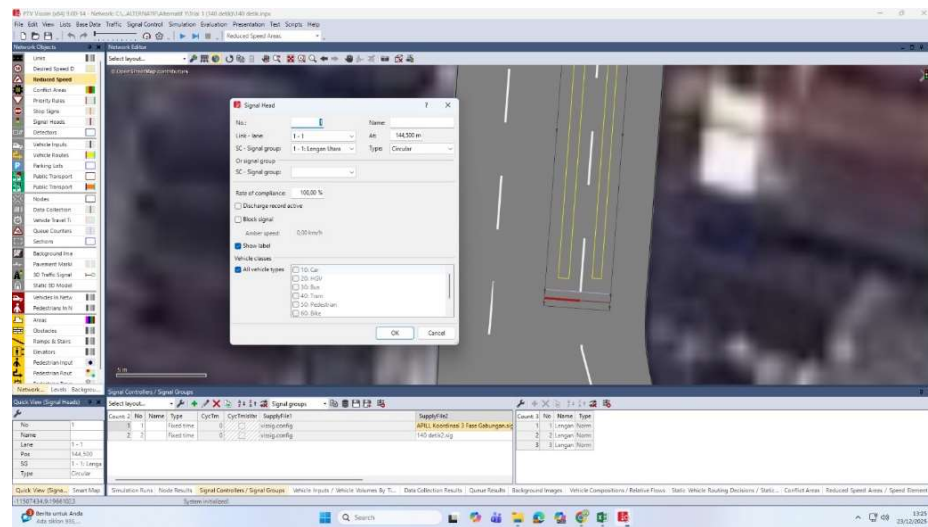


Gambar 4. 14 Pengaturan *Reduce Speed Area*

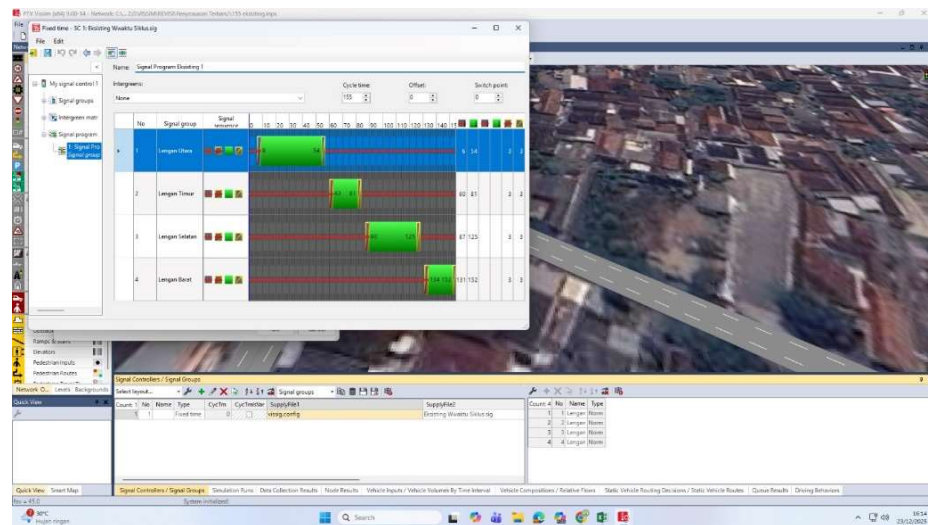
10. *Signal Controller dan Signal Head*

Pengaturan *Signal Controller* dan *Signal Head* berperan penting dalam memastikan pengendalian sinyal pada model PTV VISSIM sesuai dengan kondisi eksisting di lapangan. Penyesuaian durasi waktu hijau, kuning, dan merah dalam satu siklus sinyal dilakukan agar distribusi waktu pelayanan pada setiap pendekatan dapat merepresentasikan pengaturan sinyal aktual di Simpang Tegal Gendu. Ketepatan pengaturan ini akan berpengaruh langsung terhadap pembentukan antrean, tundaan kendaraan, serta pola pelepasan arus pada masing-masing lengan simpang. Sementara itu, penempatan *Signal Head* pada garis henti setiap lajur bertujuan untuk mengontrol pergerakan kendaraan secara tepat sesuai fase sinyal yang berlaku. Untuk menerapkan pengaturan waktu sinyal, pada *Signal Control*, pilih *Signal Controllers*, setelah muncul menu *signal controllers* tersebut lalu *edit object*, pilih *edit signal control*. Pada *Signal group* tambah pengaturan lalu lintas setiap pendekatan lalu atur durasi waktu pengaturan dalam satu siklus. Pada *Signal program*, sesuaikan diagram

dengan durasi waktu siklus eksisting. selanjutnya setelah mengatur waktu sinyal di pengaturan *Signal Controller*, klik *Signal Head* dan kemudian klik garis henti pada lajur atau lajur pendekat. *Signal group* diatur sesuai dengan pendekat jika pendekat memiliki waktu hijau lebih dari satu fase. Pengaturan *Signal Controllers* dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan pengaturan *signal head* dapat dilihat pada Gambar 4.16.



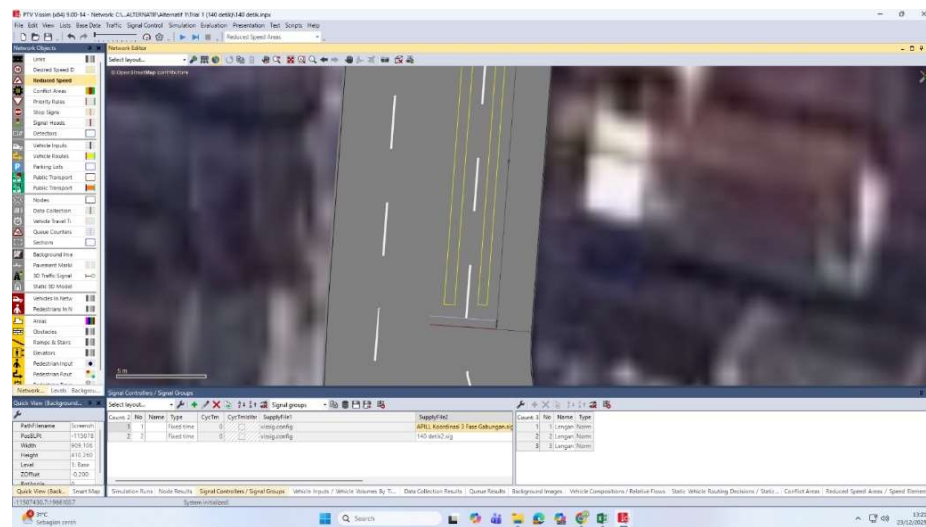
Gambar 4. 15 Pengaturan *Signal Head*



Gambar 4. 16 Pengaturan *Signal Controller*

11. *Queue Counters*

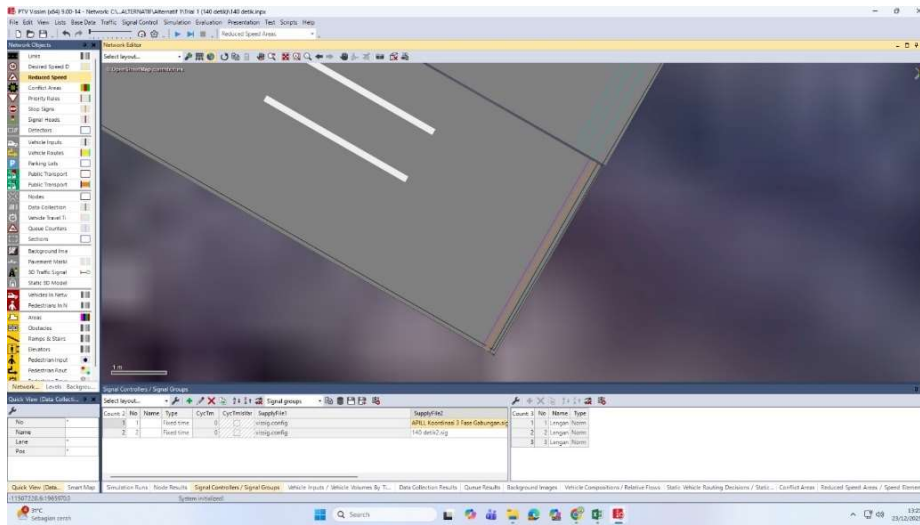
Queue Counters berfungsi untuk mengukur panjang antrean pada pemodelan simpang di VISSIM. Pada *Network Objects*, pilih *Queue Counters*, kemudian *Queue Counters* diletakkan sebelum *Signal Head*. Berikut merupakan *Queue Counters* dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Garis *Queue Counters*

12. *Data Collection Points*

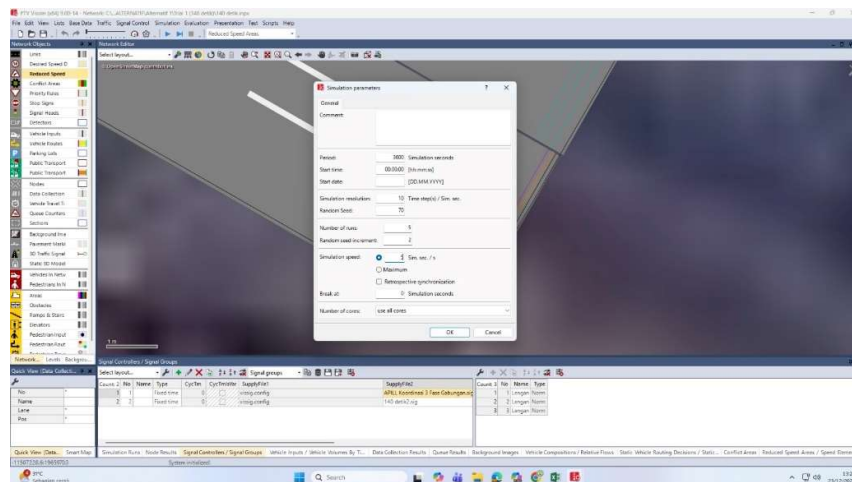
Data Collection Points merupakan parameter untuk menghitung nilai kendaraan yang lewat seperti jumlah kendaraan dan panjang antrean. Penempatan *Data Collection Points* pada setiap lajur pendekat masuk simpang dilakukan untuk memastikan bahwa data volume kendaraan dan panjang antrean yang dihasilkan dari simulasi dapat dibandingkan secara langsung dengan data hasil survei lapangan. Kemudian untuk membuat *data collection points*, pada *network object*, lalu klik setiap *link* lajur pendekat masuk simpang. Untuk menghindari kesalahan dalam perhitungan volume arus lalu lintas selama proses pengoperasian, *data collection point* diletakkan pada setiap *link* secara sejajar. Berikut merupakan Gambar 4.18 menunjukkan titik *Data Collection Points*.



Gambar 4. 18 Data Collection Point

13. Simulations Parameter

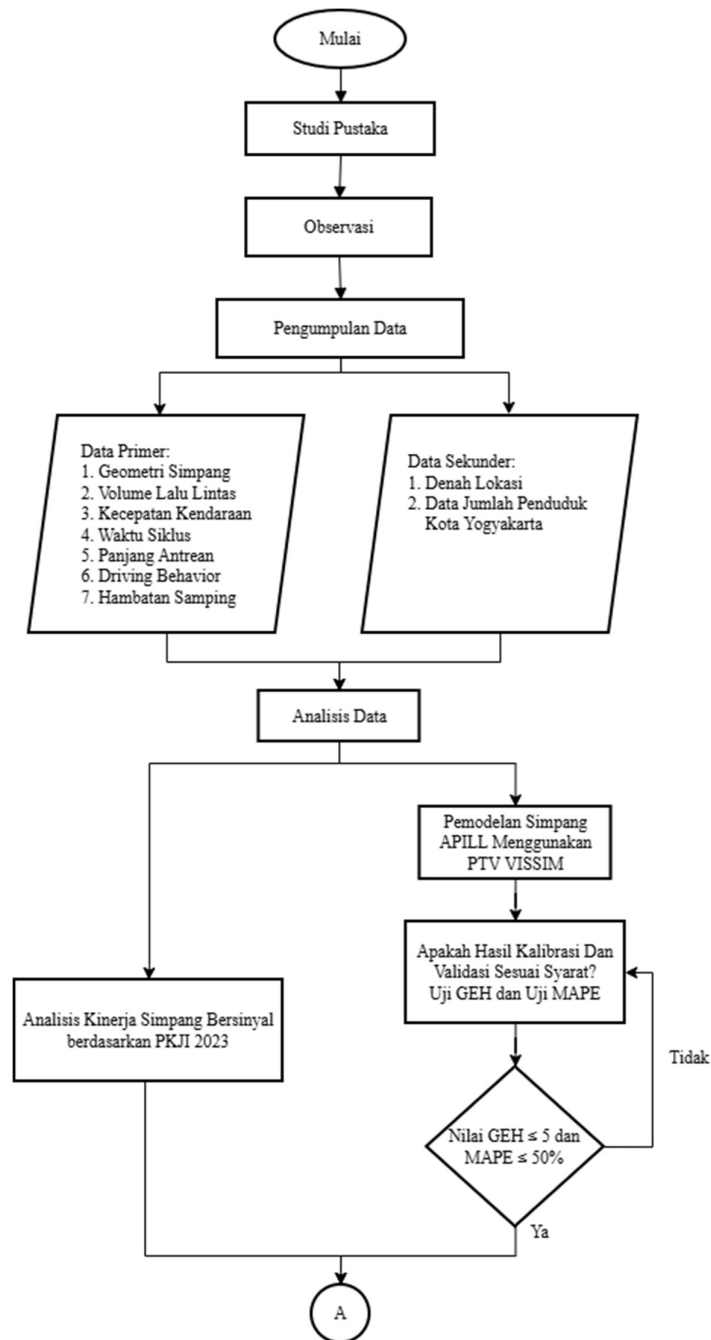
Setelah setiap tahapan dalam proses pemodelan telah selesai, simulasi dilakukan selama satu jam sesuai dengan jam puncak. *Simulation* dilakukan dengan memilih *simulation* pada *menu bar* dan kemudian memasukkan angka yang diinginkan ke dalam kolom *seed random*, pengaturan untuk *simulations parameter* dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.



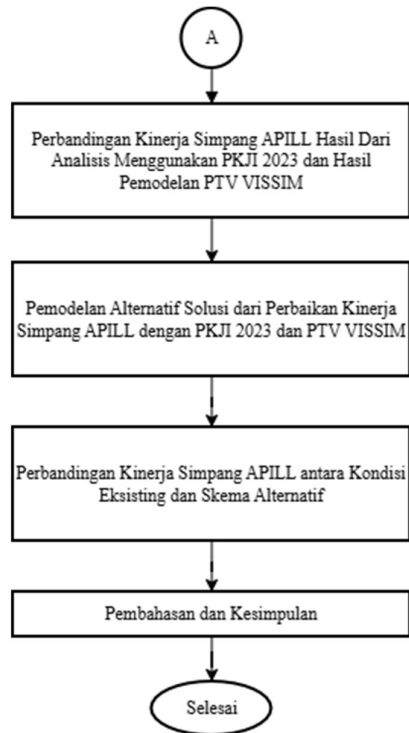
Gambar 4. 19 Simulations Parameter

4.5 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian atau tahapan-tahapan pekerjaan yang akan dilakukan selama proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.20 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Hasil Survei (Data Primer)

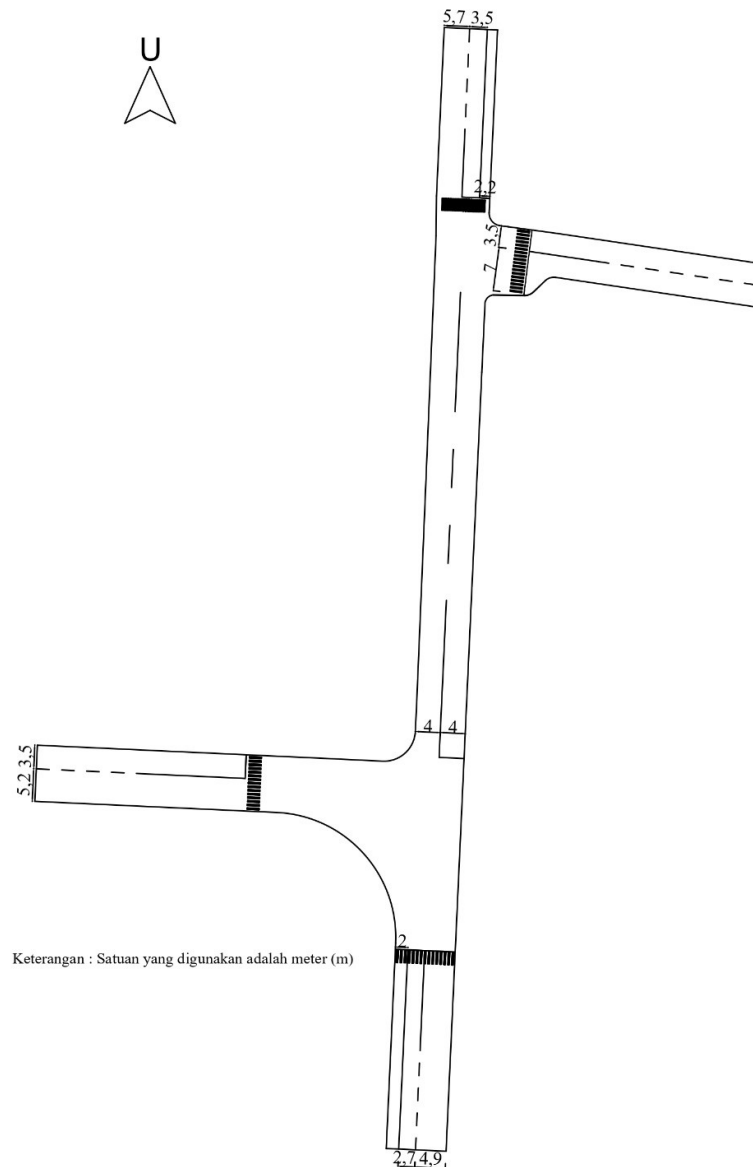
Data hasil survei diperoleh secara langsung di lokasi simpang APILL dan merupakan data primer yang digunakan sebagai dasar utama dalam proses analisis kinerja simpang. Data primer tersebut meliputi geometri simpang, volume lalu lintas, waktu siklus sinyal, panjang antrean, kecepatan kendaraan, serta karakteristik *driving behavior*. Data-data ini digunakan sebagai input perhitungan kinerja simpang berdasarkan PKJI 2023 serta sebagai masukan utama dalam pemodelan dan kalibrasi mikrosimulasi lalu lintas menggunakan PTV VISSIM.

5.1.1 Data Geometri Simpang

Data geometri simpang meliputi lebar lajur, jumlah lajur, panjang pendekat, serta elemen geometrik lainnya yang berpengaruh terhadap kapasitas dan kinerja simpang. Data ini diperoleh melalui survei dan pengukuran yang langsung dilakukan di lokasi simpang. Berdasarkan hasil yang diperoleh, berikut merupakan geometri Simpang Tegal Gendu yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Gambar Sketsa Simpang Tegal Gendu dapat dilihat pada Gambar 5.1.

Tabel 5. 1 Data Geometri Simpang Tegal Gendu

Kode Pendekat	Tipe lingkungan jalan (KIM, KOM, AT)	Median	Kelandaian Pendekat +/-	BKIJT Belok kiri Jalan terus Ya/Tidak	Lebar Pendekat (m)			
					pada awal lajur	pada garis henti	pada lajur belok kiri	pada lajur keluar
		Ya/Tidak	%		L	LM	LBKIJT	LK
					m	m	m	m
U	KOM	T	0%	Y	5.70	3.50	2.20	5.60
T	KOM	T	0%	T	3.50	3.50	0.00	5.50
S	KOM	T	0%	Y	4.90	2.90	2.00	5.60
B	KOM	T	0%	T	3.50	3.50	0.00	4.00



Gambar 5. 1 Geometri Simpang Tegal Gendu

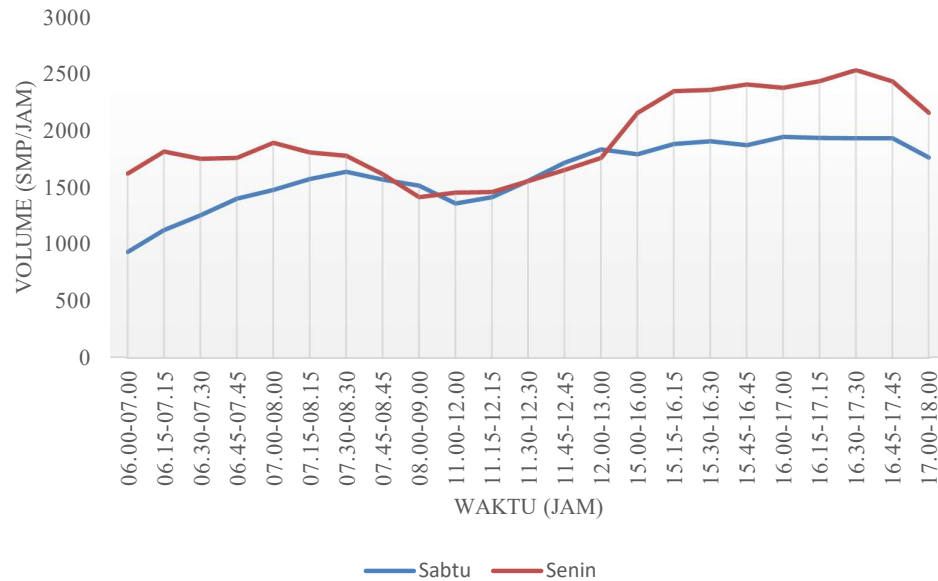
5.1.2 Data Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas dikumpulkan secara langsung di lokasi. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan kamera yang merekam lalu lintas untuk mengumpulkan informasi tentang volume kendaraan pada simpang yang ditempatkan pada titik-titik pengamatan yang sudah ditentukan untuk merekam pergerakan kendaraan. Perekaman dilakukan dalam tiga sesi: pagi pada pukul

06:00–09:00 WIB, siang pada pukul 11:00–13:00 WIB, dan sore pada pukul 15:00–18:00 WIB. Rekaman video tersebut selanjutnya dianalisis secara manual untuk memperoleh jumlah kendaraan yang melintas pada setiap pendekat simpang, dengan hasil pengamatan dinyatakan dalam satuan kendaraan per jam (kend/jam). Tanggal pelaksanaan survei dilakukan pada hari Sabtu, 20 September 2025 dan Senin, 29 September 2025. Data volume lalu lintas Simpang Tegal Gendu disajikan dalam bentuk tabel yaitu pada Tabel 5.2, yang dihitung menggunakan satuan satuan mobil penumpang (smp/jam), dan untuk memudahkan pembacaan ditampilkan grafik berupa jam puncak yang dapat dilihat pada Gambar 5.2.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Data Volume Lalu Lintas Simpang Tegal Gendu

Sesi	Waktu	Sabtu	Senin
Pagi	06.00-07.00	931	1620
	06.15-07.15	1122	1813
	06.30-07.30	1253	1749
	06.45-07.45	1399	1758
	07.00-08.00	1477	1890
	07.15-08.15	1571	1805
	07.30-08.30	1636	1777
	07.45-08.45	1568	1614
	08.00-09.00	1513	1413
Siang	11.00-12.00	1356	1452
	11.15-12.15	1413	1459
	11.30-12.30	1556	1552
	11.45-12.45	1716	1650
	12.00-13.00	1831	1758
Sore	15.00-16.00	1791	2154
	15.15-16.15	1880	2343
	15.30-16.30	1904	2354
	15.45-16.45	1869	2402
	16.00-17.00	1942	2374
	16.15-17.15	1932	2433
	16.30-17.30	1929	2529
	16.45-17.45	1931	2429
	17.00-18.00	1759	2154



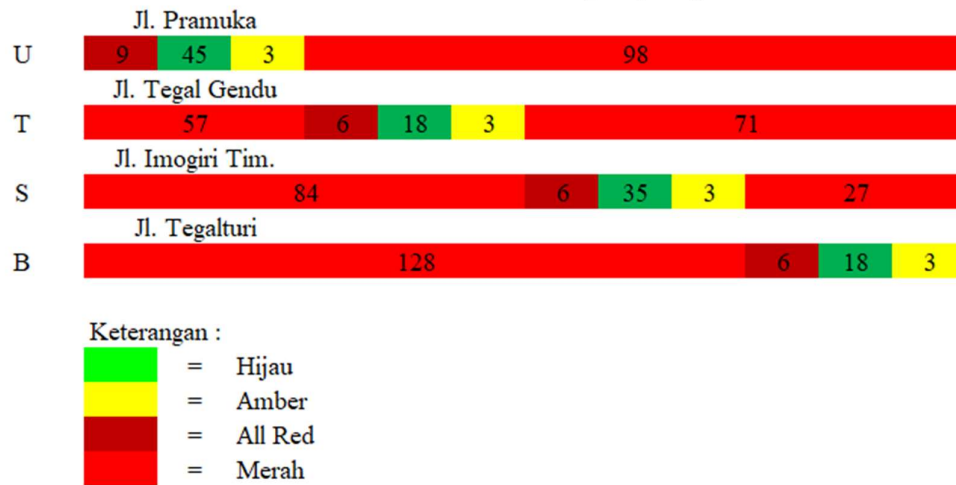
Gambar 5. 2 Grafik Rekapitulasi Data Volume Lalu Lintas Simpang Tegal Gendu

Berdasarkan data volume lalu lintas pada Gambar 5.2 serta pada Tabel 5.2 didapatkan hasil jam puncak Simpang Tegal Gendu yaitu pada hari senin pukul : 16.30-17.30 WIB, dengan nilai volume lalu lintas sebesar 2529 smp/jam.

