

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA DAN BIAYA KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA SIMPANG EMPAT BERSINYAL KAMDANEN KOTA YOGYAKARTA (*PERFORMANCE AND FUEL CONSUMPTION COST ANALYSIS AT THE KAMDANEN SIGNALIZED FOUR- LEGGED INTERSECTION IN YOGYAKARTA CITY*)

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



SYAWQY AL HAQ MOHAMMAD MUIZ

20511421

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

PROGRAM SARJANA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA DAN BIAYA KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA SIMPANG EMPAT BERSINYAL KAMDANEN KOTA YOGYAKARTA (*PERFORMANCE AND FUEL CONSUMPTION COST ANALYSIS AT THE KAMDANEN SIGNALIZED FOUR- LEGGED INTERSECTION IN YOGYAKARTA CITY*)

Disusun oleh

SYAWQY AL HAQ MOHAMMAD MUIZ

20511421

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

Diuji pada tanggal 5 November 2025

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

hul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

955110103

Penguji I

Dr.-Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.

NIK: 145110101

Penguji II

Pravogo Afang Pravitno, S.T., M.Sc.

NIK: 205111303

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

NIK : 095110101

18/11/2025

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta,

Yang membuat pernyataan, 5 November 2025



Syawqy Al Haq Mohammad Muiz

(20511421)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kinerja dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar pada Simpang Empat Bersinyal Kamdanan Kota Yogyakarta*. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Selawat serta salam senantiasa kita panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat, dan seluruh umat Islam yang setia mengikuti ajaran beliau hingga akhir zaman.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai tantangan dan kendala. Namun, berkat dukungan, arahan, serta kerja sama dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

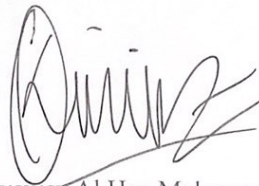
1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr.-Eng Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji. Terimakasih atas masukan yang sudah diberikan kepada penulis.
3. Ibu Ir. Yunalina Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Kepada Ir. Mohammad Ali Muiz M.M. M.Ba dan Siti muzaroah sebagai orang tua Penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, perhatian, serta doa yang tiada henti, dan yang telah membesarkan serta mendidik Penulis dengan penuh kasih sayang. Ucapan terima kasih yang tulus atas segala yang telah diberikan yang nilainya tak akan pernah tergantikan sepanjang hayat.
5. Kepada keluarga Bani Muiz yang telah memberikan dukungan, doa, dan rezeki kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan kuliah dan Tugas Akhir ini.
6. Terima kasih kepada Agnes Idaliani Putri S.Pd yang telah mendukung dan menyemangati saya dengan cara yang paling baik. Terima kasih atas setiap semangat, motivasi, doa, perhatian, dan waktu yang sudah diberikan.
7. Keluarga FOMO, Guntur Tri Widyanto, Reyhan Garneta Lana Andrea, Abrar Hibrizy, Geraldin Firyan Shandy, Ramadhika Gusti Permana, Nurrazzaq Barru

Fitradi, Shafa Anugerah, Arvien Dwi Rivaldy, Aryo Damar Hatuwe, M Aulia Abrar, Zierly Mauliya As-Shofa, Adisti Regita Pramesti, Amanda Alisya, Nabiilah Sari Anggraini sebagai teman seperjuangan penulis terima kasih sudah berjuang bersama dengan segala dramanya yang telah memberikan semangat dan kerjasama serta bantuan selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.

8. Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada kawan-kawan DPM FTSP 2023/2024, adik-adik tingkat Penulis selama kuliah dan kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas segala bentuk dukungan yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis tetap termotivasi dan tidak menyerah dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Yogyakarta, 5 November 2025

Penulis,



Syawqy Al Haq Mohammad Muiz
(20511421)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Tinjauan Umum	7
2.2. Studi Penelitian Kinerja Simpang Bersinyal	7
2.3. Perbandingan Penelitian Terdahulu	11
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1. Persimpangan	16
3.2. Jenis Persimpangan	17
3.3. Analisis Simpang Bersinyal	19
3.4. Kapasitas Simpang APILL	21

3.4.1 Tipe Pendekat	22
3.4.2 Lebar Pendekat Efektif	22
3.4.3 Arus Jenuh	24
3.5. Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL	32
3.5.1 Arus Lalu Lintas dan EMP	32
3.5.2 Derajat Kejenuhan	33
3.5.3 Panjang Antrean	34
3.5.5 Tundaan	35
3.5.6 Penilaian Kinerja	36
3.6. Penentuan Tingkat Pelayanan Simpang	37
3.7. <i>Software</i> PTV VISSIM	38
3.7.1 Validasi Data	39
3.8. Biaya Kerugian Akibat Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM)	41
3.8.1 Konsumsi BBM	41
3.8.2 Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM	43
BAB IV METODE PENELITIAN	44
4.1 Jenis Penelitian	44
4.2 Lokasi Penelitian	44
4.3 Metode Pengumpulan Data	45
4.3.1. Data Penelitian	45
4.3.2. Peralatan Penelitian	46
4.3.3. Waktu Penelitian	46
4.3.4. Survei Data Lalu Lintas	47
4.4 Metode Pemodelan PTV VISSIM	49
4.5 Analisis Data	57
4.6 Bagan Alir Penelitian	58
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	61
5.1. Data Hasil Penelitian	61

5.1.1 Data Geometri Simpang	61
5.1.2 Data Volume Kendaraan	62
5.1.3 Data Kecepatan Kendaraan	64
5.1.4 Data Perilaku Pengemudi	65
5.1.5 Data Panjang Antrean	66
5.1.6 Data Siklus Waktu Sinyal pada Simpang	66
5.1.7 Data Hambatan Samping	67
5.2. Data Sekunder	70
5.2.1 Denah Lokasi Simpang APILL	70
5.2.2 Jumlah Penduduk Kabupaten Sleman	70
5.3. Analisis Kinerja Eksisting Simpang Berdasarkan PKJI 2023	70
5.3.1 Analisis Volume Lalu Lintas	70
5.3.2 Analisis Lebar Pendekat Efektif	74
5.3.3 Analisis Arus Jenuh	74
5.3.4 Analisis Kapasitas	79
5.3.5 Analisis Derajat Kejenuhan	80
5.3.6 Analisis Perilaku Lalu Lintas	81
5.4. Analisis Kinerja Eksisting Simpang Menggunakan <i>Software</i> VISSIM	90
5.4.1 Hasil Pemodelan Sebelum Kalibrasi	90
5.4.2 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi	92
5.5. Analisis Kinerja untuk Alternatif Solusi Simpang	96
5.5.1 Analisis Kinerja Simpang untuk Alternatif 1	96
5.5.2 Analisis Kinerja Simpang untuk Alternatif 2	102
5.5.3 Analisis Kinerja Simpang untuk Alternatif 3	106
5.6. Analisis Kerugian Bahan Bakar Minyak	111
5.6.1 Analisis Perhitungan Kerugian BBM pada Kondisi Eksisting	111
5.6.2 Analisis Perhitungan Kerugian BBM Setelah Diberi Alternatif Solusi	125
5.7. Pembahasan	127

