

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL BOROBUDUR PLAZA KOTA YOGYAKARTA (*PERFORMANCE EVALUATION OF BOROBUDUR PLAZA SIGNALIZED INTERSECTION IN YOGYAKARTA CITY*)

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



**Arsyada Finnahar Haryanto
19511033**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL BOROBUDUR PLAZA KOTA YOGYAKARTA (*PERFORMANCE EVALUATION OF BOROBUDUR PLAZA SIGNALIZED INTERSECTION IN YOGYAKARTA CITY*)

Disusun oleh

Arsyada Finnahar Haryanto
19511033

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



Diuji pada tanggal 26 November 2024
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I

Penguji I

Penguji II

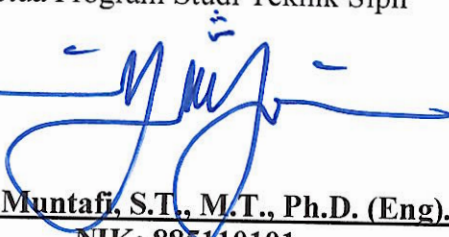

Prayogo Afang P., S.T., M.Sc.
NIK: 205111303


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


Muhammad Abdul H., S.T., M.T.
NIK: 215111307



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Ir., Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 26 November 2024

Yang membuat pernyataan,



Arsyada Finnahar Haryanto
(19511033)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Evaluasi dan Peningkatan Kinerja Simpang Bersinyal Borobudur Plaza Kota Yogyakarta. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

1. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Penguji I. Terimakasih atas masukan yang sudah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II. Terimakasih atas masukan yang sudah diberikan kepada penulis.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Bapak dan ibu penulis yang telah memberikan doa, dukungan, perhatian, serta berkorban begitu banyak material hingga selesainya Tugas Akhir ini.
6. Adik-adik penulis yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis hingga selesainya Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman penulis yang memberikan dukungan selama pengerjaan Tugas Akhir ini, serta teman-teman yang telah membantu dalam pengambilan data penelitian, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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

Yogyakarta, 26 November 2024

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Arsyada Finnahar Haryanto', written in a cursive style.

Arsyada Finnahar Haryanto
(19511033)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
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 Tinjauan Umum	5
2.2 Metode Evaluasi Kinerja Simpang	5
2.3 Mikrosimulasi VISSIM	7
2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	9
BAB III LANDASAN TEORI	14

3.1 Persimpangan	14
3.2 Simpang APILL	14
3.3 Arus Lalu Lintas dan Klasifikasi Kendaraan	15
3.4 Penggunaan Isyarat	16
3.4.1 Fase Isyarat	16
3.4.2 Waktu Merah Semua dan Waktu Hijau Hilang Total	17
3.5 Kapasitas Simpang	19
3.5.1 Tipe Pendekat	20
3.5.2 Lebar Pendekat Efektif	20
3.5.3 Arus Jenuh	21
3.5.3.1 Arus Jenuh Dasar	22
3.5.3.2 Faktor Koreksi Arus Jenuh	25
3.5.4 Arus Jenuh yang Telah Disesuaikan	29
3.5.5 Rasio Arus Jenuh	29
3.5.6 Waktu Siklus dan Waktu Hijau	29
3.6 Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL	30
3.6.1 Derajat Kejenuhan	30
3.6.2 Panjang Antrean	31
3.6.3 Rasio Kendaraan Henti	33
3.6.4 Tundaan	34
3.7 Tingkat Pelayanan	35
3.8 PTV VISSIM	36
3.8.1 Tahap Pemodelan dan Output Hasil	36
3.8.2 Kalibrasi dan Validasi	38
BAB IV METODE PENELITIAN	40
4.1 Lokasi Penelitian	40
4.2 Data Penelitian	40

4.3 Metode Pengumpulan Data	41
4.3.1 Alat yang Digunakan	43
4.3.2 Waktu Pelaksanaan	43
4.4 Analisis Data	44
4.5 Bagan Alir Penelitian	44
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	47
5.1 Data Hasil Survei dan Analisis Data	47
5.1.1 Data Geometri Simpang	47
5.1.2 Data Pengaturan Lalu Lintas	48
5.1.3 Data Volume Puncak Arus Lalu Lintas	49
5.1.4 Data Kecepatan Kendaraan	52
5.1.5 Data <i>Driving Behaviour</i>	54
5.1.6 Data Lingkungan Simpang	55
5.2 Kinerja Simpang Kondisi Eksisting	57
5.2.1 Konversi Volume Lalu Lintas	57
5.2.2 Perhitungan Kapasitas Simpang	57
5.2.3 Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, Rasio Kendaraan Henti dan Tundaan	60
5.3 Pemodelan Simpang Menggunakan PTV VISSIM	63
5.3.1 Pembuatan dan Pengaturan Model Simpang	63
5.3.2 Kalibrasi <i>Driving Behaviour</i>	74
5.3.3 Uji Validasi Model Simpang	75
5.4 Alternatif Solusi	77
5.4.1 Alternatif 1	77
5.4.2 Alternatif 2	79
5.4.3 Alternatif 3	80
5.4.4 Alternatif 4	83

5.4.5 Alternatif 5	84
5.5 Pembahasan	86
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	94
6.1 Kesimpulan	94
6.1.1 Hasil Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Borobudur Plaza	94
6.1.2 Alternatif Solusi Terbaik	94
6.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Sekarang dan Terdahulu	10
Tabel 3.1	Nilai Normal Waktu antar Hijau	15
Tabel 3.2	Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)	16
Tabel 3.3	Faktor Koreksi Hambatan Samping	25
Tabel 3.4	Faktor Koreksi Hambatan Samping	26
Tabel 3.5	Waktu Siklus yang Layak	30
Tabel 3.6	Kesimpulan Hasil Perhitungan GEH	39
Tabel 3.7	Kesimpulan Hasil Perhitungan MAPE	39
Tabel 4.1	Data Penelitian	41
Tabel 5.1	Data Geometri Simpang Borobudur Plaza	48
Tabel 5.2	Data Waktu Isyarat Simpang Borobudur Plaza	48
Tabel 5.3	Data Volume Arus Lalu Lintas Pagi	49
Tabel 5.4	Data Volume Arus Lalu Lintas Siang	50
Tabel 5.5	Data Volume Arus Lalu Lintas Sore	51
Tabel 5.6	Data Kecepatan Kendaraan	53
Tabel 5.7	Data <i>Driving Behaviour</i>	54
Tabel 5.8	Data Lingkungan Simpang	55
Tabel 5.9	Data Volume Arus Lalu Lintas Simpang Borobudur Plaza	59
Tabel 5.10	Rekap Hasil Kapasitas Simpang	60
Tabel 5.11	Rekap Hasil Derajat Kejenuhan	60
Tabel 5.12	Rekap Hasil Panjang Antrean	61
Tabel 5.13	Rekap Hasil Rasio Kendaraan Henti	62
Tabel 5.14	Rekap Hasil Tundaan	62

Tabel 5.15	Jumlah dan Lebar Kelas Jenis Kendaraan MP	66
Tabel 5.16	Frekuensi Komulatif Relatif Kecepatan Jenis Kendaraan Car	66
Tabel 5.17	Rekap Hasil Frekuensi Komulatif Relatif Kecepatan	67
Tabel 5.18	Data <i>Vehicle Compositions</i> Volume Arus Lalu Lintas	68
Tabel 5.19	Data <i>Vehicle Routes</i> Volume Arus Lalu Lintas	68
Tabel 5.20	Kalibrasi <i>Driving Behaviour</i>	74
Tabel 5.21	Uji Validasi GEH	75
Tabel 5.22	Uji Validasi MAPE	75
Tabel 5.23	Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Kondisi Eksisting	77
Tabel 5.24	Waktu Hijau Alternatif 1	78
Tabel 5.25	Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, dan Tundaan Alternatif 1	78
Tabel 5.26	Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Alternatif 1	79
Tabel 5.27	Waktu Siklus dan Waktu Hijau Alternatif 2	79
Tabel 5.28	Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, dan Tundaan Alternatif 2	80
Tabel 5.29	Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Alternatif 2	80
Tabel 5.30	Waktu Siklus dan Waktu Hijau Alternatif 3	81
Tabel 5.31	Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, dan Tundaan Alternatif 3	82
Tabel 5.32	Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Alternatif 3	82
Tabel 5.33	Waktu Siklus dan Waktu Hijau Alternatif 4	83
Tabel 5.34	Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, dan Tundaan Alternatif 4	84
Tabel 5.35	Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Alternatif 4	84
Tabel 5.36	Waktu Siklus dan Waktu Hijau Alternatif 5	85
Tabel 5.37	Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, dan Tundaan Alternatif 5	85

Tabel 5.38	Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Alternatif 5	86
Tabel 5.39	Perbandingan Karakteristik Seluruh Alternatif Solusi	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lengan Utara Simpang Borobudur Plaza	2
Gambar 1.2	Lengan Timur Simpang Borobudur Plaza	3
Gambar 1.3	Lengan Selatan Simpang Borobudur Plaza	3
Gambar 3.1	Urutan Waktu Menyala Isyarat APILL pada Dua Fase	15
Gambar 3.2	Tipe Fase APILL Simpang Tiga	17
Gambar 3.3	Tipe Fase APILL Simpang Empat	17
Gambar 3.4	Titik Konflik Kritis dan Jarak Keberangkatan dan Kedatangan	18
Gambar 3.5	Penentuan Tipe Pendekat	20
Gambar 3.6	Lebar Pendekat dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas	21
Gambar 3.7	Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat Terlindung (Tipe P)	22
Gambar 3.8	Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat Tak Terlindung (Tipe O) tanpa Lajur Belok Kanan Terpisah	23
Gambar 3.9	Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat Tak Terlindung (Tipe O) dengan Lajur Belok Kanan Terpisah	24
Gambar 3.10	Faktor Koreksi Kelandaian	26
Gambar 3.11	Faktor Koreksi Pengaruh Parkir	27
Gambar 3.12	Faktor Koreksi Belok Kiri	28
Gambar 3.13	Faktor Koreksi Belok Kanan	28
Gambar 3.14	Jumlah Kendaraan yang Tersisa dari Fase Hijau Sebelumnya	32
Gambar 3.15	Jumlah Kendaraan (SMP) yang Datang dan Terhenti Selama Fase Merah	32
Gambar 3.16	Jumlah Antrean Maksimum Akibat Overloading	33
Gambar 3.17	Penentuan Rasio Kendaraan Terhenti	34
Gambar 4.1	Lokasi Simpang Borobudur Plaza	40

Gambar 4.2	Bagan Alir Penelitian	45
Gambar 5.1	Sketsa Simpang Borobudur Plaza	47
Gambar 5.2	Fase Simpang Borobudur Plaza	48
Gambar 5.3	Diagram Waktu Isyarat Simpang Borobudur Plaza	49
Gambar 5.4	Data Volume Arus Lalu Lintas Pagi	50
Gambar 5.5	Data Volume Arus Lalu Lintas Siang	50
Gambar 5.6	Data Volume Arus Lalu Lintas Sore	51
Gambar 5.7	Distribusi Volume Kendaraan Berdasarkan Jenis dan Arah di Tiap Pendekat	52
Gambar 5.8	Kondisi Pendekat Selatan (Jl. Magelang)	55
Gambar 5.9	Kondisi Pendekat Utara (Jl. Magelang)	56
Gambar 5.10	Kondisi Pendekat Timur (Jl. R.W. Monginsidi)	56
Gambar 5.11	<i>Network Settings</i>	63
Gambar 5.12	<i>Background Images</i>	64
Gambar 5.13	<i>Links</i>	64
Gambar 5.14	<i>Connectors</i>	65
Gambar 5.15	<i>Vehicle Inputs</i>	65
Gambar 5.16	<i>Desired Speed Distribution</i>	67
Gambar 5.17	<i>Vehicle Compositions</i>	68
Gambar 5.18	<i>Vehicle Routes</i>	69
Gambar 5.19	<i>Conflict Area</i>	69
Gambar 5.20	<i>Reduced Speed Area</i>	70
Gambar 5.21	<i>Signal Controllers</i>	70
Gambar 5.22	<i>Signal Head</i>	71
Gambar 5.23	<i>Data Collection Points</i>	71
Gambar 5.24	<i>Vehicle Travel Time</i>	72
Gambar 5.25	<i>Queue Counters</i>	72

Gambar 5.26	<i>Data Collection Measurements</i>	73
Gambar 5.27	<i>Delay Measurements</i>	73
Gambar 5.28	Pemodelan Simpang Sebelum Kalibrasi dan Validasi	76
Gambar 5.29	Pemodelan Simpang Setelah Kalibrasi dan Validasi	76
Gambar 5.30	Fase Alternatif	81
Gambar 5.31	Perbandingan Panjang Antrean Simpang Kondisi Eksisting	87
Gambar 5.32	Perbandingan Tundaan Simpang Kondisi Eksisting	87
Gambar 5.33	Derajat Kejenuhan Alternatif	88
Gambar 5.34	Panjang Antrean Alternatif	89
Gambar 5.35	Tundaan Alternatif	90
Gambar 5.36	Panjang Antrean Kondisi Eksisting dan Alternatif	92
Gambar 5.37	Tundaan Kondisi Eksisting dan Alternatif	92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Volume Lalu Lintas	100
Lampiran 2	Data <i>Driving Behaviour</i> pada Jam Puncak	106
Lampiran 3	Data Kecepatan pada Jam Puncak	107
Lampiran 4	<i>Time Schedule</i> Pengerjaan TA	110

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

APILL	= Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas
B_{Ka}	= Belok Kanan
B_{Ki}	= Belok Kiri
B_{KijT}	= Belok Kiri Jalan Terus
C	= Kapasitas
D_j	= Derajat Kejenuhan
emp	= Ekuivalensi Mobil Penumpang
GEH	= <i>Geoffrey E. Havers</i>
MAPE	= <i>Mean Absolute Percentage Error</i>
HCM	= <i>Highway Capacity Manual</i>
J	= Arus Jenuh
KTb	= Kendaraan Tidak Bermotor
KB	= Kendaraan Bermotor
P_A	= Panjang Antrean
PKJI	= Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia
q	= Volume Lalu Lintas
R_{KH}	= Rasio Kendaraan Henti
s	= Waktu Siklus
skr	= Satuan Kendaraan Ringan
SMP	= Satuan Mobil Penumpang
T	= Tundaan
Tipe O	= Tipe Pendekat Terlawan
Tipe P	= Tipe Pendekat Terlindung
VISSIM	= <i>Verkehr In Städten Simulation Model</i>
W_H	= Waktu Hijau

ABSTRAK

Simpang Borobudur Plaza merupakan simpang bersinyal yang terletak di Jalan Magelang, Kota Yogyakarta. Jalan yang termasuk dalam arteri sekunder ini melewati area strategis, seperti area komersial dan wilayah padat penduduk. Simpang pada jalan ini khususnya Simpang Borobudur Plaza menjadi salah satu titik yang mengalami kepadatan lalu lintas di Kota Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang APILL Borobudur Plaza dalam kondisi eksisting dengan menggunakan metode PKJI 2023, memodelkan simpang menggunakan VISSIM, kemudian menganalisis alternatif solusi untuk menangani masalah pada Simpang Borobudur Plaza dengan bantuan pemodelan VISSIM.

Pengambilan data dilaksanakan pada hari Senin yang mewakili hari kerja dan hari Sabtu yang mewakili hari libur. Pengambilan data primer diambil pada saat dilakukan penelitian di lapangan. Sementara itu, data sekunder dapat diambil di luar hari penelitian lapangan. Analisis kinerja menggunakan metode PKJI 2023 dan tingkat pelayanan ditentukan menggunakan Permenhub No.96 Tahun 2015. Kemudian simpang dimodelkan menggunakan VISSIM menyerupai kondisi eksisting. Alternatif-alternatif solusi dicari menggunakan PKJI 2023 lalu setiap alternatifnya diterapkan ke dalam VISSIM, solusi terbaik didapat dengan membandingkan hasil kinerja setiap alternatif.

Hasil penelitian kinerja simpang pada kondisi eksisting menunjukkan bahwa tundaan rata-rata simpang memiliki nilai sebesar 68,2 det/SMP berdasarkan PKJI 2023 dan sebesar 69,7 det/SMP berdasarkan VISSIM dengan tingkat pelayanan F. Solusi terbaik yang diterapkan untuk meningkatkan kinerja simpang adalah dengan melakukan perubahan fase dengan menambah waktu hijau di pendekat Utara untuk arah belok kiri pada fase 3, perubahan waktu siklus sesuai rekomendasi PKJI 2023 menjadi 90 detik, dan penyesuaian waktu hijau. Hasil penerapan solusi menggunakan bantuan pemodelan VISSIM menunjukkan peningkatan kinerja simpang, dengan tundaan rata-rata simpang menjadi 18 det/SMP dan peningkatan tingkat pelayanan menjadi C.

Kata kunci: Simpang Bersinyal, Kinerja, Pemodelan, PKJI 2023, VISSIM.

ABSTRACT

The Borobudur Plaza intersection is a signalized intersection located on Magelang Street in Yogyakarta City. This secondary arterial road passes through strategic areas such as commercial zones and densely populated regions. The intersection, particularly the Borobudur Plaza Intersection, is one of the points experiencing traffic congestion in Yogyakarta City. This study aims to evaluate the performance of the Borobudur Plaza signalized intersection under existing conditions using the PKJI 2023 method, model the intersection using VISSIM, and analyze alternative solutions to address issues at the Borobudur Plaza Intersection with the assistance of VISSIM modeling.

Data collection was carried out on Monday which represented weekdays and Saturday which represented holidays. Primary data collection was taken during research in the field. Meanwhile, secondary data can be retrieved outside of the field research day. Performance analysis uses the PKJI 2023 method and service levels are determined using Permenhub No. 96 of 2015. Then the intersection was modeled using VISSIM to resemble existing conditions. Alternative solutions are sought using PKJI 2023 and then each alternative is applied to VISSIM, the best solution is obtained by comparing the performance results of each alternative.

The results of the intersection performance analysis under existing conditions indicate that the average intersection delay is 68.2 sec/SMP based on PKJI 2023 and 69.7 sec/SMP based on VISSIM, with a Level of Service of F. The best solution implemented to improve intersection performance involves phase adjustments by increasing the green time for the left-turn movement on the northern approach during Phase 3, modifying the cycle time to 90 seconds as recommended by PKJI 2023, and adjusting green times. The application of the solution using VISSIM modeling shows an improvement in intersection performance, with the average intersection delay reduced to 18 sec/SMP and the Level of Service improved to C.

Keywords: *Signalized Intersection, Performance, Modeling, PKJI 2023, VISSIM*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan kendaraan di Daerah Istimewa Yogyakarta mengalami kenaikan setiap tahunnya, menurut Dinas Perhubungan Daerah Istimewa Yogyakarta (2022), bahwa kendaraan di Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 2021 terjadi peningkatan sebesar 3,55% atau sekitar 3.622.220 unit kendaraan dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Kenaikan jumlah kendaraan menyebabkan kenaikan volume pada lalu lintas khususnya di Kota Yogyakarta. Masuknya wisatawan menggunakan kendaraan pribadi maupun kendaraan umum ke Kota Yogyakarta menjadi faktor tambahan dari kenaikannya volume kendaraan pada lalu lintas.

Menurut Peraturan Daerah Kota Yogyakarta (2021), Jalan Magelang adalah jalan arteri sekunder yaitu jalan penghubung antara kawasan primer dan sekunder kesatu atau kawasan sekunder kesatu dan sekunder kedua. Berada di bagian barat Kota Yogyakarta, jalan ini melewati area strategis, seperti area komersial dan wilayah ramai penduduk. Akibat volume kendaraan yang meningkat pada lalu lintas, Kepadatan lalu lintas sering terjadi di beberapa lokasi, termasuk di salah satu simpang tiga lengan di Jalan Magelang yaitu Simpang Borobudur Plaza. Simpang Borobudur Plaza menghubungkan Jalan Magelang dan Jalan R.W. Monginsidi. Sebelumnya, salah satu simpang di Jalan Magelang juga diteliti oleh Purnama dkk (2023), yang melakukan evaluasi dan peningkatan kinerja Simpang Bersinyal Deggung Sleman. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa simpang kondisi eksisting memiliki derajat kejenuhan rata-rata sebesar 0,86, tundaan rata-rata sebesar 90,88 det/SMP, dan tingkat pelayanan adalah F. Solusi yang diusulkan untuk meningkatkan kinerja simpang adalah dengan mengubah fase menjadi 5 fase serta mengganti waktu siklus menjadi 153 detik. Penerapan solusi ini menghasilkan perbaikan kinerja dengan derajat kejenuhan rata-rata menurun

menjadi 0,693, tundaan rata-rata sebesar 59,08 det/SMP, dan tingkat pelayanan meningkat menjadi E.

Kepadatan lalu lintas menandakan kurang baiknya kinerja jalan tersebut, menurut MKJI (1997), jalan yang memiliki kinerja baik memiliki Derajat kejenuhan (DJ) $\leq 0,85$. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), perbaikan kinerja jalan yang memiliki derajat jenuh lebih dari 0,85 bisa mempertimbangkan dengan penambahan lajur atau memperbaiki manajemen lalu lintas.

Pada penelitian ini, peneliti akan menganalisis kelayakan Simpang Borobudur Plaza dengan mencari derajat jenuh, panjang antrean, rasio kendaraan henti, dan tundaan menggunakan metode PKJI 2023. Jika pada salah satu pendekat memiliki derajat jenuh $> 0,85$, maka peneliti akan mencari beberapa alternatif solusi dibantu dengan pemodelan menggunakan *software* VISSIM. Solusi ini bisa berupa melakukan pelarangan gerak belok kanan, perubahan fase isyarat, penambahan lebar pendekat, atau lainnya. Dalam survei pendahuluan pada hari Senin, 4 November 2023, pukul 16.00–17.00 WIB, menunjukkan adanya kepadatan di lengan utara Simpang Borobudur Plaza, dokumentasi setiap lengan simpang dapat dilihat pada Gambar 1.1, Gambar 1.2, dan Gambar 1.3.



Gambar 1.1 Lengan Utara Simpang Borobudur Plaza



Gambar 1.2 Lengan Timur Simpang Borobudur Plaza



Gambar 1.3 Lengan Selatan Simpang Borobudur Plaza

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini, terdapat beberapa isu yang dijadikan rumusan masalah seperti berikut.

1. Bagaimana evaluasi kinerja simpang APILL Borobudur Plaza dalam kondisi eksisting dengan menggunakan metode PKJI 2023?
2. Bagaimana alternatif solusi untuk menangani masalah pada Simpang Borobudur Plaza dengan bantuan pemodelan VISSIM?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengevaluasi kinerja simpang APILL Borobudur Plaza dalam kondisi eksisting dengan menggunakan metode PKJI 2023, kemudian memodelkan simpang menggunakan VISSIM.
2. Menganalisis alternatif solusi untuk menangani masalah pada Simpang Borobudur Plaza dengan bantuan pemodelan VISSIM.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui evaluasi kinerja simpang APILL Borobudur Plaza dalam kondisi eksisting dengan menggunakan metode PKJI 2023.
2. Mengetahui alternatif solusi untuk menangani masalah pada Simpang Borobudur Plaza dengan bantuan pemodelan VISSIM.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini tetap terarah dan efektif, ditetapkan batasan penelitian seperti berikut.

1. Penelitian dilaksanakan di Simpang Borobudur Plaza Kota Yogyakarta.
2. Survei diadakan di dua hari yaitu hari Senin dan hari Sabtu.
3. Analisis menggunakan metode PKJI 2023.
4. Pemodelan simpang APILL menggunakan *software* VISSIM.
5. Survei dilakukan untuk mendapatkan data primer.
6. Uji validasi pemodelan simpang APILL pada VISSIM menggunakan 2 metode yaitu GEH dan MAPE.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan pustaka dibuat untuk menguraikan hasil penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian saat ini secara sistematis. Tujuan uraian penelitian terdahulu yaitu untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang topik yang diteliti, mendukung argumentasi peneliti saat ini, serta memastikan penelitian saat ini adalah original.

2.2 Metode Evaluasi Kinerja Simpang

Wardani (2023) melakukan penelitian dengan judul “Analisis *Level of Service* Simpang APILL 3 kaki Jembatan Soekarno-Hatta Kota Malang dengan PKJI 2023”. Penelitian ini menguji kinerja Simpang tiga lengan yang menghubungkan Jl. Soekarno-Hatta, Jl. Mayjen Panjaitan, dan Jl. MT Haryono dengan menggunakan metode PKJI 2023. Menggunakan 2 data jam puncak pada pukul 06.35–07.35 WIB dan pukul 16.15–17.15 dengan volume 1.572 SMP/jam dan 1.699 SMP/jam berturut-turut, didapat hasil analisis pada waktu pagi dan sore hari yaitu derajat kejenuhan rata-rata adalah 0,977 dan 1,082, panjang antrean rata-rata adalah 345,13 m dan 608,21 m, dan tundaan adalah 52,39 detik/SMP dan 124,12 detik/SMP. Peneliti tidak melakukan perbaikan kinerja simpang pada penelitiannya.

Atmajaya dkk (2024) melakukan penelitian yang berjudul “Evaluasi Efektifitas Pengaturan Sinyal pada Simpang 5 Balapan untuk Meningkatkan Kinerja Simpang dengan Pendekatan PKJI 2023 dan Vissim”. Data primer dikumpulkan langsung saat observasi di lapangan dan data dianalisis dengan metode PKJI 2023. Data yang digunakan peneliti untuk dianalisis yaitu pada jam 05.00–21.00 WIB dengan membagi beberapa bagian berupa *plan*, terdapat 5 *plan*,

dan *plan* dengan tundaan tertinggi yaitu *plan* 1 dengan tundaan rata-rata 94 detik/SMP, derajat kejenuhan rata-rata adalah 0,83, dan panjang antrean rata-rata adalah 66 meter. Peneliti menerapkan 2 alternatif di setiap *plan* untuk meningkatkan kinerja simpang, alternatif 1 berupa penyesuaian distribusi waktu hijau dan alternatif 2 berupa perubahan waktu siklus. alternatif terbaik yang diterapkan pada *plan* 1 adalah alternatif 2 dengan hasil berupa penurunan derajat kejenuhan sebesar 11%, penurunan panjang antrean sebesar 25%, dan penurunan tundaan sebesar 43%.

Lailiyah (2024) dalam jurnalnya yang berjudul “Evaluasi Simpang Tiga Bersinyal Menggunakan PKJI 2023 pada Jalan Irian Jaya–Raya Mojowarno–Ngoro Jombang Kabupaten Jombang” menganalisis kinerja dan biaya operasional simpang dalam kondisi eksisting dan melakukan usulan perbaikan kinerja simpang bersinyal. Pada kondisi eksisting, didapat hasil analisis derajat kejenuhan rata-rata sebesar 0,94 dan tundaan rata-rata sebesar 100,07 detik/SMP. Terdapat 3 alternatif yang dicoba oleh peneliti yaitu pertama perubahan waktu siklus, kedua perubahan fase menjadi 2 fase, dan ketiga perubahan fase menjadi 2 fase dan pelebaran geometrik. Setelah dilakukan analisis kinerja simpang dengan menerapkan setiap alternatif, didapatkan alternatif terbaik yaitu alternatif ketiga dengan hasil berupa derajat kejenuhan sebesar 0,45, dan tundaan rata-rata simpang sebesar 18,385 detik/SMP.

Prameswari (2024) dalam jurnal yang berjudul “Studi Kelayakan Lalu Lintas Perbaikan Simpang Jalan Raya Pilang–Jalan Raya Banar Pilang Kabupaten Sidoarjo” melakukan analisis kinerja simpang, perbaikan kinerja, serta menganalisis kinerja simpang pada 5 tahun mendatang. Analisis pada kondisi eksisting menghasilkan nilai derajat kejenuhan rata-rata sebesar 1,12, panjang antrean rata-rata sebesar 157 meter, dan tundaan rata-rata sebesar 75,3 detik/smp. Peneliti melakukan percobaan perbaikan dengan 4 alternatif, alternatif 1 yaitu dengan mengubah waktu siklus menjadi 70 detik, alternatif 2 yaitu dengan menggunakan 3 fase dan waktu siklus selama 100 detik, alternatif 3 yaitu menggunakan 4 fase dengan durasi waktu siklus selama 130 detik, dan alternatif 4 yaitu dengan 4 fase dan waktu siklus berdurasi 100 detik, serta pelebaran

pendekat lengan selatan sebesar 1,45 m. Alternatif terbaik untuk diterapkan pada simpang adalah alternatif 3 dengan menghasilkan nilai derajat kejenuhan rata-rata yaitu 0,4, panjang antrean rata-rata yaitu 30,5 meter, dan tundaan rata-rata yaitu 48,8 detik/SMP.

Saputra (2024), pada penelitiannya berjudul “Analisis Efektivitas Lampu Lalu Lintas Persimpangan Jalan Soekarno-Hatta–Jalan Durian–Jalan Sigungung” melakukan uji kinerja pada simpang empat lengan yang menghubungkan Jalan Soekarno-Hatta–Jalan Durian–Jalan Sigungung. Metode yang digunakan adalah PKJI 2023. Analisis menggunakan data hari Sabtu pukul 17.00–18.00 WIB, hasil uji kinerja simpang ini adalah derajat kejenuhan rata-rata sebesar 0,891, panjang antrean rata-rata sebesar 119,49 m, dan tundaan rata-rata sebesar 44,6 detik.

2.3 Mikrosimulasi VISSIM

Romadhona dan Fauzi (2018) dalam jurnalnya yang berjudul “Analisis Dampak Gang pada Putaran Balik terhadap Kinerja Ruas Jalan Raya Affandi Yogyakarta”, bertujuan membandingkan kinerja sepanjang ruas jalan yang terkena dampak putaran balik yang terletak di depan gang di Jl. Affandi Yogyakarta serta memberikan solusi menggunakan pemodelan VISSIM sehingga dapat meningkatkan kinerja ruas jalan. Pengolahan data yang digunakan pada penelitian ini adalah metode 06/BM/2005 tentang perencanaan putaran balik dan MKJI 1997. Didapat hasil penelitian, rata-rata kecepatan kendaraan dalam arah lalu lintas utara–selatan di Jl. Affandi Yogyakarta adalah 23,04 km/jam, sedangkan dalam arah lalu lintas selatan–utara adalah 26,69 km/jam. Tingkat pelayanan Jl. Affandi Yogyakarta. Nilai E sebagai tingkat pelayanan karena kecepatan tidak melebihi 30 km/jam. Ditetapkan alternatif 1 sebagai solusi terbaik yaitu panjang antrean 5,74 m, tundaan 4,3 det, dan peningkatan kecepatan dari arah utara–selatan dan arah selatan–utara berturut-turut sebesar 32,84 km/jam dan 40,07 km/jam.

Romadhona dan Wisnumurti (2019) melakukan penelitian dengan judul “Dampak Penutupan Perlintasan Kereta Api Lempuyangan terhadap Ruas Jalan di Sekitarnya”. Pengolahan data untuk analisis tingkat pelayanan menggunakan metode MKJI dan pemodelan pada kondisi eksisting dan pasca perlintasan kereta

api ditutup menggunakan VISSIM. Pada proses validasi data, hasil GEH memiliki nilai rata-rata 1,2 dengan nilai tertinggi 4,42 sehingga pemodelan berhasil tervalidasi. Pada hasil kinerja pasca penutupan perlintasan kereta api, kinerja ruas jalan meningkat pada Jl. Lempuyangan, Jl. Argolubang, dan Jl. Dr. Sutomo dengan nilai derajat kejenuhan menurun berturut-berturut sebesar 29,49%, 69,75%, 57,40%. Nilai derajat kejenuhan di Jl. *Flyover* Dr. Sutomo mengalami kenaikan sebesar 14,92%. Simpang di bawah *flyover* memiliki tingkat pelayanan E dengan kecepatan arus yang tidak stabil sekurang-kurangnya 10 km/jam.