5.1.3 Data Waktu Siklus

Data waktu siklus diambil pada saat melakukan survei pada lokasi simpang. Data waktu siklus diambil menggunakan alat bantuan *stopwatch* pada *handphone*. Beberapa variabel dalam pengambilan data waktu siklus meliputi, waktu merah, waktu kuning, dan waktu hijau. Data waktu siklus Simpang Tegal Gendu dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan gambar diagram waktu siklus Simpang Tegal Gendu dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Lengan	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah (detik)	All Red (detik)	Total Siklus (detik)
Utara	45	3	98	9	155
Timur	18	3	128	6	155
Selatan	35	3	111	6	155
Barat	18	3	128	6	155

Tabel 5. 3 Data Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu**Gambar 5. 3 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu**

5.1.4 Data Kecepatan Kendaraan

Waktu tempuh sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), atau kendaraan sedang (KS) saat melintasi masing-masing lengan jalan dengan panjang segmen yang diamati sejauh 50 meter digunakan untuk mengumpulkan data kecepatan kendaraan. Rekapitulasi data kecepatan rata-rata pada Simpang Tegal Gendu dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Data Rata-rata Kecepatan Kendaraan

Lengan	SM (km/jam)	MP (km/jam)	KS (km/jam)
Utara (Jl. Pramuka)	28,70	22,48	19,94
Timur (Jl. Tegal Gendu)	28,43	25,37	23,10
Selatan (Jl. Imogiri Timur)	34,00	30,17	26,34
Barat (Jl Tegalturi)	31,45	25,98	24,13

5.1.5 Data Panjang Antrean

Data panjang antrean diperoleh dengan pengukuran langsung di lapangan. Data ini mencakup panjang antrean maksimum selama jam puncak, seperti yang

ditunjukkan pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 Panjang Antrean Maksimum

Lengan	Panjang Antrean Maksimum (m)
Utara (Jl. Pramuka)	125
Timur (Jl. Tegal Gendu)	160
Selatan (Jl. Imogiri Timur)	210
Barat (Jl Tegalturi)	120

5.1.6 Data *Driving Behavior*

Dalam perangkat lunak PTV VISSIM, perilaku pengemudi digunakan untuk mengatur interaksi antar kendaraan yang menjadi parameter. Diperlukan kalibrasi untuk menyesuaikan perilaku pengemudi dengan kondisi di lokasi penelitian eksisting. Data tentang perilaku pengemudi diperoleh dengan mengamati jarak antar kendaraan di lokasi penelitian. Dalam penelitian ini, pengambilan data dilakukan sebanyak 24 sampel pada setiap parameter, yang terdiri atas depan-belakang kendaraan kondisi berhenti, depan-belakang kendaraan kondisi berjalan kendaraan berdampingan kondisi berhenti, kendaraan berdampingan kondisi berjalan. Berikut merupakan data *driving behavior* dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Data Survei *Driving Behavior*

Pendekat	Depan-Belakang Kendaraan Kondisi Berhenti (m)	Depan-Belakang Kendaraan Kondisi Berjalan (m)	Kendaraan Berdampingan Kondisi Berhenti (m)	Kendaraan Berdampingan Kondisi Berjalan (m)
Utara	0,6	0,9	0,4	0,7
	0,5	0,7	0,4	0,6
	0,7	0,7	0,6	0,8
	0,8	0,9	0,6	0,5
	0,4	0,4	0,3	0,3
	0,3	0,3	0,3	0,4
Timur	0,7	0,9	0,6	0,8
	0,6	0,5	0,5	0,7
	0,7	0,8	0,6	0,6
	0,6	0,9	0,5	0,7
	0,4	0,3	0,3	0,2
	0,3	0,4	0,2	0,3

Lanjutan Tabel 5.6 Data Survei *Driving Behavior*

Pendekat	Depan-Belakang Kendaraan Kondisi Berhenti (m)	Depan- Belakang Kendaraan Kondisi Berjalan (m)	Kendaraan Berdampingan Kondisi Berhenti (m)	Kendaraan Berdampingan Kondisi Berjalan (m)
Selatan	0,9	0,7	0,6	0,7
	0,7	0,6	0,5	0,6
	0,8	0,7	0,6	0,7
	0,8	0,9	0,5	0,7
	0,3	0,4	0,3	0,3
	0,3	0,5	0,3	0,3
Barat	0,8	0,6	0,6	0,7
	0,7	0,5	0,4	0,5
	0,9	0,8	0,6	0,6
	0,7	0,8	0,6	0,7
	0,4	0,3	0,3	0,3
	0,3	0,2	0,3	0,3

5.2 Data Sekunder

Data Sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peta lokasi penelitian dan jumlah penduduk Kota Yogyakarta.

5.2.1 Jumlah Penduduk Kota Yogyakarta

Menurut Kementerian Dalam Negeri (2025), jumlah penduduk Kota Yogyakarta pada tahun 2025 adalah sebanyak 415.771 jiwa.

5.2.2 Peta Lokasi Penelitian

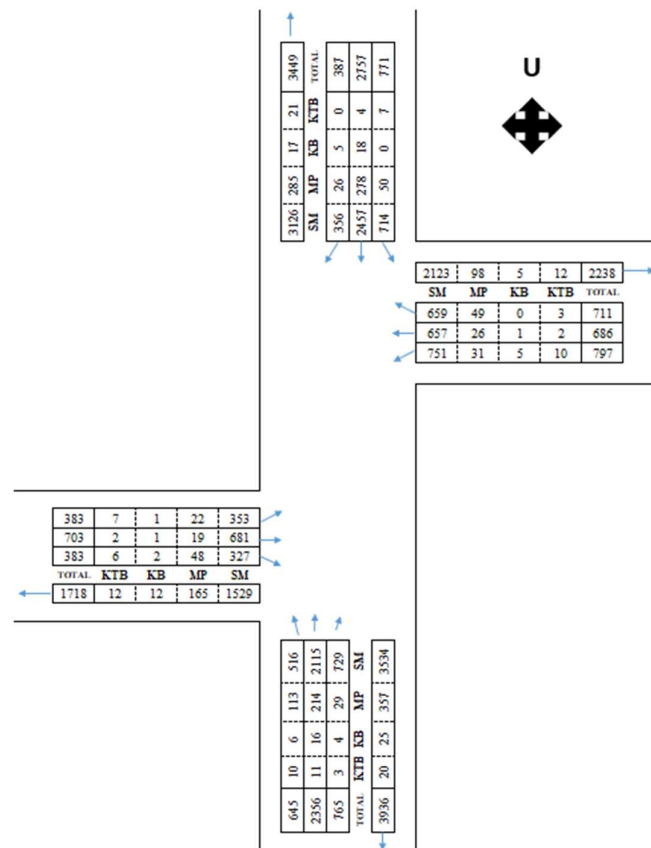
Penelitian ini dilakukan di Simpang Tegol Gendu yang berada di Kecamatan Umbulharjo, Kota Yogyakarta, DIY. Peta Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1

5.3 Analisis Kinerja Simpang Tegol Gendu Berdasarkan PKJI 2023

Analisis kinerja Simpang Tegol Gendu mengacu pada PKJI 2023 untuk menghitung kapasitas kendaraan, nilai derajat kejenuhan, termasuk panjang antrian, tundaan dan tingkat pelayanan simpang. Berikut merupakan langkah-langkah untuk perhitungan kinerja simpang berdasarkan PKJI 2023.

5.3.1 Analisis Volume Lalu Lintas

Analisis volume lalu lintas dilakukan untuk mengetahui jam puncak pada simpang. Untuk mempermudah pembacaan dan perhitungan data, dibuat distribusi volume lalu lintas pada Simpang Tegal Gendu saat jam puncak dalam satuan smp/jam dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5. 4 Distribusi Volume Jam Puncak Simpang Tegal Gendu

Data volume lalu lintas yang sudah didapatkan, dapat dilihat pada Tabel 5.2 menunjukkan data volume lalu lintas pada Simpang Tegal Gendu dalam satuan kendaraan/jam, setelah ditemukan jam puncak dari data volume kendaraan, nilai ekuivalensi mobil penumpang (EMP) harus diubah dari satuan kendaraan/jam menjadi smp/jam. Nilai EMP pada masing-masing kendaraan dapat dilihat pada Tabel 3.6. Hasil perhitungan volume lalu lintas pada jam puncak dengan satuan (smp/jam) dapat dilihat sebagai berikut.

1. Lengan Utara

a. Sepeda Motor (SM)

$$\text{Belok kiri jalan terus} = 714 \times 0,15 = 107 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 2457 \times 0,15 = 369 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 356 \times 0,15 = 53 \text{ smp/jam}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\text{Belok kiri jalan terus} = 50 \times 1 = 50 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 278 \times 1 = 278 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 26 \times 1 = 26 \text{ smp/jam}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\text{Belok kiri jalan terus} = 0 \times 1,3 = 0 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 8 \times 1,3 = 23 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 5 \times 1,3 = 7 \text{ smp/jam}$$

d. Total Volume Kendaraan Lengan Utara

$$\text{Total Volume} = 913 \text{ smp/jam}$$

2. Lengan Timur

a. Sepeda Motor (SM)

$$\text{Belok kiri} = 751 \times 0,15 = 113 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 657 \times 0,15 = 99 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 659 \times 0,15 = 99 \text{ smp/jam}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\text{Belok kiri} = 31 \times 1 = 31 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 26 \times 1 = 26 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 49 \times 1 = 49 \text{ smp/jam}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\text{Belok kiri} = 5 \times 1,3 = 7 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 1 \times 1,3 = 1 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 0 \times 1,3 = 0 \text{ smp/jam}$$

d. Total Volume Kendaraan Lengan Timur

$$\text{Total Volume} = 424 \text{ smp/jam}$$

3. Lengan Selatan

a. Sepeda Motor (SM)

$$\text{Belok kiri jalan terus} = 516 \times 0,15 = 77 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 2115 \times 0,15 = 317 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 729 \times 0,15 = 109 \text{ smp/jam}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\text{Belok kiri jalan terus} = 113 \times 1 = 113 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 214 \times 1 = 214 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 29 \times 1 = 29 \text{ smp/jam}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\text{Belok kiri jalan terus} = 6 \times 1,3 = 8 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 16 \times 1,3 = 21 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 4 \times 1,3 = 5 \text{ smp/jam}$$

d. Total Volume Kendaraan Lengan Selatan

$$\text{Total Volume} = 894 \text{ smp/jam}$$

4. Lengan Barat

a. Sepeda Motor (SM)

$$\text{Belok kiri} = 353 \times 0,15 = 53 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 681 \times 0,15 = 102 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 327 \times 0,15 = 49 \text{ smp/jam}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\text{Belok kiri} = 22 \times 1 = 22 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 19 \times 1 = 19 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 48 \times 1 = 48 \text{ smp/jam}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\text{Belok kiri} = 1 \times 1,3 = 1 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Lurus} = 1 \times 1,3 = 1 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Belok kanan} = 2 \times 1,3 = 3 \text{ smp/jam}$$

d. Total Volume Kendaraan Lengan Barat

$$\text{Total Volume} = 298 \text{ smp/jam}$$

Total volume kendaraan jam puncak, merupakan hasil penjumlahan dari

seluruh lengan, yaitu sebesar 913 smp/jam, 424 smp/jam, 894 smp/jam, dan 298 smp/jam. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan total volume kendaraan jam puncak sebesar 2529 smp/jam. Rekaptiluasi nilai jam puncak dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Rekap Analisis Volume Kendaraan Pada Jam Puncak

Arah		Volume Kendaraan (smp/jam)			
		SM	MP	KS	UM
Utara	BKiJT	107	50	0	7
	Lurus	369	278	23	4
	BKa	53	26	7	0
Timur	BKi	113	31	7	10
	Lurus	99	26	1	2
	BKa	99	49	0	3
Selatan	BKiJT	77	113	8	10
	Lurus	317	214	21	11
	BKa	109	29	5	3
Barat	BKi	53	22	1	7
	Lurus	102	19	1	3
	BKa	49	48	3	6

5.3.2 Analisis Lebar Pendekat Efektif

Pada penentuan lebar pendekat efektif pada Simpang Tegal Gendu arus kendaraan BKiJT dapat mendahului antrean kendaraan lurus dan belok kanan selama isyarat merah hanya pada pendekat utara dan pendekat selatan, karena setiap lengan pendekat utara dan pendekat selatan memiliki LBKiJT lebih dari atau sama dengan 2 m atau merupakan lajur eksklusif, sedangkan pendekat barat dan timur karena tidak ada lajur BKiJT, maka nilai lebar efektif menggunakan lebar masuk (LM). Nilai lebar efektif (LE) dapat diperhitungkan sebagai berikut.

1. Pendekat Utara

$$\begin{aligned}
 LE &= L - LB_{KiJT} \\
 &= 5,7 - 2,2 \\
 &= 3,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2. Pendekat Selatan

$$LE = L - LB_{KiJT}$$

$$= 4,9 - 2,0$$

$$= 2,9 \text{ m}$$

3. Pendekat Barat

$$L_E = L_M$$

$$= 3,5 \text{ m}$$

4. Pendekat Timur

$$L_E = L_M$$

$$= 3,5 \text{ m}$$

5.3.3 Analisis Arus Jenuh

Beberapa faktor yang perlu ditentukan dalam analisis arus jenuh adalah arus jenuh dasar, faktor koreksi ukuran kota, faktor koreksi hambatan samping, faktor koreksi kelandaian jalan, faktor koreksi untuk parkir, dan faktor koreksi untuk belok kiri dan kanan. Berikut merupakan perhitungan untuk arus jenuh.

1. Arus Jenuh Dasar

a. Lengan Utara

$$J_0 = 600 \times L_E$$

$$= 600 \times 3,5$$

$$= 2100 \text{ smp/jam}$$

b. Lengan Timur

$$J_0 = 600 \times L_E$$

$$= 600 \times 3,5$$

$$= 2100 \text{ smp/jam}$$

c. Lengan Selatan

$$J_0 = 600 \times L_E$$

$$= 600 \times 2,9$$

$$= 1740 \text{ smp/jam}$$

d. Lengan Barat

$$J_0 = 600 \times L_E$$

$$= 600 \times 3,5$$

$$= 2100 \text{ smp/jam}$$

2. Faktor Koreksi Ukuran Kota (FUK)

Faktor koreksi ukuran kota berkaitan dengan nilai kapasitas dasar yang dinyatakan oleh besarnya populasi di kota tempat simpang tersebut. Menurut Kementerian Dalam Negeri (2025), jumlah penduduk Kota Yogyakarta pada tahun 2025 adalah sebanyak 415.771 jiwa, dengan faktor penyesuaian ukuran kota (FUK) sebesar 0,88 menurut Tabel 3.3.

3. Faktor Hambatan Samping (FHS)

Penentuan faktor hambatan samping dilakukan melalui analisis kualitatif terhadap dokumentasi visual dan hasil pengamatan lapangan pada setiap pendekatan simpang. Dokumentasi visual berupa foto dan rekaman lapangan digunakan sebagai bahan pendukung untuk mengidentifikasi aktivitas hambatan samping. Penilaian tingkat hambatan samping dilakukan berdasarkan pengamatan berulang pada periode survei yang sama dengan pengambilan data lalu lintas, sehingga kondisi lingkungan jalan yang diamati dapat merepresentasikan situasi eksisting. Hasil pengamatan tersebut kemudian dibandingkan dengan kriteria klasifikasi hambatan samping yang tercantum dalam Tabel 5.8 sesuai pedoman PKJI 2023, untuk menetapkan kelas hambatan samping pada masing-masing pendekatan simpang dan didukung oleh hasil observasi visual yang tersaji pada Gambar 5.5 hingga Gambar 5.8.

Tabel 5. 8 Kriteria Hambatan Samping

Kriteria Hambatan Samping	Jumlah nilai frekuensi kejadian (di kedua sisi jalan) dikali bobot	Ciri-ciri khusus
Sangat Rendah (SR)	< 100	Daerah Pemukiman, tersedia jalan lingkungan (<i>frontage road</i>).
Rendah (R)	100 – 299	Daerah Permukiman, ada beberapa angkutan umum (angkutan kota).
Sedang (S)	300 – 499	Daerah Industri, ada beberapa toko di sepanjang sisi jalan.
Tinggi (T)	500 – 899	Daerah Komersial, ada aktivitas sisi jalan yang tinggi.
Sangat Tinggi (ST)	≥ 900	Daerah Komersial, ada aktivitas pasar sisi jalan.

a. Lengan Utara

Pendekat utara di Simpang Tegal Gendu adalah jalan yang memiliki lingkungan komersial, Berdasarkan Gambar 5.5 dan Tabel 5.9 jalan ini ditandai dengan berbagai pertokoan yang cukup padat, banyak kendaraan parkir kanan kiri jalan, yang sudah pasti menyebabkan banyak terjadi aktivitas keluar-masuk area parkir-segmen jalan, hambatan samping yang berada di jalan ini termasuk tipe yang tinggi. Tipe fase pada pendekat utara adalah fase terlindung. Berdasarkan Tabel 3.2, diperoleh nilai faktor hambatan samping yaitu sebesar 0,94.



Gambar 5. 5 Hambatan Samping Lengan Pendekat Utara

b. Lengan Timur

Pendekat Timur pada Simpang Tegal Gendu merupakan jalan Tegal Gendu, Berdasarkan Gambar 5.6 dan Tabel 5.9, lengan timur merupakan tipe lingkungan komersial yang memiliki beberapa toko di sepanjang lengan, kendaraan keluar masuk lengan, dan aktivitas komersial pada warung di trotoar. Dengan demikian, hambatan samping pada jalan Tegal Gendu ini termasuk tipe sedang. Fase pada pendekat timur adalah fase terlindung. Berdasarkan Tabel 3.2, diperoleh nilai faktor hambatan samping yaitu 0,92.



Gambar 5. 6 Hambatan Samping Lengan Pendekat Timur

c. Lengan Selatan

Simpang Tegal Gendu pendekat selatan merupakan Jalan Imogiri Tim. Jalan ini merupakan jalan yang menuju ke arah Terminal Giwangan. Berdasarkan Gambar 5.7 dan Tabel 5.9 pada pendekat selatan Simpang Tegal Gendu ini juga merupakan lingkungan komersil ditandai dengan adanya beberapa aktivitas ekonomi dan beberapa toko di samping lengan, hambatan samping yang berada di jalan ini termasuk tipe sedang. Tipe fase pada pendekat selatan adalah fase terlindung. Berdasarkan Tabel 3.2, diperoleh nilai faktor hambatan samping yaitu 0,94.



Gambar 5. 7 Hambatan Samping Lengan Pendekat Selatan

d. Lengan Barat

Jalan Tegal Turi adalah jalan yang berada di sebelah timur Simpang Tegal Gendu. Pendekat barat Simpang Tegal Gendu ini juga merupakan lingkungan komersial, seperti yang ditunjukkan oleh beberapa bisnis dan toko di samping lengan pada Gambar 5.8. Dengan demikian, hambatan samping di jalan ini berkategori sedang. Pada pendekat barat, merupakan fase terlindung. Menurut Tabel 3.2 nilai faktor hambatan samping adalah 0,92.



Gambar 5. 8 Hambatan Samping Lengan Pendekat Barat

4. Faktor Koreksi Kelandaian (FG)

Jika diamati secara kualitatif, kelandaian jalan pada lokasi penelitian adalah datar, sehingga kemiringan diasumsikan sebesar 0%. Nilai faktor kelandaian Simpang Tegal Gendu pada tiap lengannya adalah 1, berdasarkan pada Gambar 3.4.

5. Faktor Koreksi Parkir (F_p)

Pada beberapa lengan yang ada di Simpang Tegal Gendu, termasuk lengan utara dan timur, berdasarkan pengamatan di lokasi tiap lengan Simpang Tegal Gendu, terdapat kendaraan yang parkir di sepanjang jalur menuju persimpangan, sehingga dibuat perhitungan sebagai berikut.

a. Lengan Utara

Setelah dilakukan pengamatan secara langsung, terdapat beberapa kendaraan yang parkir di samping jalan menuju persimpangan. Setelah dilakukan

perhitungan dengan data yang sebelumnya didapatkan dari pengukuran panjang simpang dari mulut pendekat di beberapa titik lengan, diketahui titik kendaraan yang parkir paling dekat dari mulut pendekat utara yaitu sebesar 50 m. Sehingga jika dilihat berdasarkan Gambar 3.2 yaitu faktor koreksi pada pengaruh parkir, maka nilai F_p pada pendekat utara adalah 0,85. Gambar 5.9 merupakan kondisi kendaraan parkir pada lengan utara.



Gambar 5. 9 Titik Kendaraan Parkir Di Tepi Jalan Pada Pendekat Utara

b. Lengan Timur

Faktor koreksi parkir ditetapkan sebesar 1,0 untuk lengan pendekat timur karena, berdasarkan pengamatan di lokasi, tidak ada kendaraan yang diparkir di sepanjang jalur menuju persimpangan.

c. Lengan Selatan

Pada Simpang Tegal Gendu, setelah dilakukan pengamatan terdapat kendaraan terparkir lebih dari 80 meter dari garis henti jalan raya. Faktor koreksi parkir (F_p) untuk Simpang Tegal Gendu adalah 1,0, berdasarkan yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.

d. Lengan Barat

Setelah dilakukan pengamatan secara langsung, banyak kendaraan parkir di samping dekat persimpangan. Setelah melakukan perhitungan yang diperoleh

dengan mengukur panjang simpang dari mulut pendekat di beberapa titik lengan, diketahui bahwa titik kendaraan yang parkir paling dekat dari mulut pendekat barat adalah 43 meter. Oleh karena itu, nilai F_p pada pendekat utara adalah 0,81, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2, yaitu faktor koreksi pada pengaruh parkir. Gambar 5.10 merupakan kondisi kendaraan parkir pada lengan barat.



Gambar 5. 10 Titik Kendaraan Parkir Di Tepi Jalan Pada Pendekat Barat

6. Faktor Koreksi Belok Kanan (FBK_a)

Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan faktor koreksi belok kanan, perhitungan untuk mendapatkan hasil dari FBK_a yaitu menggunakan Persamaan 3.4.

a. Lengan Utara

$$RBK_a = \frac{qBK_a}{q_{total}}$$

$$RBK_a = \frac{157}{913}$$

$$RBK_a = 0,094$$

$$FBK_a = 1,0 + RBK_a \times 0,26$$

$$= 1,0 - 0,094 \times 0,26$$

$$= 1,02$$

b. Lengan Timur

$$RBK_a = \frac{qBK_a}{q_{total}}$$

$$RBK_a = \frac{148}{424}$$

$$RBK_a = 0,349$$

$$\begin{aligned} FBK_a &= 1,0 + RBK_a \times 0,26 \\ &= 1,0 + 0,349 \times 0,26 \\ &= 1,09 \end{aligned}$$

c. Lengan Selatan

$$RBK_a = \frac{qBK_a}{q_{total}}$$

$$RBK_a = \frac{143}{894}$$

$$RBK_a = 0,161$$

$$\begin{aligned} FBK_a &= 1,0 + RBK_a \times 0,26 \\ &= 1,0 + 0,161 \times 0,26 \\ &= 1,04 \end{aligned}$$

d. Lengan Barat

$$RBK_a = \frac{qBK_a}{q_{total}}$$

$$RBK_a = \frac{100}{298}$$

$$RBK_a = 0,334$$

$$\begin{aligned} FBK_a &= 1,0 + RBK_a \times 0,26 \\ &= 1,0 + 0,334 \times 0,26 \\ &= 1,09 \end{aligned}$$

7. Faktor Koreksi Belok Kiri (FBKi)

a. Lengan Utara

Pada Simpang Tegal Gendu, lengan pendekat utara memiliki tipe belok kiri jalan terus (BKIJT), yang berarti faktor penyesuaian belok kiri sebesar 1.

b. Lengan Timur

$$RBK_i = \frac{qBK_i}{q_{total}}$$

$$RBK_i = \frac{150}{424}$$

$$\begin{aligned}
 RBK_i &= 0,354 \\
 FBK_i &= 1,0 - RBK_i \times 0,16 \\
 &= 1,0 - 0,354 \times 0,16 \\
 &= 0,94
 \end{aligned}$$

c. Lengan Selatan

Pada Simpang Tegal Gendu, lengan pendekat selatan memiliki tipe belok kiri jalan terus (BKIJT), yang berarti faktor penyesuaian belok kiri sebesar 1.

d. Lengan Barat

$$\begin{aligned}
 RBK_i &= \frac{qBK_i}{q_{total}} \\
 RBK_i &= \frac{76}{298} \\
 RBK_i &= 0,255 \\
 FBK_i &= 1,0 - RBK_i \times 0,16 \\
 &= 1,0 - 0,255 \times 0,16 \\
 &= 0,95
 \end{aligned}$$

8. Perhitungan Arus Jenuh

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan yang diperoleh berdasarkan analisis arus jenuh dasar dan faktor-faktor penyesuaian di atas. Kemudian dapat diperhitungkan arus jenuh (J), nilai ini didapat dengan menggunakan Persamaan 3.1.

a. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
 J &= J_0 \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_G \times F_P \times FBK_a \times FBK_i \\
 &= 2100 \times 0,88 \times 0,93 \times 1,00 \times 0,85 \times 1,02 \times 1,00 \\
 &= 1497 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

b. Lengan Timur

$$\begin{aligned}
 J &= J_0 \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_G \times F_P \times FBK_a \times FBK_i \\
 &= 2100 \times 0,88 \times 0,92 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,09 \times 0,94 \\
 &= 1750 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

c. Lengan Selatan

$$\begin{aligned}
 J &= J_0 \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_G \times F_P \times FBK_a \times FBK_i \\
 &= 1740 \times 0,88 \times 0,94 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,04 \times 1,00
 \end{aligned}$$

$$= 1500 \text{ smp/jam}$$

d. Lengan Selatan

$$\begin{aligned} J &= J_0 \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_G \times F_P \times F_{BK_a} \times F_{BK_i} \\ &= 2100 \times 0,88 \times 0,920 \times 1,00 \times 0,81 \times 1,09 \times 0,95 \\ &= 1417 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi hasil dari perhitungan nilai arus jenuh dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Arus Jenuh

Parameter		Lengan Pendekat			
		Utara	Timur	Selatan	Barat
Arus Jenuh Dasar (smp/jam)	J ₀	2100	2100	1740	2100
Faktor Koreksi Ukuran Kota	F _{UK}	0,88	0,88	0,88	0,88
Faktor Hambatan Samping	F _{HS}	0,93	0,92	0,94	0,92
Faktor Kelandaian	F _G	1	1	1	1
Faktor Koreksi Penyesuaian Parkir	F _p	0,85	1	1	0,81
Faktor Belok Kanan	F _{BK_a}	1,02	1,09	1,04	1,09
Faktor Belok Kiri	F _{BK_i}	1	0,94	1	0,95
Arus Jenuh (smp/jam)	J	1497	1750	1500	1417

5.3.4 Waktu Siklus Eksisting

Menurut pengamatan secara langsung, siklus Simpang Tegal Gendu berlangsung 155 detik, dengan waktu kuning (W_k) 3 detik dan merah semua 9 detik untuk lengan utara dan 6 detik untuk lengan timur, selatan dan barat.