5.7.1 Pembahasan Kinerja Simpang pada Kondisi Eksisting	128
5.7.2 Pembahasan Biaya Kerugian Bahan Bakar Minyak pada Kondisi Eksisting	130
5.7.3 Perbandingan Kinerja Simpang Setelah Diberikan Alternatif Solusi	135
5.7.4 Perbandingan Kerugian Bahan Bakar Minyak (BBM) pada Kondisi Eksisting dan Setelah Alternatif Solusi	141
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	146
6.1 Kesimpulan	146
6.2 Saran	147
DAFTAR PUSTAKA	149
LAMPIRAN	152

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Tentang Kinerja Simpang Bersinyal	12
Tabel 3. 1 Nilai normal waktu antar hijau	21
Tabel 3. 2 Faktor Hambatan Samping (F_{HS})	25
Tabel 3. 3 Pembobotan Hambatan Samping	26
Tabel 3. 4 Kriteria Kelas Hambatan Samping	27
Tabel 3. 5 Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})	27
Tabel 3. 6 Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)	33
Tabel 3. 7 Klasifikasi Tundaan	37
Tabel 3. 8 Tingkat Pelayanan Sistem Jaringan Jalan Primer	37
Tabel 3. 9 Tingkat Pelayanan Sistem Jaringan Jalan Sekunder	38
Tabel 3. 10 Kesimpulan Hasil GEH	40
Tabel 3. 11 Kesimpulan Uji MAPE	41
Tabel 3. 12 Konsumsi Bahan Bakar Menurut ATIS	43
Tabel 5. 1 Data Geometri Simpang Kamdanen	62
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Volume Simpang Kamdanen	63
Tabel 5. 3 Data Kecepatan Kendaraan pada Simpang Kamdanen	65
Tabel 5. 4 Data Perilaku Pengemudi pada Simpang Kamdanen	66
Tabel 5. 5 Data Panjang Antrean pada Simpang Kamdanen	66
Tabel 5. 6 Waktu Siklus Simpang Kamdanen	67
Tabel 5. 7 Volume Lalu Lintas Simpang Kamdanen pada Kondisi Eksisting	72
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Arus Jenuh pada Kondisi Eksisting	78
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Perilaku Lalu Lintas Simpang Kamdanen pada Kondisi Eksisting	88
Tabel 5. 10 Hasil Pemodelan Menggunakan PTV VISSIM Parameter Volume Sebelum Kalibrasi	90

Tabel 5. 11 Hasil Pemodelan Menggunakan PTV VISSIM Parameter Panjang Antrean Sebelum Kalibrasi	91
Tabel 5. 12 Perubahan Komponen Driving Behaviour Setelah Kalibrasi	92
Tabel 5. 13 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi pada Parameter Volume	94
Tabel 5. 14 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi pada Parameter Panjang Antrean	94
Tabel 5. 15 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi pada Parameter Tundaan	95
Tabel 5. 16 Penentuan Waktu Hijau pada Alternatif Solusi 1	97
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (DJ)	99
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Analisis Simpang Berdasarkan PKJI Menggunakan PKJI 2023 Alternatif 1	100
Tabel 5. 19 Panjang Antrean Alternatif 1	100
Tabel 5. 20 Tundaan Alternatif 1	101
Tabel 5. 21 Tingkat Pelayanan Alternatif 1	101
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (DJ)	104
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Analisis Simpang Berdasarkan PKJI Menggunakan PKJI 2023 Alternatif 2	104
Tabel 5. 24 Panjang Antrean Alternatif 2	105
Tabel 5. 25 Tundaan Alternatif 2	106
Tabel 5. 26 Tingkat Pelayanan Simpang Alternatif 2	106
Tabel 5. 27 Waktu Siklus Alternatif 3	107
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan	108
Tabel 5. 29 Rekapitulasi Analisis Simpang Berdasarkan PKJI Menggunakan PKJI 2023 Alternatif 3	109
Tabel 5. 30 Panjang Antrean Alternatif 3	110
Tabel 5. 31 Tundaan Alternatif 3	110
Tabel 5. 32 Tingkat Pelayanan Alternatif 3	110
Tabel 5. 33 Rekapitulasi Kerugian BBM PKJI 2023 pada Kondisi Eksisting	124
Tabel 5. 34 Rekapitulasi Kerugian BBM PTV VISSIM pada Kondisi Eksisting	124
Tabel 5. 35 Rekapitulasi Kerugian BBM PKJI 2023	125
Tabel 5. 36 Rekapitulasi Kerugian BBM PTV VISSIM	125
Tabel 5. 37 Rekapitulasi Kerugian BBM PKJI 2023	126

Tabel 5. 38 Rekapitulasi Kerugian BBM PTV VISSIM	126
Tabel 5. 39 Rekapitulasi Kerugian BBM PKJI 2023	127
Tabel 5. 40 Rekapitulasi Kerugian BBM PTV VISSIM	127
Tabel 5. 41 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan dalam Kondisi Eksisting	128
Tabel 5. 42 Panjang Antrean dalam Kondisi Eksisting	129
Tabel 5. 43 Tundaan dalam Kondisi Eksisting	129
Tabel 5. 44 Kerugian Konsumsi BBM Berdasarkan PKJI pada Kondisi Eksisting	130
Tabel 5. 45 Kerugian Konsumsi BBM Berdasarkan PTV VISSIM pada Kondisi Eksisting	131
Tabel 5. 46 Perbandingan Derajat Kejenuhan	133
Tabel 5. 47 Persentase Perubahan Derajat Kejenuhan dengan Kondisi Eksisting	133
Tabel 5. 48 Perbandingan Panjang Antrean Menggunakan PTV VISSIM	134
Tabel 5. 49 Perbandingan Panjang Antrean Menggunakan PKJI 2023	135
Tabel 5. 50 Persentase Perubahan Panjang Antrean Menggunakan PTV VISSIM pada Kondisi Eksisting	135
Tabel 5. 51 Persentase Perubahan Panjang Antrean Menggunakan PKJI 2023 pada Kondisi Eksisting	135
Tabel 5. 52 Perbandingan Tundaan Menggunakan PTV VISSIM	137
Tabel 5. 53 Perbandingan Tundaan Menggunakan PKJI 2023	138
Tabel 5. 54 Persentase Perubahan Tundaan Rata-Rata dengan Kondisi Eksisting	138
Tabel 5. 55 Persentase Perubahan Tingkat Pelayanan Simpang dengan Kondisi Eksisting	140
Tabel 5. 56 Perbandingan Kerugian Konsumsi BBM Metode LAPI ITB Berdasarkan PTV VISSIM	142
Tabel 5. 57 Perbandingan Kerugian Konsumsi BBM Metode Lamsal Berdasarkan PTV VISSIM	142
Tabel 5. 58 Perbandingan Kerugian Konsumsi BBM Metode LAPI ITB Berdasarkan PKJI 2023	143
Tabel 5. 59 Perbandingan Kerugian Konsumsi BBM Metode Lamsal Berdasarkan PKJI 2023	143