Nugroho (2020) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Bantuan Perangkat Lunak VISSIM *Student Version*”. Peneliti melakukan perbaikan kinerja pada Simpang Sompok, dimana nilai tingkat pelayanan saat kondisi eksisting adalah F, dengan antrean sepanjang 354 m, dan tundaan sebesar 100 detik. Terdapat 3 alternatif solusi yang dilakukan peneliti yaitu perubahan jalur motor roda 2, mengubah geometri simpang, dan penyatuan dari kedua alternatif. Alternatif dari penyatuan kedua alternatif atau dilakukannya perubahan lajur motor roda 2 dan mengubah geometri simpang, menjadi alternatif terbaik untuk evaluasi kinerja simpang tersebut dengan tingkat pelayanan B, antrean hanya sepanjang 50 m, dan tundaan selama 18 detik.

Ratag dkk (2022) dalam jurnal yang berjudul “Optimalisasi Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM” melakukan optimalisasi kinerja simpang menggunakan *software* PTV VISSIM. Validasi pada penelitian ini menggunakan uji MAPE, data yang digunakan sebagai perhitungan MAPE adalah data kecepatan kendaraan. Pada hasil perhitungan MAPE, nilai tertinggi adalah 28,53% dan nilai terendah adalah 0,7%, sehingga dari hasil MAPE dapat diketahui proses validasi berhasil.

Rahman dkk (2023) dalam jurnal berjudul “Evaluasi Perbaikan dan Rekayasa Peningkatan Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kamdanen Kota Yogyakarta, peneliti melakukan analisis kinerja simpang dengan MKJI 1997 lalu mengevaluasi dengan mencari alternatif solusi terbaik melalui pemodelan simpang menggunakan VISSIM. Hasil analisis kinerja simpang sebelum dilakukan optimalisasi memiliki nilai tingkat pelayanan F. Pada hasil kalibrasi dan

validasi pemodelan VISSIM, didapat GEH terbesar sebesar $3,19\% < 15\%$ dan pada MAPE nilai terbesar sebesar 21% (sedang). Setelah dilakukan perancangan ulang, didapat alternatif solusi terbaik dengan tingkat pelayanan pada lengan utara, timur, selatan, dan barat berturut-turut yaitu D, D, E, dan D.

2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbandingan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sekarang dan Terdahulu

No.	Peneliti	Tujuan Penelitian	Lokasi	Metode Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian Saat Ini
1.	Wardani (2023)	Untuk mengetahui kinerja simpang pada kondisi eksisting di Simpang Jembatan Soekarno-Hatta dengan metode PKJI 2023.	Kota Malang	PKJI 2023	1. Lokasi simpang 2. Tanpa pemodelan
2.	Atmajaya dkk (2024)	Untuk mengetahui kinerja simpang pada kondisi eksisting Simpang 5 Balapan dengan metode PKJI 2023 dan PTV Vissim, mengevaluasi kinerja simpang dengan mencari alternatif solusi terbaik.	Kota Surakarta	PKJI 2023, PTV Vissim	1. Lokasi simpang
3.	Lailiyah (2024)	Untuk mengetahui kinerja simpang pada kondisi eksisting Simpang Jl. Irian J. - Raya M. - N. Jombang dengan metode PKJI 2023, mengevaluasi kinerja simpang dengan mencari alternatif solusi terbaik.	Kabupaten Jombang	PKJI 2023	1. Lokasi simpang 2. Tanpa pemodelan

Sumber: Wardani (2023), Atmajaya dkk (2024), dan Lailiyah (2024).

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Peneliti	Tujuan Penelitian	Lokasi	Metode Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian Saat Ini
4.	Prameswari (2024)	Untuk mengetahui kinerja simpang pada kondisi eksisting Simpang Jl. Raya Pilang - Jl. Raya Banar Pilang dengan metode PKJI 2023, mengevaluasi kinerja simpang dengan mencari alternatif solusi terbaik.	Kabupaten Sidoarjo	PKJI 2023	1. Lokasi simpang 2. Tanpa pemodelan
5.	Saputra (2024)	Untuk mengetahui kinerja simpang pada kondisi eksisting Simpang Jl. Soekarno Hatta - Jl. Durian - Jl. Sigungung dengan metode PKJI 2023.	Kota Pekanbaru	PKJI 2023	1. Lokasi simpang 2. Tanpa pemodelan
6.	Romadhona dan Fauzi (2018)	Untuk mengetahui kinerja ruas akibat terdapat gang pada putaran balik di Jl. Affandi, pemodelan dengan VISSIM dan mengevaluasi kinerja simpang dengan mencari alternatif solusi terbaik.	Yogyakarta	MKJI 1997, 06/BM/2005, VISSIM	1. Objek penelitian 2. Metode penelitian

Sumber: Prameswari (2024), Saputra (2024), dan Romadhona dan Fauzi (2018)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Peneliti	Tujuan Penelitian	Lokasi	Metode Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian Saat Ini
7.	Romadhona dan Wisnumurti (2019)	Untuk mengetahui kinerja ruas jalan pasca penutupan Stasiun Lempuyangan menggunakan metode MKJI 1997, memodelkan ruas jalan menggunakan VISSIM.	Yogyakarta	MKJI 1997, VISSIM	1. Objek penelitian 2. Metode Penelitian
8.	Nugroho (2020)	Untuk mengetahui kinerja simpang pada kondisi eksisting Simpang Sompok menggunakan VISSIM, mengevaluasi kinerja simpang dengan mencari alternatif solusi terbaik.	Kota Semarang	VISSIM	1. Lokasi Simpang 2. Metode penelitian
9.	Ratag dkk (2022)	Untuk mengetahui kinerja simpang pada kondisi <i>eksisting</i> Simpang Patung Kuda Paal 2 dengan metode MKJI 1997, mengevaluasi kinerja simpang dengan mencari alternatif solusi terbaik dengan VISSIM.	Manado	MKJI 1997, VISSIM	1. Lokasi Simpang 2. Metode penelitian

Sumber: Romadhona dan Wisnumurti (2019), Nugroho (2020), dan Ratag dkk (2022)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No.	Peneliti	Tujuan Penelitian	Lokasi	Metode Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian Saat Ini
10.	Rahman dkk (2023)	Untuk mengetahui kinerja simpang pada kondisi <i>eksisting</i> Simpang Kamdanen dengan metode MKJI 1997, mengevaluasi kinerja simpang dengan mencari alternatif solusi terbaik dengan VISSIM.	Kota Yogyakarta	MKJI 1997, VISSIM	1. Lokasi Simpang 2. Metode Penelitian

Sumber: Rahman dkk (2023)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Persimpangan

Menurut Ni (2020), persimpangan adalah suatu titik ruas antara dua atau lebih arus lalu lintas yang bertemu sehingga harus bergantian dalam menggunakan simpang tersebut agar terhindar dari konflik.

Dalam persimpangan, terdapat konflik-konflik yang terjadi akibat dari arus lalu lintas yang bertentangan seperti berikut.

1. *Diverging*, arus lalu lintas berpisah dari ruas yang sama.
2. *Merging*, arus lalu lintas bergabung dari 2 atau lebih ruas yang berbeda.
3. *Crossing*, arus lalu lintas berpotongan dari 2 atau lebih ruas yang berbeda.

Dampak resiko dari terjadinya konflik semakin meningkat sesuai dari urutan konflik-konflik tersebut.

3.2 Simpang APILL

Simpang APILL adalah simpang dengan tiga atau empat lengan yang telah dilengkapi alat yang memiliki tiga warna isyarat untuk meminimalkan timbulnya konflik pada lalu lintas simpang.

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.

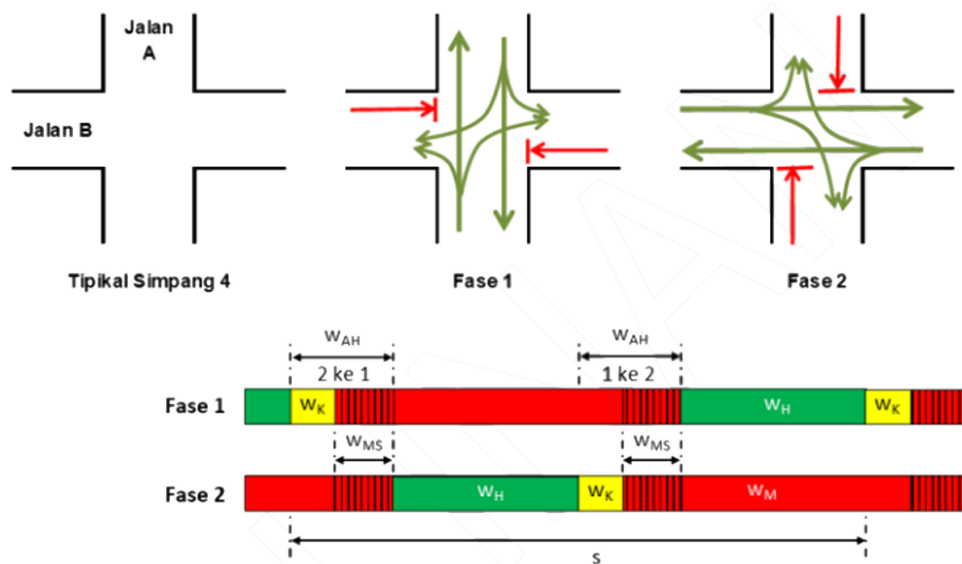
Tiga warna isyarat pada APILL yaitu hijau, kuning untuk menandakan bahwa waktu untuk arus yang bergerak sudah habis, dan merah semua untuk memastikan arus lalu lintas pertama pada fase selanjutnya tidak terhalang oleh arus fase sebelumnya di titik konflik. Nilai normal waktu antar hijau atau durasi dari lampu kuning sampai berakhirnya merah semua bisa diamati pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai Normal Waktu antar Hijau

Ukuran Simpang	Lebar jalan rata-rata (m)	Nilai normal w_{AH} (detik/fase)
Kecil	6 sampai kurang dari 10	4
Sedang	10 sampai kurang dari 15	5
Besar	lebih dari atau sama dengan 15	≥ 6

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

Adapun contoh fase nyala isyarat APILL di dua fase bisa dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Urutan Waktu Menyala Isyarat APILL pada Dua Fase
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.3 Arus Lalu Lintas dan Klasifikasi Kendaraan

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), khususnya pada analisis simpang APILL, jenis kendaraan terbagi menjadi tiga yaitu sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), kendaraan sedang (KS). Bus besar (BB) dan truk berat (TB) pada jalan perkotaan dianggap sebagai KS karena keberadaannya yang sedikit. Pertama, mobil penumpang (MP) yaitu kendaraan beroda 4 dengan 2 sumbu, panjang tidak lebih dari 5,5 m dan lebar tidak lebih dari 2,1 m, contohnya, seperti kendaraan sedan, minibus, *pickup*, truk kecil. Kedua, kendaraan sedang (KS) yaitu kendaraan bermotor yang memiliki 4 atau 6 roda dengan 2 sumbu roda, panjangnya $> 5,5$ m dan < 9 m, contohnya, seperti bus sedang dan truk sedang.

Ketiga, sepeda motor (SM) adalah kendaraan yang terdiri dari 2 atau 3 roda, panjang kendaraan tidak lebih dari 2,5 m.

Arus lalu lintas (q) adalah segmen jalan yang dilewati kendaraan-kendaraan bermotor per jam dengan satuan kend/jam atau SMP/jam. Pada arus lalu lintas yang memiliki satuan kend/jam dikonversi terlebih dahulu menggunakan nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) ke SMP/jam. Terdapat 2 fase pada EMP yaitu fase terlindung dan terlawan, EMP kendaraan pada masing-masing fase bisa diamati pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)

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)

Rasio arus lalu lintas terbagi menjadi dua yaitu rasio arus kendaraan bermotor dan rasio arus kendaraan tidak bermotor, rasio arus lalu lintas bermotor dibagi menjadi belok kiri (R_{BK_i}) dan belok kanan (R_{BK_a}), dimana setiap rasio arus lalu lintas bermotor dapat dihitung dengan Persamaan 3.1 serta Persamaan 3.2.

$$R_{BK_i} = q_{BK_i} / q_{Total} \quad (3.1)$$

$$R_{BK_a} = q_{BK_a} / q_{Total} \quad (3.2)$$

Rasio arus kendaraan tidak bermotor (R_{KTB}) dihitung menggunakan Persamaan 3.3.

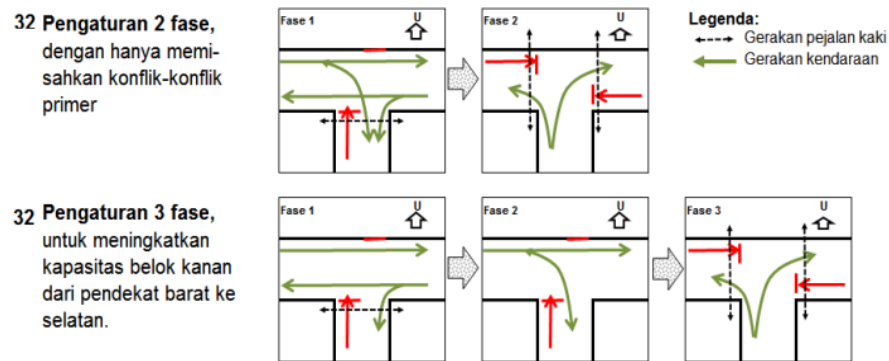
$$R_{KTB} = q_{KTB} / q_{KB} \quad (3.3)$$

3.4 Penggunaan Isyarat

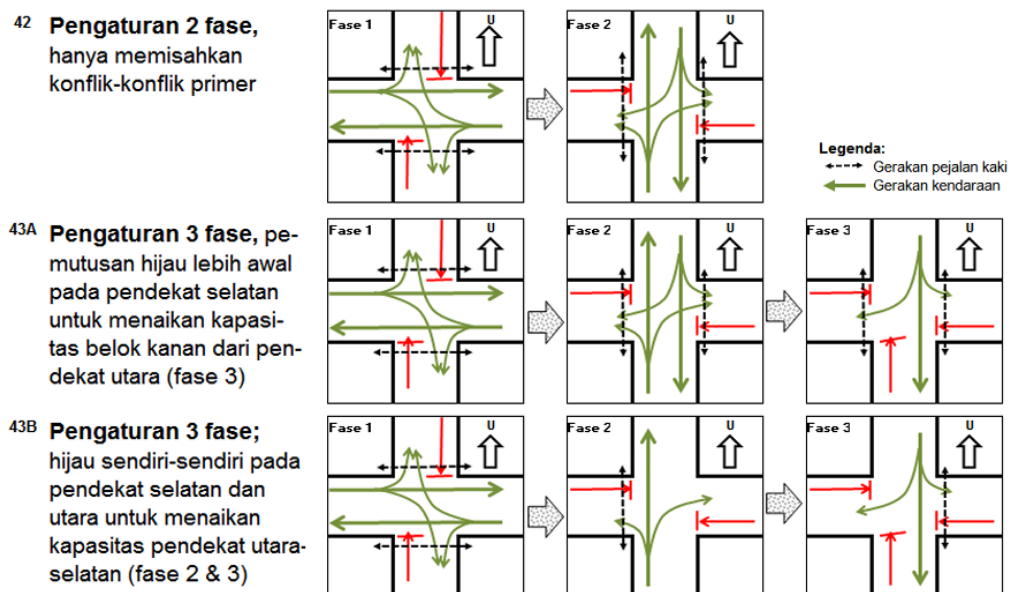
3.4.1 Fase Isyarat

Fase simpang APILL eksisting bisa berbeda-beda di setiap persimpangan, namun fase isyarat pada PKJI 2023 bisa menjadi acuan dalam menentukan fase

simpang. Beberapa contoh fase isyarat dapat diamati pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3. Seperti yang terlihat pada gambar, setiap tipe simpang memiliki kode, seperti 32, yaitu tipe simpang 3 lengan dengan 2 fase atau 42, yaitu tipe simpang 4 lengan dengan 2 fase.



Gambar 3.2 Tipe Fase APILL Simpang Tiga
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

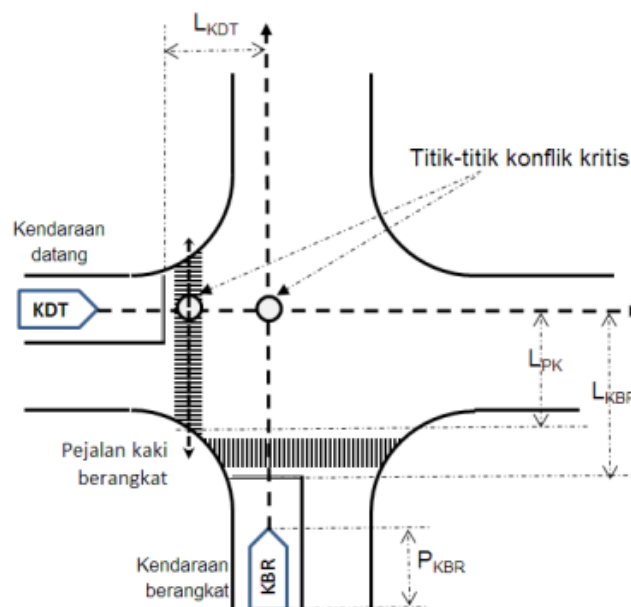


Gambar 3.3 Tipe Fase APILL Simpang Empat
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.4.2 Waktu Merah Semua dan Waktu Hijau Hilang Total

Agar tidak terjadi konflik antara kendaraan berangkat terakhir (KBR) dan kendaraan datang pertama (KDT), area konflik harus dikosongkan terlebih dahulu dari keberangkatan terakhir (KBR) menggunakan waktu merah semua (w_{MS}).

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), Fungsi w_{MS} tergantung pada kecepatan dan jarak kendaraan saat berangkat dan tiba di garis henti dari setiap arah menuju titik konflik, termasuk panjang kendaraan berangkat (P_{KBR}). Jarak ini terdiri dari jarak antara garis henti dan titik konflik kritis, yang juga dikenal sebagai lintasan keberangkatan (L_{KBR}), ditambah dengan panjang kendaraan berangkat (P_{KBR}) dikurang lintasan kedatangan (L_{KDT}). Dibandingkan L_{KBR} , lintasan pejalan kaki (L_{PK}) memiliki waktu tempuh lebih lama, sehingga L_{PK} penentu dari panjang L_{KBR} . Gambar 3.4 dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 3.4 Titik Konflik Kritis dan Jarak Keberangkatan dan Kedatangan
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Kecepatan kendaraan keberangkatan (V_{KBR}), kecepatan kendaraan kedatangan (V_{KDT}), dan kecepatan pejalan kaki (V_{PK}) pada setiap lokasi berbeda, jika tidak memiliki nilai baku, maka bisa memanfaatkan nilai di bawah ini.

$$V_{KDT} = 10 \text{ m/detik (kendaraan bermotor)}$$

$$V_{KBR} = 10 \text{ m/detik (kendaraan bermotor)}$$

$$= 3 \text{ m/detik (kendaraan tidak bermotor, misalnya sepeda)}$$

$$V_{PK} = 1,2 \text{ m/detik (pejalan kaki)}$$

$$P_{KBR} = 5 \text{ m (MP atau KS)}$$

$$= 2 \text{ m (SM atau KTB)}$$

Nilai w_{MS} adalah nilai paling maksimal antara hasil 2 perhitungan, dimana perhitungan dapat dilakukan pada Persamaan 3.4 berikut.

$$w_{MS} = \text{Max } (((L_{KBR} + P_{KBR})/V_{KBR}) - (L_{KDT}/V_{KDT}) \text{ atau } (L_{PK}/V_{PK})) \quad (3.4)$$

dengan:

- W_{MS} = waktu merah semua (detik),
- L_{KBR} = lintasan keberangkatan (meter),
- L_{KDT} = lintasan kedatangan (meter),
- L_{PK} = lintasan pejalan kaki (meter),
- P_{KBR} = panjang kendaraan keberangkatan (meter),
- V_{KBR} = kecepatan kendaraan keberangkatan (m/detik),
- V_{KDT} = kecepatan kendaraan kedatangan (m/detik), dan
- V_{PK} = kecepatan pejalan kaki (m/detik).

W_{HH} dapat dihitung setelah penetapan W_{MS} melalui Persamaan 3.5.

$$w_{HH} = \sum_i (w_{MS} + w_K)_i \quad (3.5)$$

dengan:

- W_{HH} = jumlah waktu hijau hilang per siklus (detik), dan
- W_K = waktu kuning (detik).

3.5 Kapasitas Simpang

Analisis kapasitas simpang dilakukan pada masing-masing pendekat, kemudian dijumlahkan sehingga mendapatkan kapasitas simpang, yang selanjutnya kapasitas digunakan untuk menghitung kinerja lalu lintas. Setelah menganalisis subsubbab 3.5.1 sampai 3.5.6, perhitungan kapasitas (C) bisa dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.6.

$$C = J \times (w_H / s) \quad (3.6)$$

dengan:

- C = kapasitas simpang APILL (SMP/jam),
- J = arus jenuh (SMP/jam),
- w_H = total waktu hijau per siklus (detik), dan

s = waktu siklus (detik).

3.5.1 Tipe Pendekat

Pada setiap pendekat, analisis kapasitas harus dipisah jika arus berangkat memiliki lebih dari 1 fase, hal ini berlaku untuk tipe pendekat terlindung (tipe P) maupun terlawan (tipe O). Tipe pendekat dapat ditentukan dengan mengamati Gambar 3.5 berikut.

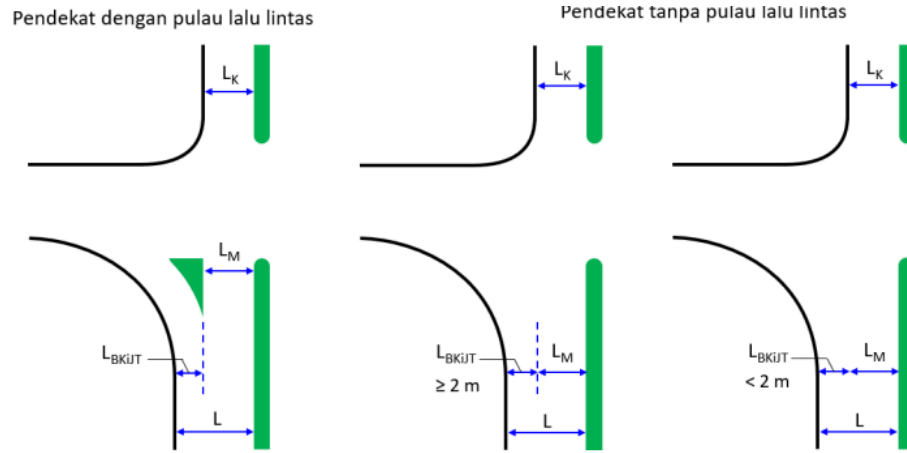
Tipe pendekat	Keterangan	Contoh pola pengaturan pada pendekat		
Terlindung (Tipe P)	Arus berangkat tidak konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan	Jalan satu arah	Jalan satu arah	Simpang-3
		Jalan dua arah, belok kanan dibatasi		
Terlawan (Tipe O)	Arus berangkat konflik dengan arus lalu lintas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

Gambar 3.5 Penentuan Tipe Pendekat
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.5.2 Lebar Pendekat Efektif

Lebar pendekat efektif (L_E) ditentukan menggunakan beberapa parameter yaitu lebar masuk (L_M), lebar pendekat awal (L), dan lebar keluar (L_K). L_M memiliki dua kondisi yaitu dengan atau tanpa pulau lalu lintas. Pada tanpa pulau

lalu lintas, penentuan L_M dibagi menjadi L_{BKJT} lebih atau kurang dari 2 m, perbedaan bisa dilihat melalui Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Lebar Pendekat dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Perhitungan L_E mempunyai dua ketentuan seperti berikut.

1. Bila $L_{BKJT} \geq 2$ m, maka lajur sendiri dapat diterapkan pada arus belok kiri.

$$L_E = \text{Min}\{L - L_{BKJT} \text{ atau } L_M\} \quad (3.7)$$

Jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa})$, maka $L_E = L_K$.

2. Bila $L_{BKJT} \leq 2$ m, maka arus belok kiri menyatu dengan arus lurus.

$$L_E = \text{Min}\{L \text{ atau } L_M + L_{BKJT} \text{ atau } L \times (1 + R_{BKJT}) - L_{BKJT}\} \quad (3.8)$$

Jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa} - R_{BKJT})$, maka $L_E = L_K$.

3.5.3 Arus Jenuh

Arus jenuh (J , SMP/jam) dapat diartikan sebagai jumlah arus lalu lintas yang berangkat dari antrean setiap pendekat dalam keadaan tertentu. Arus jenuh dihitung dengan melakukan perkalian antara J_0 (arus jenuh dasar) dan enam faktor penyesuaian dari perbedaan kondisi eksisting dengan kondisi ideal. J dihitung menggunakan Persamaan 3.9.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKi} \times F_{BKa} \quad (3.9)$$

dengan:

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

F_{UK} = faktor koreksi ukuran kota,

- F_G = faktor koreksi kelandaian memanjang pendekat,
 F_p = faktor koreksi jarak garis henti terhadap kendaraan yang parkir pertama,
 F_{BK_i} = faktor koreksi akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri, dan
 F_{BK_a} = faktor koreksi akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan.

3.5.3.1 Arus Jenuh Dasar

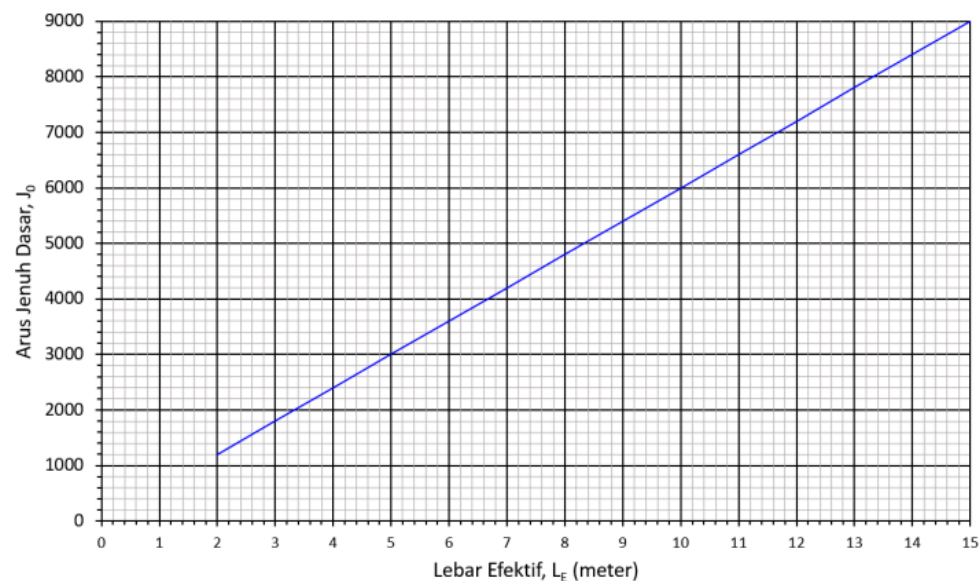
1. Pada pendekat terlindung, J_0 bisa dihitung melalui Persamaan 3.10 atau Gambar 3.7.

$$J_0 = 600 \times L_E \quad (3.10)$$

dengan:

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

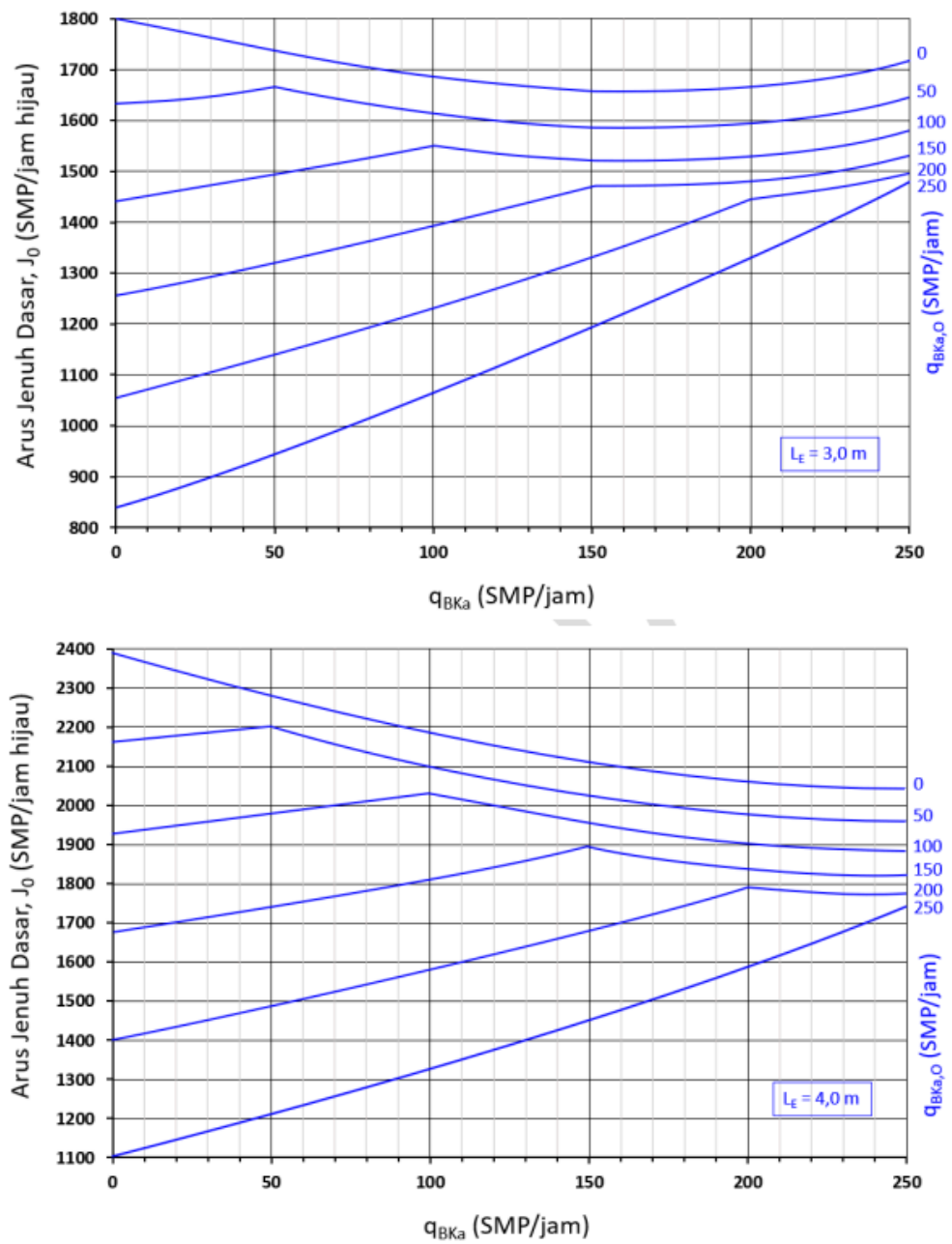
L_E = lebar efektif pendekat (m).