5.3.5 Waktu Hijau

Berdasarkan pengamatan langsung, didapat waktu hijau di setiap fasenya sebagai berikut.

1. Fase 1

$$W_H \text{ Utara} = 45 \text{ detik}$$

2. Fase 2

$$W_H \text{ Timur} = 18 \text{ detik}$$

3. Fase 3

$$W_H \text{ Selatan} = 35 \text{ detik}$$

4. Fase 2

$$W_H \text{ Barat} = 18 \text{ detik}$$

5.3.6 Analisis Kapasitas Simpang

Perhitungan nilai dari kapasitas dapat dicari menggunakan Persamaan 3.9. Berikut merupakan perhitungan kapasitas Simpang Tegal Gendu.

1. Lengan Utara

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{WH}{s} \\ &= 1497 \times \frac{45}{155} \\ &= 435 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

2. Lengan Timur

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{WH}{s} \\ &= 1750 \times \frac{18}{155} \\ &= 203 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

3. Lengan Selatan

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

$$= 1500 \times \frac{35}{155}$$

$$= 339 \text{ smp/jam}$$

4. Lengan Barat

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

$$= 1417 \times \frac{18}{155}$$

$$= 165 \text{ smp/jam}$$

5.3.7 Analisis Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.10. Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan derajat kejenuhan dari Simpang Tegal Gendu.

1. Lengan Utara

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

$$= \frac{756}{435}$$

$$= 1,74$$

2. Lengan Timur

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

$$= \frac{424}{203}$$

$$= 2,09$$

3. Lengan Selatan

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

$$= \frac{696}{339}$$

$$= 2,05$$

4. Lengan Barat

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

$$= \frac{298}{165}$$

$$= 1,81$$

Berikut merupakan rekapitulasi hasil analisis kapasitas dan derajat kejenuhan, dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (DJ)

Pendekat	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (Dj)
Utara	435	1,74
Timur	203	2,09
Selatan	339	2,05
Barat	165	1,81

5.3.8 Analisis Jumlah Kendaraan Antrean

Sebelum menentukan nilai panjang antrean berdasarkan PKJI 2023, dilakukan perhitungan untuk mencari nilai rasio hijau (RH), kendaraan terhenti yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}), dan kendaraan datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2}). Panjang antrean dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.12.

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari nilai panjang antrean.

1. Lengan Utara

a. Rasio Hijau (RH)

$$\begin{aligned}
 R_H &= \frac{W_{Hi}}{S} \\
 &= \frac{45}{155} \\
 &= 0,2
 \end{aligned}$$

b. Kendaraan terhenti yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1})

$$\begin{aligned}
 N_{q1} &= 0,25 \times s \times \left\{ (Dj - 1) + \sqrt{(Dj - 1)^2 + \frac{8 \times (DJ - 0,5)}{s}} \right\} \\
 &= 0,25 \times 155 \times \left\{ (1,74 - 1) + \sqrt{(1,74 - 1)^2 + \frac{8 \times (1,743 - 0,5)}{155}} \right\} \\
 &= 59 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

c. Kendaraan datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2})

$$\begin{aligned}
 N_{q2} &= s \times \frac{(1-RH)}{(1-RH \times DJ)} \times \frac{q}{3600} \\
 &= 155 \times \frac{(1-0,29)}{(1-0,29 \times 1,74)} \times \frac{756}{3600} \\
 &= 47 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_q &= N_{q1} + N_{q2} \\
 &= 59 + 47 \\
 &= 106 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

d. Panjang Antrean

$$\begin{aligned}
 P_a &= N_q \times \frac{20}{LM} \\
 &= 106 \times \frac{20}{3,5} \\
 &= 660 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2. Lengan Timur

a. Rasio Hijau (RH)

$$\begin{aligned}
 RH &= \frac{W_{Hi}}{s} \\
 &= \frac{18}{155} \\
 &= 0,12
 \end{aligned}$$

b. Kendaraan terhenti yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1})

$$\begin{aligned}
 N_{q1} &= 0,25 \times s \times \left\{ (Dj - 1) + \sqrt{(Dj - 1)^2 + \frac{8 \times (Dj - 0,5)}{s}} \right\} \\
 &= 0,25 \times 155 \times \left\{ (2,09 - 1) + \sqrt{(2,09 - 1)^2 + \frac{8 \times (2,09 - 0,5)}{155}} \right\} \\
 &= 86 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

c. Kendaraan datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2})

$$\begin{aligned}
 N_{q2} &= s \times \frac{(1-RH)}{(1-RH \times DJ)} \times \frac{q}{3600} \\
 &= 155 \times \frac{(1-0,12)}{(1-0,12 \times 2,09)} \times \frac{424}{3600} \\
 &= 21 \text{ smp} \\
 N_q &= N_{q1} + N_{q2} \\
 &= 86 + 21 \\
 &= 108 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

d. Panjang Antrean

$$\begin{aligned}
 Pa &= N_q \times \frac{20}{LM} \\
 &= 108 \times \frac{20}{3,5} \\
 &= 617 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. Lengan Selatan

a. Rasio Hijau (RH)

$$\begin{aligned}
 RH &= \frac{WH_i}{s} \\
 &= \frac{35}{155} \\
 &= 0,23
 \end{aligned}$$

b. Kendaraan berhenti yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1})

$$\begin{aligned}
 N_{q1} &= 0,25 \times s \times \left\{ (Dj - 1) + \sqrt{(Dj - 1)^2 + \frac{8 \times (Dj - 0,5)}{s}} \right\} \\
 &= 0,25 \times 155 \times \left\{ (2,05 - 1) + \sqrt{(2,05 - 1)^2 + \frac{8 \times (2,05 - 0,5)}{155}} \right\} \\
 &= 84 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

c. Kendaraan datang dan berhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2})

$$\begin{aligned}
 N_{q2} &= s \times \frac{(1 - RH)}{(1 - RH \times Dj)} \times \frac{q}{3600} \\
 &= 155 \times \frac{(1 - 0,23)}{(1 - 0,23 \times 2,05)} \times \frac{696}{3600} \\
 &= 43 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_q &= N_{q1} + N_{q2} \\
 &= 84 + 43 \\
 &= 128 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

d. Panjang Antrean

$$\begin{aligned}
 Pa &= N_q \times \frac{20}{LM} \\
 &= 128 \times \frac{20}{2,9} \\
 &= 883 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4. Lengan Barat

a. Rasio Hijau (RH)

$$\begin{aligned}
 R_H &= \frac{W_{Hi}}{s} \\
 &= \frac{18}{155} \\
 &= 0,12
 \end{aligned}$$

b. Kendaraan terhenti yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1})

$$\begin{aligned}
 N_{q1} &= 0,25 \times s \times \left\{ (Dj - 1) + \sqrt{(Dj - 1)^2 + \frac{8 \times (Dj - 0,5)}{s}} \right\} \\
 &= 0,25 \times 155 \times \left\{ (1,81 - 1) + \sqrt{(1,81 - 1)^2 + \frac{8 \times (1,81 - 0,5)}{155}} \right\} \\
 &= 65 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

c. Kendaraan datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2})

$$\begin{aligned}
 N_{q2} &= s \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times Dj)} \times \frac{q}{3600} \\
 &= 155 \times \frac{(1 - 0,12)}{(1 - 0,12 \times 1,81)} \times \frac{298}{3600} \\
 &= 14 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_q &= N_{q1} + N_{q2} \\
 &= 65 + 14 \\
 &= 80 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

d. Panjang Antrean

$$\begin{aligned}
 P_a &= N_q \times \frac{20}{LM} \\
 &= 80 \times \frac{20}{3,5} \\
 &= 457 \text{ m}
 \end{aligned}$$

5.3.9 Analisis Rasio dan Jumlah Kendaraan Terhenti

1. Lengan Utara

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

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{106}{756 \times 155} \times 3600$$

$$R_{KH} = 2,93$$

$$N_{KH} = q \times R_{KH}$$

$$N_{KH} = 756 \times 2,93$$

$$N_{KH} = 2215,74 \approx 2216 \text{ smp/jam}$$

2. Lengan Timur

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{Nq}{q \times s} \times 3600$$

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{108}{424 \times 155} \times 3600$$

$$R_{KH} = 5,33$$

$$N_{KH} = q \times R_{KH}$$

$$N_{KH} = 424 \times 5,33$$

$$N_{KH} = 2257,55 \approx 2258 \text{ smp/jam}$$

3. Lengan Selatan

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{Nq}{q \times s} \times 3600$$

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{128}{696 \times 155} \times 3600$$

$$R_{KH} = 3,85$$

$$N_{KH} = q \times R_{KH}$$

$$N_{KH} = 696 \times 3,85$$

$$N_{KH} = 2675,61 \approx 2676 \text{ smp/jam}$$

3. Lengan Barat

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{Nq}{q \times s} \times 3600$$

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{80}{298 \times 155} \times 3600$$

$$R_{KH} = 5,61$$

$$N_{KH} = q \times R_{KH}$$

$$N_{KH} = 298 \times 5,46$$

$$N_{KH} = 1672,26 \approx 1672 \text{ smp/jam}$$

Angka henti seluruh simpang APILL dapat dihitung dengan membagi jumlah kendaraan yang terhenti pada semua pendekat di persimpangan dengan arus total simpang. Berikut merupakan perhitungan kendaraan terhenti rata-rata.

$$\begin{aligned} R_{KH} \text{ total} &= \frac{(\sum N_{KH})}{q \text{ total}} \\ &= \frac{(2216+2258+2676+1672)}{756+424+696+298+355} \\ &= 3,49 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan panjang antrean dapat dilihat pada Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Tabel Rekapitulasi Hasil Analisis Panjang Antrean

Parameter	Satuan	Lengan Utara	Lengan Timur	Lengan Selatan	Lengan Barat
Antrean kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (Nq1)	smp	59	86	84	65
Antrean kendaraan yang datang dan berhenti dalam antrean selama fase merah (Nq2)	smp	47	21	43	14
Jumlah rata-rata antrean kendaraan (Nq)	smp	106	108	128	80
Panjang Antrean (PA)	m	606	617	883	457
Rasio Kendaraan Henti (RKH)	stop/smp	2,93	5,33	3,85	5,61
Jumlah Rata-rata kendaraan henti (NKH)	smp/jam	2216	2258	2676	1672
Angka henti seluruh simpang (RKH Total)	3,49				

5.3.10 Analisis Tundaan

Untuk mendapatkan nilai tundaan lalu lintas adalah tundaan lalu lintas rata-rata untuk setiap lengan (TLL), tundaan geometrik rata-rata (TG) dan tundaan lalu lintas rata-rata untuk seluruh simpang (T). Sama seperti perhitungan kendaraan berhenti, perhitungan tundaan menggunakan arus lalu lintas total baik pada simpang APILL yang memiliki lajur LTOR maupun tidak. Perhitungan di bawah ini menunjukkan perhitungan tundaan lalu lintas rata-rata untuk setiap lengan dengan kondisi saat ini (eksisting) di Simpang Tegal Gendu.

1. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
T_{LL} &= s \times \frac{0,5 \times (1-RH)^2}{(1-RH \times DJ)} + \frac{Nq1 \times 3600}{C} \\
&= 155 \times \frac{0,5 \times (1-0,29)^2}{(1-0,29 \times 1,74)} + \frac{59 \times 3600}{435} \\
&= 632,06 \text{ det/smp} \\
TG &= (1 - R_{KH}) \times (PB \times 6) + (R_{KH} \times 4) \\
&= (1 - 2,93) \times (0,419 \times 6) + (2,93 \times 4) \\
&= 6,87 \text{ det/smp} \\
T &= T_{LL} + TG \\
&= 632,06 + 6,87 \\
&= 638,93 \text{ det/smp} \\
T_{total} &= T \times q \\
&= 638,93 \times 756 \\
&= 482953,09 \text{ smp.det}
\end{aligned}$$

2. Lengan Timur

$$\begin{aligned}
T_{LL} &= s \times \frac{0,5 \times (1-RH)^2}{(1-RH \times DJ)} + \frac{Nq \times 3600}{C} \\
&= 155 \times \frac{0,5 \times (1-0,12)^2}{(1-0,12 \times 2,09)} + \frac{86 \times 3600}{203} \\
&= 1624,31 \text{ det/smp} \\
TG &= (1 - R_{KH}) \times (PB \times 6) + (R_{KH} \times 4) \\
&= (1 - 5,33) \times (0,419 \times 6) + (5,33 \times 4) \\
&= 10,44 \text{ det/smp} \\
T &= T_{LL} + TG \\
&= 1624,31 + 10,18 \\
&= 1634,75 \text{ det/smp} \\
T_{total} &= T \times q \\
&= 1634,75 \times 424 \\
&= 692768,12 \text{ smp.det}
\end{aligned}$$

3. Lengan Selatan

$$T_{LL} = s \times \frac{0,5 \times (1-RH)^2}{(1-RH \times DJ)} + \frac{Nq \times 3600}{C}$$

$$= 155 \times \frac{0,5 \times (1-0,23)^2}{(1-0,23 \times 2,05)} + \frac{84 \times 3600}{339}$$

$$= 1029.94 \text{ det/smp}$$

$$\begin{aligned} \text{TG} &= (1 - R_{KH}) \times (PB \times 6) + (R_{KH} \times 4) \\ &= (1 - 3,85) \times (0,419 \times 6) + (3,85 \times 4) \\ &= 8,24 \text{ det/smp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= \text{TLL} + \text{TG} \\ &= 1029,94 + 8,24 \\ &= 1038,17 \text{ det/smp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{total}} &= T \times q \\ &= 1038,17 \times 696 \\ &= 722079,28 \text{ smp.det} \end{aligned}$$

4. Lengan Barat

$$\begin{aligned} \text{TLL} &= s \times \frac{0,5 \times (1-RH)^2}{(1-RH \times DJ)} + \frac{Nq1 \times 3600}{C} \\ &= 155 \times \frac{0,5 \times (1-0,12)^2}{(1-0,12 \times 1,81)} + \frac{65 \times 3600}{165} \\ &= 1518.86 \text{ det/smp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TG} &= (1 - R_{KH}) \times (PB \times 6) + (R_{KH} \times 4) \\ &= (1 - 5,61) \times (0,419 \times 6) + (5,61 \times 4) \\ &= 10,86 \text{ det/smp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= \text{TLL} + \text{TG} \\ &= 1518.86 + 10,86 \\ &= 1529,71 \text{ det/smp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{total}} &= T \times q \\ &= 1529,71 \times 298 \\ &= 456275,56 \text{ smp.det} \end{aligned}$$

5. Tundaan Belok Kiri Jalan Terus

Berdasarkan PKJI 2023 tundaan untuk kendaraan jalan belok tidak berhenti mempunyai nilai yang normal yaitu 6 detik. Pada Simpang Tegal Gendu lengan yang memiliki arus Belok kiri jalan terus adalah lengan utara dan selatan, oleh karena itu diperhitungkan tundaan BK_{JT} untuk pendekat utara

dan selatan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 q_{BKIJT \text{ Utara}} &= 184 \text{ smp/jam} \\
 q_{BKIJT \text{ Selatan}} &= 198 \text{ smp/jam} \\
 q_{\text{total}} &= q_{BKIJT \text{ U}} + q_{BKIJT \text{ S}} \\
 &= 184 + 194 \\
 &= 355 \text{ smp/jam} \\
 T_{\text{total}} &= T \times q \\
 &= 6 \times 355 \\
 &= 2131,44 \text{ smp.det}
 \end{aligned}$$

Setelah diperhitungkan tundaan pada masing-masing lengan, kemudian nilai tersebut ditotal dan dibagi dengan nilai total arus di setiap lengan.

Berikut merupakan nilai tundaan simpang rata-rata yaitu tahap terakhir untuk analisis tundaan.

$$\begin{aligned}
 T_i &= \frac{\Sigma(q \times T)}{q_{\text{Total}}} \\
 &= \frac{2356207.48}{2529} \\
 &= 931,79 \text{ det/smp}
 \end{aligned}$$

5.3.11 Penentuan Tingkat Pelayanan

Berikut merupakan tabel rekapitulasi hasil dari analisis tundaan Simpang Tegal Gendu pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Tabel Rekapitulasi Analisis Tundaan Simpang Tegal Gendu

Pendekat	Tundaan Rata -rata per lengan (det/smp)
Utara (Jl. Pramuka)	632,06
Timur (Jl. Tegal Gendu)	1624,31
Selatan (Jl. Imogiri Timur)	1029,94
Barat (Jl. Tegalturi)	1518,86
Tundaan Simpang Rata-rata	931,789
Tingkat Pelayanan simpang	F

Berdasarkan hasil analisis menggunakan PKJI 2023, kondisi saat ini menunjukkan nilai tundaan (T) di Lengan Utara sebesar 632.06 det/smp, di Lengan Timur sebesar 1624.31 det/smp, di Lengan Selatan sebesar 1029.94 det/smp, dan di Lengan Barat sebesar 1518.86 det/smp, dengan rata-rata tundaan di seluruh simpang (T1) sebesar 931.789 det/smp. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015, maka tingkat pelayanan pada masing-masing lengan berada pada tingkat pelayanan F, dan untuk tingkat pelayanan keseluruhan simpang berdasarkan tundaan rata-rata simpang yaitu pada tingkat pelayanan F. Dari pengamatan yang dilakukan secara langsung yang mempengaruhi tundaan simpang di Simpang Tegal Gendu adalah nilai volume kendaraan yang besar tapi nilai kapasitas simpang kecil, sehingga menyebabkan nilai tundaan besar.

5.5 Kalibrasi dan Validasi Hasil Pemodelan PTV VISSIM

Jumlah kendaraan saat jam puncak selama satu jam, kecepatan kendaraan, panjang antrean kendaraan, geometri simpang, dan siklus waktu simpang adalah semua data yang digunakan untuk pemodelan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Pemodelan dimulai setelah parameter dimasukkan, proses validasi hasil pemodelan dengan VISSIM dilakukan dengan membandingkan jumlah kendaraan yang keluar dari pemodelan dengan jumlah kendaraan pada jam puncak yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak tersebut. Validasi dilakukan untuk mengetahui bahwa simulasi simpang sudah mendekati dengan kondisi eksisting simpang.

5.5.1 Hasil Pemodelan Sebelum Kalibrasi

Output kecepatan, panjang antrean, dan tundaan dari pemodelan yang dibuat oleh perangkat lunak PTV VISSIM akan diuji menggunakan rumus GEH, yang merupakan gabungan antara perbedaan nilai relatif dan mutlak dalam uji T. Untuk parameter panjang antrean, Uji MAPE digunakan untuk menunjukkan seberapa akurat suatu prediksi dengan mengukur persentase penyimpangan antara nilai sebenarnya dan hasil perkiraan dalam suatu periode, uji MAPE membantu mengidentifikasi apakah estimasi yang dihasilkan terlampaui tinggi atau rendah.

Secara teknis, MAPE dihitung dengan mengambil rata-rata dari nilai absolut kesalahan prediksi, yang kemudian dikonversi ke bentuk persentase dengan mengalikannya dengan 100%. Berikut merupakan perhitungan dari metode menggunakan validasi GEH dan MAPE sebelum kalibrasi VISSIM.

1. Perhitungan Uji GEH Menggunakan Nilai Volume Kendaraan

a. Lengan Utara (Jl. Pramuka)

$$\begin{aligned} GEH &= \sqrt{\frac{(Q_{simulasi} - Q_{eksisting})^2}{0.5 \times (Q_{simulasi} + Q_{eksisting})}} \\ &= \sqrt{\frac{(2247 - 390)^2}{0.5 \times (2247 + 3904)}} \\ &= 29,88 \end{aligned}$$

b. Lengan Timur (Jl. Tegal Gendu)

$$\begin{aligned} GEH &= \sqrt{\frac{(Q_{simulasi} - Q_{eksisting})^2}{0.5 \times (Q_{simulasi} + Q_{eksisting})}} \\ &= \sqrt{\frac{(826 - 2179)^2}{0.5 \times (826 + 2179)}} \\ &= 34,91 \end{aligned}$$

c. Lengan Selatan (Jl. Tegal Imogiri Timur)

$$\begin{aligned} GEH &= \sqrt{\frac{(Q_{simulasi} - Q_{eksisting})^2}{0.5 \times (Q_{simulasi} + Q_{eksisting})}} \\ &= \sqrt{\frac{(1895 - 3742)^2}{0.5 \times (1895 + 3742)}} \\ &= 34,79 \end{aligned}$$

d. Lengan Barat (Jl. Tegalturi)

$$\begin{aligned} GEH &= \sqrt{\frac{(Q_{simulasi} - Q_{eksisting})^2}{0.5 \times (Q_{simulasi} + Q_{eksisting})}} \\ &= \sqrt{\frac{(731 - 1454)^2}{0.5 \times (731 + 1454)}} \\ &= 21,87 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Uji MAPE Menggunakan Nilai Panjang Antrean

a. Lengan Utara (Jl. Pramuka)

$$MAPE = \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{125-188}{125} \right| \times 100\%$$

$$= 51\%$$

b. Lengan Timur (Jl. Tegal Gendu)

$$\text{MAPE} = \left| \frac{At-F}{At} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{160-317}{160} \right| \times 100\%$$

$$= 98\%$$

c. Lengan Selatan (Jl. Imogiri Timur)

$$\text{MAPE} = \left| \frac{At-F}{At} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{210-3}{210} \right| \times 100\%$$

$$= 67\%$$

d. Lengan Barat (Jl. Tegalturi)

$$\text{MAPE} = \left| \frac{At-F}{At} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{120-236}{120} \right| \times 100\%$$

$$= 97\%$$

Berikut merupakan hasil kalibrasi menggunakan uji validasi GEH dan MAPE pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.14.

Tabel 5. 13 Hasil Pemodelan Uji GEH Sebelum Kalibrasi

Pendekat	Volume Eksisting (kend/jam)	Volume VISSIM (kend/jam)	Nilai GEH	Keterangan
Utara (Jl. Pramuka)	3904	2247	29,88	Tidak Memenuhi
Timur (Jl. Tegal Gendu)	2179	826	34,91	Tidak Memenuhi
Selatan (Jl. Imogiri Timur)	3742	1895	34,79	Tidak Memenuhi
Barat (Jl. Tegalturi)	1454	731	21,87	Tidak Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.13, hasil pemodelan VISSIM sebelum kalibrasi untuk parameter volume kendaraan menunjukkan nilai GEH > 5 , yang berarti pemodelan tersebut belum memenuhi GEH yang di syaratkan, yaitu GEH < 5.

Tabel 5. 14 Hasil Pemodelan Uji MAPE Sebelum Kalibrasi

Pendekat	Panjang Antrean Eksisting (kend/jam)	Panjang Antrean VISSIM (kend/jam)	Nilai MAPE	Keterangan
Utara (Jl. Pramuka)	125	188	51%	Tidak Memenuhi
Timur (Jl. Tegal Gendu)	160	317	98%	Tidak Memenuhi
Selatan (Jl. Imogiri Timur)	210	350	67%	Tidak Memenuhi
Barat (Jl. Tegalturi)	120	236	97%	Tidak Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.14, hasil pemodelan VISSIM sebelum kalibrasi untuk parameter volume kendaraan menunjukkan nilai MAPE $> 50\%$, yang berarti pemodelan tersebut belum memenuhi MAPE yang di syaratkan, yaitu MAPE $< 50\%$.

5.5.2 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi

Untuk mendapatkan hasil kalibrasi yang sesuai dengan nilai GEH dan MAPE, nilai-nilai komponen perilaku pengemudi harus diganti. Hal tersebut dilakukan untuk membantu volume kendaraan dan panjang antrean yang dihasilkan oleh simulasi sehingga hasil simulasi dapat mendekati kondisi eksisting simpang. Berikut merupakan Tabel 5.15 menunjukkan perubahan yang dilakukan pada perilaku pengemudi atau *driving behavior*.