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kondisi Lalu Lintas Simpang pada Lengan Utara	2
Gambar 1. 2 Kondisi Lalu Lintas Simpang pada Lengan Timur	2
Gambar 1. 3 Kondisi Lalu Lintas Simpang pada Lengan Selatan	3
Gambar 1. 4 Kondisi Lalu Lintas Simpang pada Lengan Timur	3
Gambar 3. 1 Gerakan-Gerakan Konflik Lalu Lintas pada Simpang	17
Gambar 3. 2 Jenis-Jenis Persimpangan Sebidang	18
Gambar 3. 3 Jenis-Jenis Persimpangan Tak Sebidang	19
Gambar 3. 4 Konflik Primer dan Konflik Sekunder	20
Gambar 3. 5 Urutan Waktu Menyala Isyarat pada Pengaturan APILL Dua Fase	21
Gambar 3. 6 Penentuan Tipe Pendekat	23
Gambar 3. 7 Lebar Pendekat dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas	24
Gambar 3. 8 Faktor Koreksi Kelandaian (F_G)	28
Gambar 3. 9 Faktor Koreksi untuk Pengaruh Parkir (F_P)	29
Gambar 3. 10 Faktor Koreksi untuk Belok Kanan (F_{Bka}) pada Pendekat Tipe P dengan Jalan Dua Arah dan L_E Ditentukan oleh L_M	30
Gambar 3. 11 Faktor Koreksi untuk Belok Kiri (F_{BKl}) untuk Pendekat Tipe P Tanpa B_{KlJT} dan L_E Ditentukan oleh L_M	31
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian	45
Gambar 4. 2 Pengaturan <i>Network Setting</i>	49
Gambar 4. 3 Pengaturan <i>Units</i> pada <i>Network Setting</i>	50
Gambar 4. 4 Input <i>Background Image</i>	50
Gambar 4. 5 Pengaturan Skala	51
Gambar 4. 6 Pengaturan <i>Link</i>	52
Gambar 4. 7 Pengaturan <i>Link Data</i>	52
Gambar 4. 8 <i>Connectors</i>	53
Gambar 4. 9 Setelan <i>Connector</i>	53

Gambar 4. 10 Pengaturan <i>Vehicle Inputs</i>	54
Gambar 4. 11 <i>Vehicle Compositions</i>	55
Gambar 4. 12 Bagan Alir Penelitian	60
Gambar 5. 1 Sketsa Geometri Simpang Kamdanen	61
Gambar 5. 2 Grafik Volume Lalu Lintas Jam Puncak Pagi (smp/jam)	63
Gambar 5. 3 Grafik Volume Lalu Lintas Jam Puncak Siang (smp/jam)	64
Gambar 5. 4 Grafik Volume Lalu Lintas Jam Puncak Sore (smp/jam)	64
Gambar 5. 5 Diagram Fase Simpang Kamdanen	67
Gambar 5. 6 Hambaran Samping Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara) pada Simpang Kamdanen	68
Gambar 5. 7 Hambatan Samping Jalan Kapten Haryadi (Timur) pada Simpang Kamdanen	68
Gambar 5. 8 Hambatan Samping Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan) pada Simpang Kamdanen	69
Gambar 5. 9 Hambatan Samping Jalan Gito Gati (Barat) pada Simpang Kamdanen	69
Gambar 5. 10 Distribusi Volume Lalu Lintas Simpang Kamdanen	71
Gambar 5. 11 Kondisi Setelah Kalibrasi	93
Gambar 5. 12 Kondisi Sebelum Kalibrasi	94
Gambar 5. 13 Diagram Waktu Siklus Simpang Kamdanen Alternatif 1	97
Gambar 5. 14 Diagram Perbandingan Kerugian Bahan Bakar Minyak pada Kondisi Eksisting	131
Gambar 5. 15 Perbandingan Derajat Kejenuhan	133
Gambar 5. 16 Diagram Perbandingan Panjang Antrean Menggunakan PTV VISSIM	136
Gambar 5. 17 Diagram Perbandingan Panjang Antrean Menggunakan PKJI 2023	136
Gambar 5. 18 Diagram Perbandingan Tundaan Menggunakan PTV VISSIM	138
Gambar 5. 19 Diagram Perbandingan Tundaan Menggunakan PKJI 2023	139
Gambar 5. 20 Diagram Perbandingan Kerugian Bahan Bakar Minyak	144

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 1 (06.00-08.00)	153
Lampiran 3 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 1 (06.00-08.00)	154
Lampiran 4 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 1 (06.00-08.00)	155
Lampiran 5 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 1 (06.00-08.00)	156
Lampiran 6 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 2 (11.00-13.00)	157
Lampiran 7 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 2 (11.00-13.00)	158
Lampiran 8 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 2 (11.00-13.00)	159
Lampiran 9 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 2 (11.00-13.00)	160
Lampiran 10 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 3 (16.00-18.00)	161
Lampiran 11 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 3 (16.00-18.00)	162
Lampiran 12 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 3 (16.00-18.00)	163
Lampiran 13 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 3 (16.00-18.00)	164
Lampiran 14 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 1 (06.00-08.00)	165
Lampiran 15 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 1 (06.00-08.00)	166
Lampiran 16 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 1 (06.00-08.00)	167
Lampiran 17 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 1 (06.00-08.00)	168
Lampiran 18 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 2 (11.00-13.00)	169
Lampiran 19 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 2 (11.00-13.00)	170
Lampiran 20 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 2 (11.00-13.00)	171
Lampiran 21 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 2 (11.00-13.00)	172
Lampiran 22 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 3 (16.00-18.00)	173
Lampiran 23 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 3 (16.00-18.00)	174
Lampiran 24 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 3 (16.00-18.00)	175
Lampiran 25 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 3 (16.00-18.00)	176
Lampiran 26 Formulir Panjang Antrean	177
Lampiran 27 Data Survei Kecepatan pada Simpang Kamdanen	178
Lampiran 28 Data Survei Kecepatan pada Simpang Kamdanen	179
Lampiran 29 Data Survei Kecepatan pada Simpang Kamdanen	180