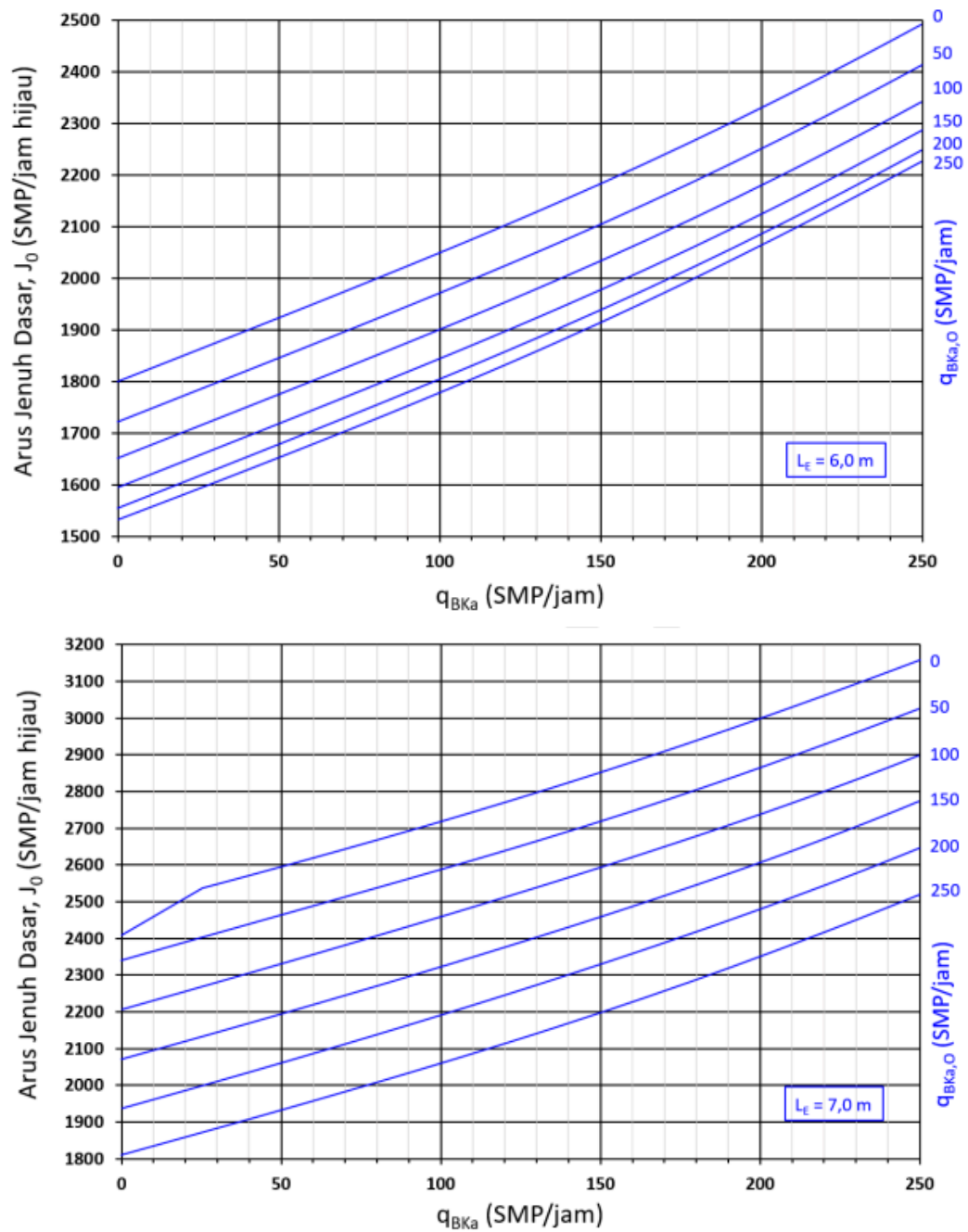
Gambar 3.7 Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat Terlindung (Tipe P)

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

2. Pada pendekat terlawan (Tipe O), perhitungan dibagi menjadi 2 kondisi yaitu:
 - a. lajur belok kanan tidak terpisah, J_0 ditetapkan dengan memanfaatkan gambar dari PKJI 2023, salah satu contohnya pada Gambar 3.8, dan
 - b. lajur belok kanan terpisah, salah satu contoh gambar untuk menentukan J_0 seperti Gambar 3.9.



Gambar 3.8 Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat Tak Terlindung (Tipe O) tanpa Lajur Belok Kanan Terpisah
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)



**Gambar 3.9 Arus Jenuh Dasar untuk Pendekat Tak Terlindung (Tipe O)
dengan Lajur Belok Kanan Terpisah**
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.5.3.2 Faktor Koreksi Arus Jenuh

1. Faktor koreksi hambatan sampling (F_{HS})

Ketika hambatan tidak teridentifikasi, hambatan sampling dianggap tinggi untuk mencegah besarnya nilai kapasitas. F_{HS} ditentukan dengan Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Faktor Koreksi Hambatan Sampling

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

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

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

Pada faktor koreksi ukuran kota, terdapat 5 kriteria berdasar jumlah penduduk kota yang bisa diamati di Tabel 3.4 berikut.

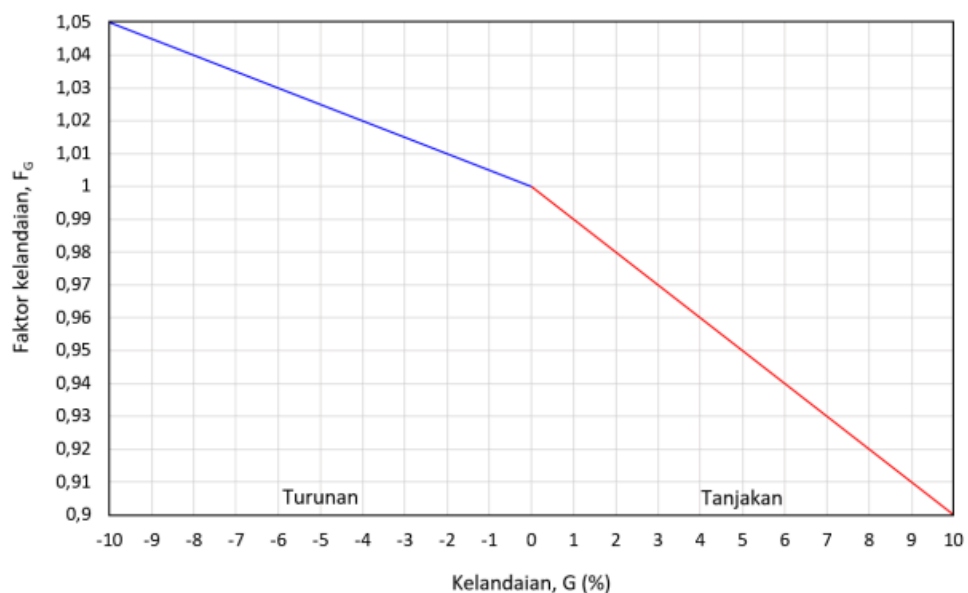
Tabel 3.4 Faktor Koreksi Hambatan Samping

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

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

3. Faktor koreksi kelandaian (F_G)

Faktor koreksi dapat dicari melalui Gambar 3.10



Gambar 3.10 Faktor Koreksi Kelandaian
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

4. Faktor Koreksi Pengaruh Parkir (F_p)

Jika lebar pendekat efektif (L_E) = L_K , maka faktor koreksi pengaruh parkir (F_p) diabaikan. F_p dapat dihitung dengan pengaruh waktu hijau yang dapat dihitung dengan Persamaan 3.11.

$$F_p = ((L_p/3 - (L - 2) \times (L_p/3 - w_H))/L)/w_H \quad (3.11)$$

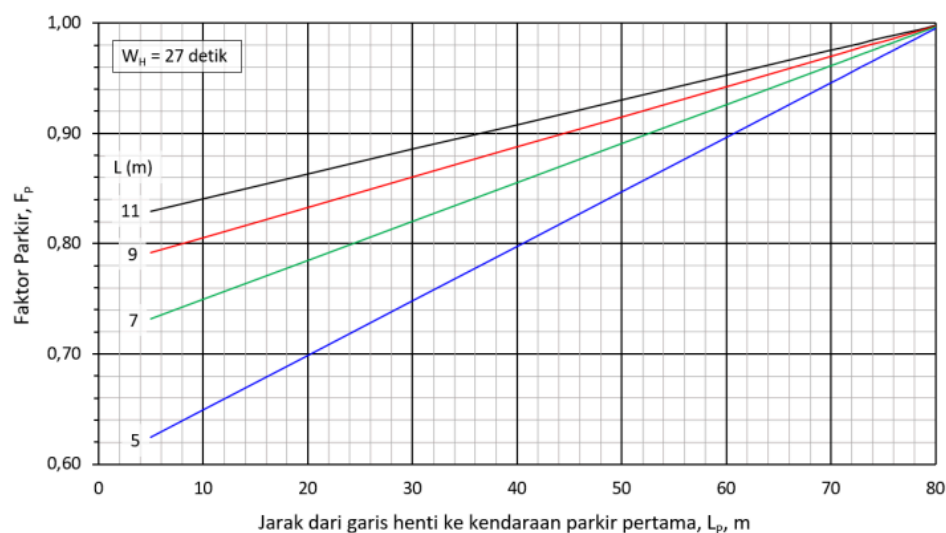
dengan:

L = lebar pendekat (m),

L_p = jarak dari garis henti ke kendaraan parkir di lajur belok kiri, dan

w_H = waktu hijau pada pendekat yang dianalisis (normal 27 detik).

atau dapat menggunakan diagram Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Faktor Koreksi Pengaruh Parkir

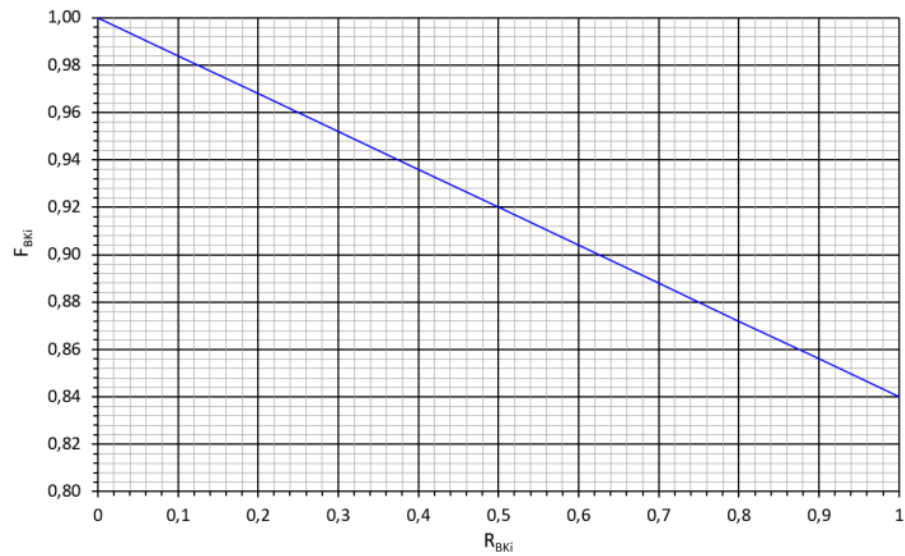
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

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

Perhitungan menggunakan Persamaan 3.12 dapat diaplikasikan jika pendekat tipe P tidak ada B_{KijT} dan $L_E = L_M$.

$$F_{BK_i} = 1,0 - R_{BK_i} \times 0,6 \quad (3.12)$$

atau dicari pada Gambar 3.12.



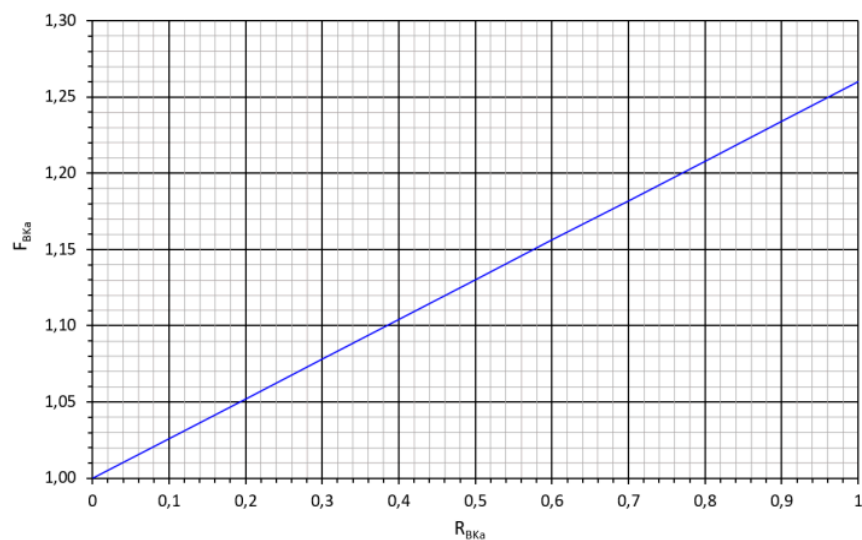
Gambar 3.12 Faktor Koreksi Belok Kiri
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

6. Faktor Koreksi Belok Kanan (R_{BKk})

Perhitungan pada Persamaan 3.13 dapat diaplikasikan jika pendekat tipe P, tidak ada median, tipe jalan adalah dua arah, dan L_E menggunakan L_M .

$$F_{BKk} = 1,0 - R_{BKk} \times 0,26 \quad (3.13)$$

atau menggunakan Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Faktor Koreksi Belok Kanan
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.5.4 Arus Jenuh yang Telah Disesuaikan

Pendekat yang memiliki waktu hijau lebih dari satu fase dan masing-masingnya memiliki arus jenuh berbeda, maka harus dilakukan penyesuaian. Jika pada suatu pendekat memiliki dua fase waktu hijau dan dua arus jenuh, maka perhitungan menggunakan Persamaan 3.14 berikut.

$$J_{1+2} = (J_1 \times w_{H1} + J_2 \times w_{H2}) / (w_{H1} + w_{H2}) \quad (3.14)$$

3.5.5 Rasio Arus Jenuh

Pembagian antara arus dan arus jenuh di suatu pendekat disebut dengan Rasio arus jenuh. $R_{q/J}$ bisa dicari melalui Persamaan 3.15.

$$R_{q/J} = q/J \quad (3.15)$$

Sebelum menghitung rasio arus jenuh, harap diamati sebagai berikut.

- Bila B_{KiJT} tidak termasuk perhitungan, nilai arus (q) hanya arus belok kanan dan arus lurus.
- Bila $L_E = L_K$, nilai q hanya arus lurus
- Bila pendekat mempunyai 2 fase yaitu arus terlawan (O) pada fase ke-1 dan arus terlindung (P) pada fase ke-2, arus dihitung seperti subsubbab 3.5.4.

Rasio arus tertinggi pada setiap fase ditandai sebagai tanda kritis ($R_{q/J \text{ kritis}}$). Selanjutnya, rasio arus simpang APILL (R_{AS}) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.16. Jika saat perhitungan $\sum_i (R_{q/J \text{ kritis}})_i$ terdapat dua atau lebih $R_{q/J}$ di fase yang sama, diambil fase dengan nilai $R_{q/J}$ terbesar.

$$R_{AS} = \sum_i (R_{q/J \text{ kritis}})_i \quad (3.16)$$

Hitung rasio fase (R_F) setiap fase melalui Persamaan 3.17 berikut.

$$R_F = R_{q/J \text{ kritis}} / R_{AS} \quad (3.17)$$

3.5.6 Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Waktu siklus (s) adalah urutan isyarat APILL dalam waktu (detik). Waktu siklus dan waktu hijau (W_H) merupakan bagian dari waktu isyarat. Waktu siklus dapat ditentukan dengan rumus *Webster* (1996), dengan tujuan meminimumkan tundaan total. Waktu siklus (s) ditetapkan melalui Persamaan 3.18.

$$s = (1,5 \times W_{HH} + 5) / (1 - \sum R_{q/J \text{ kritis}}) \quad (3.18)$$

dengan:

s = waktu siklus (detik),

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

$R_{q/J \text{ kritis}}$ = nilai $R_{q/J}$ tertinggi dari setiap pendekat di fase yang sama, dan

$\sum R_{q/J \text{ kritis}}$ = jumlah $R_{q/J}$ pada siklus tersebut.

Disarankan waktu siklus yang layak di setiap tipe pengaturan fase seperti pada Tabel 3.5. Nilai-nilai rendah dapat diaplikasikan pada simpang dengan lebar pendekat di bawah 10 m, sedangkan nilai-nilai tinggi dengan lebar pendekat di atas 10 m.

Tabel 3.5 Waktu Siklus 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)

Waktu hijau (W_H) setiap fase (i) dihitung menggunakan Persamaan 3.19.

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times (R_{q/J \text{ kritis}} / \sum_i (R_{q/J \text{ kritis}})_i) \quad (3.19)$$

dengan:

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

i = indeks untuk fase ke i .

3.6 Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL

3.6.1 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (D_J) adalah rasio antara arus lalu lintas (q) dan kapasitas jalan (C). Umumnya hasil analisis kinerja lalu lintas memiliki nilai $D_J \leq 0,85$. D_J dihitung di setiap pendekat menggunakan Persamaan 3.20.

$$D_J = q/C \quad (3.20)$$

dengan:

D_J = derajat kejenuhan,

C = kapasitas segmen jalan (SMP/jam), dan

q = volume lalu lintas (SMP/jam).

3.6.2 Panjang Antrean

Panjang antrean adalah total rata-rata kendaraan yang mengantre pada pendekat karena masih terhenti akibat tidak melewati simpang selama fase isyarat hijau atau juga terhenti akibat terkena fase isyarat merah pada fase setelahnya. Antrean-antrean ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.21 sampai Persamaan 3.23.

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \quad (3.21)$$

dengan:

N_q = jumlah rata-rata antrean kendaraan saat isyarat lampu hijau tiba (SMP),

N_{q1} = jumlah kendaraan yang masih terhenti dari fase hijau sebelumnya (SMP), dan

N_{q2} = jumlah kendaraan yang datang dan terhenti selama fase merah (SMP).

Jika $D_J \leq 0,5$ maka,

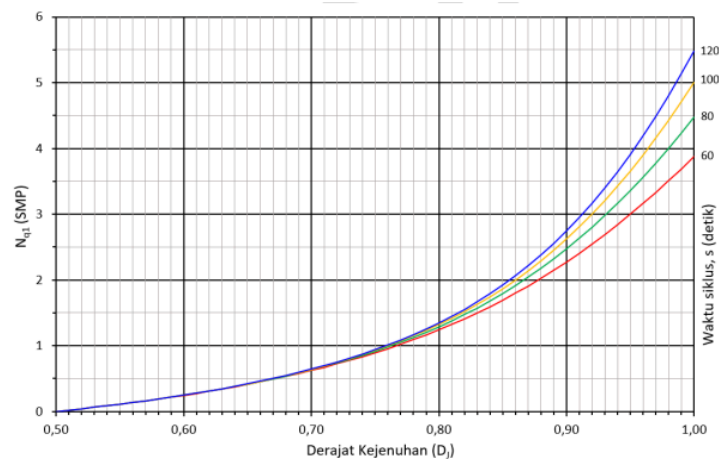
$$N_{q1} = 0$$

Jika $D_J \geq 0,5$ maka,

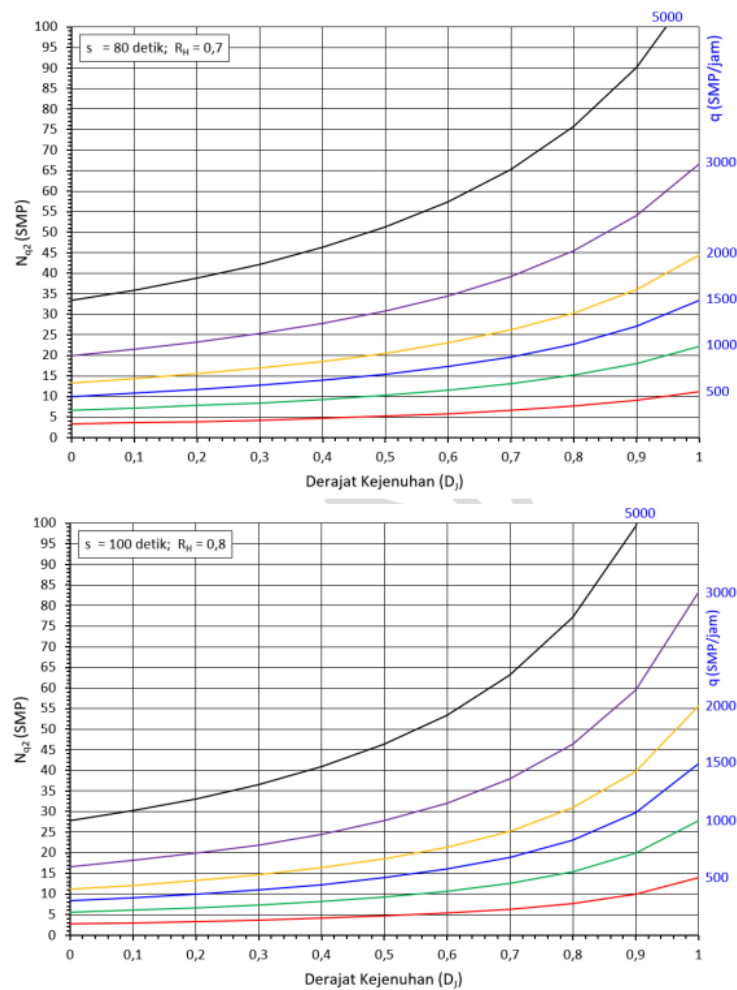
$$N_{q1} = 0,25 \times s \times \{(D_J - 1) + ((D_J - 1)^2 + (8 \times (D_J - 0,5))/s)^{0,5}\} \quad (3.22)$$

$$N_{q2} = s \times (1 - R_H)/(1 - R_H \times D_J) \times (q/3600) \quad (3.23)$$

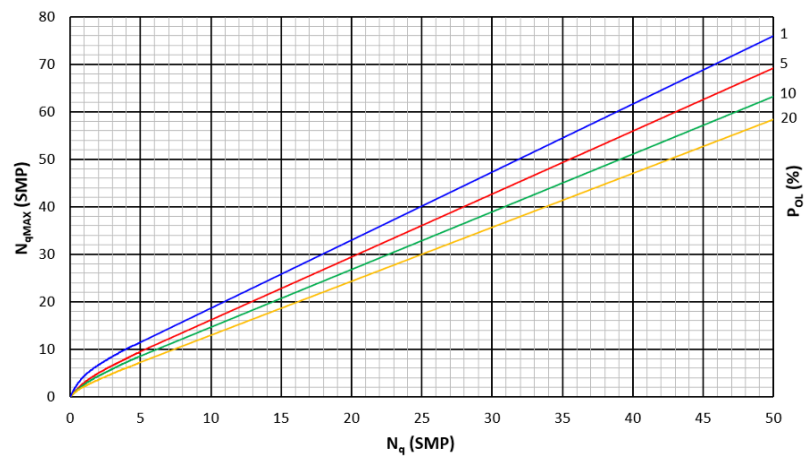
Nilai N_{q1} juga dapat ditetapkan dengan menggunakan Gambar 3.14 serta N_{q2} dengan Gambar 3.15. Jika dalam analisis inginantisipasi adanya *overloading* dalam antrean, maka dapat menambahkan parameter N_{qmax} dengan memilih nilai P_{OL} antara 5% sampai 10% pada analisis operasional dan $\leq 5\%$ pada perencanaan simpang sesuai rekomendasi PKJI 2023, penentuan N_{qmax} dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.14 Jumlah Kendaraan yang Tersisa dari Fase Hijau Sebelumnya
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)



Gambar 3.15 Jumlah Kendaraan (SMP) yang Datang dan Terhenti Selama Fase Merah
(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)



Gambar 3.16 Jumlah Antrean Maksimum Akibat *Overloading*

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Panjang antrean (P_A) merupakan hasil perhitungan N_q yang dikalikan oleh 20 m^2 yaitu luas area rata-rata terpakai untuk satu mobil penumpang (SMP) dibagi L_M atau lebar masuk dengan satuan meter, seperti Persamaan 3.24.

$$P_A = N_q \times 20/L_M \quad (3.24)$$

3.6.3 Rasio Kendaraan Henti

Rasio kendaraan henti (R_{KH}) adalah rasio kendaraan berhenti akibat isyarat merah pada setiap pendekat di simpang APILL. R_{KH} dihitung menggunakan Persamaan 3.25.

$$R_{KH} = 0,9 \times (N_q/(q \times s)) \times 3600 \quad (3.25)$$

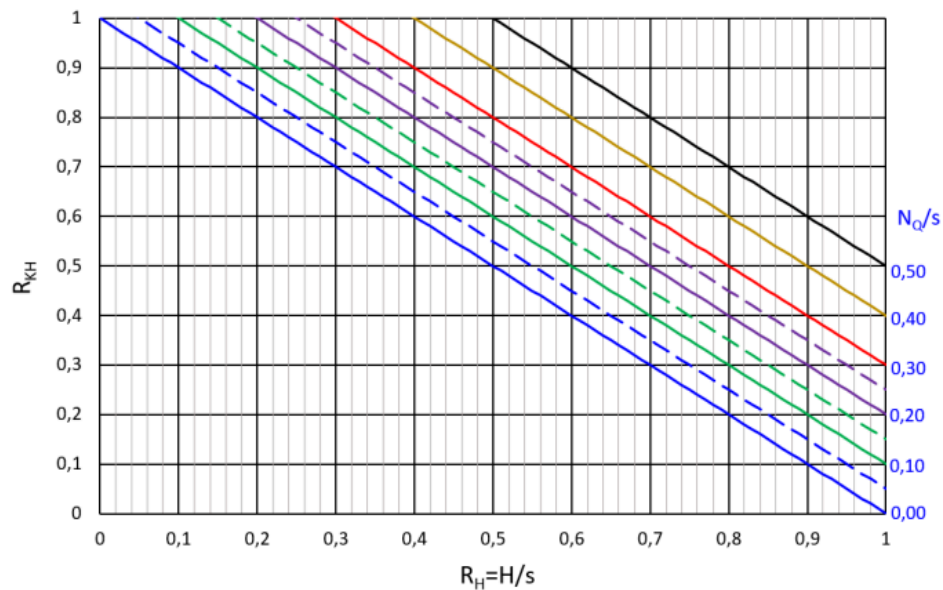
dengan:

N_q = jumlah rata-rata antrean kendaraan saat isyarat lampu hijau tiba,

s = waktu siklus (detik), dan

q = arus arus lalu lintas pada pendekat yang dianalisis (SMP/jam).

atau dapat ditetapkan dengan Gambar 3.17 berikut.



Gambar 3.17 Penentuan Rasio Kendaraan Terhenti

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Jumlah rata-rata kendaraan berhenti (N_{KH}) merupakan frekuensi berhenti kendaraan termasuk antrean terulang sebelum melewati simpang APILL, dihitung melalui Persamaan 3.26 berikut.

$$N_{KH} = q \times R_{KH} \quad (3.26)$$

3.6.4 Tundaan

Pada simpang APILL, tundaan terdapat 2 macam yaitu Tundaan lalu lintas (T_{LL}) dan Tundaan geometri (T_G). Perhitungan bisa dilakukan melalui Persamaan 3.27.

$$T_i = T_{LLi} \times T_{Gi} \quad (3.27)$$

Tundaan lalu lintas (T_{LL}) Perhitungan melalui Persamaan 3.28 berikut.

$$T_{LLi} = s \times ((0,5 \times (1 - R_H)^2)/(1 - R_H \times D_i)) + ((N_{q1} \times 3600)/C) \quad (3.28)$$

Tundaan geometri (T_G) dapat dihitung dengan Persamaan 3.29.

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \quad (3.29)$$

dengan:

P_B = porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat.

3.7 Tingkat Pelayanan

Dalam Peraturan Menteri Perhubungan (2015), bahwa ukuran yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas dapat dinyatakan dalam bentuk kuantitatif maupun kualitatif disebut tingkat pelayanan.

Pada persimpangan, terdapat enam tingkat pelayanan dengan tundaan sebagai parameter seperti berikut.

1. Tingkat pelayanan A, tundaan per kendaraan tidak lebih dari 5 detik.
2. Tingkat pelayanan B, tundaan per kendaraan antara di atas 5 detik hingga 15 detik.
3. Tingkat pelayanan C, tundaan per kendaraan antara di atas 15 detik hingga 25 detik.
4. Tingkat pelayanan D, tundaan per kendaraan antara di atas 25 detik hingga 40 detik.
5. Tingkat pelayanan E, tundaan per kendaraan antara di atas 40 detik hingga 60 detik.
6. Tingkat pelayanan F, tundaan per kendaraan lebih dari 60 detik.

Ketentuan tingkat pelayanan dibagi lagi menjadi 2 jenis jaringan jalan yaitu jalan primer dan jalan sekunder beserta fungsinya.

1. Jaringan Jalan Primer
 - a. Jalan arteri, minimal dengan nilai B.
 - b. Jalan kolektor, minimal dengan nilai B.
 - c. Jalan lokal, minimal dengan nilai C.
 - d. Jalan tol, minimal dengan nilai B.
2. Jaringan Jalan Sekunder
 - a. Jalan arteri, minimal dengan nilai C.
 - b. Jalan kolektor, minimal dengan nilai C.
 - c. Jalan lokal, minimal dengan nilai D.
 - d. Jalan lingkungan, minimal dengan nilai D.

3.8 PTV VISSIM

Menurut Kucera (2021), VISSIM adalah *software* simulasi mikroskopis yang digunakan untuk memodelkan secara detail operasi berbagai transportasi. Dengan PTV VISSIM, dapat diciptakan kondisi untuk menguji berbagai skenario operasi sebelum diterapkan secara langsung sehingga memastikan tingkat realistis dan akurasi yang tinggi pada setiap aspeknya.

Pada kinerja simpang, menurut Romadhona dkk (2019), kegunaan VISSIM adalah mensimulasikan persimpangan, analisis antrean kendaraan, pemodelan jalan, dan penetapan waktu sinyal. Dengan memodelkan simpang dengan berbagai macam skenario, dibutuhkan data-data sebagai bahan analisis, selain data yang digunakan dalam menganalisis kinerja simpang dengan PKJI 2023, VISSIM juga membutuhkan data yaitu kecepatan kendaraan dan *driving behaviour*.

3.8.1 Tahap Pemodelan dan *Output* Hasil

Menurut Romadhona dkk (2019), tahap-tahap yang harus dilakukan dalam pemodelan simpang pada VISSIM seperti berikut.

1. *Network Setting*

Dalam fase ini, peneliti menyesuaikan jalur berkendara menjadi jalur kiri dan mengubah satuan ke metrik.

2. *Input Background Images*

Menentukan gambar yang dijadikan sebagai lokasi penelitian menggunakan earth.google.com.

3. *Set Scale*

Mengatur skala gambar yang diinput dari earth.google.com dengan lebar jalan yang terdapat di lapangan, pengaturan ini dilakukan dengan memasukkan ukuran dimensi lebar jalan yang ada di lapangan.

4. Pembuatan *Link*

Membuat *link* atau lajur, memberi nama jalan, dan memilih jenis perilaku pengemudi. Pada pembuatan lajur, peneliti menentukan jumlah lajur pada tiap ruas dan mengatur lebar lajur tiap ruas sesuai dengan dimensi di lapangan.

5. *Pembuatan Connector*

Usaha untuk menghubungkan antar *link* atau ruas pada pemodelan simpang.

6. *Vehicle Inputs*

Pada fase ini, data volume arus lalu lintas pada jam puncak diinput ke dalam VISSIM.

7. *Vehicle Compositions*

Data kecepatan pada jam puncak diinput ke dalam VISSIM, kemudian mengatur kecepatan maksimum dan minimum kendaraan, serta mengatur rasio pada setiap jenis kendaraan.