Tabel 5. 15 Kalibrasi *Driving Behavior*

Parameter yang diubah		Nilai	
		Default	Kalibrasi
Car Following	Average Standstill Distance (m)	2,00	0,4
	Additive Part of Safety Distance	2,00	0,4
	Multiplicative Part of Safety Distance	3,00	0,5
Lane Change	Waiting time before diffusion (s)	60	40
	Min. headway (front/rear) (m)	0,5	0,4
	Safety distance reduction factor	0,6	0,4

Lanjutan Tabel 5. 15 Kalibrasi *Driving Behavior*

Parameter yang diubah		Nilai	
		Default	Kalibrasi
Lateral	<i>Desired Position at Free Flow</i>	<i>Middle of lane</i>	<i>Any</i>
	<i>Minimum Distance Standing (m)</i>	0,2	0,2
	<i>Minimum Distance Driving (m)</i>	1,00	1,00
	<i>Overtake On Same Lane</i>	-	<i>On right</i> <i>On left</i>
Signal Controller	<i>Behaviour at Red/Amber Signal</i>	<i>Go (same as green)</i>	<i>Go (same as green)</i>

Sumber : PTV VISSIM 9.00

Untuk memastikan bahwa hasil kalibrasi dianggap valid sesuai dengan uji GEH dan MAPE, proses validasi diperlukan dalam pemodelan VISSIM. Uji GEH menggunakan parameter volume kendaraan sebagai data utama, sedangkan uji MAPE menggunakan parameter panjang antrean. Kalibrasi yang dilakukan menunjukkan bahwa hasil kalibrasi valid karena ada perubahan pada beberapa parameter perilaku pengemudi. Berikut merupakan Gambar 5.11 yang menunjukkan kondisi pemodelan VISSIM sebelum kalibrasi dan Gambar 5.12 adalah kondisi pemodelan VISSIM setelah kalibrasi.

Gambar 5. 11 Pemodelan *Driving Behavior* Sebelum Kalibrasi



Gambar 5. 12 Pemodelan *Driving Behavior* Setelah Kalibrasi

Perhitungan uji GEH dan MAPE pemodelan VISSIM setelah kalibrasi ditunjukkan pada perhitungan di bawah ini.

1. Perhitungan Uji GEH Menggunakan Nilai Volume Kendaraan

a. Lengan Utara (Jl. Pramuka)

$$\begin{aligned}
 GEH &= \sqrt{\frac{(Q_{\text{simulasi}} - Q_{\text{eksisting}})^2}{0.5 \times (Q_{\text{simulasi}} + Q_{\text{eksisting}})}} \\
 &= \sqrt{\frac{(3710 - 3904)^2}{0.5 \times (3710 + 3904)}} \\
 &= 3,14
 \end{aligned}$$

b. Lengan Timur (Jl. Tegal Gendu)

$$\begin{aligned}
 GEH &= \sqrt{\frac{(Q_{\text{simulasi}} - Q_{\text{eksisting}})^2}{0.5 \times (Q_{\text{simulasi}} + Q_{\text{eksisting}})}} \\
 &= \sqrt{\frac{(1977 - 2179)^2}{0.5 \times (1977 + 2179)}} \\
 &= 4,43
 \end{aligned}$$

c. Lengan Selatan (Jl. Imogiri Timur)

$$\begin{aligned}
 GEH &= \sqrt{\frac{(Q_{\text{simulasi}} - Q_{\text{eksisting}})^2}{0.5 \times (Q_{\text{simulasi}} + Q_{\text{eksisting}})}} \\
 &= \sqrt{\frac{(3485 - 3742)^2}{0.5 \times (3485 + 3742)}} \\
 &= 4,28
 \end{aligned}$$

d. Lengan Barat (Jl. Tegalturi)

$$\begin{aligned}
 GEH &= \sqrt{\frac{(Q_{simulasi} - Q_{eksisting})^2}{0.5 \times (Q_{simulasi} + Q_{ek})}} \\
 &= \sqrt{\frac{(1403 - 1454)^2}{0.5 \times (1403 + 145)}} \\
 &= 1,35
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Uji MAPE Menggunakan Nilai Panjang Antrean

a. Lengan Utara (Jl. Pramuka)

$$\begin{aligned}
 MAPE &= \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{125 - 153}{125} \right| \times 100\% \\
 &= 22\%
 \end{aligned}$$

b. Lengan Timur (Jl. Tegal Gendu)

$$\begin{aligned}
 MAPE &= \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{160 - 227}{160} \right| \times 100\% \\
 &= 42\%
 \end{aligned}$$

c. Lengan Selatan (Jl. Imogiri Timur)

$$\begin{aligned}
 MAPE &= \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{210 - 288}{210} \right| \times 100\% \\
 &= 37\%
 \end{aligned}$$

d. Lengan Barat (Jl. Tegalturi)

$$\begin{aligned}
 MAPE &= \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{120 - 179}{120} \right| \times 100\% \\
 &= 50\%
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan Tabel 5.16 menunjukkan nilai uji GEH setelah kalibrasi, dan Tabel 5.17 merupakan nilai uji MAPE setelah kalibrasi.

Tabel 5. 16 Hasil Pemodelan Uji GEH Setelah Kalibrasi Pada Parameter Volume Kendaraan

Pendekat	Volume Eksisting (kend/jam)	Volume VISSIM (kend/jam)	Nilai GEH	Keterangan
Utara (Jl. Pramuka)	3904	3710	3.14	Memenuhi
Timur (Jl. Tegal Gendu)	2179	1977	4.43	Memenuhi
Selatan (Jl. Imogiri Timur)	3742	3485	4.28	Memenuhi
Barat (Jl. Tegalturi)	1454	1403	1.35	Memenuhi

Tabel 5.16 menunjukkan hasil pemodelan setelah kalibrasi pada parameter panjang antrean, dan nilai GEH untuk volume kendaraan setelah kalibrasi menunjukkan angka di bawah 5, hasil pemodelan menunjukkan bahwa pemodelan dapat diterima dan memenuhi persyaratan uji GEH.

Tabel 5. 17 Hasil Pemodelan Uji MAPE Setelah Kalibrasi Pada Parameter Volume Kendaraan

Pendekat	Panjang Antrean Eksisting (meter)	Panjang Antrean VISSIM (meter)	Nilai MAPE	Keterangan
Utara (Jl. Pramuka)	125	153	22%	Memenuhi
Timur (Jl. Tegal Gendu)	160	227	42%	Memenuhi
Selatan (Jl. Imogiri Timur)	210	288	37%	Memenuhi
Barat (Jl. Tegalturi)	120	179	50%	Memenuhi

Tabel 5.17 menunjukkan hasil pemodelan setelah kalibrasi pada parameter panjang antrean, dan nilai MAPE untuk volume kendaraan setelah kalibrasi menunjukkan angka $\geq 50\%$, hasil pemodelan menunjukkan bahwa pemodelan dapat diterima dan memenuhi persyaratan uji MAPE. Berikut merupakan rekapitulasi hasil pemodelan menggunakan VISSIM dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM

Lengan	Parameter				
	Volume Lalu Lintas (kend/jam)	Panjang Antrean (meter)	Tundaan (det/kend)	Tundaan Simpang (det/kend)	Tingkat Pelayanan
Utara	3710	153	98,79	179,46	F
Timur	1977	227	309,52		
Selatan	3485	288	230,62		
Barat	1403	179	241,65		

5.6 Alternatif Solusi

Alternatif solusi merupakan upaya penanganan yang dirumuskan untuk meningkatkan kinerja lalu lintas di Simpang Tegal Gendu 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 4 alternatif solusi untuk meningkatkan kinerja Simpang Tegal Gendu. Alternatif pertama adalah perubahan waktu siklus berdasarkan waktu ideal dalam PKJI 2023. Alternatif kedua adalah penambahan BKiJT pada lengan timur yaitu pada Jl. Tegal Gendu. Alternatif ketiga yaitu penambahan lebar jalan pada lengan utara dan selatan dikombinasikan dengan penyesuaian waktu hijau yang ada lengan barat dan timur. Alternatif terakhir atau keempat yaitu pemecahan simpang 4 menjadi 2 simpang 3 dan perubahan lampu APILL menjadi lampu APILL koordinasi.

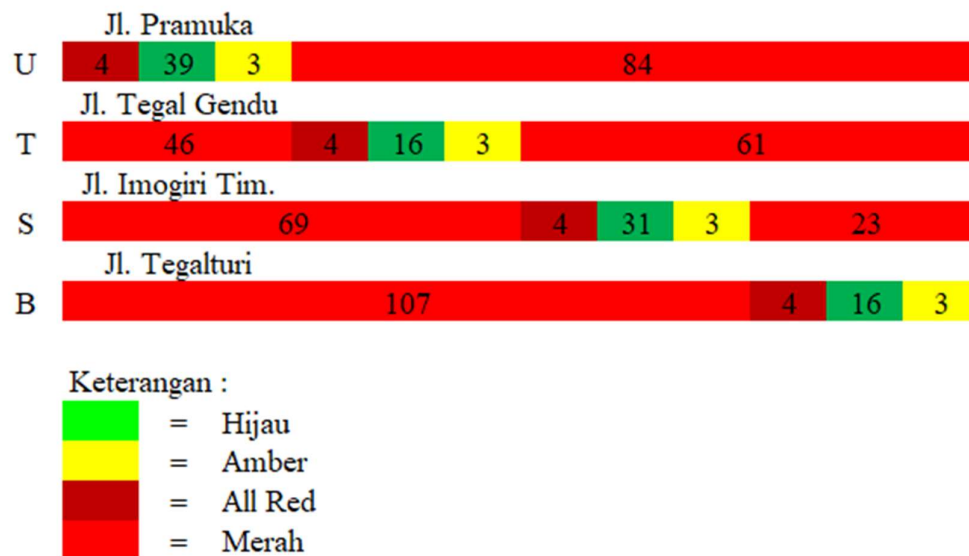
5.6.1 Alternatif 1

Alternatif solusi pertama melibatkan optimalisasi waktu siklus. Proses pencarian waktu siklus optimal dilakukan dengan simulasi VISSIM melalui pendekatan *trial and error* hingga diperoleh nilai tundaan terkecil. Dalam proses

simulasi, durasi waktu merah semua ditetapkan sebesar 4 detik dan durasi waktu kuning disesuaikan menjadi 3 detik pada setiap fase, dengan tujuan menjaga konsistensi keselamatan pergerakan kendaraan di persimpangan. Data selengkapnya mengenai hasil optimasi ini dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5. 19 Penentuan *Trial and Error* Waktu Siklus Alternatif 1

Kondisi	Lengan	Urutan Fase	Waktu (detik)			Waktu Siklus (detik)
			Hijau	Kuning	<i>All red</i>	
Eksisting	U	1	45	3	9	155
	T	2	18	3	6	
	S	3	35	3	6	
	B	4	18	3	6	
Trial 1	U	1	43	3	4	140
	T	2	18	3	4	
	S	3	33	3	4	
	B	4	18	3	4	
Trial 2	U	1	41	3	4	135
	T	2	17	3	4	
	S	3	32	3	4	
	B	4	17	3	4	
Trial 3	U	1	39	3	4	130
	T	2	16	3	4	
	S	3	31	3	4	
	B	4	16	3	4	
Trial 4	U	1	38	3	4	125
	T	2	15	3	4	
	S	3	29	3	4	
	B	4	15	3	4	
Trial 5	U	1	36	3	4	120
	T	2	14	3	4	
	S	3	28	3	4	
	B	4	14	3	4	



Gambar 5. 13 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu Alternatif 1

Berdasarkan Tabel 5.18, Hasil dari pemodelan menggunakan PTV VISSIM dengan mensimulasikan tiap trial dari alternatif 1, didapatkan trial 3 adalah pewaktuan yang paling baik karena hasil tundaan simpang trial 3 memiliki nilai tundaan lebih kecil dibandingkan dengan trial lainnya. Oleh karena itu, pewaktuan waktu siklus 130 detik dipilih untuk menentukan waktu sinyal dalam alternatif 1. Waktu siklus pada alternatif 1 dan waktu siklus pada kondisi eksisting dapat dilihat pada Tabel 5.20 dan Tabel 5.21

Tabel 5. 20 Waktu Siklus Pada Alternatif Solusi 1

Lengan	Waktu				Urutan fase	Waktu siklus
	Hijau	Kuning	Merah	All red		
Utara (Jl. Pramuka)	39	3	84	4	1	130
Timur (Jl. Tegal Gendu)	16	3	107	4	2	130
Selatan (Jl. Imogiri Tim.)	31	3	92	4	3	130
Barat (Jl. Tegalturi)	16	3	107	4	4	130

Tabel 5. 21 Waktu Siklus Pada Kondisi Eksisting

Lengan	Waktu				Urutan fase	Waktu siklus
	Hijau	Kuning	Merah	All red		
Utara (Jl. Pramuka)	45	3	98	9	1	155
Timur (Jl. Tegal Gendu)	16	3	128	6	2	155
Selatan (Jl. Imogiri Tim.)	35	3	111	6	3	155
Barat (Jl. Tegalturi)	16	3	128	6	4	155

Salah satu perbedaan antara alternatif 1 dan kondisi eksisting adalah jumlah waktu siklus, pada kondisi eksisting, waktu siklusnya 155 detik, sementara alternatif 1 menjadi 130 detik. Waktu hijau pada lengan utara berkurang sebesar 6 detik dari 45 detik menjadi 39 detik, waktu hijau lengan selatan turun sebesar 4 detik dari 35 detik menjadi 31 detik, dan waktu hijau lengan timur dan lengan barat berkurang 2 detik dari 18 detik menjadi 16 detik.

Nilai kapasitas dan derajat kejenuhan untuk setiap lengan pendekat dipengaruhi oleh penyesuaian waktu siklus. Nilai kapasitas dan derajat kejenuhan untuk setiap lengan pendekat pada alternatif 1 dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

1. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1497 \times \frac{39}{130} \\
 &= 449 \text{ smp/jam} \\
 D_j &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{756}{449} \\
 &= 1,68
 \end{aligned}$$

2. Lengan Timur

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1750 \times \frac{16}{130} \\
 &= 215 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DJ &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{424}{215} \\
 &= 1,97
 \end{aligned}$$

3. Lengan Selatan

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1500 \times \frac{31}{130} \\
 &= 358 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DJ &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{696}{358} \\
 &= 1,94
 \end{aligned}$$

4. Lengan Barat

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1417 \times \frac{16}{130} \\
 &= 174 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DJ &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{298}{174} \\
 &= 1,71
 \end{aligned}$$

Berikut Tabel 5.22 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas simpang dan derajat kejenuhan simpang pada alternatif 1.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Alternatif 1

Lengan	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (DJ)
Utara	449	1,68
Timur	215	1,97
Selatan	358	1,94
Barat	174	1,71

Setelah dilakukan perubahan waktu siklus, langkah selanjutnya yaitu memodelkan hasil dari alternatif 1 ke dalam perangkat lunak VISSIM. Berikut merupakan hasil dari pemodelan VISSIM.

1. Panjang Antrean

Panjang antrean pada tiap lengan Simpang Tegal Gendu pada alternatif solusi 1 dapat dilihat pada Tabel 5.23 sebagai berikut.

Tabel 5. 23 Panjang Antrean Alternatif 1

Lengan	Panjang Antrean (m)
Utara	154
Timur	227
Selatan	290
Barat	172

Berdasarkan Tabel 5.23, panjang antrean untuk lengan utara sebesar 154 m, untuk lengan timur sebesar 227 m, untuk lengan selatan sebesar 290 m, dan untuk lengan barat sebesar 172 m.

2. Tundaan

Tundaan pada tiap lengan Simpang Tegal Gendu pada alternatif solusi 1 dapat dilihat pada Tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5. 24 Tundaan Alternatif 1

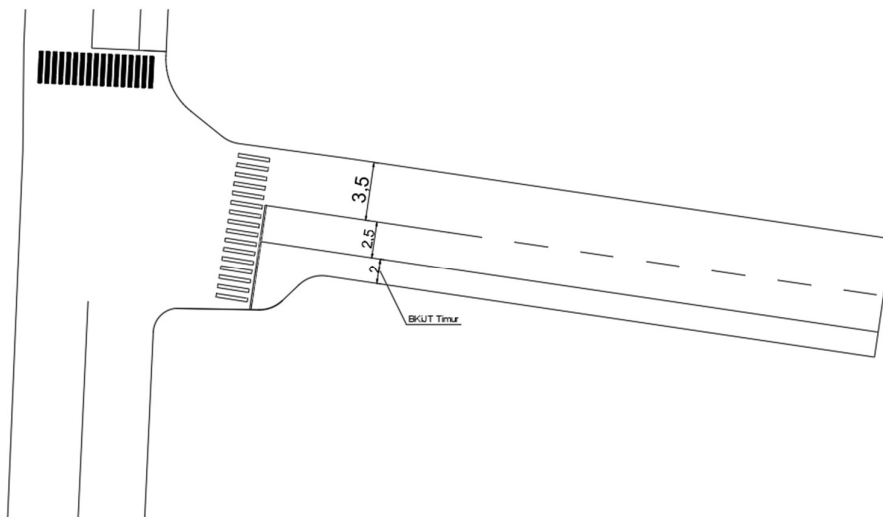
Lengan	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang VISSIM (det/kend)	Tingkat Pelayanan
Utara	86,40	156,32	F
Timur	264,46		
Selatan	204,06		
Barat	187,30		

Berdasarkan Tabel 5.24, tundaan untuk lengan utara sebesar 86,40 det/kend, untuk lengan timur sebesar 264,46 det/kend, untuk lengan selatan sebesar 204,06 det/kend, dan untuk lengan barat sebesar 187,30 det/kend. Berdasarkan hasil

tundaan simpang yaitu sebesar 156,32 maka tingkat pelayanannya adalah F.

5.6.2 Alternatif 2

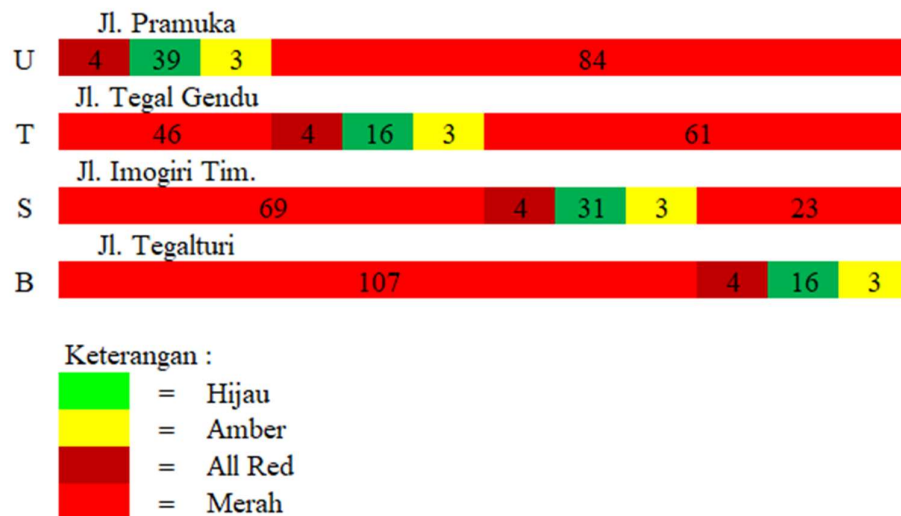
Pada alternatif 2 ini dilakukan beberapa perubahan pada geometri bagian jalinan yang dimana pada lengan timur yaitu Jl. Tegal Gendu dilebarkan sebesar 1 m dan penerapan waktu siklus pada alternatif 1 yang memiliki hasil tundaan yang paling kecil. Penambahan jalur BKiJT pada jalur timur dikarenakan volume kendaraan yang cukup besar sehingga nilai tundaan juga cukup besar . penambahan jalur BKiJT timur diharapkan mampu mengurangi arus kendaraan yang masuk pada waktu sinyal dan dapat mengurangi panjang antrean dan tundaan yang terjadi. Perubahan geometri Simpang Tegal Gendu pada Jl. Tegal Gendu arah timur bisa dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5. 14 Jalur BKiJT Timur Alternatif 2

Berdasarkan Gambar 5.14 penambahan jalur BKiJT memperlebar jalan sebesar 1 meter menjadi 2 meter, sehingga jalur untuk kendaraan yang menuju berbelok kekanan menuju arah Jl. Pramuka dan lurus menuju Jl. Tegalturi menjadi 2,5 meter. Setelah diperlakukan BKiJT maka kendaraan yang menuju arah selatan ke Jl. Imogiri Timur dapat mengikuti arus belok kiri jalan terus, akan tetapi jika

kendaraan yang menuju arah Jl. Tegal Turi maka kendaraan harus mengikuti lampu APILL fase timur. Waktu siklus yang diterapkan pada solusi alternatif 2 adalah waktu siklus solusi alternatif 1 yaitu sebesar 130 detik. Berikut merupakan diagram waktu siklus Simpang Tegal Gendu Alternatif 2 dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5. 15 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu Alternatif 2

Nilai kapasitas dan derajat kejenuhan untuk setiap lengan pendekat pada alternatif 2 dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

1. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1497 \times \frac{39}{130} \\
 &= 449 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_j &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{756}{449} \\
 &= 1,68
 \end{aligned}$$

2. Lengan Timur

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1325 \times \frac{168}{130}
 \end{aligned}$$

$$= 163 \text{ smp/jam}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{q}{c} \\ &= \frac{274}{163} \\ &= 1,68 \end{aligned}$$

3. Lengan Selatan

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{WH}{s} \\ &= 1500 \times \frac{31}{139} \\ &= 358 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{q}{c} \\ &= \frac{696}{354} \\ &= 1,94 \end{aligned}$$

4. Lengan Barat

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{WH}{s} \\ &= 1417 \times \frac{16}{130} \\ &= 174 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{q}{c} \\ &= \frac{298}{174} \\ &= 1,71 \end{aligned}$$

Berikut Tabel 5.25 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas simpang dan derajat kejenuhan simpang pada alternatif 2.

Tabel 5. 25 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Alternatif 2

Lengan	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (D _J)
Utara	449	1,68
Timur	163	1,68
Selatan	358	1,94
Barat	174	1,71

Berikut merupakan hasil pemodelan alternatif 2 dari diperlakukannya penambahan jalur BKiJT pada jalur timur dapat dilihat sebagai berikut.

1. Panjang Antrean

Panjang antrean pada alternatif solusi 2 Simpang Tegol Gendu dapat dilihat pada Tabel 5.26.

Tabel 5. 26 Panjang Antrean Alternatif 2

Lengan	Panjang Antrean (m)
Utara	151
Timur	211
Selatan	289
Barat	128

Berdasarkan Tabel 5.25, panjang antrean untuk lengan utara sebesar 151 m, untuk lengan timur sebesar 211 m, untuk lengan selatan sebesar 289 m, dan untuk lengan barat sebesar 128 m.

2. Tundaan

Tundaan pada alternatif solusi 2 Simpang Tegol Gendu dapat dilihat pada Tabel 5.27.

Tabel 5. 27 Tundaan Alternatif 2

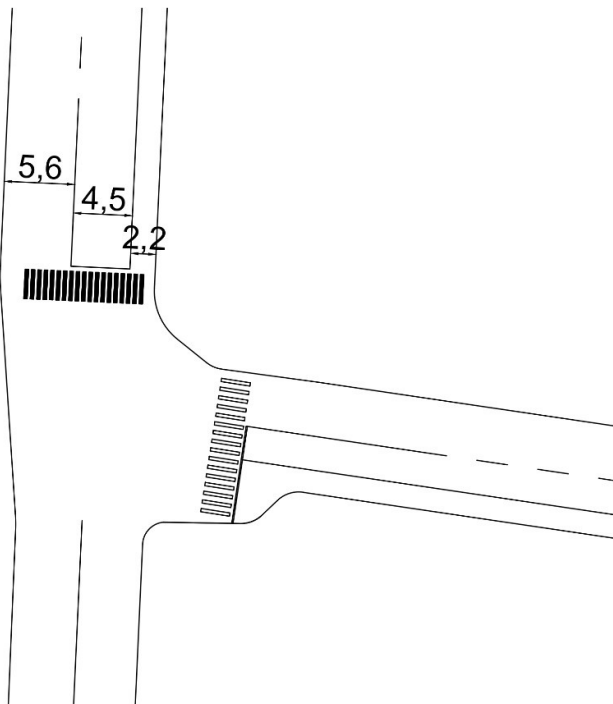
Lengan	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang VISSIM (det/kend)	Tingkat Pelayanan
Utara	89,71	144,96	F
Timur	359,39		
Selatan	204,06		
Barat	198,31		

Berdasarkan Tabel 5.27, tundaan untuk lengan utara sebesar 89,71 det/kend, untuk lengan timur sebesar 359,39 det/kend, untuk lengan selatan sebesar 204,06

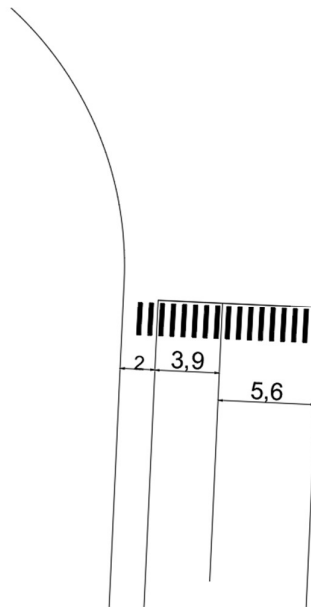
det/kend, dan untuk lengan barat sebesar 198,31 det/kend. Berdasarkan hasil tundaan simpang yaitu sebesar 144,96 maka tingkat pelayanannya adalah F.

5.6.3 Alternatif 3

Solusi Alternatif 3 adalah penambahan waktu hijau untuk lengan timur dan barat, dengan mengambil waktu hijau yang ada pada lengan utara dan selatan, hal ini menjadi pengalihan waktu hijau pada lengan yang memiliki waktu hijau kecil. Solusi alternatif 3 juga menambah lebar geometri pada lengan utara dan selatan karena waktu hijau yang diambil, sehingga masalah panjang antrean dan tundaan yang terjadi dapat diatasi secara merata di setiap lengan Simpang Tegal Gendu. Pelebaran lengan utara dan selatan Simpang Tegal Gendu dilakukan secara bertahap dengan nilai 0,5 meter dan 1 meter. Berikut merupakan ilustrasi dari pelebaran geometri lengan utara Simpang Tegal Gendu dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan pelebaran geometri lengan selatan Simpang Tegal Gendu dapat dilihat pada Gambar 5.17.