Lampiran 30 Data Survei Kecepatan pada Simpang Kamdanen	181
Lampiran 31 Formulir Survei <i>Driving Behaviour</i>	182

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

APILL	=	Alat pemberi lampu isyarat
BBM	=	Bahan Bakar Minyak
C	=	Kapasitas simpang
C_0	=	Kapasitas dasar simpang
D_j	=	Derajat Kejenuhan
emp	=	Ekuivalensi mobil penumpang
F_{BKa}	=	Faktor koreksi rasio arus Belok kanan
F_{BKl}	=	Faktor koreksi rasio arus Belok kiri
F_G	=	Faktor koreksi kelandaian
F_{HS}	=	Faktor koreksi hambatan samping
F_P	=	Faktor koreksi parkir
F_{UK}	=	Faktor koreksi ukuran kota
GEH	=	Geoffrey E.Havers
J	=	Arus jenuh
J_0	=	Arus jenuh dasar
KS	=	Kendaraan Sedang
L	=	Lebar ruas pendekat awal
L_E	=	Lebar Efektif
L_K	=	Lebar keluar
L_M	=	Lebar masuk
LoS	=	<i>Level of Service</i>
m	=	meter
MAPE	=	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>

$M_{b,c}$	=	Konsumsi BBM kendaraan b yang berbahan bakar jenis c
MKJI 1997	=	Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997
MP	=	Mobil Penumpang
N	=	Jumlah Data
N_{KH}	=	Jumlah rata-rata kendaraan berhenti
N_q	=	Jumlah rata-rata antrean kendaraan
N_{q1}	=	Jumlah rata-rata antrean kendaraan yang tersisa dari hijau sebelumnya
N_{q2}	=	Jumlah rata-rata antrean kendaraan yang datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah
N_{qMax}	=	Jumlah rata-rata antrean kendaraan maksimum
P_A	=	Peluang antrian atau Panjang antrian
PKJI 2023	=	Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023
q	=	Arus lalu lintas
$Q_{b,c}$	=	Volume kendaraan b yang berbahan bakar jenis c
Q_{Total}	=	Total volume kendaraan
q_{LRS}	=	Arus lalu lintas lurus
q_{Bka}	=	Arus lalu lintas Belok kanan
q_{BKl}	=	Arus lalu lintas Belok kiri
R_F	=	Rasio Fase
R_{KH}	=	Rasio Kendaraan henti
R_p	=	Notasi untuk mata uang rupiah
$R_{q/J}$	=	Rasio arus terhadap arus jenuh
$R_{q/J \text{ Kritis}}$	=	Rasio arus yang tertinggi dari semua pendekat
s	=	Waktu siklus
SM	=	Sepeda Motor
smp	=	Satuan mobil penumpang
T	=	Tundaan

T_G	=	Tundaan Geometri
T_{LLi}	=	Tundaan lalu lintas
VISSIM	=	<i>Verkehr InStadtten Simulations Model</i>
W_{AH}	=	Waktu normal antar hijau
W_H	=	Total waktu hijau dalam satu siklus
W_K	=	Total waktu kuning dalam satu siklus
W_M	=	Total waktu merah dalam satu siklus
W_{MS}	=	Total waktu merah semua dalam satu siklus

ABSTRAK

Simpang Empat Bersinyal Kamdanen di Kota Yogyakarta merupakan simpul lalu lintas vital yang memiliki peran strategis. Namun, simpang ini sering mengalami tingkat pelayanan rendah akibat volume lalu lintas yang tinggi, yang ditandai dengan tundaan yang signifikan. Kinerja yang buruk ini secara langsung berkorelasi dengan pemborosan energi dan kerugian biaya operasional kendaraan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja Simpang Kamdanen pada kondisi eksisting, menghitung secara detail biaya kerugian konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) yang ditimbulkan oleh tundaan, serta mengevaluasi dan merekomendasikan skenario alternatif solusi yang paling efektif untuk meningkatkan tingkat pelayanan simpang.

Penelitian ini membandingkan hasil analisis kinerja menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan pemodelan mikroskopik berbasis simulasi menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Data primer dikumpulkan melalui survei volume lalu lintas dan kecepatan, yang kemudian dikonversi menjadi Satuan Mobil Penumpang (SMP). Perhitungan biaya kerugian konsumsi BBM akibat tundaan dilakukan dengan membandingkan dua metode, yakni metode LAPI-ITB dan metode Lamsal (ATIS-India), untuk mendapatkan hasil yang komprehensif. Beberapa skenario alternatif perbaikan, seperti pelebaran lajur dan pengaturan ulang waktu sinyal, kemudian diuji coba pada kedua model analisis.

Evaluasi skenario alternatif menghasilkan solusi optimal yang berbeda berdasarkan metode analisis. Skenario Alternatif 2 (penambahan lebar lajur lengan Utara 0,5 m) dinilai paling efektif menggunakan VISSIM, menghasilkan penurunan tundaan menjadi 216,01 det/kend (LOS F). Sementara itu, Skenario Alternatif 3 (pelebaran jalan lengan Utara 0,5 m dan penggunaan waktu siklus 115 detik) dinilai terbaik menggunakan PKJI 2023, menghasilkan penurunan tundaan signifikan menjadi 128,048 det/smp (LOS F) dan merupakan skenario yang paling efektif dalam menekan kerugian BBM, yaitu sebesar Rp948.572,94 (Metode LAPI-ITB), menunjukkan selisih penghematan sebesar Rp460.195,88 dibandingkan kondisi eksisting. Direkomendasikan untuk menerapkan skenario alternatif terbaik yang dianalisis menggunakan PKJI 2023 untuk mencapai perbaikan kinerja dan efisiensi biaya yang paling optimal.

Kata kunci: biaya bahan bakar, kinerja lalu lintas, PKJI 2023, PTV VISSIM, dan simpang bersinyal.

ABSTRACT

The Kamdanen Signalized Intersection in Yogyakarta City is a vital and strategically important traffic node. However, this intersection often experiences a low level of service due to high traffic volume, which is characterized by significant delays. This poor performance directly correlates with energy waste and vehicle operating cost losses. Therefore, this study aims to analyze the performance of the Kamdanen Intersection under existing conditions, calculate in detail the loss cost of Fuel Consumption (BBM) caused by delays, and evaluate and recommend the most effective alternative solution scenario to improve the intersection's level of service.

This study compares the results of performance analysis using the Indonesian Road Capacity Manual (PKJI) 2023 and microscopic simulation-based modeling using the PTV VISSIM software. Primary data was collected through traffic volume and speed surveys, which were then converted into Passenger Car Equivalents (PCE). The calculation of fuel consumption loss costs due to delays was carried out by comparing two methods, namely the LAPI-ITB method and the Lamsal (ATIS-India) method, to obtain comprehensive results. Several alternative improvement scenarios, such as lane widening and signal timing readjustment, were then tested on both analytical models.