8. *Speed Distribution*

Sebelum melakukan *speed distribution*, peneliti mencari terlebih dahulu nilai interval dari rekap data kecepatan. Setelah itu memasukkan frekuensi kumulatif dan frekuensi kumulatif relatif pada *desired speed distribution*, serta memasukkan kecepatan kumulatif relatif dan interval kecepatan.

9. *Vehicle Routes*

Membuat arah pergerakan kendaraan, tahap ini juga untuk menentukan jenis kendaraan yang akan melewati ruas tersebut dan menentukan total kendaraan yang akan melewati setiap arah (lurus, belok kanan, atau belok kiri) pada setiap rute yang telah dibuat.

10. *Conflict Areas*

Pada fase ini, peneliti mengatur area konflik agar tidak terjadi tabrakan antar kendaraan, serta dapat mengatur prioritas kendaraan yang lewat.

11. *Priority Rules*

Menentukan titik tunggu kendaraan dari arus tersebut, sehingga ketika kendaraan pada arus lain sudah lewat area konflik dan terdapat ruang kosong, maka kendaraan yang menunggu dapat melewati area tersebut.

12. *Reduced Speed Areas*

Mengatur luas atau panjang area pengurangan kecepatan pada setiap ruas, sehingga ketika kendaraan memasuki area tersebut, maka kendaraan otomatis mengurangi kecepatannya. Area ini biasa berada di *U-turn* atau di garis henti persimpangan.

13. *Signal Controller*

Pada fase ini, setelah peneliti melakukan survei *signal control*, kemudian membuat *signal controller* serta namanya, selanjutnya mengatur waktu siklus sesuai data survei lapangan.

14. *Data Collection Points*

Pada fase ini, VISSIM memberikan *output* data berupa volume lalu lintas di tiap *route* atau ruas yang telah dibuat. *Output* ini juga akan digunakan untuk proses validasi dengan kategori volume lalu lintas dari *running* VISSIM.

15. *Vehicle Travel Times*

Menghitung kecepatan kendaraan atau juga untuk menghitung tundaan kendaraan.

16. *Queue Counters*

Pada *link* atau ruas yang telah diatur *queue counter*, dapat dihitung panjang antrean.

17. *Measurement Definition*

Pengelompokan *data collection* dan *delay measurement* sehingga *data collection point* dan *vehicle travel times* muncul setelah proses *running*.

3.8.2 Kalibrasi dan Validasi

Proses kalibrasi dilakukan ketika validasi belum memenuhi persyaratan, kalibrasi bisa dilakukan dengan mengatur data *driving behaviour* hingga sesuai dengan kondisi di lapangan.

Pada proses validasi, terdapat 2 pendekatan dengan menggunakan 2 *input* data yang berbeda, pendekatan pertama menggunakan uji GEH (*Geoffrey E. Havers*) yang membutuhkan data volume arus lalu lintas dalam melakukan perbandingan data *input* dan *output* VISSIM. Sedangkan pada pendekatan kedua menggunakan uji MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) yang membutuhkan data panjang antrean dalam melakukan perbandingan data *input* dan *output* VISSIM. Ketentuan uji GEH dan MAPE dapat dilihat berturut-turut pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7, sedangkan rumus perhitungan validasi dari kedua pendekatan dapat diamati berturut-turut melalui Persamaan 3.30 dan Persamaan 3.31.

Pada uji GEH, menurut Romadhona dkk (2019), validasi dilakukan berdasarkan volume kendaraan terhitung dengan VISSIM dan volume kendaraan yang didapat setelah melakukan proses *running* pada VISSIM. Perhitungan validasi data dengan metode GEH dapat menggunakan Persamaan 3.30 berikut ini.

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{simulated} - q_{observed})^2}{0,5 \times (q_{simulated} + q_{observed})}} \quad (3.30)$$

dengan:

$q_{simulated}$ = volume arus lalu lintas yang terhitung dengan VISSIM, dan

$q_{observed}$ = volume arus lalu lintas yang didapat saat survei.

Tabel 3.6 Kesimpulan Hasil Perhitungan GEH

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

Sumber: Gustavsson (2008)

Perhitungan validasi data dengan metode MAPE dapat menggunakan Persamaan 3.31 berikut ini.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \quad (3.31)$$

dengan:

At = panjang antrean yang didapat saat survei, dan

Ft = panjang antrean yang terhitung dengan VISSIM.

Tabel 3.7 Kesimpulan Hasil Perhitungan MAPE

MAPE < 10%	Kemampuan pemodelan sangat baik
10% ≤ MAPE ≤ 20%	Kemampuan pemodelan baik
20% ≤ MAPE ≤ 50%	Kemampuan pemodelan layak
MAPE > 50%	Kemampuan pemodelan buruk

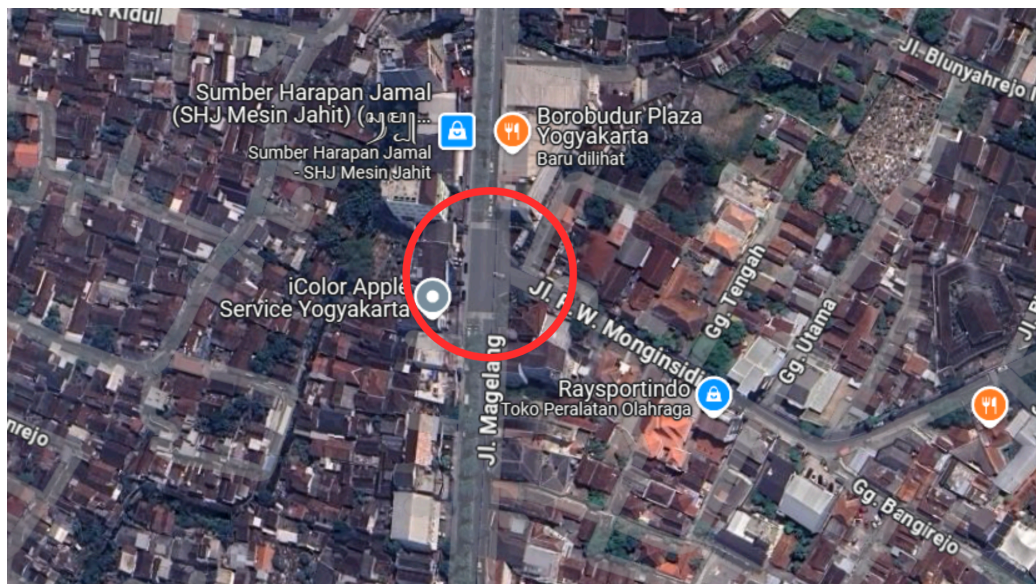
Sumber: Gustavsson (2008)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Pengumpulan data dilakukan di Simpang Borobudur Plaza yaitu simpang 3 yang mempertemukan Jl. Magelang dan Jl. Monginsidi. Lokasi pengumpulan data sesuai Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Lokasi Simpang Borobudur Plaza
(Sumber: Google Maps, 2023)

4.2 Data Penelitian

Data primer dan sekunder menjadi dua data yang akan diambil pada penelitian ini, pengambilan data primer dilakukan saat survei lapangan, pengumpulan data sekunder dilakukan tanpa harus ke tempat survei melainkan melalui buku, data dari instansi terkait, seperti Dinas Perhubungan DIY, dan aplikasi smartphone. Daftar kebutuhan data untuk keperluan penelitian bisa diamati di Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Data Penelitian

Data Primer	Data Sekunder
1. Waktu isyarat 2. Geometri simpang 3. Kondisi lingkungan 4. Hambatan sampang 5. Jarak ke kendaraan parkir pertama 6. Arus lalu lintas 7. Kecepatan kendaraan 8. <i>Driving behaviour</i>	1. Denah lokasi Simpang Borobudur Plaza 2. Jumlah Kendaraan Daerah Istimewa Yogyakarta 3. Jumlah Penduduk Kota Yogyakarta 4. Kelandaian

4.3 Metode Pengumpulan Data

Pada setiap data yang dibutuhkan memiliki parameter masing-masing sehingga perlu petunjuk dalam mengambil data-data tersebut, pada metode pengumpulan data ini akan dijelaskan secara rinci mengenai data apa saja yang akan diambil di lapangan saat survei untuk analisis data.

1. Waktu Isyarat

Data waktu isyarat berupa waktu siklus simpang (s), Waktu hijau (w_H), waktu antar hijau (w_{AH}), dan waktu hijau hilang (w_{HH}). Data diambil langsung pada simpang menggunakan *stopwatch*. Selain itu juga mengamati jumlah fase pada simpang tersebut.

2. Geometri Simpang

Pada data ini, peneliti mengamati tersedia atau tidaknya median pada setiap pendekat. selanjutnya, dengan *walking measure* melakukan pengukuran lebar lajur pada pendekat yang ruasnya telah diperkeras (L), lajur B_{KIJT} (L_{BKIJT}), lajur henti (L_M), dan ruas tersempit setelah area konflik dilewati (L_K).

3. Kondisi Lingkungan

Pada kondisi lingkungan peneliti mengidentifikasi tata guna lahan di setiap pendekat, kriterianya terdiri dari komersial (KOM), pemukiman (KIM), lahan akses terbatas (AT).

4. Hambatan Samping

Kelas hambatan samping dapat ditentukan dengan pengamatan kualitatif dengan mengenal ciri-cirinya, seperti arus keluar masuk simpang apakah terganggu atau tidak terhadap kegiatan di sepanjang pinggir jalan, kelas pada hambatan samping yaitu tinggi (T) dan rendah (R).

5. Kelandaian

Data kelandaian diambil melalui earth.google.com, menghitung ketinggian lengan pendekat, pendekat yang menaik ditandai dengan simbol (+) dan menurun (-).

6. Jarak ke Kendaraan Parkir Pertama

Pengukuran jarak dilakukan di setiap pendekat antara garis henti hingga ke kendaraan pertama yang parkir di hulu pendekat (jika ada).

7. Arus Lalu Lintas

Pada bagian ini peneliti menghitung arus lalu lintas setiap jenis kendaraan selama waktu yang ditetapkan, jenis kendaraan yang dihitung seperti sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), kendaraan sedang (KS), dan kendaraan tidak bermotor (KTB), serta distribusi gerak ke arah LRS, BKa, dan BKi. Perhitungan data dilakukan di setiap pendekat.

8. Kecepatan Kendaraan

Kecepatan kendaraan menjadi parameter dari *software* VISSIM. Perhitungan dilakukan dari 200 m sebelum garis henti. Jarak untuk melakukan perhitungan kecepatan antara titik start hingga finish sepanjang 20 m. Menurut Romadhona dkk (2019), jumlah kendaraan yang dihitung pada setiap lengan untuk dijadikan sampel yaitu 5 untuk KS (termasuk BB dan TB), 10 untuk MP, dan 20 untuk SM.

9. *Driving Behaviour*

Data ini diperlukan saat pemodelan menggunakan VISSIM, *Driving behaviour* yaitu perilaku pengendara selama bergerak maupun berhenti. Menurut Romadhona dkk (2019), perhitungan diambil sebanyak 40 sampel pada setiap lengan yang dibagi menjadi 4 objek sehingga menjadi 10 sampel per objek, objek yang diteliti yaitu terdiri dari menghitung jarak kendaraan

depan belakang saat berhenti, kendaraan yang sejajar saat berhenti, kendaraan depan belakang saat bergerak, dan kendaraan sejajar saat bergerak.

10. Surveyor

Pada penelitian ini, saat melakukan survei setidaknya membutuhkan 7 surveyor dengan pembagian tugas seperti berikut, 1 surveyor bertugas untuk mengamati waktu isyarat, geometri simpang, kondisi lingkungan, hambatan samping, kelandaian, dan jarak ke kendaraan parkir pertama. kemudian, terdapat 2 surveyor di masing-masing lengan (terdapat tiga lengan pada simpang tersebut), dengan tugas surveyor pertama yaitu mengambil data kecepatan kendaraan dan tugas surveyor kedua yaitu mengambil data *driving behaviour*.

4.3.1 Alat yang Digunakan

Alat berikut adalah sebagai penunjang penelitian saat di lapangan, yaitu:

1. formulir,
2. alat tulis,
3. kamera,
4. *walking measure*,
5. *handy talky*, dan
6. *stopwatch*.

4.3.2 Waktu Pelaksanaan

Berdasarkan penelitian sebelumnya Purnama dkk (2023), yang juga berlokasi di Jl. Magelang, Yogyakarta, pengambilan data dilaksanakan selama dua hari yaitu di hari Senin untuk mewakili hari kerja dan di hari Sabtu untuk mewakili hari libur. Dalam 1 hari dilakukan di tiga waktu berbeda yaitu di waktu pagi pukul 06.30–09.00 WIB, siang pukul 11.00–13.00 WIB dan sore pukul 15.30–18.00 WIB. Pelaksanaan dilakukan pada jam-jam tersebut karena dianggap sebagai jam sibuk, yaitu pagi hari saat masyarakat berangkat untuk beraktivitas, siang hari ketika masyarakat beristirahat atau mencari makan siang, dan sore hari saat masyarakat pulang dari aktivitasnya.

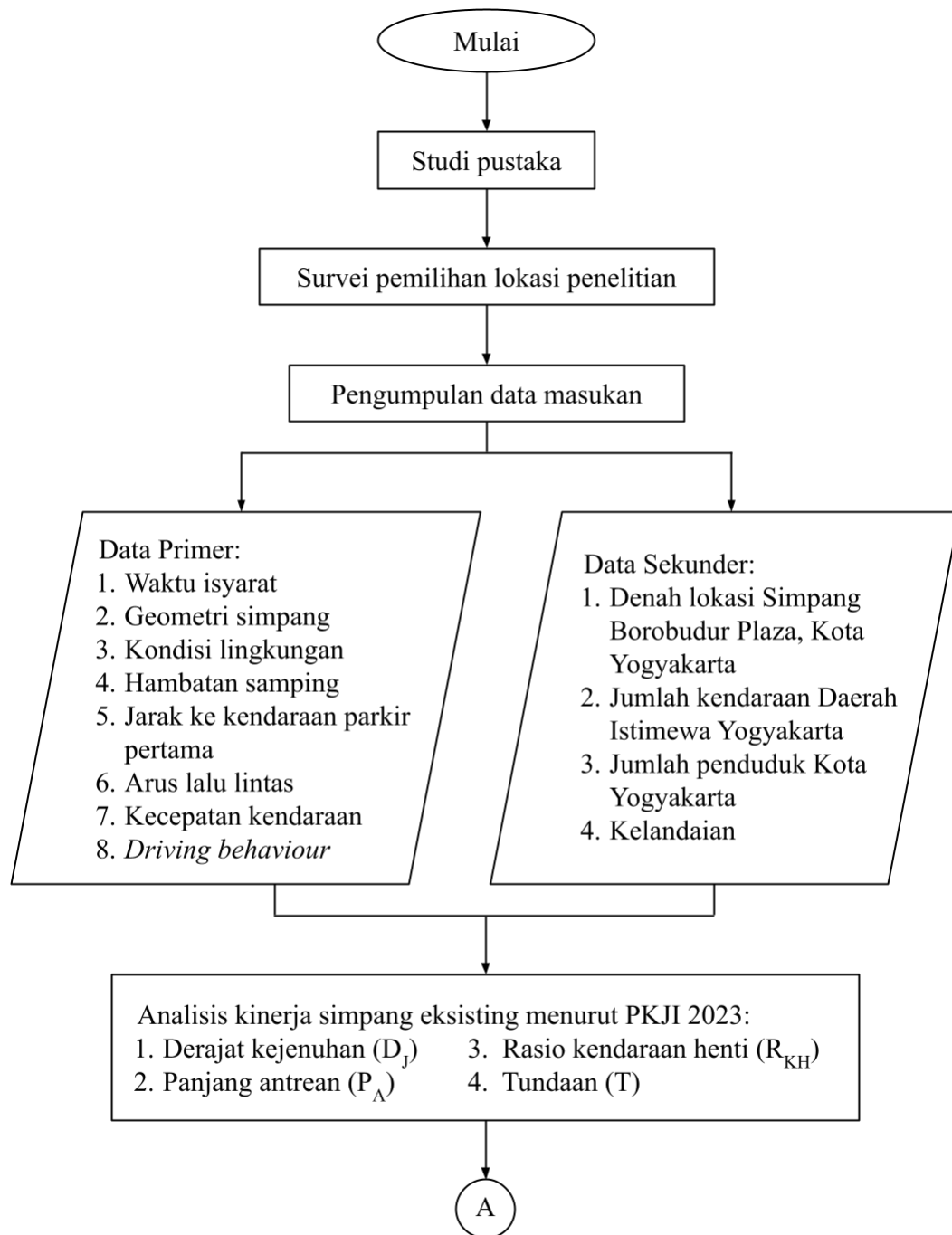
4.4 Analisis Data

PKJI 2023 adalah metode yang akan diterapkan dalam analisis kinerja simpang dengan *software* Excel sebagai bantuan pengolahan data dan untuk pemodelan menggunakan VISSIM.

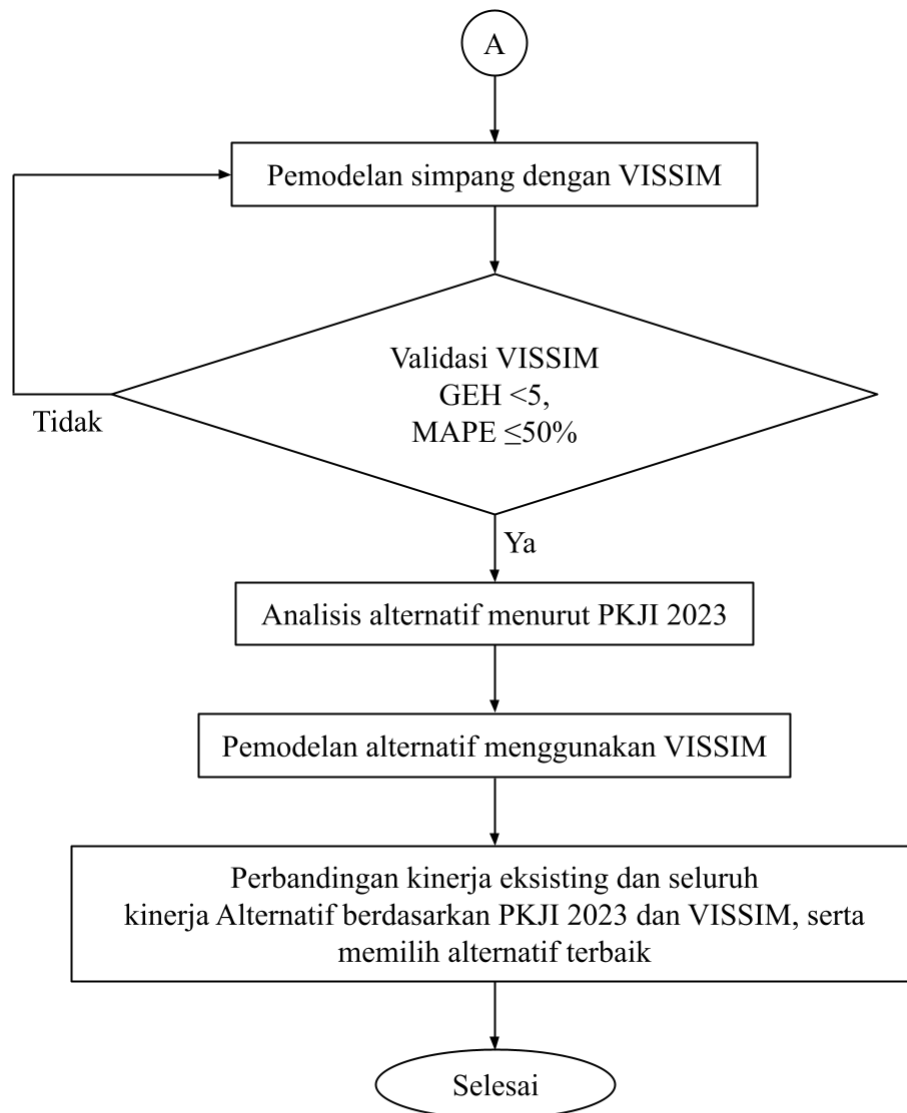
Metode PKJI 2023 digunakan untuk mengetahui kinerja Simpang Borobudur Plaza dengan *output* yaitu Derajat kejenuhan (D_j), Panjang antrean (P_A), Rasio kendaraan henti (R_{KH}), dan Tundaan (T_I). Setelah mengetahui kinerja simpang lalu lintas APILL, maka selanjutnya dilakukan perbaikan kinerja dengan beberapa alternatif kemudian diterapkan pada pemodelan VISSIM, kemudian setiap alternatif dibandingkan untuk mendapat alternatif terbaik.

4.5 Bagan Alir Penelitian

Tahap-tahap pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut. Pada data masukan yaitu data sekunder, terdapat 4 data yang dikumpulkan, pertama adalah denah lokasi sebagai petunjuk lokasi objek penelitian. Kedua adalah jumlah kendaraan DIY, digunakan sebagai latar belakang dilakukannya penelitian ini. ketiga adalah jumlah penduduk Kota Yogyakarta, digunakan sebagai salah satu parameter untuk mencari kapasitas yaitu faktor koreksi ukuran kota. Dan terakhir adalah kelandaian, digunakan sebagai salah satu parameter untuk mencari kapasitas yaitu faktor koreksi kelandaian.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

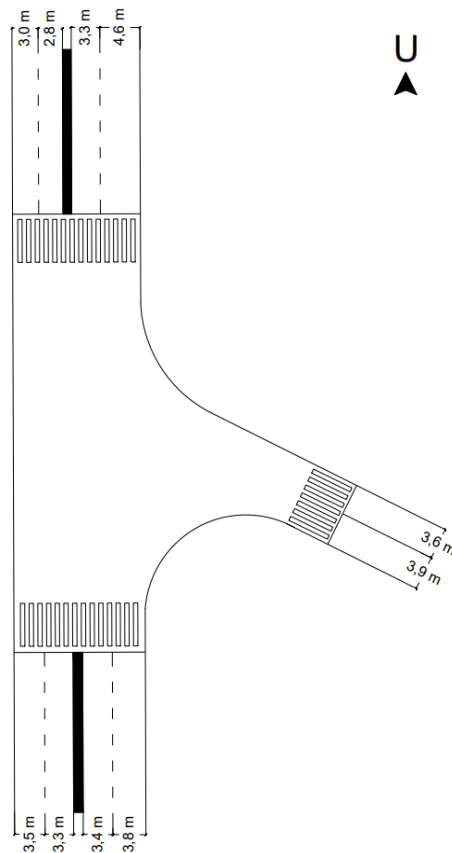
BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Hasil Survei dan Analisis Data

5.1.1 Data Geometri Simpang

Data geometri dari Simpang Borobudur Plaza mencakup informasi jalan tiap pendekat, tipe jalan, dan dimensi simpang berupa lebar lengan, lebar jalur, lebar lajur, dan lebar median. Pengambilan data dengan mengukur menggunakan *walking measure* yang dilakukan saat survey lapangan. Data geometri dari Simpang Borobudur Plaza disajikan pada Tabel 5.1 dan data berupa sketsa dapat dilihat pada Gambar 5.1.



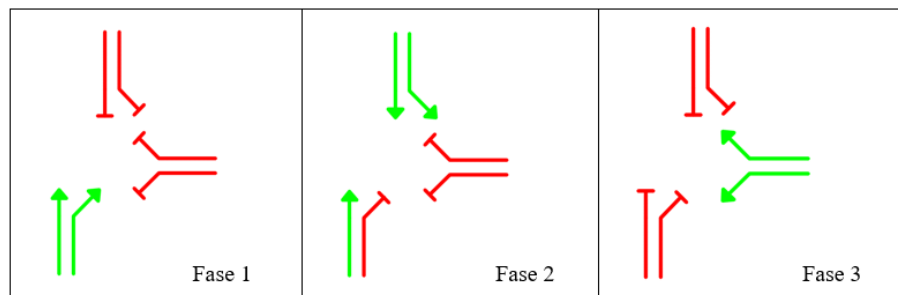
Gambar 5.1 Sketsa Simpang Borobudur Plaza

Tabel 5.1 Data Geometri Simpang Borobudur Plaza

Pendekat	Tipe Jalan	Lebar Efektif (m)
Jl. Magelang (selatan)	4/2-T	6,8
Jl. Magelang (utara)	4/2-T	7,9
Jl. R.W. Monginsidi (timur)	2/2-TT	3,9

5.1.2 Data Pengaturan Lalu Lintas

Data pengaturan lalu lintas adalah data fase dan waktu isyarat simpang, simpang ini memiliki 3 fase dengan waktu siklus berdurasi 103 detik dimana tipe pendekat setiap fasenya adalah terlindung, fase dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan waktu isyarat pada Tabel 5.2 berikut ini.

**Gambar 5.2 Fase Simpang Borobudur Plaza****Tabel 5.2 Data Waktu Isyarat Simpang Borobudur Plaza**

Kode Pendekat	Hijau Fase Ke-	Waktu Nyala				Waktu Siklus (detik)
		Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah Semua (detik)	Merah (detik)	
S	1	31	3	4	65	103
S	2	34	3	4	31	103
U	2	27	3	4	69	103
T	3	24	2	5	72	103

Pendekat Selatan memiliki 2 waktu hijau di 2 fase berbeda, pendekat Selatan fase 2 hanya untuk kendaraan arah lurus, pendekat ini memiliki waktu hijau 65 detik didapat dari jumlah waktu hijau pendekat Selatan pada fase 1, pendekat Utara fase 2, dan waktu kuning dan merah semua pendekat Selatan fase 1. Waktu isyarat berbentuk diagram dapat dilihat pada Gambar 5.3.



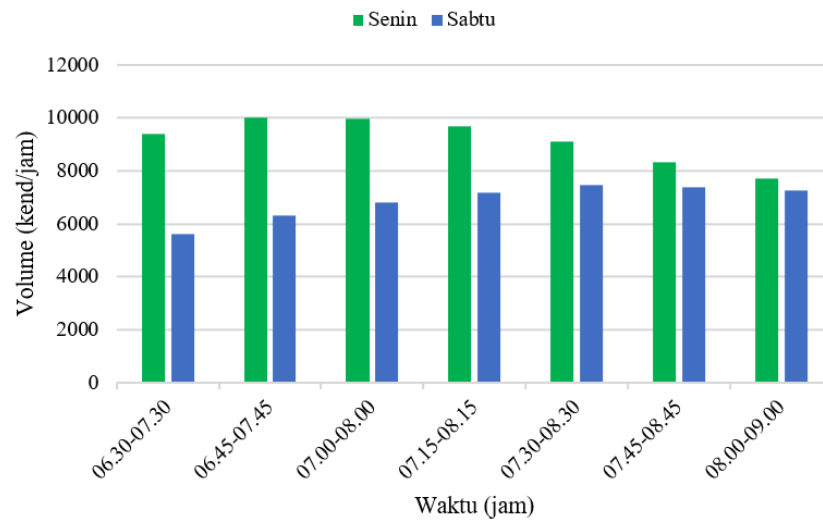
Gambar 5.3 Diagram Waktu Isyarat Simpang Borobudur Plaza

5.1.3 Data Volume Puncak Arus Lalu Lintas

Data volume arus lalu lintas didapat melalui hasil survei selama 2 hari dan dalam per harinya selama 7 jam. Data ini tidak langsung dihitung pada saat itu juga tetapi data arus lalu lintas direkam terlebih dahulu menggunakan kamera, hal ini bertujuan agar perhitungan lebih akurat karena video dapat *direplay* setiap saat jika diperlukan. Data volume dapat dilihat pada Tabel 5.3 hingga Tabel 5.5 dan Gambar 5.4 hingga Gambar 5.6. Data volume puncak arus lalu lintas adalah data dengan arus lalu lintas terbanyak di jam dan hari tertentu yang dapat diketahui setelah merekap semua rekaman data arus lalu lintas, data volume puncak pada penelitian ini adalah pada hari Senin di pukul 06.45–07.45 WIB.