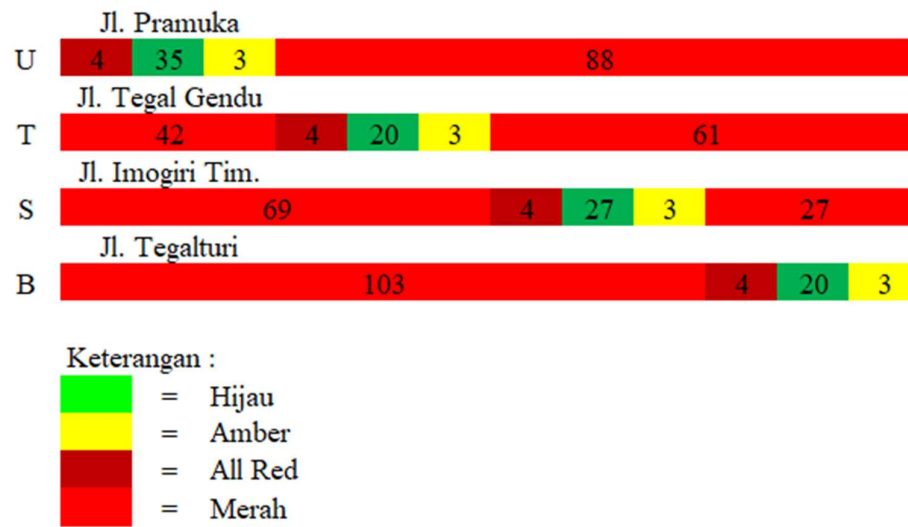
Gambar 5. 16 Geometri Lengan Utara Simpang Tegal Gendu Setelah Dilakukan Pelebaran



Gambar 5. 17 Geometri Lengan Selatan Simpang Tegal Gendu Setelah Dilakukan Pelebaran

Berdasarkan Gambar 5.16, lebar masuk pada lengan utara Simpang Tegal Gendu mengalami pelebaran sebesar 1 meter, dari kondisi eksisting selebar 3,5 meter menjadi 4,5 meter. Pelebaran ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas pendekat dengan menyediakan ruang gerak yang lebih besar bagi kendaraan, sehingga diharapkan dapat mengurangi hambatan arus masuk dan memperbaiki kinerja pelayanan pada lengan tersebut. Selanjutnya, berdasarkan Gambar 5.17, geometri lebar masuk pada lengan selatan juga mengalami pelebaran sebesar 1 meter, dari kondisi eksisting selebar 2,9 meter menjadi 3,9 meter. Penambahan lebar masuk ini bertujuan untuk menyesuaikan kebutuhan pelayanan terhadap volume lalu lintas pada pendekat selatan yang relatif tinggi.

Perubahan geometri pada lengan utara dan selatan tersebut dikombinasikan dengan penyesuaian pengaturan waktu sinyal pada lengan barat dan timur, sehingga distribusi waktu hijau antar pendekat menjadi lebih seimbang. Diagram pengaturan sinyal untuk alternatif ketiga ini disajikan pada Gambar 5.18, yang menggambarkan pembagian fase dan durasi waktu sinyal setelah dilakukan penyesuaian sebagai bagian dari upaya peningkatan kinerja simpang.



Gambar 5. 18 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu Alternatif 3

Nilai kapasitas dan derajat kejenuhan untuk setiap lengan pendekat pada alternatif 1 dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

1. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1952 \times \frac{35}{130} \\
 &= 518 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_j &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{756}{518} \\
 &= 1,46
 \end{aligned}$$

2. Lengan Timur

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1750 \times \frac{20}{130} \\
 &= 269 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_j &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{424}{269} \\
 &= 1,57
 \end{aligned}$$

3. Lengan Selatan

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 2017 \times \frac{27}{130} \\
 &= 419 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{696}{419} \\
 &= 1,66
 \end{aligned}$$

4. Lengan Barat

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1417 \times \frac{20}{130} \\
 &= 218 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{298}{218} \\
 &= 1,37
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas simpang dan derajat kejenuhan simpang pada alternatif 3 dapat dilihat pada Tabel 5.28.

Tabel 5. 28 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Alternatif 3

Lengan	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (D_J)
Utara	518	1,46
Timur	269	1,57
Selatan	419	1,66
Barat	218	1,37

Berikut merupakan hasil pemodelan alternatif 3 dari diperlakukannya pelebaran geometri lebar jalan lengan utara dan selatan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Panjang Antrean

Panjang antrean pada alternatif solusi 3 Simpang Tegol Gendu dapat dilihat pada Tabel 5.29.

Tabel 5. 29 Panjang Antrean Alternatif 3

Lengan	Panjang Antrean (m)
Utara	154
Timur	168
Selatan	291
Barat	95

Berdasarkan Tabel 5.30, panjang antrean untuk lengan utara sebesar 154 m, untuk lengan timur sebesar 168 m, untuk lengan selatan sebesar 291 m, dan untuk lengan barat sebesar 95 m.

2. Tundaan

Tundaan pada alternatif solusi 3 Simpang Tegol Gendu dapat dilihat pada Tabel 5.30.

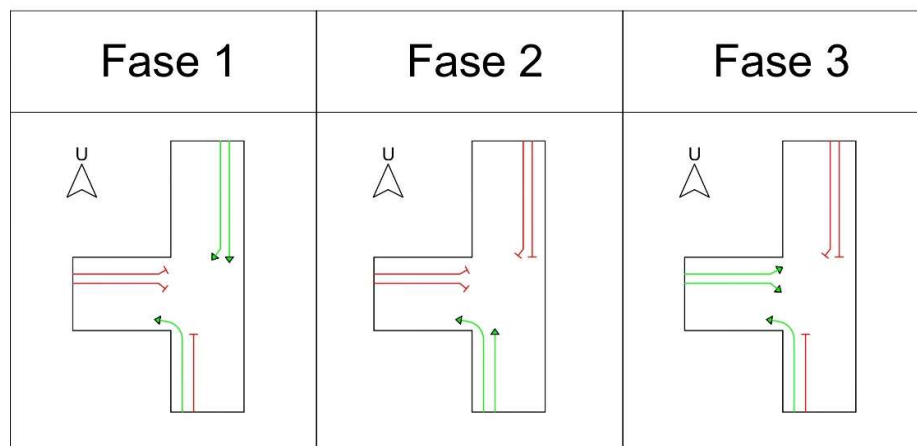
Tabel 5. 30 Tundaan Alternatif 3

Lengan	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang VISSIM (det/kend)	Tingkat Pelayanan
Utara	101,60	137,57	F
Timur	125,39		
Selatan	291,22		
Barat	80,92		

Berdasarkan Tabel 5.30, tundaan untuk lengan utara sebesar 101,60 det/kend, untuk lengan timur sebesar 125,39 det/kend, untuk lengan selatan sebesar 291,22 det/kend, dan untuk lengan barat sebesar 80,92 det/kend. Berdasarkan hasil tundaan simpang yaitu sebesar 139,87 maka tingkat pelayanannya adalah F.

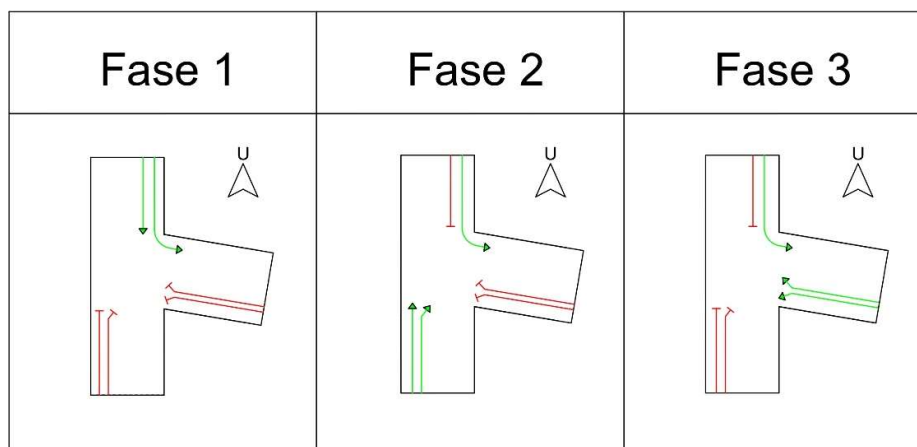
5.6.4 Alternatif 4

Alternatif terakhir atau alternatif solusi keempat adalah perubahan pada Simpang Tegol Gendu yaitu memecah simpang 4 menjadi 2 simpang 3 dengan pengaturan waktu siklus trial, fase APILL pada Simpang Tegol Gendu juga berubah dari 4 fase menjadi 3 fase lampu. Solusi alternatif 4 dengan memecah simpang menjadi 2 simpang 3 bertujuan untuk mengurangi nilai derajat kejenuhan, panjang antrean, serta tundaan di Simpang Tegol Gendu. Berikut merupakan fase ilustrasi alternatif 4 dari Simpang Tegol Gendu dari arah utara Jl. Pramuka dapat dilihat pada Gambar 5.19.



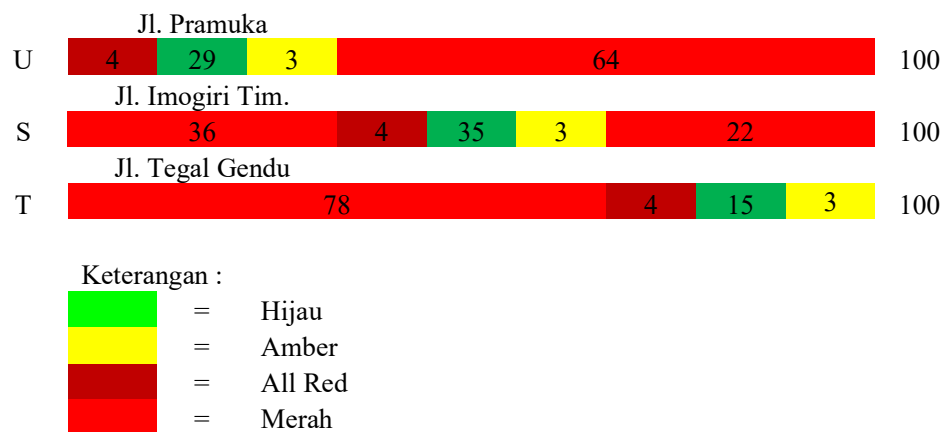
Gambar 5. 19 Fase Apill Simpang Tegol Gendu Arah Utara

Selanjutnya yaitu fase Apill dari arah selatan dapat dilihat pada Gambar 5.20.

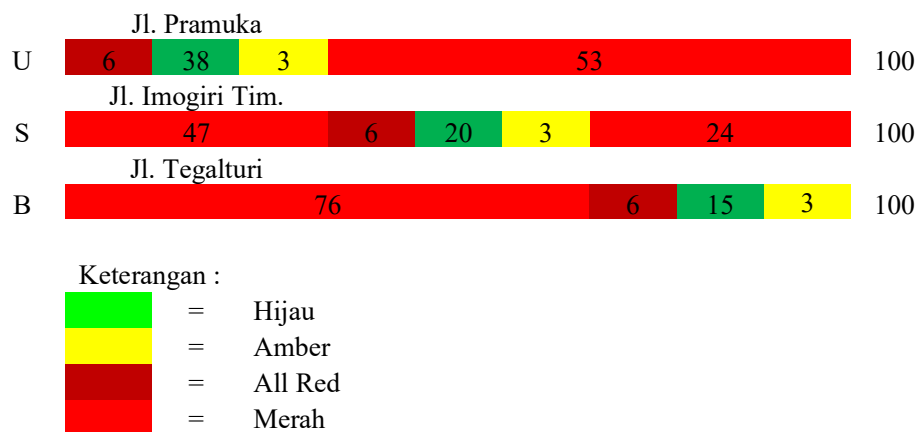


Gambar 5. 20 Fase APILL Simpang Tegol Gendu Koordinasi Arah Selatan

Berdasarkan fase pergerakan yang terjadi APILL dari arah utara dan selatan pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20, maka ditentukan waktu siklus untuk 3 fase Simpang Tegal Gendu. Waktu siklus yang diterapkan pada alternatif solusi 4 yaitu sebesar 100 detik, karena berdasarkan waktu siklus di lokasi eksisting simpang Tegal Gendu yang cukup tinggi yaitu sebesar 155 detik. Alternatif solusi ini berupaya untuk mengurangi tundaan dan panjang antrean di setiap lengan simpang Tegal Gendu karena waktu siklus yang besar. Berikut merupakan diagram waktu siklus dari simpang Tegal Gendu arah utara dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan waktu siklus dari simpang Tegal Gendu arah selatan dapat dilihat pada Gambar 5.22.

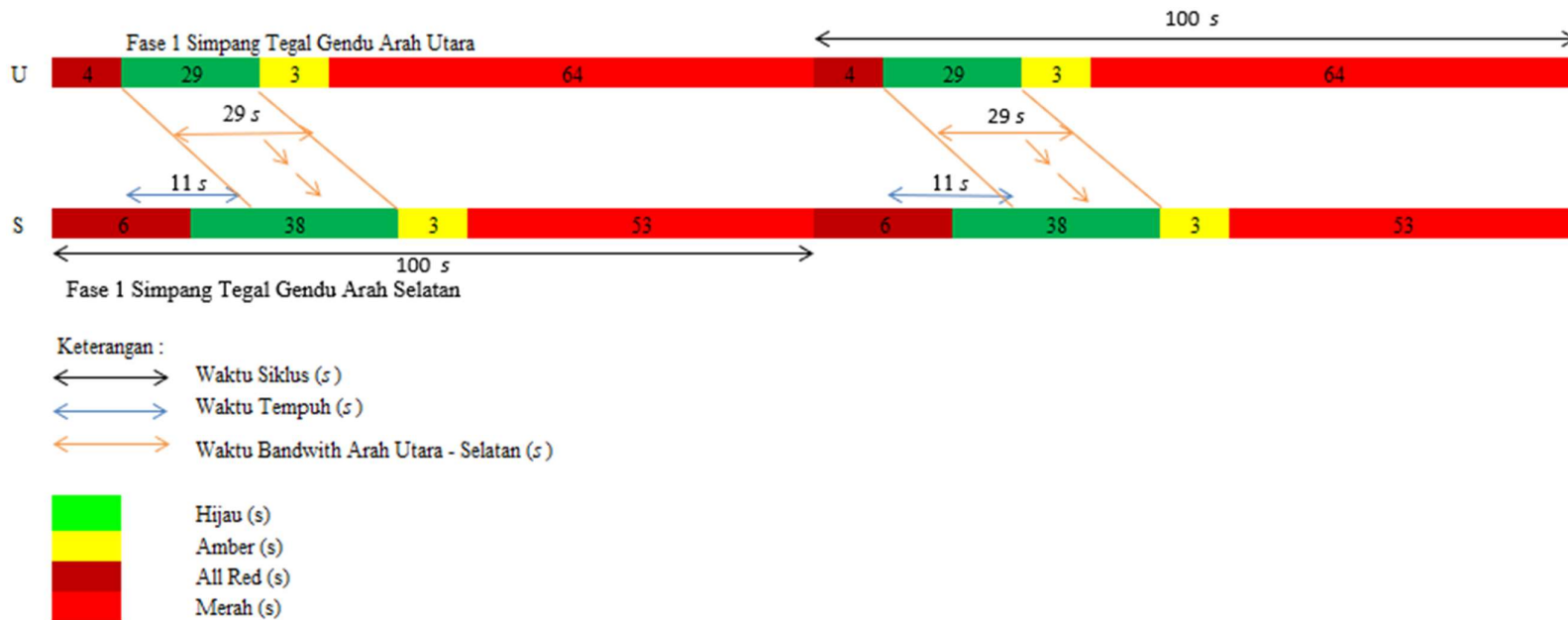


Gambar 5. 21 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu Arah Utara



Gambar 5. 22 Diagram Waktu Siklus Simpang Tegal Gendu Arah Selatan

Penerapan alternatif solusi keempat melibatkan pemecahan simpang empat menjadi dua simpang tiga yang dihubungkan melalui pengaturan sinyal terkoordinasi. Oleh karena itu, diperlukan perancangan waktu koordinasi antar simpang untuk memastikan kelancaran pergerakan kendaraan pada arah utama. Diagram waktu koordinasi disajikan untuk menggambarkan hubungan antara waktu hijau, waktu siklus, offset, serta bandwidth, sehingga dapat dievaluasi sejauh mana kendaraan dapat melintas secara berurutan tanpa mengalami tundaan akibat sinyal merah. Diagram waktu koordinasi dapat dilihat pada Gambar 5.23.



Gambar 5. 23 Diagram Waktu Koordinasi Fase 1 Alternatif 4 Simpang Tegal Gendu

Berdasarkan diagram waktu koordinasi fase 1 pada Gambar 5.23 , hijau di simpang Tegal Gendu arah utara dimulai pada detik ke-4 dan berakhir pada detik ke-33, sedangkan hijau di simpang arah selatan dimulai pada detik ke-6 dan berakhir pada detik ke-44. Selisih waktu mulai hijau antar simpang (*offset*) sebesar 2 detik. Dengan jarak antar simpang sekitar 90 meter dan waktu tempuh kendaraan ± 11 detik, kendaraan yang dilepas dari simpang arah utara selama durasi hijau fase 1 akan tiba di simpang arah selatan pada saat fase 1 masih hijau. Kondisi ini menghasilkan *bandwidth* sebesar 29 detik, yang menunjukkan koordinasi sinyal sangat efektif untuk arus mayor arah utara–selatan.

Nilai kapasitas dan derajat kejenuhan untuk setiap lengan pendekat dipengaruhi oleh waktu siklus. Nilai kapasitas dan derajat kejenuhan untuk setiap lengan pendekat pada alternatif 4 dapat dilihat pada perhitungan berikut ini,

1. Simpang Tegal Gendu Arah Utara

a. Lengan Utara

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{WH}{s} \\ &= 1461 \times \frac{29}{100} \\ &= 424 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{q}{c} \\ &= \frac{756}{424} \\ &= 1,78 \end{aligned}$$

b. Lengan Timur

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{WH}{s} \\ &= 1750 \times \frac{15}{100} \\ &= 263 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{q}{c} \\ &= \frac{424}{263} \\ &= 1,61 \end{aligned}$$

c. Lengan Selatan

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 2069 \times \frac{35}{100} \\
 &= 724 \text{ smp/jam} \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{756}{724} \\
 &= 0,96
 \end{aligned}$$

2. Simpang Tegal Gendu Arah Selatan

a. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 2034 \times \frac{38}{100} \\
 &= 773 \text{ smp/jam} \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{756}{773} \\
 &= 0,98
 \end{aligned}$$

b. Lengan Barat

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1417 \times \frac{15}{100} \\
 &= 213 \text{ smp/jam} \\
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{298}{213} \\
 &= 1,39
 \end{aligned}$$

c. Lengan Selatan

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{WH}{s} \\
 &= 1440 \times \frac{20}{100} \\
 &= 288 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_J &= \frac{q}{c} \\
 &= \frac{696}{288} \\
 &= 2,42
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas simpang dan derajat kejenuhan simpang pada alternatif 4 dapat dilihat pada Tabel 5.31 dan Tabel 5.32 sebagai berikut.

Tabel 5. 31 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Alternatif 4 Arah Utara

Lengan	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (D _J)	Rata-rata D _J
Utara	424	1,78	1.45
Timur	263	1,61	
Selatan	724	0,96	

Tabel 5. 32 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan Alternatif 4 Arah Selatan

Lengan	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (D _J)	Rata-rata D _J
Utara	773	0,98	1,60
Barat	213	1,40	
Selatan	288	2,42	

Setelah dilakukan perubahan fase simpang dan mengubah waktu siklus, langkah selanjutnya yaitu memodelkan hasil dari alternatif 4 ke dalam perangkat lunak PTV VISSIM. Berikut merupakan hasil dari pemodelan VISSIM alternatif 4.

1. Panjang Antrean

Panjang antrean pada alternatif solusi 4 dibagi menjadi 2, panjang antrean simpang tegal gendu arah utara dan panjang antrean simpang tegal gendu arah selatan, panjang antrean simpang Tegal Gendu arah utara dapat dilihat pada Tabel 5.33.

Tabel 5. 33 Panjang Antrean Simpang Tegol Gendu Arah Utara

Lengan	Panjang Antrean (m)
Utara	148
Timur	137
Selatan	76

Berdasarkan Tabel 5.33, panjang antrean untuk lengan utara sebesar 148 m, untuk lengan timur sebesar 137 m, dan untuk lengan selatan sebesar 76 m. Berikut merupakan panjang antrean simpang tegal gendu arah selatan dapat dilihat pada Tabel 5.34.

Tabel 5. 34 Panjang Antrean Simpang Tegol Gendu Arah Selatan

Lengan	Panjang Antrean (m)
Utara	86
Barat	70
Selatan	280

Berdasarkan Tabel 5.34, panjang antrean untuk lengan utara sebesar 86 m, untuk lengan barat sebesar 70 m, dan untuk lengan selatan sebesar 280 m.

2. Tundaan

Tundaan pada alternatif solusi 4 dibagi menjadi 2, tundaan simpang Tegol Gendu arah utara dan tundaan simpang Tegol Gendu arah selatan, tundaan simpang Tegol Gendu arah selatan dapat dilihat pada Tabel 5.35.

Tabel 5. 35 Tundaan Alternatif 4 Simpang Tegol Gendu Arah Utara

Lengan	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang VISSIM (det/kend)	Tingkat Pelayanan
Utara	81,77	105,23	F
Timur	106,45		
Selatan	179,04		

Berdasarkan Tabel 5.35, tundaan untuk lengan utara sebesar 81,77 det/kend, untuk lengan timur sebesar 106,45 det/kend, dan lengan selatan sebesar 179,04 det/kend,. Berdasarkan hasil tundaan simpang yaitu sebesar 105,23 maka tingkat pelayanannya adalah F. Berikut merupakan tundaan Simpang Tegal Gendu arah selatan dapat dilihat pada Tabel 5.36.

Tabel 5. 36 Tundaan Alternatif 4 Simpang Tegal Gendu Arah Selatan

Lengan	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang VISSIM (det/kend)	Tingkat Pelayanan
Utara	84,24	105,23	F
Barat	86,87		
Selatan	171,21		

Berdasarkan Tabel 5.36, tundaan untuk lengan utara sebesar 84.24 det/kend, untuk lengan barat sebesar 86,87 det/kend, dan untuk lengan selatan sebesar 171,21 det/kend. Berdasarkan hasil tundaan simpang yaitu sebesar 105,23 det/kend, maka tingkat pelayanannya adalah F.

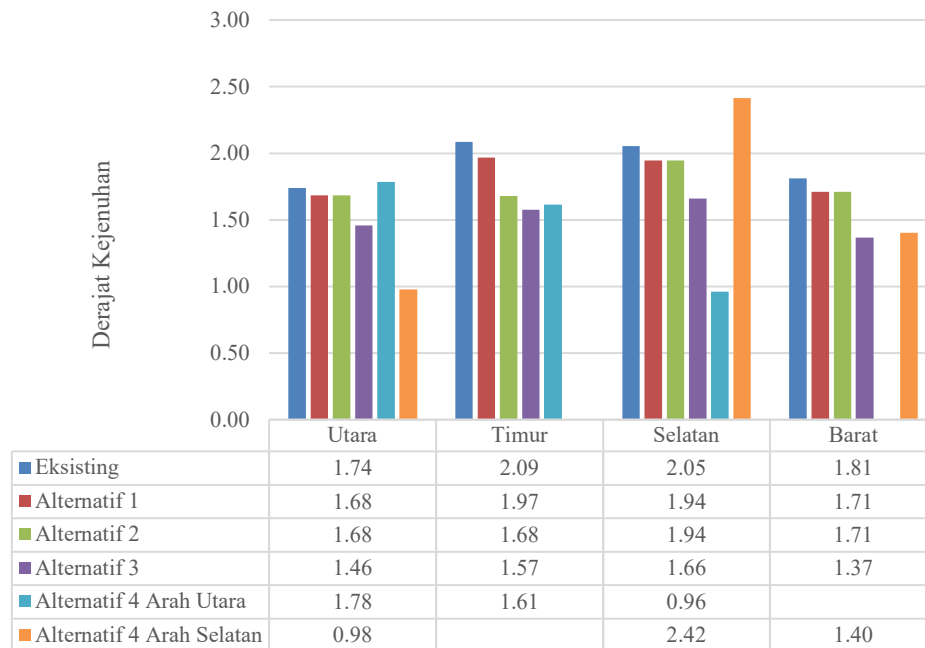
5.7 Pembahasan Simpang Tegal Gendu

Berdasarkan hasil analisis kinerja eksisting Simpang Tegal Gendu dengan mengacu pada PKJI 2023, diperoleh nilai Derajat Kejenuhan (Dj) yang signifikan pada empat lengan simpang, yakni Jalan Pramuka (Utara) sebesar 1,66, Jalan Tegal Gendu (Timur) sebesar 2,03, dan Jalan Imogiri Timur (Selatan) sebesar 2,10, sedangkan Jalan Tegalturi (Barat) memiliki nilai Dj sebesar 1,79. Kondisi ini diikuti dengan panjang antrean masing-masing sebesar 125 m, 160 m, 210 m, dan 120 m. Secara keseluruhan, nilai tundaan rata-rata simpang mencapai 728.570 det/smp yang menempatkan tingkat pelayanan pada kategori F. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi komprehensif terhadap berbagai faktor pemengaruh guna mengidentifikasi area perbaikan yang tepat demi mengoptimalkan efisiensi dan kelancaran arus lalu lintas di lokasi Simpang Tegal Gendu.