The evaluation of alternative scenarios yielded different optimal solutions based on the analysis method. Alternative Scenario 2 (adding 0.5 m lane width to the North arm) was deemed most effective using VISSIM, resulting in a delay reduction to 216.01 sec/veh (LOS F). Meanwhile, Alternative Scenario 3 (widening the North arm by 0.5 m and using a 115-second cycle time) was deemed best using PKJI 2023, yielding a significant delay reduction to 128.048 sec/int (LOS F), and was the most effective scenario in suppressing fuel loss costs, totaling IDR 948,572.94 (LAPI-ITB Method), showing a cost-saving difference of IDR 460,195.88 compared to the existing condition. It is recommended to implement the best alternative scenario analyzed using PKJI 2023 to achieve the most optimal performance improvement and cost efficiency.

Keywords: fuel consumption cost, PKJI 2023, PTV VISSIM, signalized intersection, and traffic performance.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu kota yang dinamakan sebagai kota pelajar. Selain menjadi kota pelajar, Yogyakarta juga merupakan salah satu destinasi bagi para wisatawan karena kota Yogyakarta yang memiliki banyak tempat bersejarah dan destinasi alam atau yang menjadi ketertarikan wisatawan. Karena hal-hal tersebut, Kota Yogyakarta mengalami peningkatan jumlah penduduk dan peningkatan jumlah kendaraan bermotor.

Peningkatan jumlah kendaraan bisa disebut juga dengan peningkatan volume kendaraan yang berpengaruh pada kinerja lalu lintas. Kinerja lalu lintas akan menjadi kurang efektif apabila volume kendaraan meningkat dan melebihi dari kapasitas jalan yang sudah direncanakan. Jika hal tersebut terjadi maka akan menimbulkan permasalahan lalu lintas, seperti kemacetan, polusi udara, polusi suara, dan tundaan bagi pengguna jalan. Selain itu, para pengguna jalan juga akan mengalami kerugian dari segi waktu yang dibutuhkan untuk penempuhan jalan dan juga segi biaya operasional kendaraan yang bertambah karena terjadi kemacetan. Biasanya kemacetan atau tundaan banyak terjadi pada persimpangan jalan dengan adanya atau tidak adanya lampu APILL karena simpang merupakan pertemuan dari dua atau lebih ruas yang saling bertemu.

Salah satu simpang yang sering terjadi kemacetan adalah pada simpang Kamdanan Kota Yogyakarta. Jalan ini merupakan simpang empat yang menghubungkan antara Jalan Palagan dari arah Selatan menuju Utara dengan Jalan Gito Gati dari arah Barat dan Jalan Kapten Haryadi dari arah Timur. Simpang ini merupakan simpang bersinyal yang menggunakan alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL) dengan kepadatan yang terbilang tinggi. Sepanjang jalan dari tiap ruas banyak dilalui segala jenis pertokoan ataupun aktivitas perekonomian warga

setempat yang membuat kinerja simpang bersinyal menjadi kurang efektif. Seiring dengan pertambahan jumlah kendaraan dengan kapasitas simpang yang tidak mencukupi kebutuhan simpang APILL dan kinerja simpang APILL yang tidak memadai, hal ini mengakibatkan panjang antrean kendaraan pada simpang tersebut sehingga membuat derajat kejenuhan juga semakin buruk. Akibatnya waktu tundaan pada persimpangan tersebut menjadi lebih lama dari yang direncanakan. Pengaruh waktu tundaan juga berdampak pada kerugian konsumsi bahan bakar minyak (BBM) karena semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk melewati persimpangan semakin banyak juga konsumsi bahan bakar minyak yang terbuang. Kondisi eksisting pada saat jam-jam puncak dapat dilihat pada Gambar 1.1, Gambar 1.2, Gambar 1.3, dan Gambar 1.4.



Gambar 1. 1 Kondisi Lalu Lintas Simpang pada Lengan Utara



Gambar 1. 2 Kondisi Lalu Lintas Simpang pada Lengan Timur



Gambar 1. 3 Kondisi Lalu Lintas Simpang pada Lengan Selatan



Gambar 1. 4 Kondisi Lalu Lintas Simpang pada Lengan Timur

Dari permasalahan yang ada, diperlukan penelitian untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal tersebut. Penelitian dilakukan menggunakan PKJI 2023 dan aplikasi PTV VISSIM dan melakukan penghitungan tentang besaran konsumsi bahan bakar minyak (BBM) yang dihasilkan akibat tundaan pada simpang tersebut. Metode ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana kinerja ruas jalan dan apakah bisa dilakukan sebuah variasi untuk mengatasi permasalahan-permasalahan yang ada.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan ditinjau dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kinerja lalu lintas simpang bersinyal pada simpang Kamdanen Kota Yogyakarta?
2. Berapa banyak kerugian bahan bakar minyak (BBM) yang dialami oleh pengendara kendaraan bermotor akibat tundaan pada simpang Kamdanen Kota Yogyakarta?
3. Bagaimana solusi alternatif untuk mengatasi permasalahan pada Simpang Kamdanen Kota Yogyakarta dengan metode PKJI 2023 dan PTV VISSIM?
4. Bagaimana perbandingan biaya bahan bakar minyak yang dialami pengendaraan kendaraan bermotor pada kondisi eksisting dengan solusi alternatif yang ditawarkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengevaluasi kinerja lalu lintas simpang bersinyal pada simpang Kamdanen Kota Yogyakarta pada kondisi saat ini.
2. Mendapatkan nominal biaya kerugian bahan bakar minyak (BBM) kendaraan bermotor akibat tundaan pada simpang Kamdanen Kota Yogyakarta.
3. Mengusulkan solusi alternatif yang paling mungkin untuk diberlakukan pada simpang bersinyal Kamdanen Kota Yogyakarta menggunakan PKJI 2023 dan PTV VISSIM.
4. Mendapatkan perbandingan biaya bahan bakar minyak (BBM) yang didapatkan pada kondisi eksisting dan kondisi solusi alternatif yang ditawarkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini dapat memberikan manfaat berupa.