Tabel 5.3 Data Volume Arus Lalu Lintas Pagi

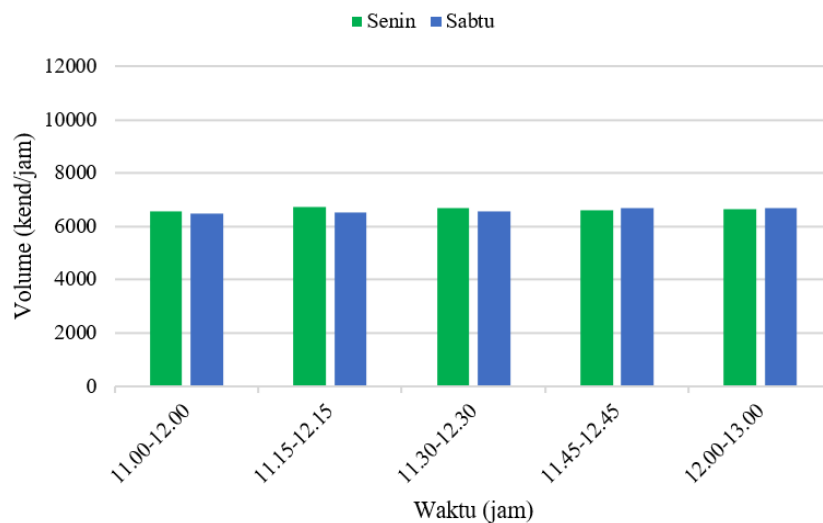
Waktu	Volume per Jam Senin, 10 Juni 2024 (kend/jam)	Volume per Jam Sabtu, 15 Juni 2024 (kend/jam)
06.30–07.30	9384	5628
06.45–07.45	9998	6315
07.00–08.00	9981	6795
07.15–08.15	9679	7191
07.30–08.30	9110	7455
07.45–08.45	8338	7398
08.00–09.00	7696	7271



Gambar 5.4 Data Volume Arus Lalu Lintas Pagi

Tabel 5.4 Data Volume Arus Lalu Lintas Siang

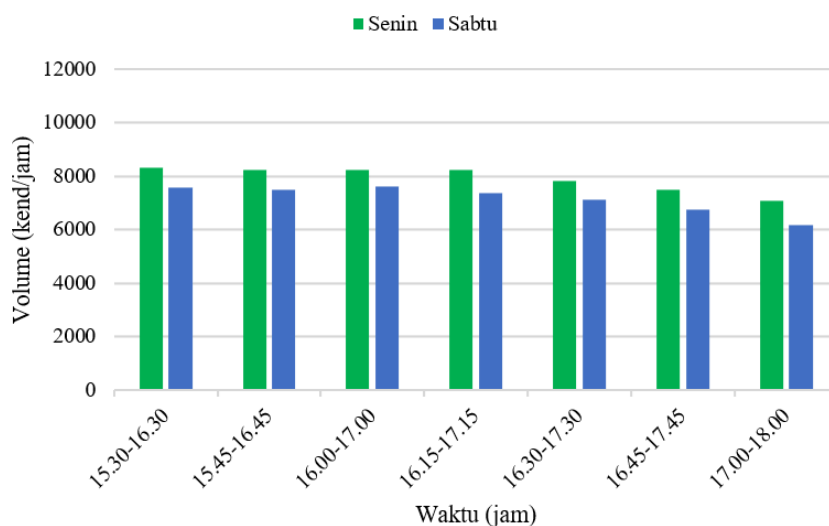
Waktu	Volume per Jam Senin, 10 Juni 2024 (kend/jam)	Volume per Jam Sabtu, 15 Juni 2024 (kend/jam)
11.00–12.00	6573	6491
11.15–12.15	6714	6509
11.30–12.30	6679	6575
11.45–12.45	6618	6673
12.00–13.00	6655	6700



Gambar 5.5 Data Volume Arus Lalu Lintas Siang

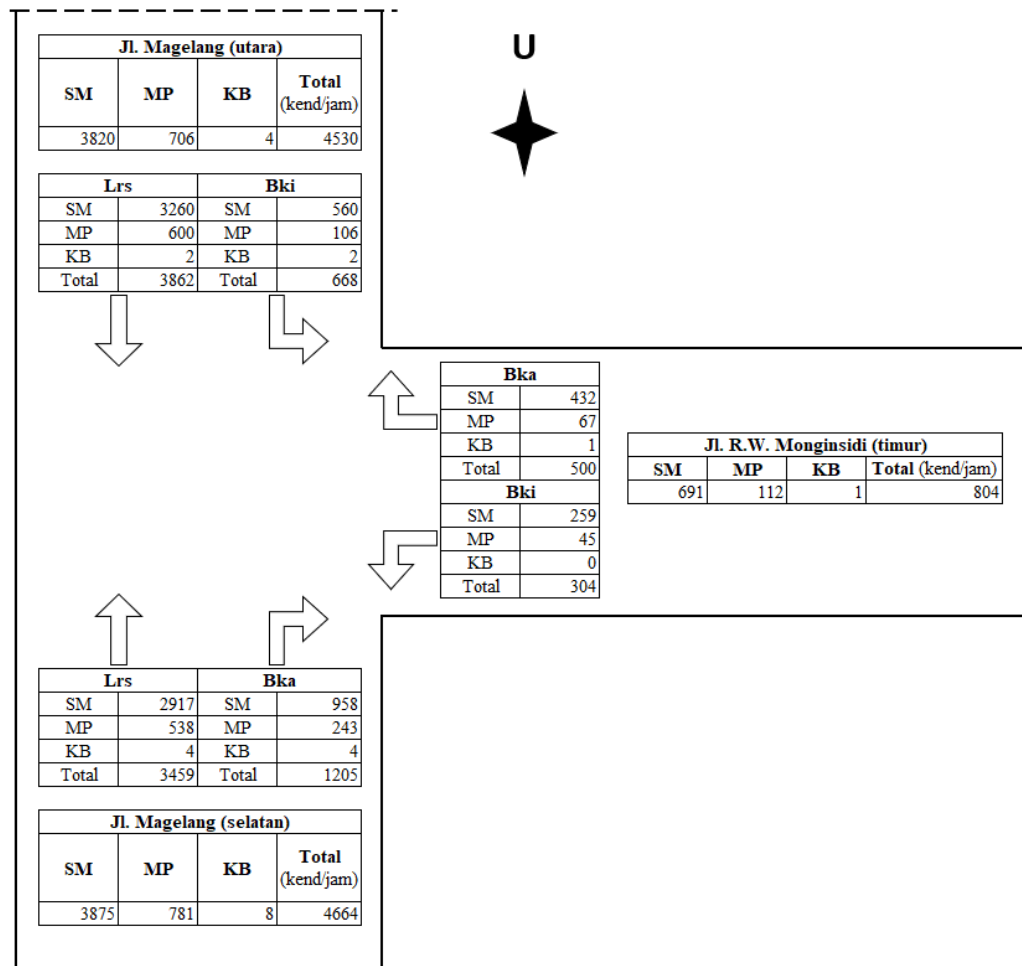
Tabel 5.5 Data Volume Arus Lalu Lintas Sore

Waktu	Volume per Jam Senin, 10 Juni 2024 (kend/jam)	Volume per Jam Sabtu, 15 Juni 2024 (kend/jam)
15.30–16.30	8298	7567
15.45–16.45	8217	7488
16.00–17.00	8230	7609
16.15–17.15	8247	7381
16.30–17.30	7835	7132
16.45–17.45	7483	6764
17.00–18.00	7090	6193

**Gambar 5.6 Data Volume Arus Lalu Lintas Sore**

Berdasarkan data pada Tabel 5.3 sampai Tabel 5.5 tentang volume arus lalu lintas, rata-rata volume kendaraan pada hari Senin lebih tinggi dari pada hari Sabtu, hal ini terjadi di setiap sesi survei lapangan. Pada sesi pagi, rata-rata volume kendaraan di hari Senin adalah 9169 kend/jam dan hari Sabtu adalah 6865 kend/jam. Pada sesi siang, rata-rata volume kendaraan di hari Senin sebesar 6648 kend/jam dan hari Sabtu sebesar 6590 kend/jam. Pada sesi sore, rata-rata volume kendaraan di hari Senin sebesar 7914 kend/jam dan hari Sabtu sebesar 7162 kend/jam.

Dengan data volume puncak sebesar 9.998 kend/jam yang terjadi pada hari Senin, pukul 06.45–07.45 WIB, distribusi volume setiap jenis kendaraan pada setiap arah di masing-masing pendekatan dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Distribusi Volume Kendaraan Berdasarkan Jenis dan Arah di Tiap Pendekat

5.1.4 Data Kecepatan Kendaraan

Data kecepatan kendaraan pada penelitian tidak termasuk kedalam perhitungan PKJI 2023 melainkan sebagai salah satu parameter pemodelan VISSIM, data ini diambil setiap sesi yaitu pagi, siang, dan sore. Pada saat survei, surveyor mencatat waktu tempuh setiap kendaraan dalam melewati jarak yang telah ditentukan hingga jumlah sampel sesuai ketentuan. Tabel 5.6 adalah data kecepatan yang telah dicari parameter kecepatannya dari data waktu dan jarak

yang telah dicatat, Tabel 5.6 merupakan data kecepatan pendekat Selatan pada saat jam puncak terjadi atau pada sesi pagi di hari Senin.

Tabel 5.6 Data Kecepatan Kendaraan

Kecepatan							
No.	SM (km/jam)	No.	SM (km/jam)	No.	MP (km/jam)	No.	KS (km/jam)
1	36	31	35	1	35	1	67
2	67	32	35	2	24	2	36
3	35	33	67	3	35	3	18
4	35	34	35	4	35	4	24
5	66	35	67	5	36	5	12
6	67	36	36	6	35	6	35
7	66	37	66	7	24	7	24
8	70	38	67	8	70	8	36
9	68	39	68	9	35	9	35
10	35	40	36	10	66	10	35
11	68	41	66	11	35		
12	35	42	68	12	35		
13	68	43	35	13	36		
14	35	44	71	14	36		
15	68	45	36	15	35		
16	67	46	67	16	29		
17	24	47	69	17	35		
18	36	48	36	18	26		
19	66	49	66	19	36		
20	36	50	66	20	36		
21	66	51	66	21	66		
22	34	52	70	22	66		
23	36	53	70	23	66		
24	66	54	67	24	68		
25	70	55	66	25	70		
26	67	56	69	26	68		
27	70	57	67	27	35		
28	35	58	66	28	70		
29	36	59	67	29	67		
30	68	60	71	30	67		

5.1.5 Data *Driving Behaviour*

Data *driving behaviour* sama seperti data kecepatan yang hanya sebagai parameter pemodelan VISSIM. Pada penelitian ini, data pada 3 pendekat di jam volume puncak atau sesi pagi di hari senin akan dirata-ratakan, lalu nilai rata-rata dimasukkan saat kalibrasi pemodelan, akan tetapi, kenyataannya saat kalibrasi data ini tidak permanen atau dapat diubah hingga pemodelan tervalidasi. Data *driving behaviour* disajikan pada Tabel 5.7. Pada pendekat Timur, data *driving behaviour* sejajar saat kendaraan dalam keadaan berhenti maupun bergerak tidak dapat diketahui karena pendekat hanya memiliki 1 lajur saja.

Tabel 5.7 Data *Driving Behaviour*

Saat Kendaraan Berhenti								Saat Kendaraan Bergerak							
No	Depan - Belakang	No	Depan - Belakang	No	Sejajar	No	Sejajar	No	Depan - Belakang	No	Depan - Belakang	No	Sejajar	No	Sejajar
	(m)		(m)		(m)		(m)		(m)		(m)		(m)		(m)
1	1,2	16	1,6	1	1,5	16	0,4	1	2,5	16	3,0	1	1,5	16	0,8
2	0,6	17	0,3	2	0,7	17	0,5	2	1,2	17	2,0	2	0,7	17	0,9
3	0,7	18	0,7	3	0,7	18	0,8	3	1,2	18	1,8	3	0,7	18	0,8
4	1,1	19	0,4	4	0,8	19	0,8	4	2,1	19	0,9	4	0,8	19	1,3
5	0,4	20	1,0	5	0,4	20	0,4	5	0,9	20	1,0	5	0,4	20	0,8
6	0,4	21	0,5	6	0,5	21	-	6	0,9	21	1,4	6	0,6	21	-
7	1,3	22	0,4	7	0,8	22	-	7	1,9	22	0,9	7	0,9	22	-
8	0,7	23	1,0	8	0,4	23	-	8	0,8	23	1,5	8	0,5	23	-
9	1,5	24	0,4	9	0,6	24	-	9	2,7	24	0,9	9	0,6	24	-
10	0,5	25	0,6	10	0,6	25	-	10	0,8	25	1,0	10	0,6	25	-
11	0,3	26	1,1	11	0,7	26	-	11	1,5	26	1,4	11	1,0	26	-
12	0,5	27	0,6	12	0,6	27	-	12	2,0	27	1,2	12	1,3	27	-
13	1,5	28	1,4	13	0,5	28	-	13	1,7	28	1,8	13	0,8	28	-
14	1,7	29	1,4	14	0,7	29	-	14	1,3	29	1,4	14	0,9	29	-
15	1,3	30	0,7	15	0,4	30	-	15	2,2	30	1,3	15	0,7	30	-
Rata-rata		0,9		Rata-rata		0,6		Rata-rata		1,5		Rata-rata		0,8	

5.1.6 Data Lingkungan Simpang

Data lingkungan simpang didapat dengan mengamati area sekitar simpang, untuk kelandaian, data didapat dari earth.google.com sedangkan untuk jarak ke kendaraan parkir pertama, peneliti mengukur dari garis henti setiap pendekat ke mobil parkir pertama di bahu jalan. Data lingkungan dapat dilihat di Tabel 5.8. Kondisi tiap pendekat dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 5.8, Gambar 5.9, dan Gambar 5.10.

Tabel 5.8 Data Lingkungan Simpang

Kode Pendekat	Tipe Lingkungan Jalan	Kelas Hambatan Samping	Median	Kelandaian pendekat	B _{KIJT}	Jarak ke Kendaraan Parkir Pertama
U, S, T, B	KIM, KOM, AT	T (tinggi), S (sedang), R (rendah)	Y (ada) atau T (tidak)		Y (ada) atau T (tidak)	(m)
S	KOM	S	Y	0	T	200
U	KOM	S	Y	0	T	100
T	KOM	R	T	0	T	100



Gambar 5.8 Kondisi Pendekat Selatan (Jl. Magelang)
(Sumber: Google Maps, 2024)

Pada Gambar 5.8, tipe lingkungan jalan pendekat Selatan dapat diklasifikasikan sebagai lahan komersial yaitu terdapat perkantoran dan pertokoan dengan hambatan samping yaitu sedang yang berarti arus lalu lintas sedikit terganggu oleh aktivitas disamping jalan.



Gambar 5.9 Kondisi Pendekat Utara (Jl. Magelang)
(Sumber: Google Maps, 2024)

Merujuk pada Gambar 5.9, pendekat Utara memiliki tipe lingkungan jalan komersial, yaitu lahan diisi bangunan seperti *food court* dan pertokoan, hambatan samping yaitu sedang.



Gambar 5.10 Kondisi Pendekat Timur (Jl. R.W. Monginsidi)
(Sumber: Google Maps, 2024)

Tipe lingkungan jalan pada Gambar 5.10 yaitu komersial dimana terdapat sekolah dan gedung bimbingan belajar di kanan jalan, hambatan samping rendah karena arus berangkat di lengan tersebut tidak mengganggu kegiatan aktivitas sekolah, aktivitas yang timbul hanya muncul di waktu tertentu pada jam puncak.

5.2 Kinerja Simpang Kondisi Eksisting

5.2.1 Konversi Volume Lalu Lintas

Volume arus lalu lintas dikonversi dari kend/jam ke SMP/jam menggunakan nilai EMP tipe pendekat terlindung, konversi ini bertujuan untuk mengubah arus setiap jenis kendaraan menjadi mobil penumpang. Setelah itu, menghitung rasio belok menggunakan Persamaan 3.1, Persamaan 3.2, dan Persamaan 3.3. Data volume arus lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.9.

5.2.2 Perhitungan Kapasitas Simpang

Kapasitas didapat dengan menghitung arus jenuh, waktu hijau dan waktu siklus. Pada arus jenuh, hitung J_0 menggunakan Persamaan 3.10 dan faktor koreksi pada subbab 3.5.3.2, kemudian pada pendekat yang memiliki waktu hijau lebih dari 1 fase, arus jenuh disesuaikan menggunakan Persamaan 3.14. Contoh perhitungan arus jenuh dasar pada pendekat Selatan fase 1 dan fase 2 seperti berikut.

Arus jenuh dasar pendekat Selatan fase 1.

$$J_0 = 600 \times L_E$$

$$J_0 = 600 \times 6,8$$

$$J_0 = 4080$$

Arus jenuh dasar pendekat Selatan fase 2.

$$J_0 = 600 \times L_E$$

$$J_0 = 600 \times 3,5$$

$$J_0 = 2100$$

Selanjutnya menentukan faktor koreksi pada pendekat Selatan yang mempengaruhi kapasitas pendekat sebagai berikut.

1. Faktor koreksi hambatan samping (F_{HS}) ditentukan menggunakan Tabel 3.3 dengan mengidentifikasi tipe lingkungan adalah komersial, hambatan samping sedang dengan tipe fase terlindung. Kemudian, dilakukan interpolasi sesuai rasio kendaraan tak bermotor. Nilai F_{HS} pendekat Selatan adalah 0,934.
2. Faktor koreksi ukuran kota (F_{UK}), sesuai dengan jumlah penduduk Kota Yogyakarta yang mencapai 461.225 jiwa, berdasarkan Tabel 3.4, F_{UK} adalah 0,831.

3. Faktor koreksi kelandaian (F_G) dapat dicari menggunakan Gambar 3.10. Dengan kelandaian sebesar 0,002 atau mendekati nol, maka F_G adalah 1.
4. Faktor koreksi pengaruh parkir (F_P) dapat dihitung dengan Persamaan 3.11 atau Gambar 3.11, dengan jarak dari garis henti ke kendaraan parkir pertama mencapai 100 m, maka F_P adalah 1.
5. Faktor koreksi belok kanan (F_{BKa}) dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.13, dengan rasio belok kanan adalah 0,29, maka nilai F_{BKa} adalah 1,074.

Kemudian, perhitungan arus jenuh pada pendekat Selatan fase 1 dan fase 2 dapat dilihat seperti berikut.

Arus jenuh pendekat Selatan fase 1.

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

$$J = 4080 \times 0,934 \times 0,83 \times 1 \times 1 \times 1,074$$

$$J = 3400$$

Arus jenuh pendekat Selatan fase 2.

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

$$J = 2100 \times 0,934 \times 0,83 \times 1 \times 1$$

$$J = 1629$$

Arus jenuh pendekat Selatan yang telah disesuaikan.

$$J_{1+2} = (J_1 \times w_{H1} + J_2 \times w_{H2}) / (w_{H1} + w_{H2})$$

$$J_{1+2} = (3400 \times 31 + 1629 \times 34) / (31 + 34)$$

$$J_{1+2} = 2474$$

Setelah itu, menghitung kapasitas setiap pendekat, berikut contoh perhitungan kapasitas pada pendekat Selatan.

$$C = J \times (w_H / s)$$

$$C = 2474 \times (65 / 103)$$

$$C = 1561 \text{ SMP/jam}$$

Rekap hasil perhitungan kapasitas simpang dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.9 Data Volume Arus Lalu Lintas Simpang Borobudur Plaza

Kode Pendekat	Arah	KENDARAAN BERMOTOR										KEND. TAK BERMOTOR	
		Sepeda Motor (SM)		Mobil Penumpang (MP)		Kendaraan Sedang (KS)		Total Kendaraan Bermotor		Rasio Belok ke Kiri R _{BKi}	Rasio Belok ke Kanan R _{BKa}	KTB kend/jam	RKTB Rasio arus KTB terhadap arus total
		EMP terlindung =	0,15	EMP terlindung =	1	EMP terlindung =	1,3						
		kend/jam	terlindung	kend/jam	terlindung	kend/jam	terlindung	kend/jam	terlindung				
			SMP/jam		SMP/jam		SMP/jam		SMP/jam				
S	Lurus	2917	438	538	538	4	6	3459	982	-	-	15	-
	Bka	958	144	243	243	4	6	1205	393	-	0,29	4	-
	Total	3875	-	781	-	8	-	4664	1375	-	-	19	0,014
U	Bki	560	84	106	106	2	3	668	193	0,15	-	3	-
	Lurus	3260	489	600	600	2	3	3862	1092	-	-	24	-
	Total	3820	-	706	-	4	-	4530	1285	-	-	27	0,021
T	Bki	259	39	45	45	0	0	304	84	0,39	-	1	-
	Bka	432	65	67	67	1	2	500	134	-	0,61	1	-
	Total	691	-	112	-	1	-	804	218	-	-	2	0,009

Tabel 5.10 Rekap Hasil Kapasitas Simpang

Kode Pendekat	Fase	L_E (m)	J_0	F_{HS}	F_{UK}	F_G	F_P	F_{BKi}	F_{BKa}	J (SMP/jam)	C (SMP/jam)
S	1	6,8	4080	0,934	0,83	1	1	-	1,074	3400	-
S	2	3,5	2100	0,934	0,83	1	1	-	-	1629	-
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2474	1561
U	2	7,9	4740	0,931	0,83	1	1	0,976	-	3578	938
T	3	3,9	2340	0,946	0,83	1	1	0,938	1,160	2001	466

Dari hasil analisis yang diperoleh, didapat bahwa kapasitas pada pendekat Selatan 1561 SMP/jam, utara 938 SMP/jam, dan timur 466 SMP/jam.

5.2.3 Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, Rasio Kendaraan Henti dan Tundaan

1. Perhitungan Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan didapat dengan melakukan perbandingan antara arus lalu lintas pendekat yang telah dikonversi ke SMP/jam dan kapasitas setiap pendekat. Perhitungan derajat kejenuhan pada pendekat Selatan seperti berikut.

$$D_j = q/C$$

$$D_j = 1375/1561$$

$$D_j = 0,881$$

Rekap hasil derajat kejenuhan masing-masing pendekat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Rekap Hasil Derajat Kejenuhan

Kode Pendekat	q (SMP/jam)	C (SMP/jam)	D_j
S	1375	1561	0,881
U	1285	938	1,370
T	218	466	0,468

Berdasarkan informasi pada Tabel 5.11, derajat kejenuhan rata-rata simpang adalah 0,906, yang berarti simpang tersebut tidak memenuhi kriteria yaitu $D_j \leq 0,85$. Sementara itu, dari seluruh pendekat, hanya pendekat Timur saja yang memenuhi kriteria yaitu sebesar 0,468.

2. Perhitungan Panjang Antrean

Dalam mencari P_A , jumlah rata-rata antrean kendaraan saat lampu hijau tiba (N_q) dihitung terlebih dahulu, kemudian mencari N_{qmax} menggunakan Gambar 3.16. Berikut contoh perhitungan N_q dan N_{qmax} pada pendekat Selatan.

$$N_q = N_{q1} + N_{q2}$$

$$N_q = 6 + 33$$

$$N_q = 39 \text{ SMP}$$

$$N_{qmax} = 55 \text{ SMP}$$

Setelah itu, panjang antrean dihitung berdasarkan masing-masing lebar masuk (L_M), dan N_{qmax} pendekat. Contoh perhitungan pada pendekat Selatan sebagai berikut.

$$P_A = N_q \times 20/L_M$$

$$P_A = 55 \times 20/6,8$$

$$P_A = 162 \text{ m}$$

Rekap hasil perhitungan P_A setiap pendekat disajikan pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekap Hasil Panjang Antrean

Kode Pendekat	L_M (m)	N_{q1} (SMP)	N_{q2} (SMP)	N_q (SMP)	N_{qmax} (SMP)	P_A (m)
S	6,8	6	33	39	55	162
U	7,9	16	43	59	80	203
T	3,9	0	6	6	11	57

Berdasarkan data Tabel 5.12, panjang antrean di pendekat Selatan adalah 162 m, di pendekat Utara 203 m, dan pada pendekat Timur 57 m.

3. Perhitungan Rasio Kendaraan Henti

Rasio kendaraan henti pada pendekat Selatan dapat dilihat pada perhitungan berikut.

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

$$R_{KH} = 0,9 \times (39/(1375 \times 103)) \times 3600$$

$$R_{KH} = 0,9$$

Berikut adalah tabel rekap hasil R_{KH} .

Tabel 5.13 Rekap Hasil Rasio Kendaraan Henti

Kode Pendekat	s (detik)	q (SMP/jam)	N _q (SMP)	R _{KH}
S	103	1375	39	0,9
U		1285	59	1,4
T		218	6	0,9

4. Perhitungan Tundaan

Tundaan didapat dari hasil kali Tundaan lalu lintas rata-rata (T_{LL}) dengan Tundaan geometri rata-rata (T_G), contoh perhitungan tundaan pada pendekat Selatan adalah sebagai berikut.

$$T_{LLi} = s \times ((0,5 \times (1 - R_H)^2)/(1 - R_H \times D_j)) + ((N_{q1} \times 3600)/C)$$

$$T_{LLi} = 103 \times ((0,5 \times (1 - 0,63)^2)/(1 - 0,63 \times 0,88)) + ((6 \times 3600)/1561)$$

$$T_{LLi} = 29,6 \text{ detik/SMP}$$

Contoh perhitungan tundaan geometri.

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

$$T_G = (1 - 0,9) \times 0,29 \times 6 + (0,9 \times 4)$$

$$T_G = 3,8 \text{ detik/SMP}$$

Contoh perhitungan tundaan rata-rata pendekat Selatan.

$$T_i = T_{LLi} \times T_{Gi}$$

$$T_i = 29,6 \times 3,8$$

$$T_i = 33,4 \text{ detik/SMP}$$

Berikut adalah tabel rekap hasil tundaan pada setiap pendekat.

Tabel 5.14 Rekap Hasil Tundaan

Kode Pendekat	T _{LL} (det/SMP)	T _G (det/SMP)	T (det/SMP)	Tundaan Simpan Rata-rata (det/SMP)
S	29,6	3,8	33,4	68,2
U	105,2	5,4	110,5	
T	34,0	4,3	38,3	

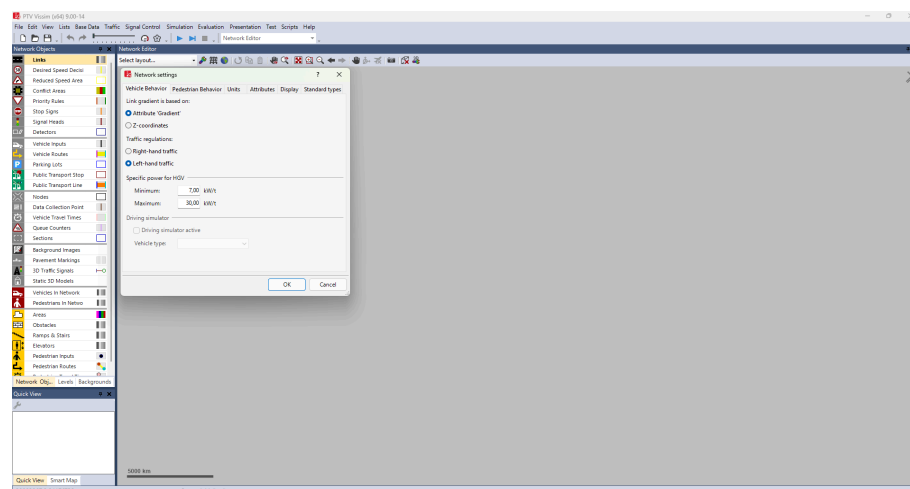
Berdasarkan data Tabel 5.14, tundaan rata-rata simpang tercatat sebesar 68,2 detik/SMP, yang diperoleh dengan membandingkan jumlah seluruh tundaan total dan total volume arus lalu lintas. Dengan demikian, Simpang Borobudur Plaza dapat dikategorikan dalam tingkat pelayanan F karena tundaan lebih dari 60 detik per kendaraan.

5.3 Pemodelan Simpang Menggunakan PTV VISSIM

5.3.1 Pembuatan dan Pengaturan Model Simpang

1. Pengaturan *Network Settings*

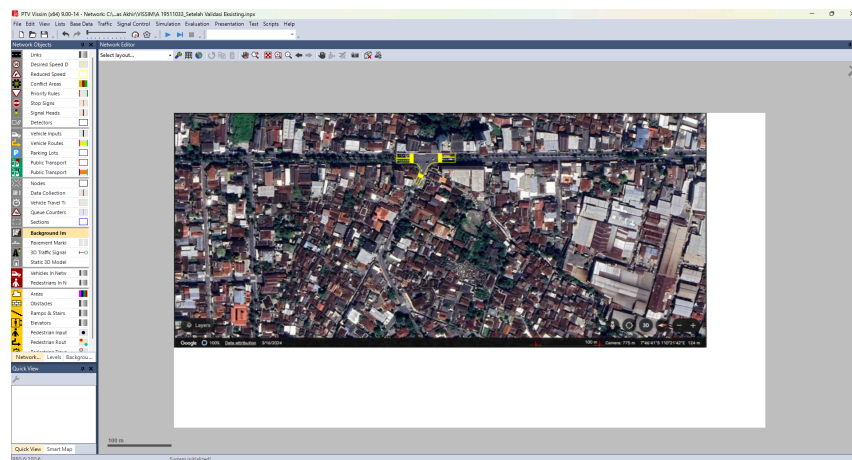
Pertama, klik *Base Data*, pilih *Network Settings*, di *Network Settings* ubah *Traffic regulations* menjadi *Left-hand traffic* pada menu *Vehicle Behaviour*. Kemudian pilih unit dan ubah satuan ke *metric*, *Network Settings* dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.



Gambar 5.11 *Network Settings*

2. *Input Background Images*

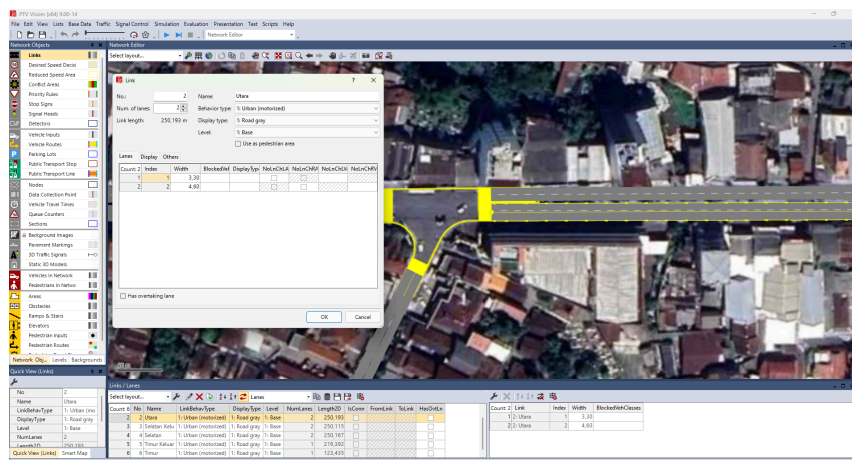
Pada menu *Network objects* pilih menu *Background Images*, klik kanan di *Network Editor* dan pilih gambar simpang. *Set Scale* dengan klik kanan pada gambar, kemudian tarik garis di lebar ruas jalan yang sudah diukur saat survei atau pada objek lain yang sudah diukur kemudian isi ukuran asli di lapangan, atau tarik garis skala pada gambar hasil *screenshot* Google Maps. *Background Images* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut ini.



Gambar 5.12 Background Images

3. Pembuatan *Links*

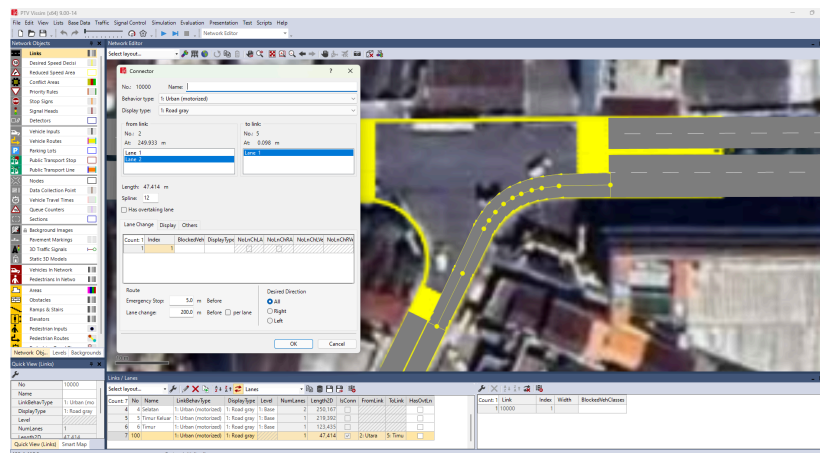
Pada *Network Objects*, pilih *Links*, klik kanan ruas di *Background Images*, lalu tarik hingga garis henti, atur nama ruas, jumlah lajur, dan lebar tiap lajur. *Links* dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut ini.



Gambar 5.13 Links

4. Pembuatan *Connectors*

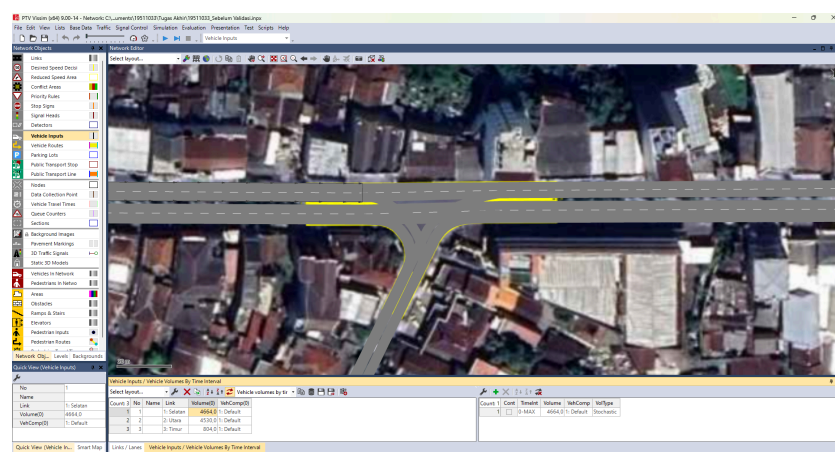
Klik kanan dan tahan pada *Link* pendekat masuk simpang, kemudian tarik ke *Link* pendekat keluar simpang, setelah menu *Connector* muncul sambungkan *lane* sesuai urutan lajurnya, untuk lajur belok atau melengkung dapat menambah nilai *Spline* sehingga sudut *Connector* lebih tumpul. *Connectors* dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut ini.



Gambar 5.14 Connectors

5. *Vehicle Input*

Klik *Vehicle Inputs*, klik kanan *Link*, pada menu *Vehicle Inputs* muncul kolom *Links* dan volume, isi volume arus dari data survei. Kolom *VehComp* diatur sesuai kode pendekat setelah pengaturan *Vehicle Compositions* dilakukan. *Vehicle Inputs* dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut ini.