Upaya untuk meningkatkan kinerja Simpang Tegal Gendu mendapatkan hasil beberapa solusi alternatif, alternatif 1 menggunakan penyesuaian waktu siklus berdasarkan *trial and error* dan dilakukan beberapa perbandingan waktu siklus yang memiliki tundaan simpang yang paling rendah, sehingga didapatkan waktu siklus 130 detik untuk alternatif 1. Alternatif 2 adalah menambah jalur BKiJT pada lengan timur Simpang Tegal Gendu, hal ini mempertimbangkan arus belok kiri ke arah Jl. Imogiri Timur cukup besar di lengan pendekat timur (Jl. Tegal Gendu), sehingga solusi 2 ini membutuhkan penambahan jalur sebesar 1 meter untuk jalur BKiJT, dan waktu siklus yang digunakan pada alternatif solusi 2 sama dengan waktu siklus yang digunakan pada alternatif 1. Alternatif 3 adalah pengalihan waktu hijau pada lengan timur dan barat dan pelebaran geometri lengan utara dan selatan, karena beberapa pertimbangan lengan timur dan barat memiliki tundaan yang cukup besar, sehingga alternatif ini bertujuan untuk menambah waktu hijau pada lengan timur dan barat, dengan mengambil waktu hijau dari lengan utara dan selatan, dengan memperlebar lebar jalan pada lengan utara dan selatan. Alternatif 4 menggunakan solusi berupa pemecahan simpang 4 menjadi 2 simpang, dikarenakan kondisi eksisting geometri Tegal Gendu yang tidak seperti simpang 4 dari PKJI 2023, sehingga memungkinkan untuk memecah simpang 4 menjadi 2 simpang 3, hal ini juga mengubah waktu siklus yang sebelumnya 4 fase menjadi 3 fase dan menggunakan konsep *trial and error*.

1. Perbandingan Antar Nilai Derajat Kejenuhan

Terdapat perbedaan dari nilai derajat kejenuhan kondisi eksisting, alternatif 1, alternatif 2, alternatif 3, dan alternatif 4. Perbandingan tersebut berbentuk diagram yang bisa dilihat pada Gambar 5.24

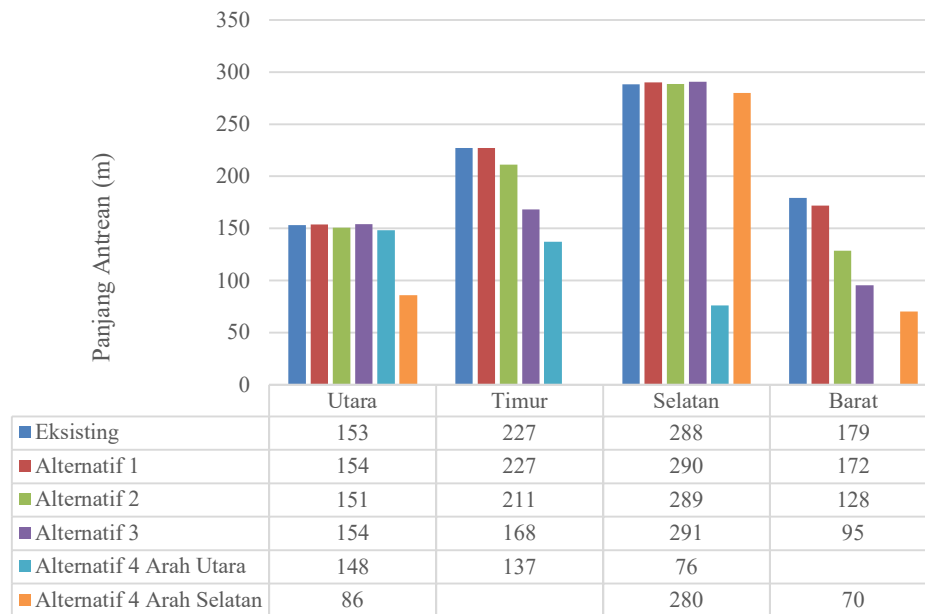


Gambar 5. 24 Diagram Perbandingan Nilai Antar Derajat Kejenuhan

Berdasarkan Gambar 5.24 alternatif 4 karena solusinya adalah pemecahan menjadi 2 simpang 3, maka alternatif 4 arah utara tidak ada lengan barat, karena sudah masuk pada alternatif 4 arah selatan, begitupun dengan lengan timur nilainya kosong yang berada di alternatif 4 arah selatan, karena lengan timur sudah masuk pada alternatif 4 arah utara. Diagram derajat kejenuhan menunjukkan perbandingan kinerja masing-masing pendekat Simpang Tegal Gendu pada kondisi eksisting dan beberapa alternatif penanganan. Pada kondisi eksisting, seluruh pendekat memiliki nilai derajat kejenuhan lebih besar dari 1,00, dengan nilai tertinggi terjadi pada lengan timur sebesar 2,09 dan lengan selatan sebesar 2,05. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kapasitas simpang tidak mampu melayani arus lalu lintas yang ada, sehingga terjadi antrean dan tundaan yang tinggi.

2. Perbandingan Antar Nilai Panjang Antrean

Pemodelan VISSIM pada kondisi eksisting alternatif 1, alternatif 2, alternatif 3 dan alternatif 4 memiliki beberapa perbedaan panjang antrean, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.25.



Gambar 5. 25 Diagram Perbandingan Nilai Antar Panjang Antrean

Hasil analisis panjang antrean pada Simpang Tegal Gendu menunjukkan perbedaan kinerja yang cukup jelas antara kondisi eksisting, tiga skenario alternatif dalam bentuk simpang 4, serta alternatif pemecahan simpang menjadi dua simpang 3. Pada kondisi eksisting, panjang antrean pada seluruh pendekat masih relatif tinggi, terutama pada pendekat timur dan selatan yang masing-masing mencapai sekitar 227 m dan 288 m. Nilai-nilai tersebut mengindikasikan bahwa kapasitas simpang 4 eksisting belum mampu mengimbangi beban lalu lintas yang terjadi sehingga berpotensi menimbulkan kondisi jenuh dan risiko spillback ke ruas jalan sekitar.

Penerapan Alternatif 1 sampai dengan Alternatif 3, yang memberikan usulan variasi pengaturan geometrik dan sinyal, belum memberikan penurunan panjang antrean yang signifikan pada seluruh pendekat. Pada pendekat utara, nilai panjang antrean tetap berada pada kisaran 151–154 m sehingga tidak menunjukkan perbaikan berarti dibandingkan kondisi eksisting. Hal serupa juga terjadi pada pendekat selatan, di mana panjang antrean justru cenderung sedikit meningkat menjadi sekitar 289–291 m. Kondisi ini menguatkan bahwa perubahan pengaturan

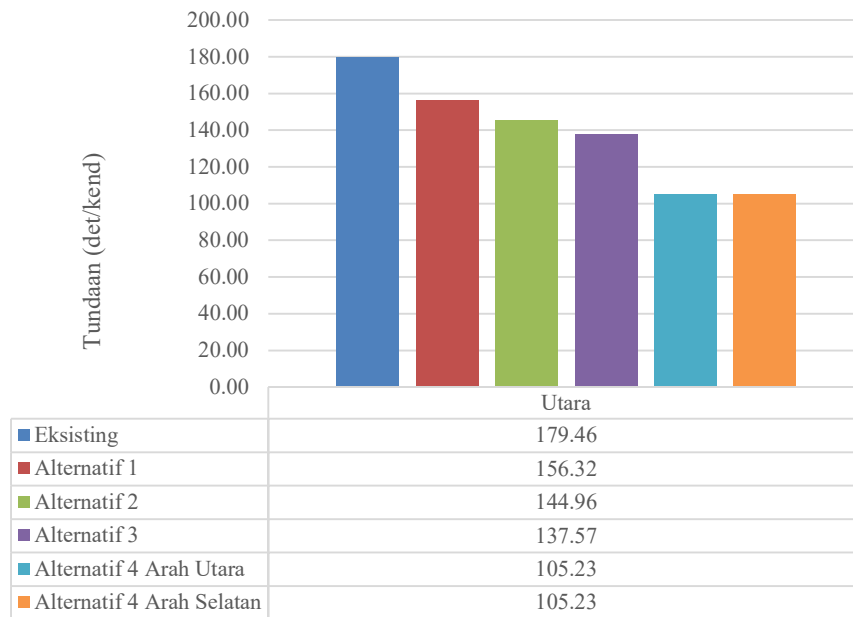
pada simpang 4 saja tidak cukup efektif untuk mengurangi kepadatan lalu lintas di Simpang Tegal Gendu, khususnya pada pendekat dengan arus tinggi.

Perbaikan kinerja antrean terlihat mengalami penurunan secara signifikan pada skenario pemecahan simpang menjadi dua simpang 3 (Alternatif 4). Pada Alternatif 4 Arah Utara, panjang antrean pada pendekat timur, selatan, dan barat menurun cukup tajam dibandingkan kondisi eksisting, masing-masing menjadi sekitar 137 m, 76 m, dan 95 m. Penurunan yang sangat besar pada pendekat selatan menunjukkan bahwa konfigurasi dua simpang 3 dengan pengutamaan arus utara–selatan mampu mengurangi potensi penumpukan kendaraan dan mengurangi risiko antrean melimpas ke ruas hulu. Sementara itu, pada pendekat utara panjang antrean sedikit menurun menjadi sekitar 148 m, sehingga tidak terjadi perburukan kondisi pada lengan ini.

Alternatif 4 Arah Selatan juga menunjukkan kecenderungan penurunan panjang antrean pada beberapa pendekat, terutama utara dan barat yang masing-masing turun menjadi sekitar 86 m dan 70 m. Namun demikian, pada pendekat selatan panjang antrean masih relatif tinggi, yaitu sekitar 280 m, sehingga efektivitas pengaturan fase dengan fokus pada arah selatan belum sebesar Alternatif 4 Arah Utara. Sementara itu, pendekat timur mengalami pengurangan antrean yang cukup berarti sehingga distribusi beban lalu lintas menjadi lebih seimbang. Oleh karena itu, alternatif 4 dipilih sebagai solusi terbaik karena berhasil menurunkan panjang antrean di setiap lengan Simpang Tegal Gendu.

3. Perbandingan Antar Nilai Tundaan

Pemodelan VISSIM pada kondisi eksisting alternatif 1, alternatif 2, alternatif 3 dan alternatif 4 memiliki beberapa perbedaan nilai tundaan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.26



Gambar 5. 26 Diagram Perbandingan Nilai Antar Tundaan

Diagram pada Gambar 5.26 hasil pemodelan VISSIM menunjukkan bahwa tundaan rata-rata pada lengan utara Simpang Tegal Gendu mengalami penurunan bertahap dari kondisi eksisting ke setiap alternatif, dengan penurunan terbesar terjadi pada Alternatif 4. Pada kondisi eksisting, tundaan rata-rata kendaraan di lengan utara mencapai sekitar 179,46 detik/kendaraan, yang mengindikasikan tingkat pelayanan sangat buruk dan sejalan dengan hasil perhitungan PKJI 2023 yang menunjukkan derajat kejenuhan tinggi pada simpang tersebut.

Penerapan Alternatif 1, 2, dan 3 yang masih mempertahankan konfigurasi simpang 4 namun dengan variasi pengaturan waktu siklus dan geometri menghasilkan penurunan tundaan yang bertahap menjadi masing-masing 156,32 detik/kendaraan, 144,96 detik/kendaraan, dan 137,57 detik/kendaraan. Penurunan ini menunjukkan bahwa pengaturan ulang sinyal dan penambahan lajur geometrik di lengan tertentu, seperti lajur belok kiri jalan terus dan pelebaran pendekat di jalan mayor cukup membantu mengurangi waktu tunggu kendaraan pada lengan utara, namun belum mampu menurunkan tundaan hingga ke tingkat pelayanan yang lebih baik.

Perbaikan kinerja yang paling signifikan terjadi pada Alternatif 4, baik konfigurasi arah utara maupun arah selatan, dengan tundaan rata-rata yang sama sebesar 105,23 detik/kendaraan. Penurunan lebih dari 70 detik/kendaraan dibanding kondisi eksisting menunjukkan bahwa pemecahan simpang 4 menjadi dua simpang 3 offset dengan koordinasi sinyal mampu mengurangi tundaan pada Simpang Tegal Gendu. Meskipun nilai tundaan ini masih tergolong tinggi, hasil tersebut mengonfirmasi bahwa perubahan konfigurasi geometrik disertai pengaturan sinyal terkoordinasi lebih efektif dalam meningkatkan kinerja tiap lengan dibandingkan melakukan penyesuaian waktu siklus dan pelebaran terbatas pada simpang.

Terdapat persentase perbedaan nilai tundaan antara kondisi eksisting dengan kondisi alternatif solusi di Simpang Tegal Gendu. Persentase penurunan nilai tundaan Simpang Tegal Gendu dapat dilihat pada Tabel 5.37.

Tabel 5. 37 Persentase Penurunan Nilai Tundaan Simpang

Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4 Arah Utara	Alternatif 4 Arah Selatan
13 %	19 %	23%	41%	41%

4. Tingkat Pelayanan

Beberapa tingkat pelayanan pada alternatif solusi tidak mengalami perubahan yang lebih baik. Perbandingan tingkat pelayanan setiap alternatif solusi dapat dilihat pada Tabel 5.38 berikut.

Tabel 5. 38 Perbandingan Nilai Tundaan Antar Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan					
Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4 (Arah Utara)	Alternatif 4 (Arah Selatan)
F	F	F	F	F	F

Berdasarkan Tabel 5.38 semua kondisi masih berada pada kategori tingkat pelayanan F dan tidak mengalami peningkatan kategori tingkat pelayanan. Akan tetapi jika ditinjau dari hasil analisis tundaan menunjukkan bahwa seluruh alternatif memberikan penurunan kinerja tundaan dibandingkan kondisi eksisting. Seperti

yang ditunjukkan pada Tabel 5.37 Alternatif 1 mampu menurunkan tundaan sebesar 13 %, sedangkan Alternatif 2 dan Alternatif 3 masing-masing menurunkan tundaan sebesar 19 % dan 23%. Penurunan paling signifikan terjadi pada Alternatif 4, dengan tundaan simpang berkurang sebesar 41%, baik pada arah utara maupun arah selatan. Meskipun tingkat pelayanan simpang masih berada pada kategori F, hasil ini menunjukkan adanya peningkatan kinerja operasional yang signifikan.

Berdasarkan hasil analisis kinerja simpang pada kondisi eksisting, diketahui bahwa kemacetan, antrean, dan tundaan yang terjadi di Simpang Tegal Gendu disebabkan oleh kombinasi beberapa faktor utama yang saling berkaitan. Hasil perhitungan derajat kejenuhan pada kondisi eksisting menunjukkan bahwa seluruh lengan simpang memiliki nilai derajat kejenuhan lebih besar dari 1,00, yang mengindikasikan bahwa volume lalu lintas yang masuk telah melampaui kapasitas pelayanan simpang. Tingginya volume lalu lintas, khususnya pada lengan timur dan selatan, tidak sesuai dengan kapasitas simpang yang kecil dan pengaturan sinyal yang tidak optimal, sehingga menyebabkan terbentuknya antrean panjang pada jam puncak, yang selanjutnya berkontribusi terhadap meningkatnya tundaan kendaraan. Selain faktor volume dan kapasitas, pengaturan waktu sinyal eksisting dan karakteristik geometri simpang juga menjadi salah satu penyebab utama terjadinya tundaan. Hal ini diperkuat oleh hasil simulasi PTV VISSIM yang menunjukkan adanya penumpukan kendaraan pada fase-fase tertentu, terutama pada lengan utara, timur, dan selatan dan konflik yang terjadi di sepanjang offset lengan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kemacetan, antrean, dan tundaan di Simpang Tegal Gendu disebabkan oleh kombinasi tingginya volume lalu lintas, keterbatasan kapasitas, karakteristik geometri simpang dan pengaturan waktu sinyal yang belum optimal. Identifikasi faktor-faktor tersebut menjadi dasar dalam perumusan alternatif penanganan yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja simpang.

Nurvika (2022) melakukan evaluasi kinerja simpang bersinyal menggunakan pendekatan analisis kapasitas dan pemodelan VISSIM dan menyimpulkan bahwa peningkatan kinerja simpang dapat dicapai melalui perbaikan kondisi geometrik dan pengaturan sinyal. Namun, pada konteks Simpang Tegal Gendu saat ini, solusi ini tidak relevan karena akan melanggar hak pejalan kaki dan mengambil lahan

pemukiman warga. Selain itu, pembangunan akan membutuhkan waktu yang lebih lama, terutama di lengan barat dan timur yang memiliki geometri jalan terkecil dan samping pemukiman warga, sehingga proses realisasi cukup susah. Berdasarkan dari keempat solusi alternatif tersebut, dapat disimpulkan bahwa alternatif 4 yaitu memecah simpang 4 menjadi 2 simpang 3 dan penyesuaian siklus menjadi 100 detik, merupakan solusi yang cukup baik dibanding alternatif yang lain. Solusi alternatif 4 menurunkan nilai derajat kejenuhan yang sebelumnya berada di angka 2,09 menjadi 1,57 pada lengan timur, kondisi eksisting sebesar 1,81 menjadi 1,40 pada lengan barat. Berdasarkan hasil VISSIM nilai panjang antrean juga menurun untuk lengan timur pada kondisi eksisting 227 meter menjadi 137 meter, dan lengan barat kondisi eksisting 179 meter menjadi 70 meter. Nilai tundaan simpang juga mengalami penurunan dari kondisi eksisting sebesar 179,46 det/kend menjadi 105,23 det/kend pada kondisi alternatif 4.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis melalui pendekatan PKJI 2023 serta pemodelan menggunakan PTV VISSIM diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil evaluasi kinerja Simpang Tegol Gendu pada kondisi eksisting menunjukkan nilai derajat kejenuhan (DJ) berdasarkan PKJI 2023 tidak memenuhi persyaratan dikarenakan $DJ > 0,85$, yakni sebesar 1,74 pada lengan Utara, 2,09 pada lengan Timur, 2,05 pada lengan selatan, dan 1,81 pada lengan Barat.
2. Berdasarkan pemodelan mikrosimulasi VISSIM, panjang antrean tercatat sebesar 153 m (Utara), 227 m (Timur), 288 m (Selatan), dan 179 m (Barat). Meskipun terdapat perbedaan output tundaan antara metode PKJI 2023 yaitu sebesar (931,79 det/smp) dan pada tundaan VISSIM sebesar (179,46 det/smp), secara keseluruhan simpang berada pada Tingkat Pelayanan F.
3. Analisis lebih lanjut mengidentifikasi bahwa tingginya volume lalu lintas, keterbatasan kapasitas lengan simpang, karakteristik geometri simpang dan pengaturan waktu sinyal yang kurang optimal menjadi faktor utama penyebab antrean panjang dan tundaan yang signifikan pada Simpang Tegol Gendu.
4. Sebagai upaya perbaikan, diusulkan solusi berupa penyesuaian simpang APILL dari simpang empat menjadi dua simpang tiga dengan penyesuaian waktu siklus menjadi 100 detik. Hasil simulasi VISSIM menunjukkan reduksi panjang antrean di simpang Tegol Gendu arah utara yaitu, lengan Utara menjadi 148 m, lengan Timur menjadi 144 m, dan lengan Barat menjadi 69 m dan simpang Tegol Gendu arah selatan pada lengan utara sebesar 63 m, lengan barat 96 m, dan lengan selatan 280 m. Selain itu, terjadi penurunan tundaan yang signifikan sebesar, dari semula pada kondisi eksisting 179,46 det/kend menjadi 105,23 det/kend pada alternatif 4 arah utara dan arah selatan dengan Tingkat Pelayanan simpang berada di kategori F.

5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis kinerja Simpang Tegal Gendu menggunakan PKJI 2023 menghasilkan nilai tundaan dan panjang antrean yang lebih besar dibandingkan hasil pemodelan mikrosimulasi PTV VISSIM. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa pendekatan dalam PKJI 2023 memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan kondisi lalu lintas aktual pada Simpang Tegal Gendu.

6.2 Saran

Berikut adalah saran yang dapat dipertimbangkan guna meningkatkan kinerja simpang menurut hasil analisis PKJI 2023 dan pemodelan VISSIM: Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh sehingga dapat merumuskan beberapa usulan sebagai dasar pertimbangan dalam memperbaiki kinerja simpang, yaitu sebagai berikut.

1. Hasil analisis kinerja dan pemodelan lalu lintas pada Simpang Tegal Gendu dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi instansi terkait, guna meningkatkan kinerja simpang.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan evaluasi lebih lanjut terhadap alternatif pemecahan simpang empat menjadi dua simpang tiga dengan mempertimbangkan variasi volume lalu lintas, khususnya pada kondisi jam puncak pagi, siang, dan sore. Selain itu, pengujian terhadap variasi jarak antar simpang dan perubahan *offset* sinyal perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap besaran *bandwidth* dan kinerja koordinasi sinyal secara keseluruhan.
3. Penelitian sejenis selanjutnya disarankan untuk mengembangkan analisis dengan mempertimbangkan proyeksi pertumbuhan lalu lintas di masa mendatang, sehingga kebutuhan penanganan simpang dapat direncanakan secara berkelanjutan.
4. Berdasarkan hasil dari skenario alternatif yang terbaik dari penelitian ini, diperlukan manajemen rekayasa lalu lintas berupa penambahan tiang dan kepala APILL baru pada masing-masing simpang untuk memastikan seluruh pergerakan kendaraan mendapat informasi isyarat yang jelas. Penambahan

APILL ini perlu mengikuti Pedoman Teknis APILL dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, termasuk penempatan lampu utama dan sekunder pada setiap lengan, penambahan rambu peringatan, serta penyesuaian marka kotak kuning di area konflik. Dengan pengaturan sinyal yang lengkap dan jelas pada kedua simpang, diharapkan efektivitas koordinasi sinyal dan keselamatan lalu lintas meningkat, sejalan dengan tujuan pemasangan APILL untuk mengatur pemakaian ruang persimpangan dan meminimalkan konflik lalu lintas.

DAFTAR PUSTAKA

- Arrabby, M.H. 2017. Pemodelan Lalu Lintas Pada Simpang Apill Giwangan Ringroad Selatan, Bantul, Yogyakarta (*Traffic Modelling At Signalized Intersection Of Giwangan, Bantul, Yogyakarta*). (Tugas Akhir Universitas Muhammadiyah Yogyakarta). Repositori Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Dikutip dari <https://repository.umy.ac.id/handle/123456789/10879>.
- Ado, A.Y.E., Handayani, A.T. and Astutik, H.P. 2024. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Software Ptv Vissim (Studi Kasus: Simpang Proliman, Prambanan) Tamanmartani, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta: *Analysis Of Signalized Intersection Performance Using Ptv Vissim Software (Case Study: Proliman Intersection, Prambanan) Tamanmartani, Sleman Regency, Special Region Of Yogyakarta. Spektrum Sipil*, 11(2), 97-108.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2023. Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Devi, K.W., Mardikawati, B. and Atmajaya, A.B. 2024. Pengaruh Geometri Dan Konfigurasi Sinyal Terhadap Kinerja Simpang Dengan Pendekatan Pkji 2023 Dan Ptv Vissim: Studi Kasus: Simpang Tugu Wisnu di Kota Surakarta. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 13(1), 1-10.
- Hidayati, N., Nugroho, M.R.A., Mulyono, G.S. and Magfirona, A. 2021. Evaluasi Kinerja Simpang Tiga Bersinyal (Studi Kasus Simpang Universitas Muhammadiyah Surakarta). *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 14(2), 47-51.
- Irfan, F. 2025. Tahun 2025, Jumlah Kendaraan Bermotor di Kota Yogyakarta (19 Mei 2025). <https://databoks.katadata.co.id/transportasi-logistik/statistik/399c55ad23a0f17/jumlah-kendaraan-bermotor-di-kota-yogyakartahari-ini>. Diakses pada tanggal 30 Juni 2025.
- Jalus, Y.A. and Astutik, H.P. 2024. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal

- Menggunakan Software PTV Vissim (Studi Kasus Jalan PGRI II Sonosewu, Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta). *5TH CEEDRIMS 2024*, 5(2), 225-234.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. 2015. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas. Kementerian Perhubungan RI, Jakarta.
- Lailiyah, H., Burhamtoro, B. and Marjono, M. 2024. Evaluasi Simpang Tiga Bersinyal Menggunakan PKJI 2023 Pada Jalan Irian Jaya–Raya Mojowarno–Ngoro Jombang Kabupaten Jombang. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 5(1), 110-115.
- Mahmudah, N., Anjasmoro, B.S. and Muchlisin, M. 2021. *Traffic Congestion Evaluation at the Unsymmetrical Signalized Intersection of Sentul, Yogyakarta. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1144, No. 1, p. 012099). IOP Publishing.
- Maulana, M. F. 2025. Evaluasi Kinerja Simpang Apill MM UGM (*Performance Evaluation Of Mm Ugm Signaliz Ed Intersections*). (Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia). Repositori Universitas Islam Indonesia. Dikutip dari <https://dspace.uui.ac.id/>.
- Nouvan. 2025. Tahun 2025, Jumlah Penduduk Yogyakarta Semester I 2025 Capai 3,75 Juta Jiwa, Perempuan Lebih Banyak. <https://dataloka.id/humaniora/5350/jumlah-penduduk-yogyakarta-semester-i-2025-capai-375-juta-jiwa-perempuan-lebih-banyak/>. Diakses pada tanggal 5 Januari 2026.
- Romadhona, P.M. and Irwan, M. 2019. Evaluasi Dan Koordinasi Di Simpang Gamping Dan Simpang Pelem Gurih Dengan Menggunakan Pendekatan Mikrosimulasi (VISSIM). Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun – FTSP UII 2019, 1-12.
- Rahmayuda, H., Jannah, A.N. and Prayitno, P.A. 2024. Analisis Kinerja dan Pemodelan Simpang untuk Meningkatkan Kinerja Simpang Bersinyal Jukteng Wetan Yogyakarta. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 86-94.