1. Memberikan solusi untuk meningkatkan kinerja simpang bersinyal Kamdanen Kota Yogyakarta dengan memberikan variasi yang bisa dilakukan untuk mengurangi terjadinya penumpukan pada simpang tersebut.
2. Memberikan gambaran kepada pihak terkait yang diharapkan bisa menjadi masukan untuk pembenahan lalu lintas dari segi biaya kerugian bahan bakar minyak (BBM).
3. Sebagai referensi kepada peneliti selanjutnya dalam penelitian yang sejenis di masa depan.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada simpang bersinyal Kamdanen Kota Yogyakarta.
2. Analisis yang dilakukan berdasarkan pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) Tahun 2023.
3. Pemodelan variasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM.
4. Analisis jumlah kerugian bahan bakar minyak (BBM) dan jumlah biaya akibat tundaan yang terjadi pada simpang.
5. Perhitungan konsumsi bahan bakar yang disebabkan karena tundaan mengacu pada metode LAPI-ITB tahun 2003 dan metode Lamsal (ATIS-India) tahun 2013
6. Penilaian kinerja simpang atau tingkat pelayanan (*Level of Service*) menggunakan Peraturan Kementerian Perhubungan Republik Indonesia no. 96 tahun 2015
7. Pengumpulan data hambatan samping didapatkan melalui observasi langsung pada lokasi simpang Kamdanen dan diklasifikasikan yang mengacu pada PKJI 2023
8. Pengambilan data dilakukan pada hari dengan karakteristik lalu lintas yang sibuk sebagai berikut.
 - a. Hari kerja pada hari Senin
 - b. Hari libur pada hari Minggu

9. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 sesi, yaitu sesi pagi pada pukul 06.00-08.00, sesi siang pada pukul 11.00-13.00, dan sesi sore pada pukul 16.00-18.00. Jam tersebut ditentukan berdasarkan observasi mandiri peneliti.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Peninjauan terhadap penelitian terdahulu berfungsi sebagai dasar yang kuat untuk melakukan sebuah penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Tinjauan pustaka dapat memberikan gambaran tentang metodologi yang pernah digunakan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Berdasarkan tinjauan pustaka, peneliti dapat melakukan penelitian dengan teori-teori dan temuan-temuan yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2023), kinerja lalu lintas menyatakan kualitas pelayanan suatu segmen jalan terhadap arus lalu lintas yang dilayaninya yang dinyatakan oleh nilai-nilai derajat kejenuhan dan kecepatan tempuh. Kualitas pelayanan jalan berkaitan dengan keinginan pengguna jalan untuk mencapai tujuan sehingga dapat digunakan untuk menilai kelayakan ekonomis dari segmen jalan yang bersangkutan. Salah satu pengaruh dari kinerja lalu lintas adalah adanya persimpangan. Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997), persimpangan adalah dua buah ruas jalan atau lebih yang saling bertemu, saling berpotongan atau bersilangan. Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997), simpang bersinyal adalah sebuah persimpangan yang menggunakan lampu lalu lintas untuk mengatur hak jalan bagi kendaraan dan pejalan kaki.

2.2. Studi Penelitian Kinerja Simpang Bersinyal

Penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan mengenai tingkat kinerja lalu lintas digunakan sebagai referensi untuk penelitian ini.

Nurlitasari (2023), dalam studi penelitian yang dilakukan pada sebuah simpang bersinyal yang berada di simpang Sisingamangaraja. Tujuan penelitiannya adalah untuk mengetahui kinerja simpang tersebut dengan menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (Bina Marga, 1997) dan untuk mencari alternatif lain yang bisa dilakukan menggunakan aplikasi perangkat lunak PTV VISSIM. Data

yang didapatkan menggunakan metode penelitian langsung ke lokasi dan mendapatkan data eksisting yang setelahnya dianalisis. Hasil yang didapatkan adalah Nilai derajat jenuh pada kondisi eksisting Simpang Sisimangaraja pada lengan timur sebesar 1,172 dan lengan barat sebesar 1,052 tidak memenuhi persyaratan MKJI 1997 yang seharusnya nilai derajat kejenuhannya 0,85. Sementara untuk lengan Selatan 0,78 dan memenuhi persyaratan MKJI 1997. Nilai tundaan berdasarkan MKJI 1997 pada lengan timur sebesar 348,591 detik/smp dengan tingkat pelayanan F, lengan barat sebesar 30,893 detik/smp dengan tingkat pelayanan D, sementara untuk lengan barat sebesar 151,943 detik/smp dengan tingkat pelayanan F. Lalu disimulasikan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM didapatkan nilai tundaan pada lengan timur sebesar 35,25 detik/smp dengan tingkat pelayanan D, lengan Selatan sebesar 20,88 detik/smp dengan tingkat pelayanan C, dan lengan barat sebesar 39,19 detik/smp dengan tingkat pelayanan D. Besar tundaan simpang berdasarkan MKJI 1997 didapatkan 218,535 detik/smp, sedangkan dengan menggunakan PTV VISSIM didapatkan sebesar 31,773 detik/smp.

Rahman (2024), dalam studi penelitian yang dilakukan penelitian tentang evaluasi kinerja simpang bersinyal pada Jalan Dongkelan, *ringroad* Selatan, Yogyakarta dikarenakan ruas jalan tersebut merupakan ruas jalan arteri primer. Hal yang ditinjau untuk penelitian ini adalah geometri simpang, kondisi lingkungan simpang, waktu siklus simpang dan fase sinyal, dan data volume lalu lintas. Dari data yang didapat dilakukan analisis berdasarkan MKJI 1997 dan pemodelan dengan perangkat lunak VISSIM. Hasil yang didapatkan adalah dengan menggunakan MKJI 1997, Simpang Dongkelan pada kondisi eksisting memiliki kinerja derajat kejenuhan (DS) untuk Jalan Bantul sebesar 0,897, Jalan Nasional III sebesar 0,910, Jalan Bantul sebesar 0,897, dan Jalan Nasional III sebesar 0,910. Dari hasil analisis simpang tersebut mendapatkan nilai tundaan simpang sebesar 89,178 det/smp dengan tingkat pelayanan F. Setelah dilakukan pemodelan dengan perangkat lunak VISSIM mendapatkan penurunan hasil nilai tundaan simpang yang paling baik sebesar 67,393 det/smp dan tetap mendapatkan tingkat pelayanan F.

Rahman (2023), dalam studi penelitian yang dilakukan evaluasi dan rekayasa peningkatan kinerja simpang empat bersinyal pada Kamdanen, Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan MKJI 1997 dan juga perangkat lunak VISSIM untuk melakukan analisis pada simpang tersebut. Berdasarkan analisis MKJI 1997, simpang tersebut memiliki waktu tundaan rata-rata sebesar 60,599 det/smp dan memiliki tingkat penilaian F. Dari hasil tersebut dilakukan pemodelan dengan perangkat lunak VISSIM dan dilakukan alternatif berupa pelebaran jalur sebesar 0,5 m di semua lengan dan waktu siklus sebesar 129 detik dengan waktu *all red* 2 detik dan *amber* selama 2 detik, serta nilai LTI sebesar 14 detik. Dari hasil tersebut didapatkan nilai tundaan rata-rata sebesar 40,235 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan D.