Gambar 5.15 Vehicle Inputs

6. *Desired Speed Distributions*

Sebelum mengatur *Speed Distributions*, terlebih dahulu mencari frekuensi kumulatif relatif pada setiap kelas kecepatan menggunakan data kecepatan kendaraan pada Tabel 5.6. Contoh hasil perhitungan dari 30 sampel untuk

mengetahui kecepatan maksimum, kecepatan minimum, jumlah kelas, dan lebar kelas pada kendaraan *Car* (sebutan MP pada VISSIM) disajikan pada Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.15 Jumlah dan Lebar Kelas Jenis Kendaraan MP

n =	30,00
max =	70
min =	24
jumlah kelas =	6,00
lebar kelas =	8,00

Setelah mendapatkan jumlah kelas, kemudian mencari frekuensi komulatif relatif di setiap kelas kecepatan jenis kendaraan *Car* dengan hasil seperti pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 Frekuensi Komulatif Relatif Kecepatan Jenis Kendaraan *Car*

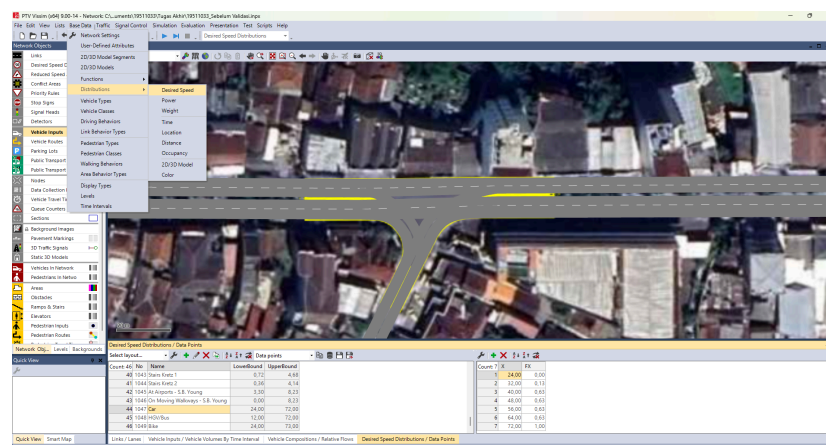
Kelas	Kecepatan (km/jam)		Frekuensi	Frekuensi Relatif	Frekuensi Komulatif	Frekuensi Komulatif Relatif	Nilai Tengah Kelas
	min	max					
1	24	32	4	0,13	4	0,13	28
2	32	40	15	0,50	19	0,63	36
3	40	48	0	0,00	19	0,63	44
4	48	56	0	0,00	19	0,63	52
5	56	64	0	0,00	19	0,63	60
6	64	72	11	0,37	30	1,00	68
Jumlah			30	1,00			

Rekap hasil perhitungan frekuensi komulatif relatif di setiap kelas kecepatan pada masing-masing jenis kendaraan dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Rekap Hasil Frekuensi Komulatif Relatif Kecepatan

Kelas	Bike		Car		HGV/Bus	
	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi Komulatif Relatif	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi Komulatif Relatif	Kecepatan (km/jam)	Frekuensi Komulatif Relatif
1	24	0,02	24	0,13	12	0,40
2	31	0,35	32	0,63	24	0,80
3	38	0,35	40	0,63	36	0,90
4	45	0,35	48	0,63	48	0,90
5	52	0,35	56	0,63	60	1,00
6	59	0,43	64	1,00		
7	66	1,00				

Terakhir, masukkan data dengan klik *Base Data*, klik *Distribution*, pilih *Desired Speed*. Masukkan setiap jenis kendaraan, kemudian masukkan data kecepatan pada kolom *X* dan data frekuensi komulatif relatif pada kolom *FX*. *Desired Speed Distributions* dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 *Desired Speed Distribution*

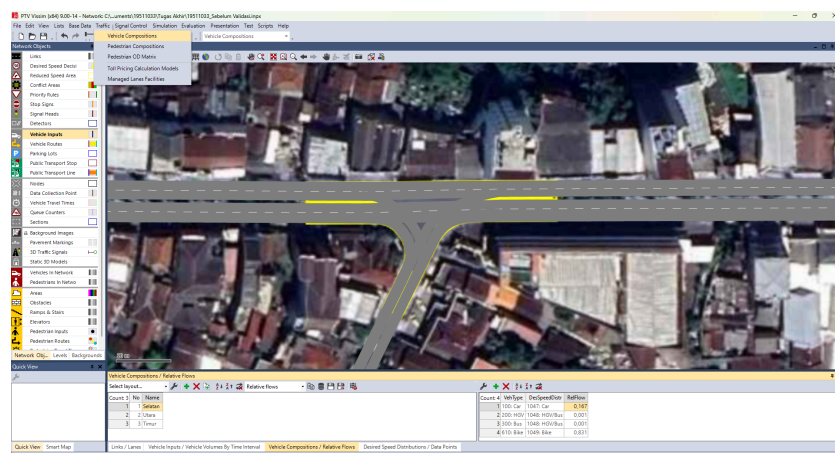
7. Vehicle Compositions

Pertama, rasio masing-masing jenis kendaraan dihitung dahulu terhadap total volume arus lalu lintas setiap pendekatan dengan hasil perhitungan seperti pada Tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.18 Data *Vehicle Compositions* Volume Arus Lalu Lintas

Pendekat		<i>Bike</i>	<i>Car</i>	<i>HGV</i>	<i>Bus</i>	Jumlah
Selatan	Kend/jam	3875	781	2	6	4664
	Veh. Comp.	0,831	0,167	0,001	0,001	1,000
Utara	Kend/jam	3820	0,706	0	4	4530
	Veh. Comp.	0,843	0,156	0,000	0,001	1,000
Timur	Kend/jam	691	112	0	1	804
	Veh. Comp.	0,860	0,139	0,000	0,001	1,000

Setelah itu pilih *Traffic*, klik *Vehicle Compositions*, tambah jenis kendaraan tiap pendekat dan pada kolom *ReFlow* isi rasio dari data Tabel 5.18. *Vehicle Compositions* dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut ini.

**Gambar 5.17 *Vehicle Compositions***

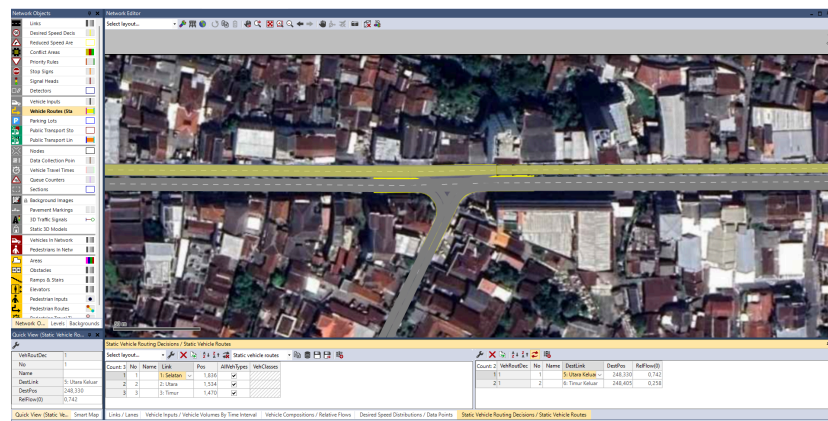
8. *Vehicle Routes*

Pertama, mencari rasio setiap arah arus terhadap volume arus lalu lintas setiap pendekat, data perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Data *Vehicle Routes* Volume Arus Lalu Lintas

Lengan	Arah	Jumlah	Vol. Kend. (kend/jam)	Reflow	Reflow Total
Selatan	Lrs	4664	3459	0,742	1
	Bka		1205	0,258	
Utara	Bki	4530	668	0,147	1
	Lrs		3862	0,853	
Timur	Bki	804	304	0,378	1
	Bka		500	0,622	

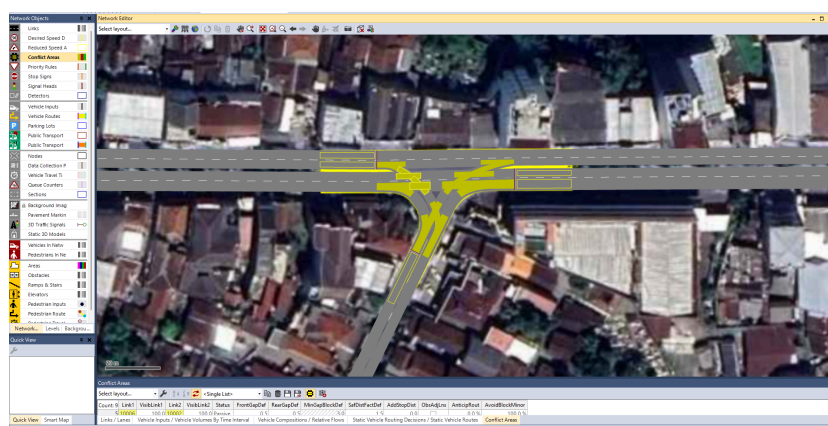
Selanjutnya, klik *Vehicle Routes*, klik pendekat arus masuk simpang (*Link*), klik kanan pada pendekat (*Link*), kemudian klik pada pendekat keluar simpang (*Link*) baik pendekat arah lurus atau belok sebagai *DestLink* (*Destination Link*), isi *Reflow* menggunakan data rasio dari Tabel 5.19. *Vehicle Routes* dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut ini.



Gambar 5.18 *Vehicle Routes*

9. Conflict Area

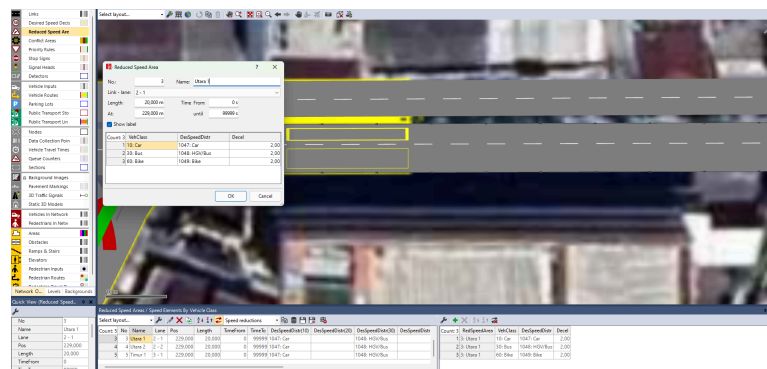
Klik *Conflict Area*, klik titik konflik, klik kanan untuk mengubah status, jika arah arus berwarna hijau maka statusnya menjadi lewat terlebih dahulu dan untuk arah arus yang berwarna merah akan menunggu arah arus berwarna hijau hingga melewati titik konflik. *Conflict Area* dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut ini.



Gambar 5.19 *Conflict Area*

10. Reduced Speed Area

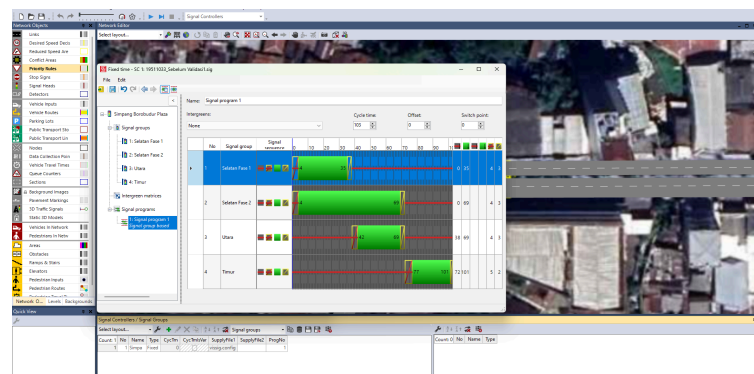
Pada *Reduced Speed Area*, klik lajur pendekat masuk di dekat garis henti, kemudian akan muncul menu *Reduced Speed Area*, atur panjang area yang akan menjadi area pengurangan kecepatan kendaraan, setelah itu tambah setiap jenis kendaraan dan atur *DesSpeedDistr* sesuai jenis kendaraan. *Reduced Speed Area* dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5.20 *Reduced Speed Area*

11. Signal Controllers

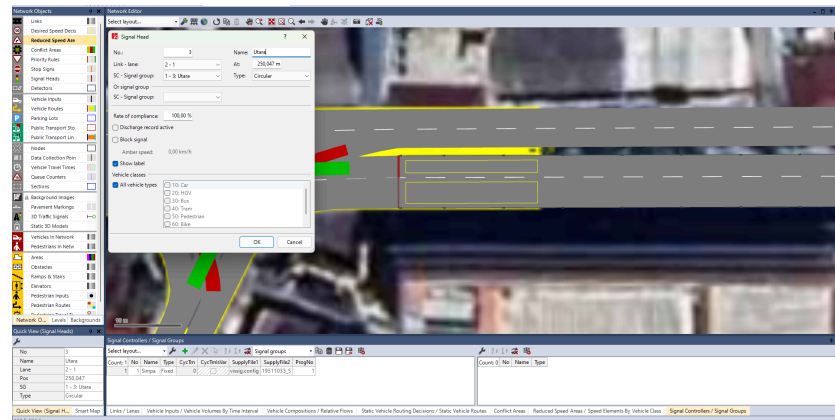
Pada *Signal Control*, pilih *Signal Controllers*, pada kolom *name* ubah menjadi nama simpang yang diteliti. Klik simpang tersebut lalu *edit object*, pilih *edit signal control*. Pada *Signal group* tambah pengaturan lalu lintas setiap pendekat lalu atur durasi waktu pengaturan dalam satu siklus. Pada *Signal program*, sesuaikan diagram dengan durasi waktu siklus eksisting. *Signal Controllers* dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut ini.



Gambar 5.21 *Signal Controllers*

12. Signal Head

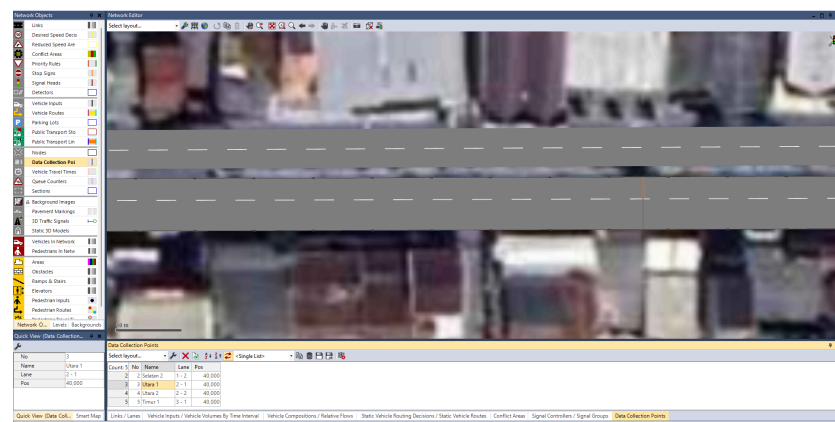
Pada *Network Objects*, klik *Signal Head*, kemudian klik garis henti pada lajur (lane) pendekat, atur *Signal group* sesuai dengan pendekat, jika pendekat memiliki waktu hijau lebih dari 1 fase maka bisa diatur *Signal group* kedua. *Signal Head* dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5.22 Signal Head

13. Data Collection Points

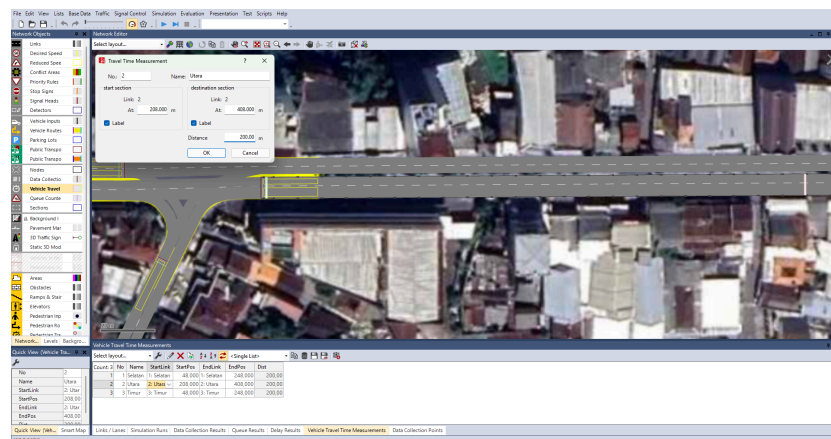
Pada *Network Objects*, pilih *Data Collection Points*, klik setiap *Link* lajur pendekat masuk simpang. Letakkan *Data Collection Point* pada setiap *Link* secara sejajar agar tidak terjadi salah perhitungan volume arus lalu lintas selama proses *running*. *Data Collection Points* dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut ini.



Gambar 5.23 Data Collection Points

14. *Vehicle Travel Time*

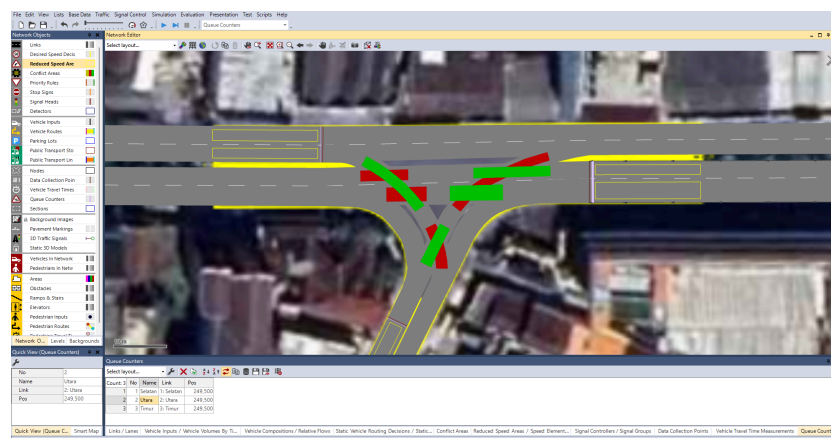
Fungsi *Vehicle Travel Time* untuk mengukur tundaan pada pemodelan simpang di VISSIM. Pilih *Vehicle Travel* pada *Network Objects*, klik *Link* di garis henti kemudian klik *Link* kembali pada jarak yang berbeda. *Vehicle Travel Time* dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut ini.



Gambar 5.24 *Vehicle Travel Time*

15. *Queue Counters*

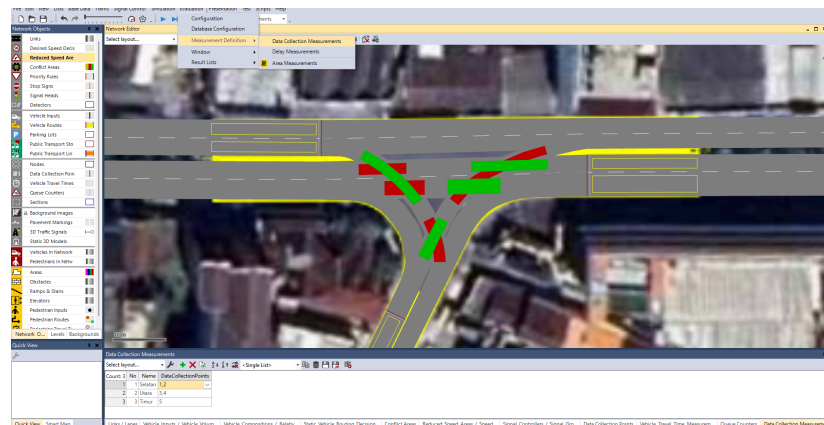
Queue Counters berfungsi untuk mengukur panjang antrean pada pemodelan simpang di VISSIM. Pada *Network Objects*, klik *Queue Counters*, letakkan *Queue Counters* sebelum *Signal Head*. *Queue Counters* dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut ini.



Gambar 5.25 *Queue Counters*

16. Data Collection Measurements

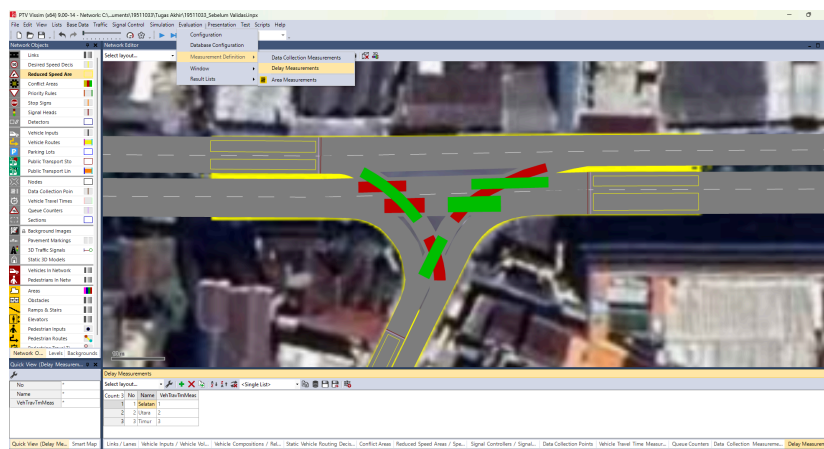
Pada *Evaluation*, pilih *Measurement Definition*, klik *Data Collection Measurements*. Sesuaikan data dengan *Data Collection Points* yang telah dibuat. *Data Collection Measurements* dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut ini.



Gambar 5.26 Data Collection Measurements

17. Delay Measurements

Klik *Measurement Definition* pada *Evaluation*, klik *Delay Measurements*. Sesuaikan data dengan *Vehicle Travel Time*. *Delay Measurements* dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut ini.



Gambar 5.27 Delay Measurements

5.3.2 Kalibrasi *Driving Behaviour*

Pada tahap ini, dilakukan pengaturan parameter *Driving Behaviour* yang sebelumnya *default* dengan *trial and error* hingga pemodelan tervalidasi terhadap simpang kondisi eksisting. Pilih *Base Data*, klik *Driving Behaviour*, pilih *Urban*. Menurut Romadhona dkk (2019), parameter yang dikalibrasi pada *Driving Behaviour* adalah *Car Following*, *Lane Change*, *Lateral*, dan *Signal Controller*, serta komponen-komponennya yang dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut ini.

Tabel 5.20 Kalibrasi *Driving Behaviour*

Parameter Terkalibrasi	Komponen		Default	Kalibrasi
<i>Car Following</i>	<i>Average Standstill Distance (m)</i>		2	0,5
	<i>Additive Part of Safety Distance</i>		2	0,5
	<i>Multiplicative Part of Safety Distance</i>		3	2
	<i>Look ahead distance (m)</i>	<i>minimum</i>	0	0
		<i>maximum</i>	250	250
		<i>Observed vehicles</i>	4	6
	<i>Look back distance (m)</i>	<i>minimum</i>	0	0
		<i>maximum</i>	150	150
<i>Lane Change</i>	<i>Waiting time before diffusion (s)</i>		60	100
	<i>Min. Clearance (front/rear) (m)</i>		0,5	0,3
<i>Lateral</i>	<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	0,4
	<i>Overtake on Same Lane</i>		<i>None</i>	<i>Left and Right</i>
<i>Signal Controller</i>	<i>Behaviour at Red/Amber Signal</i>		<i>Stop</i> (Same as Red)	<i>Go</i> (Same as Green)

Nilai pada *Waiting time before diffusion* adalah 100 detik, hal ini untuk menyesuaikan waktu siklus simpang yang diteliti, sehingga pada saat selama *running*, sistem tidak menghilangkan kendaraan dari jaringan yang mungkin berpengaruh pada *output* panjang antrean dan tundaan kendaraan.

5.3.3 Uji Validasi Model Simpang

Uji pada pemodelan dilakukan untuk memvalidasi model simpang yang telah dikalibrasi, untuk mendapatkan data uji seperti volume arus lalu lintas dan panjang antrian, pemodelan *dirunning* dengan durasi 3600 menit dan dilakukan sebanyak 5 kali dengan angka *Random Seed* yang berbeda, 5 angka *Random Seed* yang digunakan penelitian ini adalah 15, 26, 28, 38, dan 58. Hasil uji validasi GEH dan MAPE berturut-turut disajikan pada Tabel 5.21 dan Tabel 5.22.

Tabel 5.21 Uji Validasi GEH

Pendekat	Volume Input VISSIM (kend/jam)	Vehs (All)						GEH
		SimRun (1)	SimRun (2)	SimRun (3)	SimRun (4)	SimRun (5)	Rata- Rata (kend/jam)	
		RS 15	RS 26	RS 28	RS 38	RS 58		
Selatan	4664	4626	4653	4648	4688	4586	4640	0,349
Utara	4530	4562	4403	4482	4410	4436	4459	1,065
Timur	804	838	832	840	795	765	814	0,352

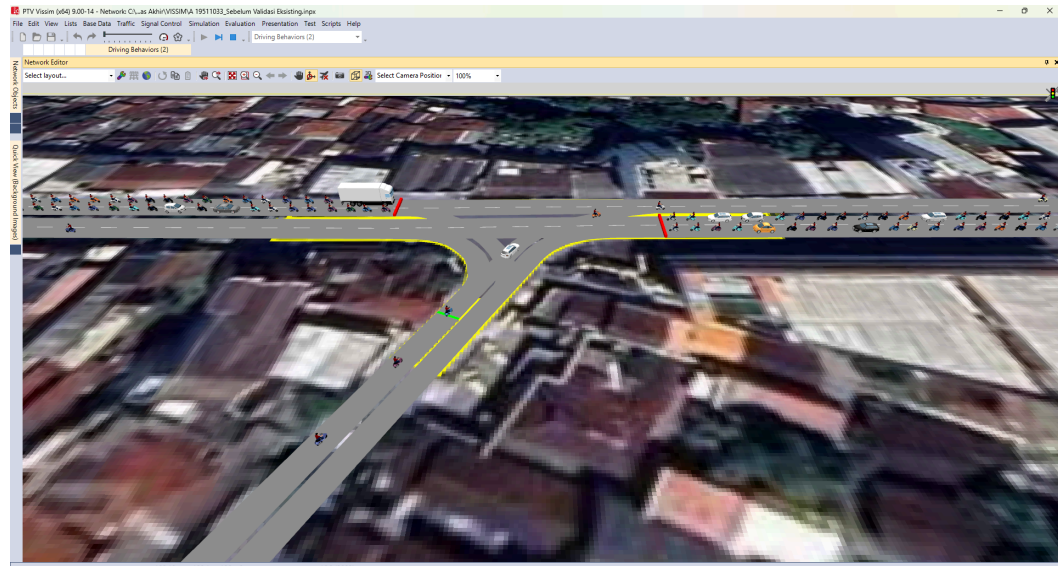
Dari pendekatan uji validasi yang menggunakan data volume arus lalu lintas sebagai perbandingan *input* dan *output*, diketahui bahwa setiap pendekat memiliki $GEH < 5,0$ yang berarti pemodelan simpang diterima.

Tabel 5.22 Uji Validasi MAPE

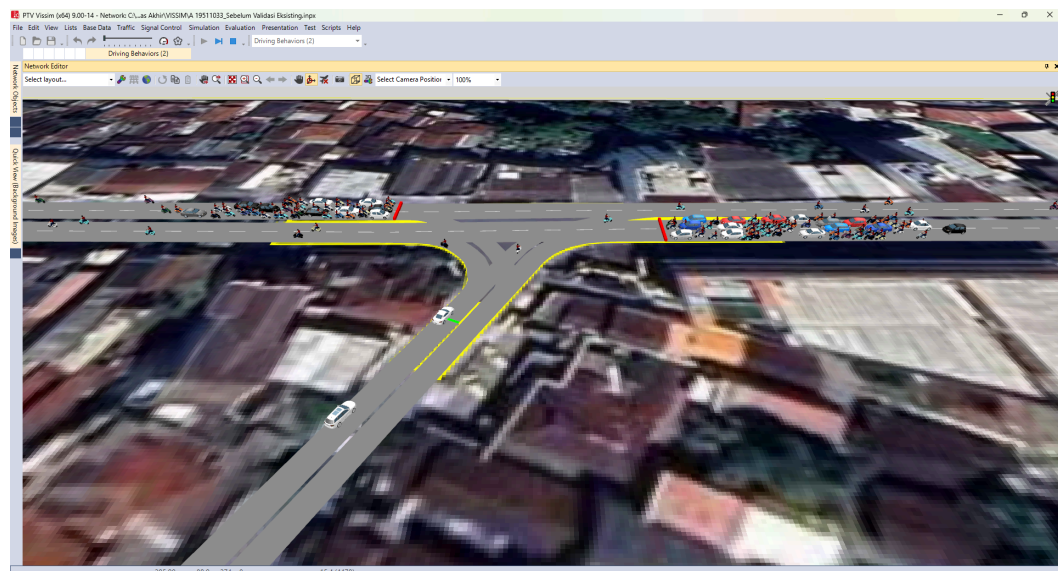
Pendekat	Panjang Antrean Input VISSIM (m)	QLenMax						MAPE
		SimRun (1)	SimRun (2)	SimRun (3)	SimRun (4)	SimRun (5)	Rata-Rata (m)	
		RS 15	RS 26	RS 28	RS 38	RS 58		
Selatan	162	113,094	120,060	11,462	112,460	135,698	119	26%
Utara	203	29,338	269,821	235,065	264,053	295,517	272	34%
Timur	57	55,121	49,760	52,548	50,061	54,073	52	8%

Mengacu pada Tabel 5.22, diketahui bahwa MAPE pada pendekat Selatan dan utara termasuk kemampuan pemodelan layak, sedangkan pada pendekat Timur termasuk kemampuan pemodelan sangat baik.

Tampilan hasil pemodelan Simpang Borobudur Plaza sebelum dan setelah kalibrasi serta validasi pada VISSIM dapat dilihat pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29.



Gambar 5.28 Pemodelan Simpang Sebelum Kalibrasi dan Validasi



Gambar 5.29 Pemodelan Simpang Setelah Kalibrasi dan Validasi

Perbandingan hasil kinerja simpang pada kondisi eksisting antara penggunaan PKJI 2023 dan pemodelan VISSIM dapat dilihat pada Tabel 5.23.

Tabel 5.23 Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Kondisi Eksisting

Kode Pendekat	PKJI 2023		VISSIM	
	P _A (m)	T (det/SMP)	P _A (m)	T (det/SMP)
S	162	33,4	119	22,3
U	203	110,5	272	127,8
T	57	38,3	52	26,0

Merujuk pada Tabel 5.23, pada pendekat Selatan, panjang antrean berdasarkan PKJI 2023 adalah 162 m dengan tundaan 33,4 det/SMP, sedangkan hasil VISSIM menunjukkan panjang antrean sebesar 119 m dengan tundaan sebesar 22,3 det/SMP. Pada pendekat Utara, panjang antrean berdasarkan PKJI 2023 adalah 203 m dengan tundaan sebesar 110,5 det/SMP, sementara itu, dari hasil VISSIM menunjukkan panjang antrean sebesar 272 m dengan tundaan yaitu 127,8 det/SMP. Pada pendekat Timur, panjang antrean berdasarkan PKJI 2023 adalah 57 m dengan tundaan 38,3 det/SMP, sedangkan hasil VISSIM menunjukkan panjang antrean adalah 52 m dengan tundaan sebesar 26,0 det/SMP. Tundaan rata-rata simpang berdasarkan PKJI 2023 sebesar 68,2 det/SMP dan berdasarkan VISSIM sebesar 69,7 det/SMP, tingkat pelayanan pada kedua metode adalah F. Dengan jenis jaringan dan fungsi Jalan Magelang adalah arteri sekunder berdasarkan Peraturan Daerah Kota Yogyakarta (2021), serta tingkat pelayanan minimal untuk arteri sekunder adalah C menurut Peraturan Menteri Perhubungan (2015), maka perbaikan kinerja pada Simpang Borobudur Plaza perlu dilakukan.