- Ramzy, M., Rahardjo, B. and Supriyanto, B. 2025. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Di Kota Malang Menggunakan PKJI 2023 (Studi Kasus: Simpang Dieng Malang). *Bangunan: Teori, Praktek, Penelitian, dan Pengajaran Teknik Bangunan*, 30(1), 27-40.
- Sambujo, S. B. M. 2025. Evaluasi Kinerja Simpang 4 Apill Jlagran Lor Akibat Pengaruh Pedestrianisasi Di Kawasan Malioboro (*Performance Evaluation Of The Jlagran Lor 4 Signalized Intersection Due To The Impact Of The Pedestrianization On The Malioboro Area*). (Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia). Repositori Universitas Islam Indonesia. Dikutip dari <https://dspace.uui.ac.id/>.
- Yang, X., Liu, P., Wang, Y., & Yu, H. 2022. The potential of signalized offset T-intersections to accommodate new developments. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 11(4) . 706–718. Dikutip dari <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2022.01.006>.
- Yulianto, T., Nugroho, M.W. and Sundari, T. 2024. Analisis Kinerja Simpang Tiga Menggunakan Metode PKJI 2023 Pada Jl. Kh. Wahab Chasbulloh–Jl. Garuda Kabupaten Jombang. *Jurnal Rekayasa dan Aplikasi Teknik Sipil*, 4(02), 1-9.
- Yudhajakti, A. D. 2025. Evaluasi Kinerja Bundaran Tugu Kartasura Menggunakan Studi Mikrosimulasi Lalu Lintas (*Performance Evaluation of Tugu Kartasura Roundabout Using Traffic Microsimulation Study*). (Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia). Repositori Universitas Islam Indonesia. Dikutip dari <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/54888>.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Utara
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Farkhan
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
06.00-06.15	1	5	1	1	1	0	21	79	33	1	2	0
06.15-06.30	3	11	5	0	0	0	45	85	28	2	1	0
06.30-06.45	3	19	2	1	1	0	63	133	45	3	2	0
06.45-07.00	6	10	12	3	4	1	50	135	72	0	0	1
07.00-07.15	5	19	8	1	3	2	53	133	86	4	3	1
07.15-07.30	7	22	4	0	3	1	47	139	49	1	4	2
07.30-07.45	9	33	5	2	2	0	59	188	40	1	2	2
07.45-08.00	11	30	3	3	6	1	70	224	54	3	2	0
08.00-08.15	10	46	4	1	1	0	61	171	40	0	0	0
08.15-08.30	8	38	3	0	12	0	55	143	39	0	2	1
08.30-08.45	7	33	4	0	6	0	58	147	36	3	0	0
08.45-09.00	4	50	6	0	4	2	61	179	48	1	0	1

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Timur
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Hadi
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
06.00-06.15	1	0	3	0	0	0	17	49	52	1	0	1
06.15-06.30	1	1	1	1	0	1	35	53	61	0	0	0
06.30-06.45	3	0	6	2	0	0	39	58	66	0	1	2
06.45-07.00	10	5	7	4	3	4	82	53	87	2	0	2
07.00-07.15	4	3	2	2	0	0	57	86	81	0	1	1
07.15-07.30	3	2	7	2	0	2	70	79	85	0	0	1
07.30-07.45	3	5	9	0	0	0	84	113	111	0	1	0
07.45-08.00	9	4	14	0	0	0	91	119	119	1	0	2
08.00-08.15	5	9	10	3	0	0	75	93	110	0	0	0
08.15-08.30	10	4	9	3	0	0	66	96	109	2	0	0
08.30-08.45	6	6	12	2	1	1	64	67	83	0	1	2
08.45-09.00	8	4	9	1	0	1	78	85	79	0	0	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegol Gendu
Lengan : Selatan
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Bachtiar
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
06.00-06.15	2	9	3	0	0	0	21	189	27	0	2	0
06.15-06.30	3	17	4	0	1	1	43	201	36	1	1	0
06.30-06.45	2	36	4	2	4	3	53	229	39	1	7	1
06.45-07.00	7	34	12	2	7	7	89	315	82	0	2	0
07.00-07.15	8	40	8	1	3	1	90	409	80	1	9	2
07.15-07.30	6	35	5	0	3	3	65	406	76	0	2	1
07.30-07.45	10	49	13	1	6	1	93	560	131	2	0	3
07.45-08.00	12	40	6	2	5	2	82	551	129	2	1	0
08.00-08.15	5	62	9	0	5	1	74	468	81	3	2	0
08.15-08.30	3	60	7	1	3	2	63	325	89	0	2	2
08.30-08.45	2	47	7	0	4	2	61	372	72	1	0	1
08.45-09.00	4	64	10	0	6	3	48	321	86	1	0	1

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Barat
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Dhava
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
06.00-06.15	2	1	3	0	0	0	25	59	45	1	2	0
06.15-06.30	5	3	5	0	1	0	55	61	67	1	0	0
06.30-06.45	9	9	10	0	0	1	79	72	72	0	1	0
06.45-07.00	4	18	9	3	2	2	91	74	43	1	0	0
07.00-07.15	5	2	4	0	0	4	61	61	49	1	2	0
07.15-07.30	5	6	6	0	0	1	75	78	66	2	1	1
07.30-07.45	2	4	10	0	0	6	66	85	49	1	1	0
07.45-08.00	7	3	12	0	0	4	83	112	78	2	0	0
08.00-08.15	8	5	13	0	2	0	77	94	44	0	0	0
08.15-08.30	6	4	14	0	0	0	74	91	62	0	1	0
08.30-08.45	5	5	9	1	1	1	70	78	65	0	1	2
08.45-09.00	11	6	4	1	0	1	64	71	68	2	0	1

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegol Gendu
Lengan : Utara
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Farkhan
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
11.00-11.15	5	32	4	0	9	1	74	197	72	1	2	0
11.15-11.30	5	31	4	1	2	0	49	186	39	1	1	0
11.30-11.45	18	25	8	1	5	1	87	307	91	1	2	0
11.45-12.00	11	29	6	0	2	0	69	396	85	0	0	0
12.00-12.15	7	29	1	1	6	0	51	377	78	1	2	0
12.15-12.30	8	28	2	0	2	0	70	302	109	1	0	0
12.30-12.45	7	27	4	1	1	1	81	533	151	1	1	0
12.45-13.00	11	39	6	0	3	0	117	582	132	1	0	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Timur
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Hadi
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
11.00-11.15	11	5	11	5	0	1	51	83	116	2	1	0
11.15-11.30	4	1	4	2	0	1	39	53	48	1	0	0
11.30-11.45	6	5	9	1	0	1	60	113	77	1	2	0
11.45-12.00	4	2	6	1	0	0	68	72	79	1	0	0
12.00-12.15	6	3	8	3	0	1	112	132	102	0	1	0
12.15-12.30	8	3	6	1	0	0	138	143	135	0	0	1
12.30-12.45	11	4	8	2	0	0	141	193	172	1	1	1
12.45-13.00	10	4	9	1	0	0	139	140	109	1	1	1

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegol Gendu
Lengan : Selatan
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Bachtiar
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
11.00-11.15	14	40	12	4	6	2	78	83	72	1	3	1
11.15-11.30	8	25	5	1	7	1	41	53	34	1	2	1
11.30-11.45	25	25	8	6	7	1	57	113	51	1	1	1
11.45-12.00	11	18	6	2	3	1	53	72	92	1	0	0
12.00-12.15	13	34	7	3	3	1	72	132	107	0	2	0
12.15-12.30	11	21	5	1	1	0	62	143	78	0	0	0
12.30-12.45	18	23	10	2	4	1	131	193	187	1	1	1
12.45-13.00	13	17	9	1	1	0	94	140	91	1	1	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Barat
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Dhava
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
11.00-11.15	2	6	14	1	1	2	30	83	77	1	1	1
11.15-11.30	11	1	13	1	1	2	58	53	60	1	0	0
11.30-11.45	4	1	10	1	0	2	41	113	99	1	1	1
11.45-12.00	4	3	6	0	0	1	53	72	69	1	0	0
12.00-12.15	4	6	6	0	1	3	104	132	64	0	0	1
12.15-12.30	5	5	10	0	0	0	55	143	194	1	0	1
12.30-12.45	4	2	9	0	1	2	46	193	100	2	0	1
12.45-13.00	4	4	6	0	0	0	50	140	81	1	0	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Utara
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Farkhan
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
15.00-15.15	8	68	5	1	6	0	54	330	55	0	2	0
15.15-15.30	11	80	10	0	2	0	78	343	54	2	3	0
15.30-15.45	12	60	5	0	9	1	111	392	66	1	4	0
15.45-16.00	9	49	5	0	2	0	95	341	55	0	4	0
16.00-16.15	14	75	12	2	7	0	154	430	56	0	8	1
16.15-16.30	17	73	7	0	2	0	80	449	77	0	4	0
16.30-16.45	12	42	8	0	3	0	236	353	55	1	4	0
16.45-17.00	6	52	11	0	2	0	241	331	75	0	3	2
17.00-17.15	8	52	7	1	5	0	206	316	76	0	0	1
17.15-17.30	10	69	8	1	7	0	125	361	60	1	3	1
17.30-17.45	7	41	7	0	1	0	302	339	63	0	3	0
17.45-18.00	4	36	7	0	3	0	109	225	40	0	0	1

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Timur
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Hadi
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
15.00-15.15	9	7	14	6	0	1	84	76	86	0	0	0
15.15-15.30	7	7	12	1	0	0	82	57	79	0	0	0
15.30-15.45	10	6	8	9	0	2	117	87	97	0	0	0
15.45-16.00	16	5	10	1	0	0	103	80	88	0	0	0
16.00-16.15	6	5	14	1	0	0	120	111	106	3	0	4
16.15-16.30	13	4	18	1	0	2	105	102	104	6	0	0
16.30-16.45	7	3	14	1	0	0	86	71	83	3	0	2
16.45-17.00	10	3	13	1	0	0	89	101	93	0	0	1
17.00-17.15	15	4	17	1	0	0	134	111	104	3	1	0
17.15-17.30	7	4	20	4	1	0	99	115	95	3	2	0
17.30-17.45	12	7	12	0	0	0	96	108	100	1	1	1
17.45-18.00	3	3	5	1	0	0	67	59	65	0	0	1

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Selatan
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Bachtiar
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
15.00-15.15	9	59	13	0	1	1	75	237	53	0	3	0
15.15-15.30	15	51	12	0	4	2	69	222	75	0	1	0
15.30-15.45	19	60	10	0	5	2	61	225	85	0	1	0
15.45-16.00	12	48	12	1	3	0	82	241	87	0	0	0
16.00-16.15	17	58	6	1	4	1	79	281	89	0	4	1
16.15-16.30	21	47	9	3	5	1	89	290	86	0	4	2
16.30-16.45	19	54	9	2	4	1	82	240	70	0	3	0
16.45-17.00	15	57	10	0	5	1	71	278	102	0	3	0
17.00-17.15	18	58	8	2	3	2	96	290	101	0	4	0
17.15-17.30	11	54	7	1	4	1	79	217	91	0	2	0
17.30-17.45	9	55	12	1	3	0	65	245	96	0	0	0
17.45-18.00	6	50	6	0	5	1	61	172	88	0	2	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Barat
Tanggal : Sabtu, 20 September 2025
Surveyor : Dhava
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
15.00-15.15	12	8	10	0	0	2	65	84	70	1	0	0
15.15-15.30	7	10	15	0	0	1	74	93	80	0	0	0
15.30-15.45	10	12	15	0	1	1	81	95	86	2	0	1
15.45-16.00	13	5	13	0	1	1	57	92	71	3	1	1
16.00-16.15	10	4	13	1	1	3	102	125	103	5	3	2
16.15-16.30	9	7	8	0	0	1	82	107	80	2	2	0
16.30-16.45	17	6	8	0	0	3	67	83	88	1	1	0
16.45-17.00	18	5	13	0	0	2	95	105	89	0	0	0
17.00-17.15	9	7	15	0	0	0	81	135	84	1	2	0
17.15-17.30	6	5	8	0	0	0	85	134	99	0	3	1
17.30-17.45	11	2	19	2	1	1	71	119	77	2	3	0
17.45-18.00	4	5	13	0	0	0	68	69	74	0	0	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Utara
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Kemal
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
06.00-06.15	0	24	1	0	1	0	26	96	53	2	1	0
06.15-06.30	1	31	2	0	0	0	34	131	121	1	2	0
06.30-06.45	2	38	2	1	2	0	43	201	146	2	3	0
06.45-07.00	0	45	4	0	1	0	52	220	74	0	0	0
07.00-07.15	2	50	4	0	1	0	58	257	55	3	6	2
07.15-07.30	0	20	3	0	3	0	37	188	42	1	4	1
07.30-07.45	3	29	6	0	6	0	92	327	55	2	3	3
07.45-08.00	2	24	4	0	4	0	78	277	45	2	1	0
08.00-08.15	3	32	4	0	2	0	84	301	40	0	0	0
08.15-08.30	1	19	2	0	2	0	61	155	23	0	0	0
08.30-08.45	12	23	5	1	6	2	71	196	47	4	0	0
08.45-09.00	11	22	7	0	5	0	45	193	34	1	0	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Timur
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Hadi
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
06.00-06.15	4	7	5	0	0	0	34	49	102	1	0	0
06.15-06.30	6	9	7	0	0	0	45	84	162	0	0	0
06.30-06.45	7	10	8	2	0	2	64	148	190	0	0	4
06.45-07.00	6	0	1	0	0	0	48	88	151	2	0	1
07.00-07.15	6	2	6	0	0	0	54	103	162	0	1	1
07.15-07.30	5	1	3	1	0	0	59	98	130	1	1	1
07.30-07.45	8	5	1	1	0	0	92	154	94	0	1	1
07.45-08.00	12	6	3	0	0	0	101	156	100	0	0	0
08.00-08.15	5	4	4	0	0	0	84	94	75	2	0	0
08.15-08.30	1	0	5	0	0	0	36	62	73	1	0	1
08.30-08.45	1	2	9	1	0	1	41	96	85	0	0	3
08.45-09.00	4	2	12	1	0	1	53	119	91	1	0	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegol Gendu
Lengan : Selatan
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Kemal
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
06.00-06.15	8	45	13	1	0	0	123	180	70	3	0	1
06.15-06.30	13	52	17	2	1	0	210	310	97	2	0	0
06.30-06.45	15	60	28	5	4	2	224	473	193	1	9	0
06.45-07.00	12	47	14	2	1	0	189	514	191	1	2	0
07.00-07.15	15	52	8	1	5	3	147	720	122	1	11	2
07.15-07.30	10	42	10	1	4	1	59	489	121	0	2	1
07.30-07.45	23	59	15	3	3	3	312	706	225	4	0	3
07.45-08.00	27	77	14	2	1	0	325	720	236	2	0	0
08.00-08.15	15	32	12	1	1	0	140	470	87	2	2	0
08.15-08.30	14	34	10	3	5	0	98	464	80	1	2	1
08.30-08.45	15	35	10	4	8	0	113	502	79	0	1	0
08.45-09.00	13	32	5	2	3	0	87	415	72	0	0	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegol Gendu
Lengan : Barat
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Dhava
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS))			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
06.00-06.15	12	9	7	0	0	0	38	72	77	2	1	0
06.15-06.30	12	8	12	0	0	1	44	97	95	0	1	1
06.30-06.45	14	15	14	0	0	3	53	117	112	1	0	1
06.45-07.00	12	8	8	0	0	0	50	66	78	1	0	0
07.00-07.15	13	7	13	0	0	0	55	55	62	2	1	0
07.15-07.30	6	4	6	0	0	0	40	54	36	2	1	1
07.30-07.45	10	6	11	0	0	1	94	84	69	0	2	0
07.45-08.00	13	7	8	0	0	0	101	94	75	1	0	0
08.00-08.15	11	6	8	0	0	0	94	80	70	0	0	0
08.15-08.30	5	3	7	0	0	0	62	70	39	0	0	0
08.30-08.45	6	2	11	1	2	1	64	107	33	0	1	1
08.45-09.00	8	3	10	1	1	1	84	120	35	1	0	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Utara
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Kemal
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
11.00-11.15	7	45	5	0	13	2	84	144	53	1	3	0
11.15-11.30	7	44	6	1	3	0	56	136	29	1	1	0
11.30-11.45	25	36	11	1	7	2	99	224	66	1	3	0
11.45-12.00	15	41	8	0	3	0	78	289	62	0	0	0
12.00-12.15	10	42	2	2	9	0	58	275	57	1	3	0
12.15-12.30	11	40	3	0	3	0	80	220	80	1	0	0
12.30-12.45	10	39	6	1	2	1	92	389	110	2	1	0
12.45-13.00	16	56	9	0	4	0	134	424	96	2	0	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegol Gendu
Lengan : Timur
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Hadi
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
11.00-11.15	15	7	15	7	0	1	37	59	83	3	2	0
11.15-11.30	5	1	5	3	0	1	28	38	35	2	0	0
11.30-11.45	8	7	13	2	0	1	43	81	55	1	3	0
11.45-12.00	6	3	8	2	0	0	49	52	57	1	0	0
12.00-12.15	8	4	12	4	0	1	80	94	73	0	1	0
12.15-12.30	12	4	9	2	0	0	99	102	97	0	0	2
12.30-12.45	15	6	12	3	0	0	101	138	123	1	1	1
12.45-13.00	14	5	13	1	0	0	99	100	78	2	2	2

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Selatan
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Bachtiar
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
11.00-11.15	20	57	17	5	9	3	111	154	49	1	4	1
11.15-11.30	11	35	7	2	10	1	58	94	23	2	3	1
11.30-11.45	35	36	12	8	10	1	82	186	35	2	1	1
11.45-12.00	15	26	8	3	4	1	76	310	63	1	0	0
12.00-12.15	19	48	10	4	4	1	103	359	73	0	3	0
12.15-12.30	15	30	7	1	2	0	89	315	54	0	0	0
12.30-12.45	25	33	14	3	5	1	187	449	128	2	1	1
12.45-13.00	19	24	13	1	2	0	134	314	62	2	1	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegol Gendu
Lengan : Barat
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Dhava
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
11.00-11.15	3	8	20	2	2	3	22	67	55	1	2	1
11.15-11.30	15	2	19	1	2	3	42	54	43	1	0	0
11.30-11.45	5	2	14	1	0	3	29	58	71	2	1	2
11.45-12.00	5	4	8	0	0	1	38	63	49	1	0	0
12.00-12.15	6	9	9	0	1	4	74	81	46	0	0	1
12.15-12.30	7	7	14	0	0	0	39	95	139	1	0	1
12.30-12.45	5	3	13	0	1	3	33	155	72	3	0	1
12.45-13.00	6	6	8	0	0	0	36	139	58	1	0	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegol Gendu
Lengan : Utara
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Kemal
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
15.00-15.15	10	37	6	0	6	3	70	364	52	0	3	2
15.15-15.30	10	45	3	0	4	0	118	523	96	3	2	0
15.30-15.45	10	83	7	0	9	0	104	675	139	4	6	1
15.45-16.00	8	78	3	0	3	2	96	456	80	2	2	0
16.00-16.15	13	67	4	1	2	2	142	500	94	2	3	1
16.15-16.30	8	43	3	0	2	0	82	344	79	1	1	0
16.30-16.45	12	54	4	0	4	0	204	642	128	4	2	0
16.45-17.00	11	65	9	0	6	3	209	616	63	1	0	0
17.00-17.15	10	70	7	0	4	0	185	701	89	2	1	0
17.15-17.30	17	89	6	0	4	2	116	498	78	0	1	0
17.30-17.45	22	61	3	2	4	0	254	584	127	4	3	0
17.45-18.00	13	49	2	0	1	0	102	290	55	1	2	0

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegol Gendu
Lengan : Timur
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Hadi
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
15.00-15.15	16	6	5	4	1	0	122	79	69	1	1	0
15.15-15.30	14	5	3	2	0	0	116	83	75	2	0	0
15.30-15.45	13	7	10	1	0	0	116	156	111	2	1	0
15.45-16.00	14	8	9	2	0	0	126	149	99	1	0	0
16.00-16.15	12	7	5	2	0	1	99	111	69	2	0	2
16.15-16.30	7	5	13	2	1	1	123	160	134	1	0	1
16.30-16.45	9	8	20	1	1	0	231	216	164	5	2	0
16.45-17.00	7	6	8	1	0	0	204	188	194	2	0	1
17.00-17.15	10	9	15	2	0	0	235	136	168	0	0	1
17.15-17.30	5	3	6	1	0	0	81	118	134	3	0	1
17.30-17.45	10	1	5	1	1	1	94	105	80	2	0	0
17.45-18.00	6	1	2	0	0	0	73	88	45	2	0	1

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Selatan
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Bachtiar
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS))			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa	BKiJT	Lurus	BKa
15.00-15.15	21	38	7	3	7	1	91	250	51	2	3	2
15.15-15.30	28	47	9	2	5	1	129	324	47	2	3	1
15.30-15.45	18	51	14	2	3	1	94	473	145	1	4	2
15.45-16.00	35	76	21	2	1	0	245	517	103	3	1	2
16.00-16.15	31	89	24	2	2	1	309	532	170	1	2	1
16.15-16.30	16	78	14	3	2	0	145	564	154	2	1	1
16.30-16.45	29	53	13	1	7	1	159	515	186	5	6	1
16.45-17.00	24	43	4	2	3	2	98	479	144	2	2	2
17.00-17.15	28	52	8	2	5	1	162	493	197	2	1	0
17.15-17.30	32	66	4	1	1	0	97	628	202	1	2	0
17.30-17.45	19	46	8	3	4	1	154	315	181	1	3	1
17.45-18.00	8	21	7	1	1	0	65	193	138	2	1	1

Lampiran 1 Data Survei Volume Lalu Lintas

Lokasi : Simpang Tegal Gendu
Lengan : Barat
Tanggal : Senin, 28 September 2025
Surveyor : Dhava
Cuaca : Cerah

Interval	Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan Sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)			Kendaraan Tidak Bermotor (KTB)		
	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa	BKi	Lurus	BKa
15.00-15.15	10	11	13	1	0	0	53	133	83	1	1	2
15.15-15.30	12	14	8	2	0	0	105	197	78	2	0	0
15.30-15.45	4	4	11	2	0	2	116	155	102	1	2	3
15.45-16.00	3	5	6	1	0	0	111	144	71	0	0	1
16.00-16.15	3	5	4	0	0	0	73	89	44	1	0	0
16.15-16.30	4	4	4	0	0	1	78	84	45	0	0	0
16.30-16.45	4	4	17	0	1	0	95	166	67	4	2	3
16.45-17.00	3	4	8	0	0	1	72	116	61	1	0	2
17.00-17.15	7	4	13	0	0	1	109	201	136	1	1	0
17.15-17.30	8	7	10	1	0	0	77	199	63	1	0	1
17.30-17.45	14	10	13	1	0	0	67	139	88	1	2	3
17.45-18.00	3	6	3	1	0	0	36	78	44	2	0	1

Lampiran 2 Data Survei Panjang Antrean Hari Sabtu

Utara															
Pagi						Siang				Sore					
Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)
06.00	20	07.08	40	08.18	95	11.01	50	12.03	100	15.00	60	16.14	60	17.27	55
06.02	25	07.11	50	08.20	35	11.03	75	12.05	85	15.03	55	16.16	75	17.29	45
06.04	20	07.13	35	08.23	65	11.05	60	12.07	0	15.05	70	16.19	60	17.32	35
06.07	30	07.16	45	08.25	20	11.07	45	12.09	40	15.08	75	16.21	45	17.35	50
06.09	30	07.18	30	08.27	65	11.10	75	12.11	40	15.11	70	16.24	85	17.37	80
06.11	35	07.21	25	08.30	50	11.12	40	12.14	50	15.13	75	16.26	50	17.40	45
06.14	40	07.23	40	08.32	25	11.14	80	12.16	35	15.16	70	16.29	50	17.42	45
06.16	45	07.26	65	08.35	50	11.17	95	12.18	70	15.19	65	16.32	45	17.45	55
06.18	50	07.28	50	08.37	45	11.19	90	12.20	110	15.21	55	16.34	75	17.48	55
06.21	50	07.31	50	08.40	75	11.21	70	12.23	75	15.24	75	16.37	45	17.50	55
06.24	55	07.33	25	08.42	60	11.23	60	12.25	50	15.26	75	16.40	55	17.53	75
06.26	50	07.36	25	08.45	60	11.25	70	12.27	65	15.29	75	16.42	60	17.56	60
06.29	35	07.38	40	08.47	75	11.27	80	12.29	45	15.32	70	16.45	65	17.58	35
06.31	30	07.40	30	08.50	30	11.30	65	12.31	65	15.34	75	16.47	60		
06.34	45	07.43	30	08.52	70	11.32	50	12.34	80	15.37	60	16.50	65		
06.36	20	07.45	25	08.54	75	11.34	55	12.36	55	15.39	50	16.52	55		
06.39	45	07.48	50	08.57	70	11.37	60	12.38	50	15.42	80	16.55	55		
06.41	30	07.50	50	09.00	60	11.39	50	12.40	40	15.45	50	16.58	50		
06.44	30	07.53	55			11.41	30	12.43	55	15.47	50	17.01	40		
06.46	25	07.55	55			11.43	40	12.45	70	15.50	75	17.03	50		
06.49	35	07.58	45			11.45	20	12.47	100	15.53	45	17.06	50		
06.51	15	08.00	25			11.47	35	12.49	75	15.55	45	17.08	75		
06.54	50	08.03	45			11.49	85	12.51	85	15.58	75	17.11	70		
06.56	25	08.05	45			11.51	75	12.54	105	16.00	75	17.14	40		
06.59	50	08.08	70			11.53	50	12.56	95	16.03	75	17.16	60		
07.01	35	08.10	50			11.56	85	12.58	90	16.06	80	17.19	50		
07.04	35	08.13	85			11.58	80	13.00	95	16.08	85	17.21	60		
07.06	25	08.15	85			12.00	40			16.11	55	17.24	70		