Firdaus (2024), dalam studi penelitian yang dilakukan pada simpang 4 Cebongan dan simpang 3 Taman Ringin Cebongan Kabupaten Sleman untuk mengetahui koordinasi antar simpang tersebut. Penelitian tersebut dilakukan secara pengamatan langsung dan dianalisis menggunakan PKJI 2023 serta dilakukan simulasi dengan perangkat lunak VISSIM. Berdasarkan data yang didapat, didapatkan hasil kinerja koordinasi antara dua simpang tersebut adalah nilai derajat kejenuhan pada simpang 4 Cebongan adalah sebesar 0,8 dan pada simpang 3 Taman Ringin Cebongan adalah sebesar 0,518. Nilai panjang antrean dan tundaan pada simpang 4 Cebongan lengan Utara sebesar 131,86 m dan 75,37 det/smp, lengan Timur sebesar 156,87 m dan 64,62 det/smp, lengan Selatan sebesar 126,39 m dan 68,54 det/smp, dan lengan Barat sebesar 198,32 m dan 70,78 det/smp. Sedangkan, Panjang antrean dan nilai tundaan pada simpang 3 Taman Ringin Cebongan pada di lengan Utara sebesar 33,64 m dan 102,24 det/smp, lengan Timur sebesar 170,23 m dan 46,96 det/smp, dan lengan Selatan sebesar 184,17 m dan 32,52 det/smp. Dari hasil tersebut dilakukan simulasi dengan perangkat lunak VISSIM dan didapatkan Solusi yang paling baik adalah dengan dilakukan waktu siklus 100 detik pada kedua simpang dengan 4 fase pada simpang 4 Cebongan dan 3 fase pada simpang 3 Taman Ringin Cebongan. Dari hasil tersebut didapatkan penurunan Panjang antrean dari 198,32 m menjadi 179,93 m.

Purnama (2023), dalam studi penelitian yang dilakukan untuk mengevaluasi dan mencari cara untuk meningkatkan kinerja simpang bersinyal di Deggung, Sleman. Penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada MKJI 1997 dan menggunakan perangkat lunak VISSIM untuk mencari alternatif solusi yang dapat dilakukan guna meningkatkan kinerja simpang tersebut. Dari data yang sudah didapat lalu dianalisis dengan mengacu pada MKJI dan didapatkan hasil waktu tundaan simpang Deggung pada kondisi eksisting sebesar 90,88 det/smp dengan tingkat pelayanan F. Hasil ini dilakukan *trial and error* pada perangkat lunak VISSIM dengan alternatif yang paling baik adalah alternatif Solusi 3, yaitu menggunakan 5 fase pada simpang tersebut dan menggunakan waktu siklus sebesar 153 detik. Dengan alternatif tersebut didapatkan tundaan simpang sebesar 59,08 det/smp dengan tingkat pelayanan E.

Fhadil (2019), dalam studi penelitian yang dilakukan penelitian tentang menganalisis simpang bersinyal dan dampak panjang antrian dan waktu tundaan terhadap konsumsi bahan bakar minyak pada simpang bersinyal UPN Yogyakarta. Penelitian ini mengacu pada MKJI 1997. Survei yang didapat di lapangan diolah dengan acuan MKJI 1997 dan didapatkan derajat kejenuhan sebesar 0,85 dan nilai tundaan rata-rata tiap lengan lebih dari 60 detik/smp yang mendapatkan nilai tingkat pelayanan F. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa pada jam puncak karena tundaan tersebut kendaraan yang berada pada simpang tersebut menggunakan 444,653 liter bahan bakar dengan total kerugian mencapai Rp3.173.725.

Ramzy (2024), dalam studi penelitian yang dilakukan untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal pada simpang Dieng Malang dengan mengacu pada PKJI 2023. Data yang dikumpulkan adalah data geometric, pengaturan lalu lintas, dan kondisi lingkungan simpang APILL. Dari survei yang telah dilakukan didapatkan hasil nilai tundaan pada jam puncak pagi hari sebesar 187,9 det/smp dan pada siang hari sebesar 85,7 det/smp, serta semua tingkat pelayanan F. Lalu, dilakukan alternatif Solusi yang dapat diberikan dengan hasil yang paling baik adalah dengan diberlakukan pelarangan belok kanan pada semua pendekat dan dilakukan perubahan menjadi 2 fase. Sehingga simpang tersebut mendapatkan nilai tundaan rata-rata sebesar 13,3 det/smp dengan tingkat pelayanan B.

Sanjaya, dkk (2022), dalam studi penelitian yang dilakukan penelitian untuk menganalisis hubungan tundaan dan panjang antrian dengan konsumsi bahan bakar minyak pada perlintasan rel kereta api. Metode penelitian yang dilakukan adalah survei secara langsung dan dilakukan dengan mengacu pada MKJI 1997. Data yang dikumpulkan adalah volume kendaraan, durasi penutupan pintu lintasan, lama tundaan, dan panjang antrian pada perlintasan kereta api di Jalan Kompas, Tambun Selatan. Analisis konsumsi BBM dilakukan dengan persamaan dari LAPI-ITB Bandung. Dari data yang didapat dan sudah diolah, besarnya kerugian konsumsi BBM akibat tundaan dan panjang antrian selama 1 (satu) tahun dari arah utara ke selatan untuk jenis BBM Peralite Rp25.158.638; Pertamina sebesar Rp29.598.398; Dexlite sebesar Rp31.242.753. Sementara untuk arah sekaton ke utara untuk jenis BBM Peralite sebesar Rp26.051.227; Pertamina sebesar Rp30.648.503; Dexlite sebesar Rp32.351.197.

2.3. Perbandingan Penelitian Terdahulu

Perbandingan dari berbagai penelitian yang sudah dijelaskan diatas, disajikan dalam bentuk tabel agar dapat mempermudah pembaca. Perbandingan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Tentang Kinerja Simpang Bersinyal

Penelitian Terdahulu								
Pembanding	Fadhil (2019)	Nurlitasari (2023)	Rahman (2023)	Purnama (2023)	Rahman (2024)	Firdaus (2024)	Ramzy (2024)	Muiz (2025)
Judul Penelitian	Analisis Simpang Bersinyal dan Hubungan Panjang Antrian dan Waktu Tundaan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak	Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal dengan Menggunakan MKJI 1997 dan Software VISSIM pada Simpang Sisingamangaraja	Evaluasi dan Rekayasa Peningkatan Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kamdanen Kota Yogyakarta	Evaluasi dan Peningkatan Kinerja Simpang Bersinyal Denggung Sleman	Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Dongkelan, Ring Road Selatan, Yogyakarta	Koordinasi Simpang 4 Cebongan dan Simpang 3 Taman Ringin Cebongan Kabupaten Sleman dengan Pemodelan PTV VISSIM	Analisis Kinerja Simpang Bersinyal di Kota Malang Menggunakan PKJI (Studi Kasus: Simpang Dieng Malang)	Analisis Kinerja dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar pada Simpang Empat Kamdanen Kota Yogyakarta
Lokasi Penelitian	Simpang Bersinyal UPN Yogyakarta	Simpang Sisingamangaraja, Kota Yogyakarta	Simpang Kamdanen, Kota Yogyakarta	Simpang Denggung, Sleman	Simpang Dongkelan, Ringroad Selatan, Yogyakarta	Simpang Taman Ringin Cebongan dan Simpang Cebongan	Simpang Dieng Malang	Simpang empat bersinyal Kota Yogyakarta