5.4 Alternatif Solusi

Pada subbab ini akan dibahas alternatif-alternatif solusi dari kinerja simpang kondisi eksisting. Kemudian, dibandingkan antara hasil kinerja menggunakan perhitungan PKJI 2023 dan pemodelan VISSIM di setiap alternatif.

5.4.1 Alternatif 1

Perubahan pada alternatif 1 yaitu penyesuaian waktu hijau terhadap waktu siklus kondisi eksisting sesuai PKJI 2023. Penyesuaian pada pendekat Selatan fase 1 yang sebelumnya memiliki W_{Hi} 31 detik adalah seperti berikut.

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times (R_{q/J \text{ kritis}} / \sum_i (R_{q/J \text{ kritis}})_i)$$

$$W_{Hi} = (103 - 21) \times (0,248 / 0,713)$$

$$W_{Hi} = 28 \text{ detik}$$

W_{Hi} setelah penyesuaian di setiap pendekat dapat dilihat pada Tabel 5.24

Tabel 5.24 Waktu Hijau Alternatif 1

Kode Pendekat	Fase ke-	$R_{q/j}$	s (detik)	W_{Hi} Eksisting (detik)	W_{Hi} Alternatif 1 (detik)
S	1	0,248	103	31	28
	2	0,326		34	37
U	2	0,354		27	41
T	3	0,111		24	13

Berdasarkan Tabel 5.24, didapatkan bahwa W_{Hi} berubah tergantung pada rasio arus setiap pendekat. Kemudian dihitung kembali kapasitas hingga tundaan setiap pendekat, hasil perhitungan pada alternatif 1 disajikan pada Tabel 5.25.

Tabel 5.25 Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, dan Tundaan Alternatif 1

Kode Pendekat	Kondisi	C (SMP/jam)	D_j	P_A (m)	T (det/SMP)
S	Eksisting	1561	0,881	162	33,4
	Alternatif 1	1817	0,753	139	29,2
U	Eksisting	938	1,370	203	110,5
	Alternatif 1	1424	0,890	142	48,0
T	Eksisting	466	0,468	57	38,3
	Alternatif 1	248	0,895	103	133,9

Berdasarkan Tabel 5.25, dengan dilakukannya distribusi waktu hijau sesuai waktu siklus eksisting, derajat kejenuhan dan panjang antrean pada pendekat Selatan dan utara membaik sedangkan pada pendekat Timur memburuk, untuk D_j sudah berada $\leq 0,85$. Tingkat pelayanan alternatif 1 adalah E dengan tundaan rata-rata simpang sebesar 45,7 detik/SMP, tingkat pelayanan mengalami peningkatan dari kondisi eksisting yang bernilai F.

Hasil kinerja P_A dan T atas penerapan alternatif solusi ke dalam pemodelan simpang pada VISSIM dapat dilihat pada Tabel 5.26.

Tabel 5.26 Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Alternatif 1

Kode Pendekat	PKJI 2023		VISSIM	
	P _A (m)	T (det/SMP)	P _A (m)	T (det/SMP)
S	139	29,2	130	19,58
U	142	48,0	93	24,76
T	103	133,9	55	35,94

5.4.2 Alternatif 2

Pada alternatif 2, dilakukan perubahan waktu siklus dan distribusi waktu hijau sesuai dengan perhitungan PKJI 2023. Perhitungan waktu siklus dapat dilihat sebagai berikut.

$$s = (1,5 \times W_{HH} + 5) / (1 - \sum R_{q/J \text{ kritis}})$$

$$s = (1,5 \times 21 + 5) / (1 - 0,713)$$

$$s = 128 \text{ detik}$$

Dengan menggunakan s alternatif 2, kemudian dicari waktu hijau pada masing-masing pendekat, hasil W_{Hi} disajikan pada Tabel 5.27.

Tabel 5.27 Waktu Siklus dan Waktu Hijau Alternatif 2

Kode Pendekat	Fase ke-	s Eksisting (detik)	s Alternatif 2 (detik)	W _{Hi} Eksisting (detik)	W _{Hi} Alternatif 2 (detik)
S	1	103	128	31	37
	2			34	49
U	2			27	53
T	3			24	17

Waktu siklus sesuai perhitungan PKJI 2023 menghasilkan durasi yang lebih lama dibandingkan siklus kondisi eksisting. Dalam penyesuaian waktu hijau, pendekat Utara mengalami peningkatan durasi terbesar dibandingkan dengan pendekatan lainnya, hal ini disebabkan oleh tingginya rasio arus lalu lintas pada pendekat tersebut. Setelah itu, kapasitas hingga tundaan dihitung, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.28.

Tabel 5.28 Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, dan Tundaan Alternatif 2

Kode Pendekat	Kondisi	C (SMP/jam)	D _j	P _A (m)	T (det/SMP)
S	Eksisting	1561	0,881	162	33,4
	Alternatif 2	1874	0,730	162	34,6
U	Eksisting	938	1,370	203	110,5
	Alternatif 2	1486	0,853	173	57,2
T	Eksisting	466	0,468	57	38,3
	Alternatif 2	260	0,853	124	167,5

Berdasarkan Tabel 5.28, setelah dilakukan perubahan waktu siklus dan distribusi waktu hijau sesuai PKJI 2023, derajat kejenuhan pada pendekat Selatan membaik. Namun, pada dua pendekat lainnya masih diatas 0,85, untuk D_j rata-rata sudah berada $\leq 0,85$. Tingkat pelayanan pada alternatif 2 adalah E dengan tundaan rata-rata simpang sebesar 54,9 detik/SMP. Tingkat pelayanan ini mengalami peningkatan dari kondisi eksisting yang bernilai F.

Hasil kinerja P_A dan T atas penerapan alternatif solusi ke dalam pemodelan simpang pada VISSIM dapat dilihat pada Tabel 5.29.

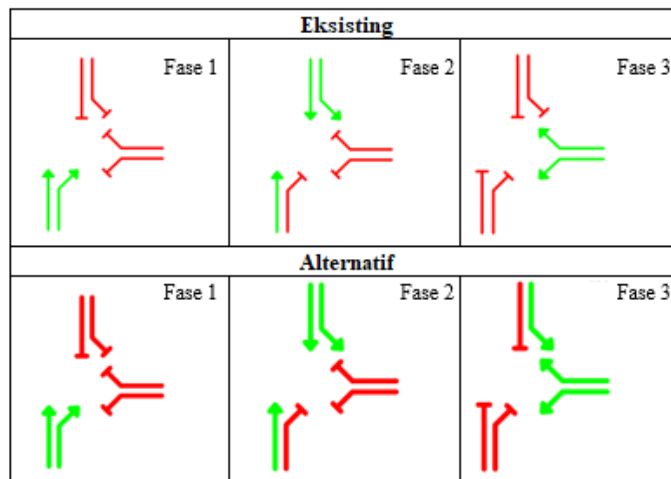
Tabel 5.29 Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Alternatif 2

Kode Pendekat	PKJI 2023		VISSIM	
	P _A (m)	T (det/SMP)	P _A (m)	T (det/SMP)
S	162	34,6	134	22,10
U	173	57,2	106	29,75
T	124	167,5	66	45,57

5.4.3 Alternatif 3

Pada alternatif 3, solusi yang diterapkan adalah perubahan fase dan penyesuaian distribusi waktu hijau sesuai PKJI 2023 dengan menggunakan waktu

siklus eksisting. Perubahan fase ada pada fase ke-3 yaitu pendekat Utara memiliki waktu hijau pada arah arus belok kiri. Fase dapat dilihat pada Gambar 5.30.



Gambar 5.30 Fase Alternatif

Kemudian, distribusi waktu hijau dihitung sesuai PKJI 2023 dengan menggunakan rasio arus yang sama seperti kondisi eksisting. Berikut disajikan hasil perhitungan W_{Hi} alternatif 3 pada Tabel 5.30.

Tabel 5.30 Waktu Siklus dan Waktu Hijau Alternatif 3

Kode Pendekat	Fase ke-	$R_{q/j}$	s Eksisting (detik)	W_{Hi} Eksisting (detik)	W_{Hi} Alternatif 3 (detik)
S	1	0,248	103	31	30
	2	0,326		34	39
U	2	0,326		27	39
	3	0,048		-	6
T	3	0,111		24	13

Mengacu pada Tabel 5.30, waktu hijau pendekat Utara fase 3 berdurasi selama 6 detik, pada penerapannya, durasi ini akan dijumlah lagi dengan waktu hijau pendekat Utara fase 2 (39 detik), W_{HH} pendekat Utara (7 detik), dan sisa dari pengurangan pendekat Timur dengan W_{Hi} pendekat Utara fase 3 (7 detik)

sehingga memiliki total waktu hijau selama 59 detik. Selanjutnya, disajikan hasil perhitungan kapasitas hingga tundaan alternatif 3 pada Tabel 5.31.

Tabel 5.31 Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, dan Tundaan Alternatif 3

Kode Pendekat	Kondisi	C (SMP/jam)	D _J	P _A (m)	T (det/SMP)
S	Eksisting	1561	0,881	162	33,4
	Alternatif 3	1811	0,755	139	29,4
U	Eksisting	938	1,370	203	110,5
	Alternatif 3	1600	0,792	132	38,8
T	Eksisting	466	0,468	57	38,3
	Alternatif 3	258	0,860	108	143,6

Berdasarkan Tabel 5.31, derajat kejenuhan pendekat Selatan dan Utara membaik dengan nilai di bawah 0,8, tetapi pada pendekat Timur, D_J tidak memenuhi kriteria. Nilai D_J rata-rata simpang sudah $\leq 0,85$. Tingkat pelayanan alternatif 3 adalah E dengan tundaan rata-rata simpang 42,4 det/SMP, sudah lebih baik dibandingkan pada kondisi eksisting.

Hasil kinerja P_A dan T pada VISSIM setelah penerapan alternatif solusi ke dalam pemodelan simpang dapat dilihat pada Tabel 5.32.

Tabel 5.32 Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Alternatif 3

Kode Pendekat	PKJI 2023		VISSIM	
	P _A (m)	T (det/SMP)	P _A (m)	T (det/SMP)
S	139	29,4	101	18,29
U	132	38,8	81	17,93
T	108	143,6	56	35,82

5.4.4 Alternatif 4

Solusi pada alternatif 4 adalah dilakukannya perubahan fase, perubahan waktu siklus, dan penyesuaian distribusi waktu hijau sesuai PKJI 2023. Perubahan fase sama dengan pada Gambar 5.30. Kemudian, dilakukan perhitungan waktu siklus pada alternatif 4 seperti berikut.

$$s = (1,5 \times W_{HH} + 5) / (1 - \sum R_{q/J \text{ kritis}})$$

$$s = (1,5 \times 21 + 5) / (1 - 0,685)$$

$$s = 116 \text{ detik}$$

Berbeda dengan alternatif 2 yang berdurasi 128 detik, waktu siklus pada alternatif 4 berdurasi 116 detik, perbedaan ini disebabkan oleh bertambahnya waktu hijau di dua fase berbeda pada pendekat Utara, sehingga menghasilkan $\sum R_{q/J \text{ kritis}}$ yang berbeda pula. Selanjutnya, dicari W_{Hi} di setiap pendekat. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 5.33.

Tabel 5.33 Waktu Siklus dan Waktu Hijau Alternatif 4

Kode Pendekat	Fase ke-	$R_{q/J}$	s Eksisting (detik)	s Alternatif 4 (detik)	W_{Hi} Eksisting (detik)	W_{Hi} Alternatif 4 (detik)
S	1	0,248	103	116	31	34
	2	0,326			34	45
U	2	0,326			27	45
	3	0,048			-	7
T	3	0,111			24	16

Merujuk pada Tabel 5.33, waktu hijau pada fase 3 di pendekat Utara sama dengan kasus di alternatif 3. W_{Hi} dijumlahkan dengan W_{Hi} fase 2 pendekat Utara (45 detik), W_{HH} pendekat Utara (7 detik), dan sisa dari pengurangan W_{Hi} pendekat Timur dengan W_{Hi} fase 3 pendekat Utara (9 detik). Sehingga pada penerapannya, durasi W_{Hi} fase 3 di pendekat Utara selama 68 detik. Selanjutnya, dilakukan perhitungan kapasitas hingga tundaan alternatif 4, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.34.

Tabel 5.34 Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, dan Tundaan Alternatif 4

Kode Pendekat	Kondisi	C (SMP/jam)	D _j	P _A (m)	T (det/SMP)
S	Eksisting	1561	0,881	162	33,4
	Alternatif 4	1826	0,749	153	33,8
U	Eksisting	938	1,370	203	110,5
	Alternatif 4	1635	0,775	145	43,8
T	Eksisting	466	0,468	57	38,3
	Alternatif 4	277	0,802	124	167,5

Mengacu pada Tabel 5.34, derajat kejenuhan di semua pendekat sudah memenuhi kriteria, dengan derajat kejenuhan terbesar terdapat pada pendekat Timur yaitu sebesar 0,802. Untuk D_j rata-rata alternatif 4 adalah sebesar 0,78 atau $\leq 0,85$. Tundaan rata-rata simpang sebesar 48,6 det/SMP dengan tingkat pelayanan E, tingkat pelayanan pada alternatif 4 lebih baik daripada pada kondisi eksisting yang bernilai F.

Hasil kinerja P_A dan T atas penerapan alternatif solusi ke dalam model simpang pada VISSIM dapat dilihat pada Tabel 5.35.

Tabel 5.35 Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Alternatif 4

Kode Pendekat	PKJI 2023		VISSIM	
	P _A (m)	T (det/SMP)	P _A (m)	T (det/SMP)
S	153	33,8	106	19,80
U	145	43,8	93	19,98
T	124	167,5	60	40,25

5.4.5 Alternatif 5

Solusi yang diterapkan pada alternatif 5 adalah perubahan fase, perubahan waktu siklus sesuai rekomendasi PKJI 2023, dan penyesuaian distribusi waktu hijau sesuai perhitungan PKJI 2023. Perubahan fase sama dengan pada alternatif 3

yang dapat dilihat pada Gambar 5.30. Perubahan waktu siklus mengikuti rekomendasi PKJI 2023 tentang waktu siklus yang layak pada masing-masing tipe pengaturan yang dapat dilihat pada Tabel 3.5. Waktu siklus yang layak yang sesuai pada pengaturan tiga fase adalah 50–100 detik.

Pada alternatif 5, durasi waktu siklus adalah 90 detik, Alasan menggunakan waktu siklus tersebut karena pada tingkat pelayanan sudah dapat diklasifikasikan menjadi D, dengan T rata-rata simpang sebesar 38,8 detik/SMP, sedangkan untuk D_j rata-rata simpang masih di bawah 0,85. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 5.37 dan untuk hasil perhitungan W_{Hi} dapat dilihat pada Tabel 5.36.

Tabel 5.36 Waktu Siklus dan Waktu Hijau Alternatif 5

Kode Pendekat	Fase ke-	s Eksisting (detik)	s Alternatif 5 (detik)	W_{Hi} Eksisting (detik)	W_{Hi} Alternatif 5 (detik)
S	1	103	90	31	25
	2			34	33
U	2			27	33
	3			-	5
T	3			24	11

Tabel 5.37 Kapasitas, Derajat Kejenuhan, Panjang Antrean, dan Tundaan Alternatif 5

Kode Pendekat	Kondisi	C (SMP/jam)	D_j	P_A (m)	T (det/SMP)
S	Eksisting	1561	0,881	162	33,4
	Alternatif 5	1775	0,771	127	27,6
U	Eksisting	938	1,370	203	110,5
	Alternatif 5	1575	0,804	119	35,3
T	Eksisting	466	0,468	57	38,3
	Alternatif 5	249	0,893	98	127,8

Hasil kinerja P_A dan T atas penerapan alternatif solusi ke dalam pemodelan simpang pada VISSIM dapat dilihat pada Tabel 5.38.

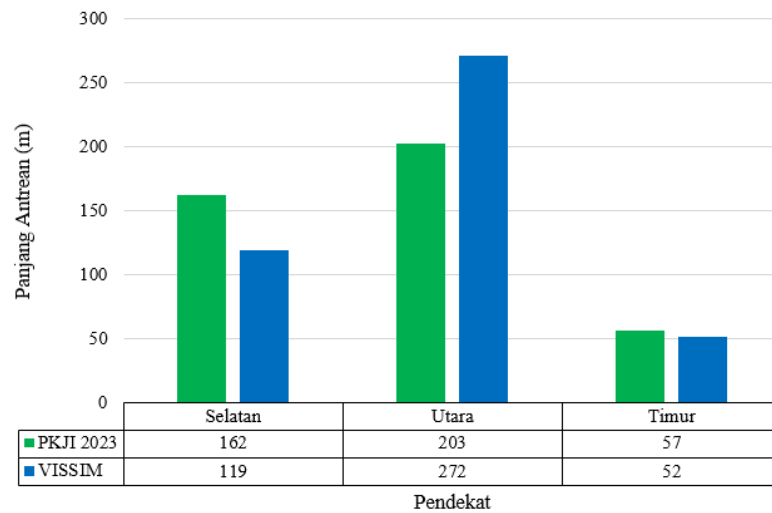
Tabel 5.38 Rekap Hasil Kinerja PKJI 2023 dan VISSIM Alternatif 5

Kode Pendekat	PKJI 2023		VISSIM	
	P _A (m)	T (det/SMP)	P _A (m)	T (det/SMP)
S	127	27,6	94	16,91
U	119	35,3	76	16,46
T	98	127,8	51	30,28

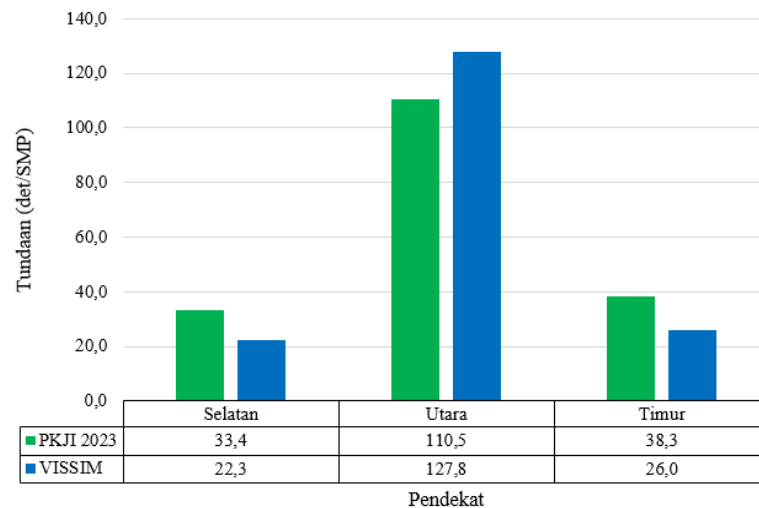
5.5 Pembahasan

Hasil analisis kinerja simpang kondisi eksisting menunjukkan bahwa kinerja masih belum memenuhi persyaratan. Dalam perhitungan menggunakan PKJI 2023, pada Derajat kejenuhan rata-rata (D_j), nilai D_j sebesar 0,906 tidak sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 yaitu $D_j \leq 0,85$. Tundaan rata-rata simpang (T) sebesar 68,2 det/SMP dengan tingkat pelayanan F juga tidak memenuhi tingkat pelayanan minimal yang telah ditetapkan pada Peraturan Menteri Perhubungan 2015 yaitu tingkat pelayanan minimal untuk jalan arteri sekunder adalah C.

Berdasarkan perbandingan hasil kinerja simpang kondisi eksisting, yaitu hasil panjang antrean dan tundaan setiap pendekat antara perhitungan PKJI 2023 dan pemodelan VISSIM, dapat diketahui bahwa 2 metode tersebut memiliki perbedaan hasil kinerja. Hasil panjang antrean dan tundaan PKJI 2023 pada pendekat Selatan dan timur lebih tinggi dibandingkan dengan hasil kinerja menggunakan pemodelan VISSIM, sedangkan hasil panjang antrean dan tundaan PKJI 2023 pada pendekat Utara memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan pemodelan VISSIM. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh pendekatan yang digunakan berbeda dalam menghitung hasil kinerja simpang. Misalnya, parameter faktor koreksi pada perhitungan kapasitas hanya ada pada PKJI 2023 dan parameter *driving behaviour* hanya ada pada VISSIM. Perbandingan hasil panjang antrean dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan tundaan pada Gambar 5.32.



Gambar 5.31 Perbandingan Panjang Antrean Simbang Kondisi Eksisting



Gambar 5.32 Perbandingan Tundaan Simbang Kondisi Eksisting

Berdasarkan hasil analisis kinerja simpang kondisi eksisting, diketahui bahwa perlu adanya perbaikan pada Simbang Borobudur Plaza berupa usulan alternatif-alternatif solusi dengan karakteristik yang berbeda. Karakteristik yang berbeda pada setiap alternatif ditujukan untuk mendapatkan hasil kinerja yang bervariasi sehingga mendapatkan alternatif solusi terbaik. Pada alternatif 1 dilakukan perubahan penyesuaian durasi waktu hijau. Pada alternatif 2 dilakukan perubahan waktu siklus dan penyesuaian waktu hijau. Pada alternatif 3 dilakukan perubahan fase dan penyesuaian waktu hijau. Pada alternatif 4 dan 5, dilakukan perubahan fase, waktu siklus dan penyesuaian waktu hijau. Perbandingan perubahan karakteristik setiap alternatif dapat dilihat pada Tabel 5.39 berikut ini.

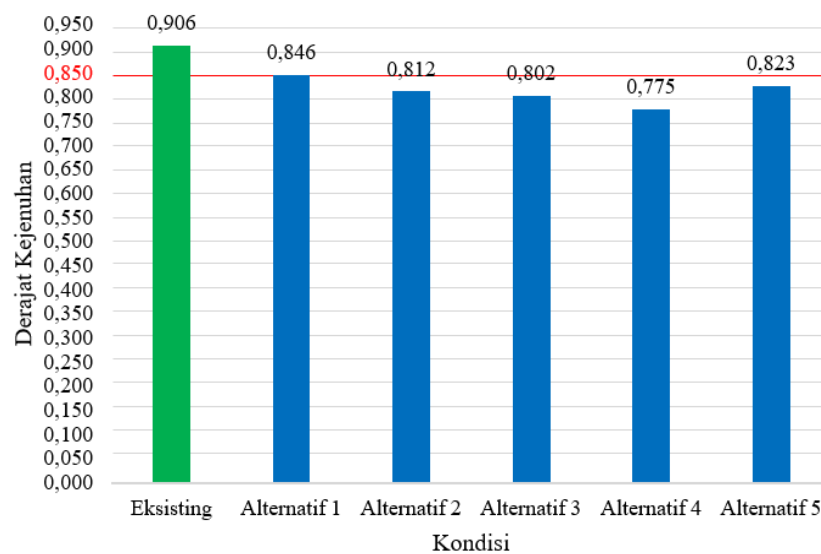
Tabel 5.39 Perbandingan Karakteristik Seluruh Alternatif Solusi

Karakteristik	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Penyesuaian W_{Hi} terhadap s eksisting	✓	-	✓	-	-
Penyesuaian W_{Hi} terhadap s sesuai PKJI 2023	-	✓	-	✓	✓
Perubahan s sesuai perhitungan PKJI	-	✓	-	✓	-
Perubahan s sesuai rekomendasi PKJI	-	-	-	-	✓
Perubahan fase	-	-	✓	✓	✓

Parameter yang dijadikan perbandingan hasil kinerja pada setiap alternatif yaitu Derajat kejenuhan (D_j), Panjang antrean (P_A), dan Tundaan (T).

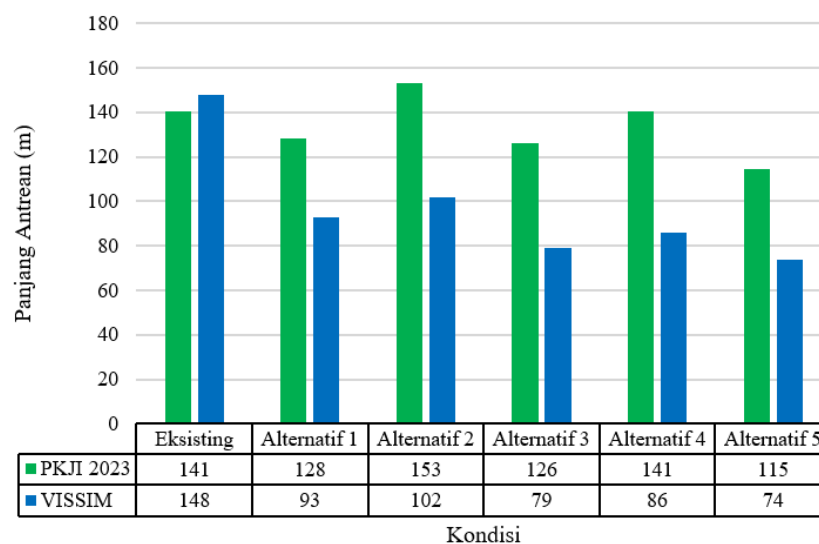
1. Derajat Kejenuhan (D_j)

Pada grafik derajat kejenuhan menunjukkan bahwa simpang membutuhkan perbaikan dengan nilai 0,906. Hasilnya, semua alternatif yang diusulkan memenuhi kriteria yang telah ditentukan PKJI 2023 yaitu $D_j \leq 0,85$. Alternatif paling efektif adalah alternatif 4 dengan D_j sebesar 0,775. Perbandingan D_j setiap kondisi dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut ini.

**Gambar 5.33 Derajat Kejenuhan Alternatif**

2. Panjang Antrean (P_A)

Panjang antrean eksisting menggunakan PKJI 2023 maupun VISSIM berturut-turut sebesar 141 m dan 148 m. Perbedaan selisih hasil perbaikan eksisting menggunakan PKJI 2023 tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan perbaikan menggunakan pemodelan VISSIM. Pada PKJI 2023, alternatif 4 tidak mengalami perbaikan, bahkan pada alternatif 2, nilai panjang antrean lebih besar dibanding kondisi eksisting. Alternatif terbaik berdasarkan panjang antrean adalah alternatif 5 sebesar 115 m. Begitu juga pada VISSIM, alternatif 5 menjadi alternatif terbaik dengan P_A sebesar 74 m. Perbandingan P_A setiap kondisi dapat dilihat pada Gambar 5.34 berikut ini.

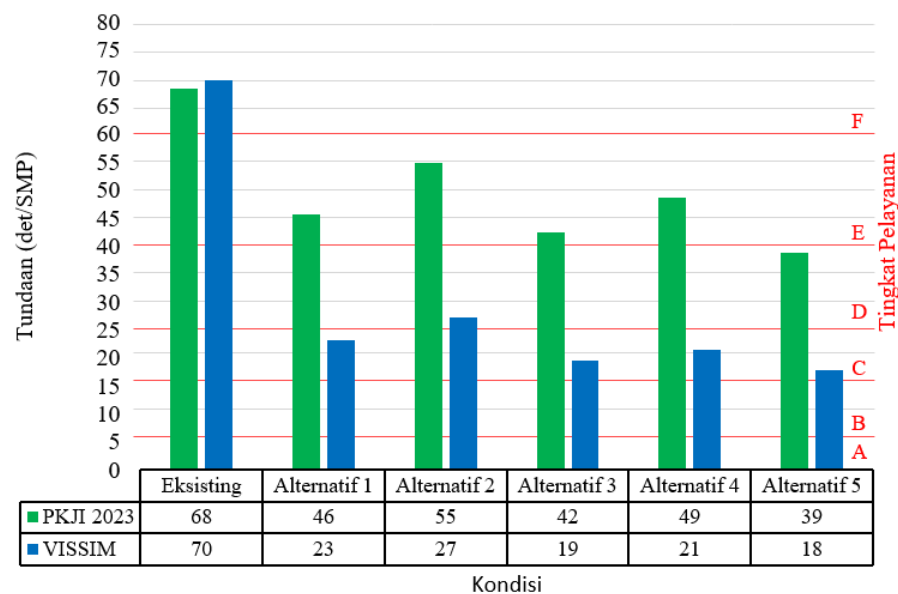


Gambar 5.34 Panjang Antrean Alternatif

3. Tundaan (T)

Berdasarkan grafik tundaan, hasil kinerja simpang pada kondisi eksisting baik menggunakan PKJI 2023 maupun pemodelan VISSIM berada di tingkat pelayanan terburuk yaitu F dengan tundaan di atas 60 det/SMP. Pada hasil perbaikan, tingkat pelayanan minimal terpenuhi pada pemodelan VISSIM, dari 5 alternatif, hanya alternatif 2 (tingkat pelayanan adalah D) yang tidak memenuhi tingkat pelayanan minimal dengan tundaan sebesar 27 det/SMP. Namun pada PKJI 2023, dari 5 alternatif yang diusulkan, alternatif masih tidak ada yang dapat memenuhi tingkat pelayanan minimal. 4 dari 5 alternatif

memiliki perbedaan tingkat pelayanan yang tidak signifikan (tingkat pelayanan adalah E) dibandingkan pada kondisi eksisting yaitu F. Alternatif terbaik sebagai perbaikan tundaan kondisi eksisting baik menggunakan PKJI 2023 maupun VISSIM adalah alternatif 5 dengan tundaan rata-rata simpang sebesar 39 det/SMP pada PKJI 2023 dan 18 det/SMP pada VISSIM. Walaupun pada PKJI 2023 alternatif 5 masih tidak memenuhi tingkat pelayanan minimal, setidaknya secara keseluruhan tingkat pelayanan alternatif ini lebih baik dibandingkan kondisi eksisting dan alternatif lainnya dengan tingkat pelayanan D pada PKJI 2023 dan C pada VISSIM. Perbandingan T setiap kondisi dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut ini.