Lampiran 2 Data Survei Panjang Antrean Hari Sabtu

Timur															
Pagi						Siang				Sore					
Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)
06.00	15	07.09	20	08.18	50	11.02	25	12.04	50	15.01	40	16.14	50	17.27	50
06.02	20	07.11	25	08.20	30	11.04	30	12.06	25	15.04	30	16.16	30	17.30	45
06.05	25	07.14	30	08.23	25	11.06	40	12.08	60	15.06	75	16.19	55	17.32	50
06.07	20	07.17	25	08.25	35	11.08	30	12.11	50	15.08	60	16.22	40	17.35	75
06.10	30	07.19	25	08.28	40	11.11	30	12.13	25	15.11	30	16.24	50	17.38	60
06.12	20	07.21	20	08.30	30	11.13	40	12.15	25	15.14	40	16.27	75	17.40	50
06.15	15	07.24	40	08.33	35	11.15	20	12.17	30	15.16	20	16.30	60	17.43	55
06.17	25	07.26	30	08.35	40	11.17	10	12.19	25	15.19	25	16.32	70	17.45	40
06.19	20	07.29	35	08.38	30	11.19	10	12.21	25	15.21	25	16.35	60	17.48	20
06.22	15	07.31	30	08.40	25	11.22	20	12.24	35	15.24	30	16.37	55	17.51	25
06.24	15	07.33	25	08.43	50	11.24	20	12.26	50	15.27	30	16.40	40	17.53	20
06.27	15	07.36	50	08.45	50	11.26	20	12.28	60	15.29	55	16.43	25	17.56	30
06.29	10	07.38	40	08.48	40	11.28	10	12.30	30	15.32	80	16.45	40	17.59	35
06.32	15	07.41	25	08.50	40	11.31	15	12.33	20	15.35	25	16.48	55	18.01	40
06.34	25	07.43	40	08.53	25	11.33	20	12.35	30	15.37	45	16.51	60		
06.37	25	07.46	50	08.55	25	11.35	30	12.37	30	15.40	60	16.53	65		
06.39	20	07.48	30	08.58	35	11.37	50	12.39	70	15.42	50	16.56	50		
06.42	30	07.51	40	09.00	40	11.39	20	12.41	60	15.45	100	16.59	60		
06.44	25	07.53	55			11.41	25	12.44	50	15.48	65	17.01	50		
06.47	35	07.56	40			11.44	20	12.46	40	15.50	40	17.04	75		
06.49	25	07.58	50			11.46	20	12.48	15	15.53	25	17.06	55		
06.52	25	08.01	30			11.48	30	12.50	50	15.56	50	17.09	40		
06.54	30	08.03	25			11.50	35	12.53	30	15.58	30	17.12	75		
06.57	25	08.06	30			11.53	25	12.55	55	16.01	40	17.14	50		
06.59	20	08.08	45			11.55	30	12.57	30	16.03	25	17.17	50		
07.01	40	08.10	50			11.57	25	12.59	35	16.06	40	17.19	40		
07.04	25	08.13	40			11.59	40			16.09	30	17.22	55		
07.06	25	08.15	60			12.02	45			16.11	40	17.25	40		

Lampiran 2 Data Survei Panjang Antrean Hari Sabtu

Selatan															
Pagi						Siang				Sore					
Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)
06.01	40	07.10	52	08.16	80	11.00	75	12.02	65	15.00	100	16.10	85	17.12	80
06.03	60	07.12	50	08.19	85	11.03	75	12.04	70	15.02	75	16.12	90	17.14	60
06.06	60	07.15	45	08.21	50	11.05	90	12.07	80	15.05	105	16.14	100	17.16	75
06.08	45	07.17	55	08.24	105	11.07	85	12.09	90	15.07	80	16.17	130	17.18	50
06.11	65	07.19	65	08.26	70	11.10	75	12.11	95	15.09	75	16.20	105	17.20	55
06.13	45	07.22	50	08.29	75	11.12	90	12.13	65	15.12	90	16.22	105	17.22	75
06.15	60	07.25	75	08.31	55	11.14	100	12.15	60	15.15	75	16.24	110	17.24	80
06.18	55	07.27	70	08.32	80	11.16	85	12.17	75	15.18	90	16.26	125	17.26	100
06.21	50	07.29	50	08.34	105	11.18	70	12.19	65	15.20	50	16.29	130	17.28	125
06.23	55	07.31	52	08.36	85	11.20	65	12.21	80	15.22	70	16.31	120	17.30	105
06.25	50	07.34	75	08.39	90	11.22	60	12.23	65	15.24	80	16.33	130	17.33	105
06.28	60	07.36	70	08.41	75	11.25	55	12.25	60	15.26	75	16.36	125	17.35	95
06.30	45	07.39	100	08.43	80	11.27	65	12.27	65	15.28	80	16.38	120	17.37	75
06.33	65	07.41	103	08.45	95	11.29	90	12.29	60	15.31	80	16.40	120	17.39	50
06.35	50	07.43	50	08.48	110	11.31	77	12.31	60	15.33	100	16.42	130	17.41	85
06.38	55	07.45	55	08.51	95	11.33	115	12.34	100	15.36	105	16.45	130	17.44	125
06.40	60	07.47	108	08.53	75	11.35	75	12.36	95	15.38	105	16.47	130	17.46	130
06.43	75	07.50	50	08.55	100	11.37	85	12.38	85	15.41	50	16.49	125	17.48	100
06.46	30	07.52	70	08.58	105	11.39	90	12.40	70	15.43	50	16.51	130	17.50	125
06.48	75	07.54	92	09.01	90	11.41	85	12.43	80	15.46	100	16.53	125	17.52	125
06.50	48	07.57	70			11.44	65	12.45	90	15.49	100	16.55	130	17.55	100
06.52	45	07.59	100			11.47	68	12.47	85	15.52	130	16.57	80	17.57	115
06.55	53	08.02	75			11.49	65	12.49	95	15.54	75	17.00	95	18.00	100
06.57	45	08.05	100			11.51	65	12.51	80	15.56	90	17.02	100		
07.00	53	08.07	100			11.53	55	12.53	90	15.59	60	17.04	75		
07.03	50	08.09	95			11.55	70	12.55	50	16.02	100	17.06	100		
07.05	48	08.12	80			11.58	65	12.57	35	16.04	85	17.08	75		
07.07	70	08.14	90			12.00	65	13.00	80	16.07	80	17.10	80		

Lampiran 2 Data Survei Panjang Antrean Hari Sabtu

Barat															
Pagi						Siang				Sore					
Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)
06.01	10	07.10	15	08.19	27	11.00	16	11.59	32	15.00	15	16.10	39	17.26	29
06.03	14	07.13	12	08.22	14	11.02	25	12.03	31	15.02	50	16.13	55	17.28	30
06.06	17	07.15	32	08.25	40	11.04	15	12.05	27	15.05	31	16.15	40	17.31	25
06.08	12	07.18	11	08.27	43	11.06	31	12.07	48	15.08	38	16.17	45	17.34	36
06.11	20	07.20	34	08.30	17	11.08	18	12.09	24	15.10	24	16.20	41	17.37	56
06.13	20	07.23	23	08.32	15	11.10	38	12.11	32	15.12	38	16.23	56	17.39	34
06.16	22	07.25	23	08.34	48	11.12	32	12.14	34	15.15	30	16.26	38	17.42	50
06.18	15	07.28	7	08.36	28	11.14	29	12.16	26	15.18	35	16.29	46	17.44	49
06.21	10	07.30	30	08.39	23	11.16	37	12.18	36	15.21	40	16.32	59	17.47	39
06.23	15	07.33	23	08.41	36	11.18	50	12.20	22	15.23	20	16.34	45	17.49	35
06.26	25	07.35	36	08.44	28	11.20	31	12.23	32	15.25	31	16.37	34	17.52	26
06.28	20	07.37	30	08.46	16	11.22	21	12.25	27	15.28	33	16.39	55	17.55	38
06.31	26	07.40	25	08.49	41	11.25	34	12.27	31	15.31	49	16.41	50	17.57	34
06.33	23	07.42	15	08.51	22	11.27	14	12.29	28	15.33	41	16.44	49	18.00	42
06.36	15	07.45	37	08.54	35	11.31	14	12.31	31	15.36	38	16.47	57		
06.38	37	07.48	37	08.56	30	11.34	30	12.34	17	15.39	54	16.49	39		
06.41	48	07.50	40	08.59	20	11.36	15	12.36	31	15.41	36	16.52	43		
06.44	10	07.53	37	09.01	37	11.38	10	12.38	11	15.44	28	16.54	53		
06.46	20	07.55	21			11.38	31	12.40	17	15.46	26	16.57	45		
06.48	10	07.57	24			11.40	26	12.43	14	15.49	40	17.00	25		
06.51	9	08.00	15			11.42	23	12.45	18	15.52	49	17.05	35		
06.53	20	08.02	27			11.45	23	12.47	20	15.54	39	17.08	35		
06.57	27	08.04	30			11.47	25	12.49	17	15.57	36	17.11	38		
06.59	24	08.07	20			11.49	23	12.51	23	15.59	40	17.13	34		
07.01	12	08.09	30			11.51	24	12.54	31	17.02	33	17.16	30		
07.03	7	08.12	12			11.53	27	12.56	46	16.02	45	17.18	36		
07.05	18	08.14	23			11.55	18	12.58	23	16.05	47	17.21	35		
07.08	26	08.17	13			11.57	24	13.00	16	16.07	38	17.24	29		

Lampiran 2 Data Survei Panjang Antrean Hari Senin

Utara															
Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)
06.00	15	07.05	45	08.15	40	11.01	60	12.03	110	15.00	65	16.10	110	17.22	85
06.02	20	07.08	55	08.17	50	11.03	75	12.05	95	15.02	40	16.12	80	17.26	100
06.04	25	07.10	70	08.19	30	11.05	70	12.07	65	15.04	50	16.15	75	17.28	85
06.05	30	07.13	60	08.22	55	11.07	50	12.09	50	15.06	60	16.17	75	17.31	75
06.07	40	07.15	75	08.24	50	11.10	85	12.11	45	15.09	55	16.21	70	17.33	60
06.09	20	07.17	80	08.27	25	11.12	50	12.14	55	15.11	50	16.23	60	17.36	70
06.11	20	07.20	70	08.29	20	11.14	90	12.16	40	15.13	40	16.26	75	17.38	55
06.14	25	07.23	40	08.32	40	11.17	95	12.18	75	15.15	70	16.28	80	17.41	50
06.16	30	07.25	55	08.34	75	11.19	100	12.20	115	15.17	90	16.31	70	17.43	50
06.18	20	07.28	30	08.37	60	11.21	75	12.23	80	15.20	65	16.33	80	17.46	60
06.21	25	07.30	55	08.39	55	11.23	70	12.25	55	15.23	70	16.36	95	17.48	65
06.23	35	07.33	45	08.42	65	11.25	80	12.27	65	15.26	95	16.39	90	17.51	40
06.25	45	07.35	50	08.44	50	11.27	90	12.29	50	15.28	125	16.41	70	17.53	35
06.28	65	07.37	65	08.47	45	11.30	75	12.31	70	15.31	110	16.43	60	17.56	30
06.31	35	07.40	60	08.49	40	11.32	60	12.34	85	15.33	25	16.45	65	17.59	45
06.33	45	07.42	50	08.52	55	11.34	65	12.36	60	15.36	80	16.48	75		
06.36	55	07.45	40	08.54	35	11.37	70	12.38	50	15.38	70	16.50	65		
06.38	50	07.47	30	08.56	40	11.39	55	12.40	45	15.41	85	16.53	50		
06.41	60	07.50	45	08.59	70	11.41	40	12.43	60	15.44	65	16.55	55		
06.43	55	07.52	30	09.01	40	11.43	40	12.45	75	15.46	50	16.58	70		
06.46	40	07.55	50			11.45	30	12.47	100	15.49	70	17.00	65		
06.48	70	07.57	45			11.47	35	12.49	80	15.51	60	17.03	55		
06.51	75	08.00	30			11.49	95	12.51	90	15.54	75	17.06	60		
06.53	85	08.02	45			11.51	85	12.54	110	15.57	80	17.08	45		
06.56	75	08.05	40			11.53	60	12.56	100	15.59	75	17.11	70		
06.58	65	08.07	55			11.56	95	12.58	95	16.02	95	17.14	75		
07.01	70	08.10	45			11.58	85	13.00	100	16.05	100	17.17	65		
07.03	60	08.12	55			12.00	50			16.07	85	17.19	80		

Lampiran 2 Data Survei Panjang Antrean Hari Senin

Timur															
Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)
06.00	15	07.06	40	08.13	25	11.02	35	12.02	45	15.01	30	16.12	30	17.22	25
06.02	30	07.09	30	08.15	30	11.04	40	12.04	50	15.03	35	16.15	50	17.24	20
06.05	20	07.11	40	08.18	40	11.06	50	12.06	25	15.06	45	16.17	45	17.26	40
06.07	35	07.14	20	08.20	10	11.08	40	12.08	60	15.08	80	16.20	60	17.29	30
06.10	20	07.16	25	08.23	55	11.11	40	12.11	50	15.11	70	16.23	50	17.31	40
06.12	30	07.19	30	08.25	50	11.13	50	12.13	30	15.14	85	16.25	60	17.34	25
06.15	25	07.21	20	08.28	10	11.15	30	12.15	25	15.17	95	16.28	40	17.37	25
06.17	30	07.24	30	08.30	10	11.17	20	12.17	30	15.19	55	16.30	45	17.39	20
06.19	30	07.26	50	08.33	35	11.19	20	12.19	25	15.22	70	16.32	60	17.42	30
06.22	35	07.29	30	08.35	15	11.22	30	12.21	30	15.25	50	16.35	50	17.45	25
06.24	40	07.31	20	08.38	40	11.24	30	12.24	40	15.27	40	16.37	55	17.48	30
06.27	55	07.34	40	08.40	25	11.26	30	12.26	50	15.30	50	16.41	95	17.50	15
06.29	50	07.36	30	08.43	50	11.28	20	12.28	60	15.32	35	16.43	80	17.53	20
06.32	40	07.39	30	08.45	50	11.31	25	12.30	30	15.35	45	16.46	40	17.55	40
06.34	50	07.41	25	08.48	75	11.33	30	12.33	20	15.38	50	16.49	60	17.58	20
06.37	50	07.43	25	08.50	40	11.35	40	12.35	30	15.40	30	16.51	80		
06.39	70	07.46	50	08.53	30	11.37	60	12.37	30	15.43	25	16.54	60		
06.42	75	07.48	35	08.55	50	11.39	30	12.39	70	15.45	50	16.56	70		
06.44	60	07.51	30	08.57	60	11.41	30	12.41	60	15.48	60	16.59	50		
06.47	40	07.53	50	09.00	40	11.44	20	12.44	50	15.51	60	17.02	55		
06.49	60	07.56	25			11.46	20	12.46	40	15.54	85	17.04	40		
06.52	70	07.58	30			11.48	30	12.48	20	15.56	55	17.07	160		
06.54	35	08.01	40			11.50	40	12.50	50	15.59	70	17.10	40		
06.57	40	08.03	30			11.53	25	12.53	30	16.01	40	17.12	70		
06.59	50	08.06	25			11.55	30	12.55	60	16.04	70	17.15	50		
07.01	60	08.08	15			11.57	25	12.57	30	16.06	50	17.17	45		
07.04	30	08.10	25			11.59	40	12.59	40	16.09	50	17.20	30		

Lampiran 2 Data Survei Panjang Antrean Hari Senin

Selatan															
Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)
06.01	70	07.10	130	08.14	50	11.00	85	12.02	75	15.00	60	16.04	75	17.05	105
06.03	65	07.12	150	08.16	65	11.03	85	12.04	80	15.02	65	16.06	82	17.08	110
06.06	85	07.14	135	08.19	65	11.05	90	12.07	85	15.04	76	16.08	105	17.10	115
06.08	75	07.17	30	08.21	75	11.07	95	12.09	90	15.06	83	16.11	118	17.13	105
06.11	80	07.19	75	08.23	85	11.10	85	12.11	100	15.08	51	16.13	140	17.15	85
06.13	95	07.21	80	08.25	90	11.12	100	12.13	70	15.10	62	16.15	95	17.18	105
06.15	125	07.24	65	08.27	70	11.14	110	12.15	65	15.12	65	16.17	110	17.21	100
06.18	130	07.26	60	08.30	65	11.16	95	12.17	80	15.14	71	16.20	105	17.23	154
06.21	135	07.28	75	08.32	55	11.18	80	12.19	70	15.17	65	16.22	95	17.25	90
06.23	140	07.30	75	08.34	65	11.20	75	12.21	80	15.19	54	16.24	210	17.28	125
06.25	145	07.33	70	08.36	75	11.22	70	12.23	70	15.21	133	16.26	140	17.30	101
06.28	145	07.35	65	08.38	80	11.25	65	12.25	65	15.24	85	16.28	135	17.33	102
06.31	105	07.37	80	08.41	85	11.27	75	12.27	70	15.26	95	16.31	105	17.36	76
06.33	170	07.40	65	08.43	90	11.29	90	12.29	65	15.28	103	16.33	110	17.38	63
06.36	175	07.42	65	08.45	75	11.31	87	12.31	65	15.30	78	16.35	95	17.40	124
06.38	100	07.44	70	08.48	90	11.33	125	12.34	105	15.33	70	16.37	105	17.43	104
06.41	140	07.47	70	08.50	65	11.35	85	12.36	100	15.36	110	16.38	100	17.46	103
06.43	125	07.49	65	08.52	70	11.37	95	12.38	85	15.39	65	16.41	110	17.48	62
06.45	130	07.51	75	08.55	65	11.39	100	12.40	75	15.42	90	16.43	125	17.50	57
06.48	130	07.53	60	08.57	70	11.41	85	12.43	80	15.44	106	16.45	105	17.53	105
06.50	150	07.55	60	08.59	95	11.44	75	12.45	95	15.47	50	16.47	120	17.56	97
06.53	140	07.58	50			11.47	78	12.47	90	15.49	104	16.49	105	17.59	77
06.55	120	08.00	75			11.49	75	12.49	100	15.51	125	16.52	95		
06.57	110	08.03	75			11.51	75	12.51	85	15.53	94	16.54	110		
06.59	120	08.05	80			11.53	65	12.53	95	15.55	105	16.56	95		
07.02	100	08.07	70			11.55	80	12.55	50	15.57	109	16.58	100		
07.05	110	08.09	85			11.58	75	12.57	40	15.59	105	17.00	80		
07.07	60	08.12	80			12.00	75	13.00	85	16.02	98	17.02	110		

Lampiran 2 Data Survei Panjang Antrean Hari Senin

Barat															
Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)	Jam	Panjang Antrean (m)
06.01	11	07.10	24	08.19	41	11.00	22	11.59	38	15.00	42	16.13	31	17.27	46
06.03	19	07.13	15	08.22	36	11.02	31	12.03	37	15.02	35	16.16	42	17.30	23
06.06	23	07.15	45	08.24	27	11.04	15	12.05	33	15.05	31	16.18	26	17.33	16
06.08	8	07.18	23	08.27	13	11.06	37	12.07	48	15.07	43	16.21	36	17.36	19
06.11	14	07.20	48	08.29	10	11.08	18	12.09	28	15.10	39	16.23	30	17.38	27
06.13	25	07.23	17	08.32	28	11.10	40	12.11	36	15.12	38	16.26	37	17.41	19
06.16	17	07.25	25	08.34	26	11.12	32	12.14	38	15.15	47	16.28	43	17.44	23
06.18	9	07.27	39	08.37	27	11.14	35	12.16	30	15.18	57	16.31	36	17.47	17
06.21	21	07.30	18	08.39	37	11.16	37	12.18	40	15.20	61	16.34	39	17.49	14
06.23	29	07.32	22	08.42	26	11.18	50	12.20	26	15.22	70	16.36	36	17.51	11
06.26	35	07.35	30	08.44	15	11.20	37	12.23	36	15.25	57	16.39	44	17.54	26
06.28	38	07.38	20	08.47	12	11.22	25	12.25	31	15.28	63	16.42	37	17.56	31
06.31	40	07.40	5	08.49	36	11.25	40	12.27	35	15.30	49	16.45	40	17.59	14
06.33	47	07.42	28	08.52	29	11.27	20	12.29	32	15.33	53	16.48	35	18.02	16
06.36	59	07.45	47	08.54	13	11.31	20	12.31	35	15.35	61	16.50	34		
06.38	46	07.47	51	08.57	39	11.34	36	12.34	17	15.38	49	16.52	29		
06.41	50	07.50	18	08.59	44	11.36	15	12.36	35	15.41	29	16.55	25		
06.43	42	07.52	28	09.02	35	11.38	16	12.38	17	15.44	72	16.58	27		
06.45	40	07.55	49			11.38	37	12.40	21	15.47	56	17.01	35		
06.48	44	07.57	37			11.40	26	12.43	18	15.49	48	17.03	68		
06.50	46	08.00	32			11.42	25	12.45	20	15.52	29	17.06	102		
06.53	44	08.02	20			11.45	29	12.47	20	15.54	46	17.09	120		
06.55	30	08.04	11			11.47	31	12.49	17	15.57	30	17.11	64		
06.58	24	08.07	38			11.49	29	12.51	25	16.00	34	17.14	32		
07.00	40	08.09	46			11.51	30	12.54	33	16.03	41	17.17	23		
07.03	17	08.12	28			11.53	33	12.56	48	16.05	37	17.19	29		
07.05	39	08.14	33			11.55	24	12.58	25	16.08	28	17.22	49		
07.08	15	08.17	17			11.57	30	13.00	18	16.10	32	17.25	51		

Lampiran 3 Data Survei Kecepatan

No.	Panjang Segmen	Utara (Km/jam)		
		SM	MP	KS
1	50 m	27,52	25,20	24,81
2		29,12	21,11	25,14
3		26,86	19,64	24,52
4		30,15	22,52	19,36
5		28,27	20,86	18,71
6		29,51	21,92	
7		31,89	23,48	
8		30,66	23,17	
9		29,80	22,10	
10		31,55	24,33	
11		28,92	21,10	
12		30,27	22,80	
13		27,61	20,09	
14		25,05	29,40	
15		28,71	20,90	
16		27,20	19,75	
17		22,41	24,88	
18		29,09	21,56	
19		30,54	23,18	
20		28,80	21,66	

Lampiran 3 Data Survei Kecepatan

No.	Panjang Segmen	Barat (Km/jam)		
		SM	MP	KS
1	50 m	24,90	32,49	24,52
2		37,19	29,51	21,95
3		21,69	25,50	24,86
4		35,16	25,46	25,82
5		25,82	30,56	23,47
6		33,27	26,39	
7		32,03	25,00	
8		39,56	37,58	
9		36,36	23,90	
10		44,23	41,10	
11		28,89	23,87	
12		26,35	21,46	
13		24,93	20,44	
14		24,06	19,87	
15		26,55	20,91	
16		24,10	18,01	
17		39,13	20,59	
18		36,81	21,67	
19		35,79	25,66	
20		32,14	29,59	

Lampiran 3 Data Survei Kecepatan

No.	Panjang Segmen	Selatan (Km/jam)		
		SM	MP	KS
1	50 m	30,51	45,92	27,44
2		45,69	40,45	20,45
3		31,03	46,63	25,86
4		36,22	30,46	33,64
5		41,86	23,11	24,29
6		31,47	27,11	
7		25,46	29,41	
8		35,36	32,73	
9		36,00	33,77	
10		30,77	23,29	
11		31,36	25,31	
12		34,68	34,56	
13		29,75	26,71	
14		25,94	20,42	
15		30,51	42,22	
16		36,36	28,11	
17		52,17	20,98	
18		27,19	22,59	
19		28,94	23,96	
20		38,79	25,67	

Lampiran 3 Data Survei Kecepatan

No.	Panjang Segmen	Timur (Km/jam)		
		SM	MP	KS
1	50 m	21,82	27,95	27,44
2		23,53	20,83	20,45
3		24,46	29,56	25,86
4		40,09	28,26	23,64
5		29,90	23,08	24,29
6		31,91	27,03	
7		38,79	20,22	
8		30,98	26,20	
9		33,58	27,95	
10		34,55	33,58	
11		34,68	31,22	
12		36,29	28,86	
13		26,99	26,50	
14		24,59	24,14	
15		24,86	21,78	
16		20,52	25,20	
17		21,98	24,58	
18		20,59	22,22	
19		31,09	19,86	
20		17,32	18,43	

Lampiran 4 Data Survei *Driving Behavior*

Pendekat	Depan Belakang Kendaraan Kondisi Berhenti (M)	Depan–Belakang Kendaraan Kondisi Berjalan (m)	Kendaraan Berdampingan Kondisi Berhenti (m)	Kendaraan Berdampingan Kondisi Berjalan (m)
Utara	0,6	0,9	0,4	0,7
	0,5	0,7	0,4	0,6
	0,7	0,7	0,6	0,8
	0,8	0,9	0,6	0,5
	0,4	0,4	0,3	0,3
	0,3	0,3	0,3	0,4
Timur	0,7	0,9	0,6	0,8
	0,6	0,5	0,5	0,7
	0,7	0,8	0,6	0,6
	0,6	0,9	0,5	0,7
	0,4	0,3	0,3	0,2
	0,3	0,4	0,2	0,3
Selatan	0,9	0,7	0,6	0,7
	0,7	0,6	0,5	0,6
	0,8	0,7	0,6	0,7
	0,8	0,9	0,5	0,7
	0,3	0,4	0,3	0,3
	0,3	0,5	0,3	0,3
Barat	0,8	0,6	0,6	0,7
	0,7	0,5	0,4	0,5
	0,9	0,8	0,6	0,6
	0,7	0,8	0,6	0,7
	0,4	0,3	0,3	0,3
	0,3	0,2	0,3	0,3

Lampiran 5 Dokumentasi Survei