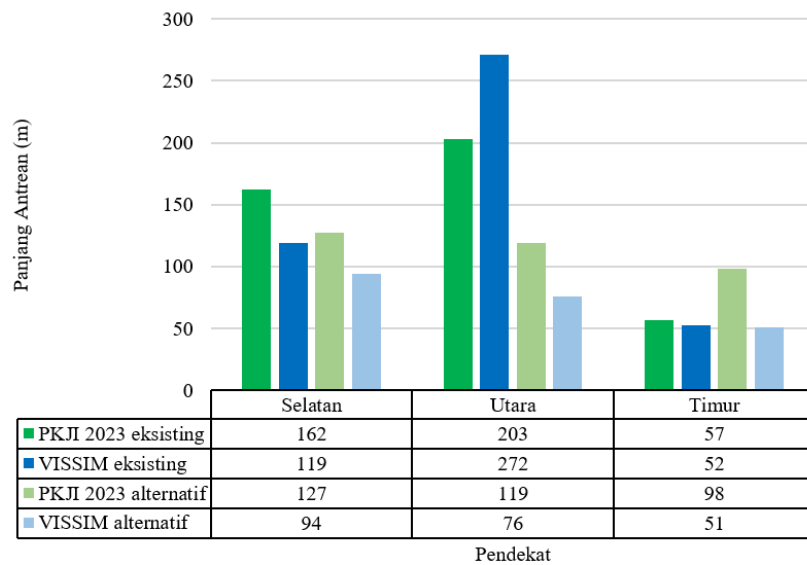


Gambar 5.35 Tundaan Alternatif

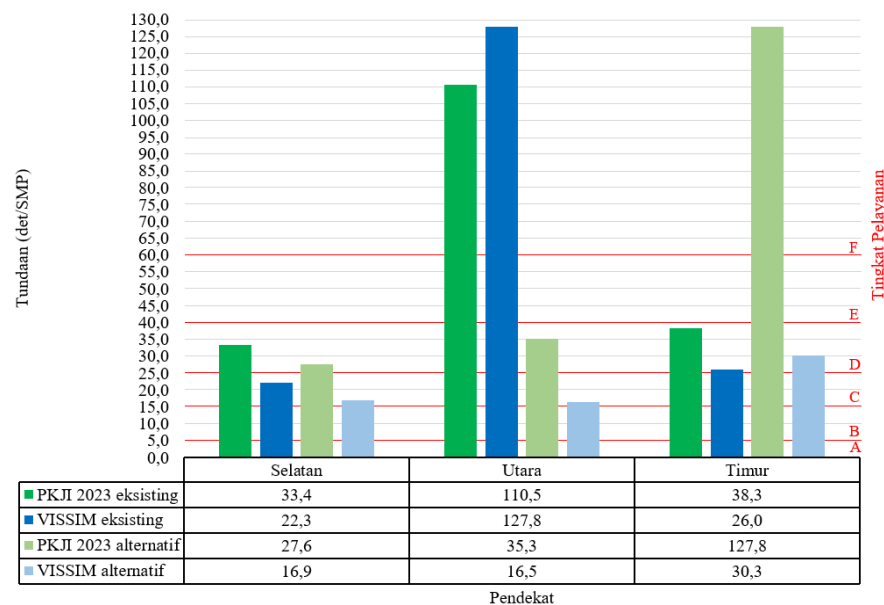
Berdasarkan hasil perbandingan kinerja seluruh alternatif pada Gambar 5.33 sampai Gambar 5.34, alternatif 5 merupakan alternatif solusi terbaik, sedangkan alternatif 4 dapat dipertimbangkan sebagai alternatif solusi cadangan untuk masa mendatang. Alternatif 5 dipilih sebagai alternatif solusi terbaik karena memiliki lebih banyak parameter kinerja yang unggul dibandingkan dengan alternatif lainnya. Alternatif 5 memiliki rata-rata panjang antrean terendah dengan P_A adalah 115 m berdasarkan PKJI 2023 dan 74 m berdasarkan VISSIM, tundaan pada alternatif 5 juga merupakan yang terendah, yaitu sebesar 39 det/SMP berdasarkan

PKJI 2023 dengan tingkat pelayanan D , dan sebesar 18 det/SMP berdasarkan VISSIM dengan tingkat pelayanan C . Derajat kejenuhan alternatif 5 adalah 0,823, masih memenuhi kriteria yang ditetapkan pada PKJI 2023 yaitu $D_j \leq 0,85$. Namun, nilai D_j alternatif 5 yang mendekati batas kriteria tersebut menyebabkan umur alternatif menjadi pendek. Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan umur alternatif dan keseluruhan parameter kinerja, alternatif 4 dengan D_j sebesar 0,775, dapat dipertimbangkan sebagai solusi yang lebih layak untuk digunakan pada tahun-tahun mendatang setelah alternatif 5 tidak lagi relevan. Perubahan karakteristik yang dilakukan pada alternatif 5 yaitu perubahan fase 3 pada pendekat Utara arah belok kanan menjadi waktu hijau, perubahan waktu siklus (s) sesuai rekomendasi PKJI 2023 dengan durasi 90 detik, dan melakukan penyesuaian kembali waktu hijau (W_{Hi}) sesuai perhitungan PKJI 2023.

Secara keseluruhan, kinerja simpang dari kondisi eksisting ke alternatif 5 mengalami peningkatan. Pada pendekat Timur, panjang antrean dan tundaan mengalami penurunan kinerja, menurunnya kinerja khususnya pada metode PKJI 2023 bisa disebabkan oleh berkurangnya waktu siklus simpang (s) dari 103 detik pada eksisting menjadi 90 detik pada alternatif 5 serta dilakukannya penyesuaian waktu hijau simpang (W_{Hi}), waktu hijau pada pendekat Timur berkurang dari 24 detik pada eksisting menjadi 11 detik pada alternatif 5. Dengan perubahan karakteristik atau pengaturan lalu lintas simpang tersebut, dapat mempengaruhi parameter perhitungan kinerja pada PKJI 2023. Parameter yang paling terpengaruh adalah N_{q1} , dengan berubahnya D_j pendekat Timur menjadi $> 0,5$, membuat $N_{q1} \neq 0$ dan harus dicari menggunakan rumus yang telah ditentukan, sehingga, dari nilai N_{q1} yang sebelumnya adalah 0 SMP pada eksisting menjadi 6 SMP pada alternatif 5. Perbandingan P_A dan T eksisting dan alternatif terbaik dapat dilihat pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 berikut ini.



Gambar 5.36 Panjang Antrean Kondisi Eksisting dan Alternatif



Gambar 5.37 Tundaan Kondisi Eksisting dan Alternatif

Evaluasi kinerja Simpang Borobudur Plaza Kota Yogyakarta masih bisa dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat melebihi tingkat pelayanan minimal yang telah ditetapkan pada Peraturan Menteri Perhubungan 2015. Evaluasi berikutnya dapat mengusulkan alternatif solusi yang lebih efektif yang dalam perbaikannya perlu mempertimbangkan biaya pembangunan, seperti menambah dimensi geometri jalan. Contohnya, pada penelitian Rahmayuda dkk (2024),

alternatif yang mengusulkan perubahan geometri jalan pada solusinya merupakan alternatif solusi terbaik dibandingkan dengan 2 alternatif lainnya yang hanya mengubah pengaturan lalu lintas.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

6.1.1 Hasil Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Borobudur Plaza

Berdasarkan PKJI 2023, Derajat kejenuhan (D_j) masing-masing pendekat adalah 0,880 untuk pendekat Selatan, 1,351 untuk pendekat Utara, dan 0,475 untuk pendekat Timur. Panjang antrean (P_A) di setiap pendekat adalah 162 m untuk pendekat Selatan, 203 m untuk pendekat Utara, dan 57 m untuk pendekat Timur. Tundaan rata-rata (T) masing-masing pendekat adalah 33,4 det/SMP untuk pendekat Selatan, 106,3 det/SMP untuk pendekat Utara, dan 38,4 det/SMP untuk pendekat Timur. Tingkat pelayanan adalah F.

Berdasarkan pemodelan VISSIM, Panjang antrean (P_A) di setiap pendekat adalah 119 m untuk pendekat Selatan, 272 m untuk pendekat Utara, dan 52 m untuk pendekat Timur. Tundaan rata-rata (T) masing-masing pendekat adalah 22,3 det/SMP untuk pendekat Selatan, 127,8 det/SMP untuk pendekat Utara, dan 26,0 det/SMP untuk pendekat Timur. Tingkat pelayanan adalah F.

6.1.2 Alternatif Solusi Terbaik

Alternatif solusi terbaik adalah alternatif 5 dengan melakukan perubahan karakteristik atau pengaturan lalu lintas yaitu perubahan fase 3 pada pendekat Utara arah belok kanan menjadi waktu hijau, perubahan waktu siklus (s) sesuai rekomendasi PKJI 2023 dengan durasi 90 detik, dan melakukan penyesuaian kembali waktu hijau (W_{Hi}) sesuai perhitungan PKJI 2023. Hasil kinerja alternatif solusi terbaik berdasarkan pemodelan VISSIM menunjukkan Panjang antrean (P_A) di setiap pendekat, yaitu 94 m untuk pendekat Selatan, 76 m untuk pendekat Utara, dan 51 m untuk pendekat Timur. Tundaan rata-rata (T) di setiap pendekat, yaitu 17 det/SMP untuk pendekat Selatan, 16 det/SMP untuk pendekat Utara, dan 30 det/SMP untuk pendekat Timur. Tingkat pelayanan adalah C. Namun, dengan D_j adalah 0,823, alternatif 5 memiliki umur lebih pendek dibandingkan alternatif

4 dengan D_j sebesar 0,775, sehingga untuk beberapa tahun kedepan, alternatif 4 bisa menjadi alternatif solusi selanjutnya dengan D_j yang lebih rendah dan umur lebih panjang.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja simpang menggunakan PKJI 2023 dan pemodelan VISSIM, terdapat saran dan masukan yang diharapkan menjadi pertimbangan agar kinerja simpang lebih optimal antara lain seperti berikut.

1. Melakukan survei panjang antrean untuk meningkatkan akurasi pemodelan simpang pada VISSIM.
2. Melakukan pengamatan kuantitatif dalam survei hambatan samping dengan menghitung frekuensi setiap jenis hambatan sesuai pedoman PKJI 2023 untuk kapasitas jalan luar kota, sehingga nilai hambatan samping yang diperoleh lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmajaya, A.B., Hidayat, D.W., Suartawan, P.E., dan Bawa, K.A. 2024. Evaluasi Efektifitas Pengaturan Sinyal pada Simpang 5 Balapan untuk Meningkatkan Kinerja Simpang dengan Pendekatan PKJI 2023 dan VISSIM. *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan*. Vol.2 No.10:90–100. Tegal.
- Dinas Perhubungan DIY, 2022. *Transportasi Dalam Angka 2022*. Dinas Perhubungan DIY. Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Penerbit Bina Marga. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023. *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Penerbit Bina Marga. Jakarta.
- Google Maps, 2023. Jalan Wolter Monginsidi, Kec. Tegalrejo, Kota Yogyakarta. (<https://maps.app.goo.gl/7JTE5uHQa2BBXYSK7>. Diakses 5 November 2023).
- Google Maps, 2024. Jalan Wolter Monginsidi, Kec. Tegalrejo, Kota Yogyakarta. (<https://maps.app.goo.gl/7JTE5uHQa2BBXYSK7>. Diakses 6 September 2024).
- Gustavsson, F. N. 2008. *New Transportation Research Progress*. Nova Science Publishers, Inc. New York.
- Kementerian Perhubungan, 2015. *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen Lalu Lintas*. Kementerian Perhubungan. Jakarta.
- Kucera, T. 2021. Design of the City Logistics Simulation Model Using PTV VISSIM Software. *International Scientific Conference “Horizons of Railway Transport 2020”*. Gasparik, J., Zitricky, V., and Bartuska, L. (editor). Elsevier. Slovakia. 20–21 April:258–265 (Vol.53).
- Lailiyah, H. 2024. Evaluasi Simpang Tiga Bersinyal Menggunakan PKJI 2023 pada Jalan Irian Jaya–Raya Mojowarno–Ngoro Jombang Kabupaten

- Jombang. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi*. Vol.5 No.1:110–115. Malang.
- Ni, D. 2020. *Signalized Intersections: Fundamentals to Advanced Systems*. The Springer. Switzerland.
- Nugroho, U. 2020. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Bantuan Perangkat Lunak VISSIM Student Version. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.16 NO.1:1–133. Semarang.
- Prameswari, N.P. 2024. Studi Kelayakan Lalu Lintas Perbaikan Simpang Jalan Raya Pilang–Jalan Raya Banar Pilang Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi*. Vol.5 No.2:33–39. Malang.
- Purnama, B.A., Jannah, A.N., dan Prayitno, P.A. 2023. Evaluasi dan Peningkatan Kinerja Simpang Bersinyal Deggung Sleman. *Proceeding The 4th Civil Engineering Research Forum (The 4th CE ReForm) Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia*. Yogyakarta. 15 Februari:357-368.
- Rahman, M.F., Jannah, A.N., dan Rahmayuda, H. 2023. Evaluasi dan Rekayasa Peningkatan Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kamdanen Kota Yogyakarta. *Proceeding The 5th Civil Engineering Research Forum (The 5th CE ReForm) Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia*. Yogyakarta. 18 Juli:225-234.
- Rahmayuda, H., Jannah, A.N., dan Prayitno, P.A. 2024. Analisis Kinerja Simpang dan Pemodelan Simpang untuk Meningkatkan Kinerja Simpang Bersinyal Jukteng Wetan Yogyakarta. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.13 No.1:86–94. Banda Aceh.
- Ratag, D.E.K., Kumaat, M., dan Rompis, S.Y.R. 2022. Optimalisasi Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM. *TEKNO*. Vol.20 No.82:917–926. Manado.
- Romadhona, P.J. dan Fauzi, R.I. 2018. Analisis Dampak Gang Pada Putaran Balik Terhadap Kinerja Ruas Jalan Raya Affandi Yogyakarta. *Jurnal Teknologi Rekayasa*. Vol.3 No.1:29–38. Yogyakarta.

- Romadhona, P.J., Ikhsan, T.N., dan Prasetyo, D. 2019. *Aplikasi Pemodelan Lalu Lintas: PTV VISSIM 9.0 (Modelling Basic Using Microscopic Traffic Flow Simulation)*. UII Press Yogyakarta. Yogyakarta.
- Romadhona, P.J. dan Wisnumurti, R. 2019. Dampak Penutupan Perlintasan Kereta Api Lempuyangan Terhadap Ruas Jalan di Sekitarnya. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.19 No.1:1–7. Yogyakarta.
- Saputra, P.A.E. 2024. Analisa Efektivitas Lampu Lalu Lintas Persimpangan Jalan Soekarno-Hatta Jalan Durian–Jalan Singungung, *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality*. Vol.8 No.1:1–9. Medan.
- Walikota Yogyakarta, 2021. *Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor: 2 Tahun 2021 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Yogyakarta Tahun 2021–2041*. Walikota Yogyakarta. Yogyakarta.
- Wardani, L.K., Mokhtar, A., Taufikurrahman, dan Saputro, S.A. 2023. Analisis Level of Service Simpang APILL 3-kaki Jembatan Soekarno-Hatta Kota Malang dengan PKJI 2023. *Jurnal Program Studi Persatuan Insinyur Indonesia*. Vol.3 No.2:308–315. Malang.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Volume Lalu Lintas

Lokasi: Simpang Borobudur Plaza								
Lengan: Selatan								
Hari/Tanggal: Senin/10 Juni 2024								
Waktu	ARAH LALU LINTAS							
	Lurus				Belok Kanan			
	TIPE KENDARAAN							
	SM	MP	KS	KTB	SM	MP	KS	KTB
PAGI								
6.30-6.45	502	104	3	4	177	40	2	4
6.45-7.00	680	147	1	3	289	55	0	3
7.00-7.15	682	140	1	2	234	60	2	2
7.15-7.30	641	128	1	8	210	60	1	8
7.30-7.45	914	123	1	2	225	68	1	2
7.45-8.00	787	136	9	3	205	65	2	3
8.00-8.15	632	132	3	2	195	67	0	2
8.15-8.30	545	126	1	0	157	60	1	0
8.30-8.45	498	143	4	0	148	51	2	0
8.45-9.00	490	170	0	2	160	66	2	2
SIANG								
11.00-11.15	438	163	1	3	118	57	1	2
11.15-11.30	427	163	2	1	128	47	2	1
11.30-11.45	382	187	2	1	126	56	0	1
11.45-12.00	411	217	2	2	115	55	0	2
12.00-12.15	412	211	3	3	141	46	1	0
12.15-12.30	399	189	0	4	116	51	1	0
12.30-12.45	398	191	1	1	122	74	1	1
12.45-13.00	427	188	2	1	139	66	0	0
SORE								
15.30-15.45	560	198	2	1	136	64	0	1
15.45-16.00	524	196	1	1	143	50	1	0
16.00-16.15	684	170	2	3	120	48	1	1
16.15-16.30	723	166	1	4	149	48	1	0
16.30-16.45	566	191	1	0	118	31	1	0
16.45-17.00	577	160	0	0	114	52	1	0
17.00-17.15	649	185	1	1	144	50	1	0
17.15-17.30	574	163	1	0	102	31	0	0
17.30-17.45	508	159	3	0	104	31	0	0
17.45-18.00	437	136	6	2	95	41	1	0

Lokasi: Simpang Borobudur Plaza								
Lengan: Utara								
Hari/Tanggal: Senin/10 Juni 2024								
Waktu	ARAH LALU LINTAS							
	Belok Kiri				Lurus			
	TIPE KENDARAAN							
	SM	MP	KS	KTb	SM	MP	KS	KTb
PAGI								
6.30-6.45	120	17	0	1	768	145	1	3
6.45-7.00	198	19	0	2	767	150	1	7
7.00-7.15	118	33	1	1	770	152	0	7
7.15-7.30	134	29	0	0	860	153	1	5
7.30-7.45	110	25	1	0	863	145	0	5
7.45-8.00	130	32	1	0	823	151	1	3
8.00-8.15	84	30	0	0	679	132	3	1
8.15-8.30	87	24	1	3	520	140	1	4
8.30-8.45	110	27	0	2	546	155	0	2
8.45-9.00	109	22	0	0	495	138	3	3
SIANG								
11.00-11.15	96	41	0	2	393	145	2	0
11.15-11.30	63	24	0	0	395	183	1	0
11.30-11.45	77	34	0	1	376	162	4	0
11.45-12.00	65	44	0	1	387	166	0	3
12.00-12.15	109	24	0	0	425	181	1	3
12.15-12.30	75	36	0	1	377	168	2	1
12.30-12.45	78	21	1	0	306	161	3	0
12.45-13.00	83	26	0	0	328	189	2	3
SORE								
15.30-15.45	104	30	1	2	475	146	3	2
15.45-16.00	93	27	0	2	500	162	1	2
16.00-16.15	88	23	0	0	482	104	0	2
16.15-16.30	103	26	0	0	597	152	0	2
16.30-16.45	67	29	1	1	488	119	4	0
16.45-17.00	76	23	0	2	519	117	1	2
17.00-17.15	81	17	0	1	541	87	2	1
17.15-17.30	89	17	0	0	526	122	1	1
17.30-17.45	71	15	1	1	392	84	3	2
17.45-18.00	63	19	0	2	413	131	2	3

Lokasi: Simpang Borobudur Plaza								
Lengan: Timur								
Hari/Tanggal: Senin/10 Juni 2024								
Waktu	ARAH LALU LINTAS							
	Belok Kiri				Belok Kanan			
	TIPE KENDARAAN							
	SM	MP	KS	KTB	SM	MP	KS	KTB
PAGI								
6.30-6.45	47	6	0	1	77	12	0	1
6.45-7.00	94	8	0	0	133	15	0	0
7.00-7.15	75	14	0	0	105	14	1	0
7.15-7.30	57	12	0	1	92	25	0	0
7.30-7.45	33	11	0	0	102	13	0	1
7.45-8.00	35	25	0	0	112	25	1	1
8.00-8.15	46	10	0	0	67	19	1	0
8.15-8.30	37	8	0	1	95	32	0	1
8.30-8.45	41	17	0	2	87	34	0	0
8.45-9.00	78	26	1	0	109	28	1	3
SIANG								
11.00-11.15	33	15	0	1	93	46	0	1
11.15-11.30	45	23	0	1	102	42	1	0
11.30-11.45	62	21	0	0	98	36	0	0
11.45-12.00	42	24	0	1	98	33	1	2
12.00-12.15	52	32	0	1	111	33	1	1
12.15-12.30	50	16	0	0	107	26	0	1
12.30-12.45	56	16	0	0	98	34	1	1
12.45-13.00	49	25	0	0	120	53	0	1
SORE								
15.30-15.45	79	16	0	3	158	38	1	2
15.45-16.00	66	23	0	0	134	30	0	0
16.00-16.15	57	23	0	0	170	33	1	2
16.15-16.30	72	21	0	0	216	55	0	0
16.30-16.45	74	29	0	0	159	51	1	0
16.45-17.00	70	25	0	1	179	50	0	3
17.00-17.15	58	17	0	0	150	40	0	1
17.15-17.30	71	18	0	1	161	41	1	0
17.30-17.45	43	19	0	0	104	41	0	0
17.45-18.00	69	19	0	0	109	29	1	0

Lokasi: Simpang Borobudur Plaza								
Lengan: Selatan								
Hari/Tanggal: Sabtu/15 Juni 2024								
Waktu	ARAH LALU LINTAS							
	Lurus				Belok Kanan			
	TIPE KENDARAAN							
	SM	MP	KS	KTB	SM	MP	KS	KTB
PAGI								
6.30-6.45	352	71	1	10	121	39	2	10
6.45-7.00	409	75	1	7	117	53	1	7
7.00-7.15	441	93	0	3	138	34	1	3
7.15-7.30	509	106	4	6	120	36	1	6
7.30-7.45	646	122	3	7	145	40	2	7
7.45-8.00	591	144	3	3	147	36	0	3
8.00-8.15	648	152	1	2	167	38	1	2
8.15-8.30	593	163	2	4	153	41	1	4
8.30-8.45	588	159	2	3	147	39	0	3
8.45-9.00	618	157	1	2	154	44	1	2
SIANG								
11.00-11.15	382	187	3	1	91	68	1	0
11.15-11.30	403	194	2	2	97	63	0	0
11.30-11.45	438	219	2	1	89	52	2	0
11.45-12.00	427	205	4	0	107	69	0	0
12.00-12.15	409	196	1	3	93	57	0	7
12.15-12.30	466	220	3	2	97	60	1	1
12.30-12.45	429	198	1	1	92	54	2	2
12.45-13.00	428	198	0	1	109	65	1	1
SORE								
15.30-15.45	483	181	1	0	124	53	2	0
15.45-16.00	537	203	1	1	94	48	1	0
16.00-16.15	574	181	1	1	134	72	0	0
16.15-16.30	583	157	0	0	150	59	2	3
16.30-16.45	563	161	3	0	88	34	1	1
16.45-17.00	559	180	1	3	120	51	0	0
17.00-17.15	536	181	1	2	111	34	0	0
17.15-17.30	455	127	2	1	119	42	1	0
17.30-17.45	378	148	5	1	66	38	2	1
17.45-18.00	332	131	5	1	85	32	1	1

Lokasi: Simpang Borobudur Plaza								
Lengan: Utara								
Hari/Tanggal: Sabtu/15 Juni 2024								
Waktu	ARAH LALU LINTAS							
	Belok Kiri				Lurus			
	TIPE KENDARAAN							
	SM	MP	KS	KTB	SM	MP	KS	KTB
PAGI								
6.30-6.45	56	10	0	0	406	65	1	11
6.45-7.00	53	17	1	0	454	103	0	9
7.00-7.15	69	14	0	2	431	87	3	4
7.15-7.30	72	9	0	0	530	110	0	3
7.30-7.45	90	24	1	1	573	102	6	6
7.45-8.00	70	24	0	2	580	110	1	2
8.00-8.15	65	28	0	2	469	129	2	1
8.15-8.30	60	35	0	0	517	163	0	2
8.30-8.45	76	32	1	1	492	147	1	1
8.45-9.00	73	27	0	0	350	139	0	1
SIANG								
11.00-11.15	66	30	0	1	412	179	1	1
11.15-11.30	57	21	0	2	375	178	0	0
11.30-11.45	57	28	1	1	384	167	5	3
11.45-12.00	63	39	0	1	360	185	2	1
12.00-12.15	71	33	0	0	384	169	0	2
12.15-12.30	64	28	0	0	379	130	2	3
12.30-12.45	85	34	0	1	431	167	3	2
12.45-13.00	94	38	1	1	399	174	3	2
SORE								
15.30-15.45	110	37	0	2	509	159	2	2
15.45-16.00	72	35	0	4	457	148	2	9
16.00-16.15	111	26	0	1	491	167	1	3
16.15-16.30	76	39	0	0	405	135	3	3
16.30-16.45	78	30	2	0	473	144	2	0
16.45-17.00	96	42	0	2	533	143	4	3
17.00-17.15	91	23	0	0	491	150	0	1
17.15-17.30	74	31	0	0	403	157	3	0
17.30-17.45	76	20	0	1	380	146	2	3
17.45-18.00	47	29	1	1	384	109	1	1

Lokasi: Simpang Borobudur Plaza								
Lengan: Timur								
Hari/Tanggal: Sabtu/15 Juni 2024								
Waktu	ARAH LALU LINTAS							
	Belok Kiri				Belok Kanan			
	TIPE KENDARAAN							
	SM	MP	KS	KTb	SM	MP	KS	KTb
PAGI								
6.30-6.45	17	5	0	1	37	9	0	0
6.45-7.00	31	7	0	0	51	13	0	2
7.00-7.15	34	15	0	2	59	20	1	0
7.15-7.30	40	10	0	1	55	8	0	0
7.30-7.45	31	11	0	0	70	12	1	2
7.45-8.00	38	14	0	0	92	15	1	2
8.00-8.15	47	23	0	0	51	15	0	0
8.15-8.30	34	15	0	0	69	27	1	0
8.30-8.45	34	19	0	0	65	19	1	0
8.45-9.00	67	13	0	0	68	27	0	1
SIANG								
11.00-11.15	50	23	0	2	84	36	0	0
11.15-11.30	59	23	0	0	83	25	1	1
11.30-11.45	39	31	0	0	71	39	0	0
11.45-12.00	51	21	0	0	93	46	1	1
12.00-12.15	48	34	0	2	98	37	1	0
12.15-12.30	53	16	0	0	92	36	0	0
12.30-12.45	58	19	0	0	112	37	0	1
12.45-13.00	50	18	0	0	100	21	1	0
SORE								
15.30-15.45	52	21	0	1	106	28	1	0
15.45-16.00	57	13	0	0	116	38	0	1
16.00-16.15	65	22	0	1	132	48	1	0
16.15-16.30	66	20	0	1	119	36	0	1
16.30-16.45	52	13	0	0	111	35	0	1
16.45-17.00	43	11	0	0	130	30	0	0
17.00-17.15	50	18	0	1	83	29	0	0
17.15-17.30	35	15	0	0	107	28	2	0
17.30-17.45	34	15	0	1	86	26	0	1
17.45-18.00	50	23	0	0	109	33	0	3

Lampiran 2 Data *Driving Behaviour* pada Jam Puncak

Lokasi: Simpang Borobudur Plaza				
Hari/Tanggal: Senin/10 Juni 2024				
Waktu: Pagi				
Lengan: Selatan				
No	Depan - Belakang saat Berhenti	Sejajar saat Berhenti	Depan - Belakang saat Bergerak	Sejajar saat Bergerak
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	120	150	250	150
2	60	67	120	70
3	74	70	120	70
4	108	80	210	80
5	40	35	90	40
6	43	50	85	60
7	133	84	185	90
8	65	43	75	50
9	153	60	270	60
10	46	57	80	60
Waktu: Pagi				
Lengan: Utara				
1	30	70	150	100
2	50	60	200	125
3	150	50	170	80
4	170	70	125	90
5	125	40	220	70
6	160	40	300	75
7	30	50	200	90
8	70	80	175	75
9	40	75	90	125
10	100	35	100	75
Waktu: Pagi				
Lengan: Timur				
1	50	-	140	-
2	40	-	90	-
3	100	-	150	-
4	40	-	90	-
5	60	-	100	-
6	110	-	140	-
7	60	-	120	-
8	140	-	180	-
9	140	-	140	-
10	70	-	130	-

Lampiran 3 Data Kecepatan pada Jam Puncak

Lokasi: Simpang Borobudur Plaza														
Hari/Tanggal: Senin/10 Juni 2024														
Waktu: Pagi														
Lengan: Selatan														
SM (sepeda motor)					MP (mobil penumpang)					KS (kendaraan sedang)				
No.	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan	Kecepatan	No.	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan	Kecepatan	No.	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan	Kecepatan
	(m)	(det)	(m/det)	(km/jam)		(m)	(det)	(m/det)	(km/jam)		(m)	(det)	(m/det)	(km/jam)
1	20	2,019	10	36	1	20	2,03	10	35	1	20	1,074	19	67
2		1,075	19	67	2		3,023	7	24	2		2,017	10	36
3		2,035	10	35	3		2,037	10	35	3		4,078	5	18
4		2,07	10	35	4		2,042	10	35	4		3,046	7	24
5		1,099	18	66	5		2	10	36	5		6,034	3	12
6		1,07	19	67	6		2,042	10	35					
7		1,091	18	66	7		3,051	7	24					
8		1,031	19	70	8		1,03	19	70					
9		1,06	19	68	9		2,056	10	35					
10		2,04	10	35	10		1,086	18	66					
11		1,063	19	68										
12		2,058	10	35										
13		1,062	19	68										
14		2,046	10	35										
15		1,059	19	68										
16		1,081	19	67										
17		3,017	7	24										
18		2,024	10	36										
19		1,085	18	66										
20		2,028	10	36										

Lokasi: Simpang Borobudur Plaza														
Hari/Tanggal: Senin/10 Juni 2024														
Waktu: Pagi														
Lengan: Utara														
SM (sepeda motor)					MP (mobil penumpang)					KS (kendaraan sedang)				
No.	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan	Kecepatan	No.	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan	Kecepatan	No.	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan	Kecepatan
	(m)	(det)	(m/det)	(km/jam)		(m)	(det)	(m/det)	(km/jam)		(m)	(det)	(m/det)	(km/jam)
1	20	1,083	18	66	1	20	2,047	10	35	1	20	2,075	10	35
2		2,098	10	34	2		2,054	10	35	2		3,032	7	24
3		2,016	10	36	3		2,01	10	36	3		2	10	36
4		1,095	18	66	4		2,019	10	36	4		2,042	10	35
5		1,025	20	70	5		2,077	10	35	5		2,053	10	35
6		1,075	19	67	6		2,5	8	29					
7		1,023	20	70	7		2,04	10	35					
8		2,061	10	35	8		2,76	7	26					
9		2	10	36	9		2,025	10	36					
10		1,062	19	68	10		2,025	10	36					
11		2,072	10	35										
12		2,033	10	35										
13		1,069	19	67										
14		2,047	10	35										
15		1,078	19	67										
16		2,014	10	36										
17		1,089	18	66										
18		1,067	19	67										
19		1,056	19	68										
20		2,02	10	36										

Lokasi: Simpang Borobudur Plaza														
Hari/Tanggal: Senin/10 Juni 2024														
Waktu: Pagi														
Lengan: Timur														
SM (sepeda motor)					MP (mobil penumpang)					KS (kendaraan sedang)				
No.	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan	Kecepatan	No.	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan	Kecepatan	No.	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan	Kecepatan
	(m)	(det)	(m/det)	(km/jam)		(m)	(det)	(m/det)	(km/jam)		(m)	(det)	(m/det)	(km/jam)
1	20	1,094	18	66	1	20	1,087	18	66	1	20	-	-	-
2		1,066	19	68	2		1,097	18	66	2		-	-	-
3		2,041	10	35	3		1,093	18	66	3		-	-	-
4		1,015	20	71	4		1,061	19	68	4		-	-	-
5		2	10	36	5		1,034	19	70	5		-	-	-
6		1,074	19	67	6		1,061	19	68					
7		1,05	19	69	7		2,081	10	35					
8		2	10	36	8		1,035	19	70					
9		1,088	18	66	9		1,073	19	67					
10		1,087	18	66	10		1,068	19	67					
11		1,088	18	66										
12		1,023	20	70										
13		1,022	20	70										
14		1,074	19	67										
15		1,094	18	66										
16		1,038	19	69										
17		1,081	19	67										
18		1,094	18	66										
19		1,067	19	67										
20		1,015	20	71										

Lampiran 4 *Time Schedule* Pengerjaan TA

Uraian Kegiatan	Jam Kerja (Jam)	Juni			Juli				Agustus				September
		2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
Pengumpulan Data													
Data Primer	66	22	11	11	11	11							
Analisis dan Pembahasan													
Analisis Data	30						15	15					
Pemodelan dan Optimalisasi Simpang	40								20	20			
Penyelesaian													
Penyusunan Laporan TA	45										15	15	15
Jumlah Total	181												
Rencana Mingguan (Jam)		22	11	11	11	11	15	15	20	20	15	15	15
Jam Kerja Kumulatif (Jam)		22	33	44	55	66	81	96	116	136	151	166	181