(Sumber: (Fhadil, 2019; Nurlitasari, 2023; Purnama, 2023; Rahman, 2023, 2024; Firdaus, 2024; Ramzy, 2024; Muiz, 2025))

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Kinerja Simpang Bersinyal

Penelitian Terdahulu								
Pembanding	Fadhil (2019)	Nurlitasari (2023)	Rahman (2023)	Purnama (2023)	Rahman (2024)	Firdaus (2024)	Ramzy (2024)	Muiz (2025)
Variabel Penelitian	Siklus waktu simpang, panjang antrean, waktu tundaan, dan kerugian BBM yang terjadi pada simpang.	Volume lalu lintas, siklus waktu simpang, panjang antrean, hambatan sampling, dan peningkatan kinerja simpang.	Volume lalu lintas, waktu siklus simpang, panjang antrean, dan peningkatan kinerja simpang	Volume lalu lintas, waktu siklus simpang, panjang antrean, dan peningkatan kinerja simpang.	Volume lalu lintas, siklus waktu simpang, data panjang antrean, dan peningkatan kinerja simpang	Koordinasi 2 simpang, Volume lalu lintas, hambatan sampling, tingkat pelayanan, nilai <i>bandwidth</i> .	Volume lalu lintas, hambatan sampling, waktu siklus simpang, dan <i>forecasting</i> kinerja 5 tahun mendatang.	Volume lalu lintas, panjang antrean, kecepatan kendaraan, hambatan sampling, peningkatan kinerja simpang, kerugian BBM yang terjadi pada simpang.
Metode Penelitian	Survei lapangan, Teori MKJI 1997, dan Teori LAPI-ITB.	Survei lapangan, teori MKJI 1997	Survei lapangan, teori MKJI 1997, uji GEH dan MAPE.	Survei lapangan, teori MKJI 1997	Survei lapangan, teori MKJI 1997	Survei lapangan, teori PKJI 2023 dan Permenhub 96/2015, uji GEH dan MAPE.	Survei lapangan, teori PKJI 2023	Survei lapangan, teori PKJI 2023 , pemodelan menggunakan PTV VISSIM dan uji GEH dan MAPE, teori

(Sumber: (Fhadil, 2019; Nurlitasari, 2023; Purnama, 2023; Rahman, 2023, 2024; Firdaus, 2024; Ramzy, 2024; Muiz, 2025))

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Kinerja Simpang Bersinyal

Penelitian Terdahulu								
Pembanding	Fadhil (2019)	Nurlitasari (2023)	Rahman (2023)	Purnama (2023)	Rahman (2024)	Firdaus (2024)	Ramzy (2024)	Muiz (2025)
Software	<i>Microsoft Excel</i>	<i>Microsoft Excel dan PTV VISSIM</i>	<i>Microsoft Excel dan PTV VISSIM</i>	<i>Microsoft Excel dan PTV VISSIM</i>	<i>Microsoft Excel dan PTV VISSIM</i>	<i>Microsoft Excel dan PTV VISSIM</i>	<i>Microsoft Excel dan PTV VISSIM</i>	PTV VISSIM dan <i>Microsoft Excel</i>
Hasil Penelitian	Dengan Nilai tingkat pelayanan simpang adalah F, jumlah konsumsi bahan bakar yang terbuang pada jam puncak sebesar 444,653 liter dengan total kerugian Rp3.173.725.-.	Dengan menggunakan alternatif solusi kombinasi belok kiri langsung (LTOR) dan pelebaran jalan menghasilkan peningkatan tingkat pelayanan pada simpang.	Alternatif solusi yang digunakan untuk meningkatkan kinerja simpang adalah dengan pelebaran jalur sebesar 0,5 m dan waktu siklus sebesar 129 detik dengan waktu <i>all red</i> 2 detik dan <i>amber</i> 2 detik, serta nilai LTI sebesar 14 detik.	Alternatif solusi terbaik adalah penggunaan 5 fase dan waktu siklus sebesar 153 detik. Hasilnya adalah tingkat pelayanan pada simpang meningkat.	Alternatif solusi terbaik adalah penyesuaian waktu siklus sebesar 128 detik. Walaupun tingkat pelayanan tetap di angka F, namun dari hasil angka tetap turun.	Alternatif solusi terbaik adalah dengan menggunakan waktu siklus 100 detik pada kedua simpang dengan 4 fase pada Simpang 4 Cebongan dan 3 fase pada Simpang 3 Taman Ringin Cebongan.	Alternatif solusi yang dilakukan adalah pelarangan belok kanan pada semua pendekat dan menggunakan dua fase. Dengan diberlakukannya solusi selama 5 tahun, simpang tersebut akan membaik.	Berdasarkan PKJI 2023, alternatif terbaik adalah dengan pelebaran lengan Utara 0,5 m dan pengaturan siklus waktu menjadi 115 detik dengan waktu <i>allred amber</i> 2 detik dan dengan biaya kerugian BBM menurut metode Lamsal adalah Rp427.338 ,

(Sumber: (Fhadil, 2019; Nurlitasari, 2023; Purnama, 2023; Rahman, 2023, 2024; Firdaus, 2024; Ramzy, 2024; Muiz, 2025))

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Kinerja Simpang Bersinyal

Penelitian Terdahulu								
Pembanding	Fadhil (2019)	Nurlitasari (2023)	Rahman (2023)	Purnama (2023)	Rahman (2024)	Firdaus (2024)	Ramzy (2024)	Muiz (2025)
								sedangkan jika berdasarkan LAPI-ITB adalah Rp948.572. Berdasarkan PTV VISSIM, alternatif terbaik adalah dengan pelebaran lengan Utara 0,5 m dengan kerugian BBM menurut metode Lamsal adalah Rp718.434 , sedangkan LAPI-ITB adalah Rp1.600.440

(Sumber: (Fhadil, 2019; Nurlitasari, 2023; Purnama, 2023; Rahman, 2023, 2024; Firdaus, 2024; Ramzy, 2024; Muiz, 2025))

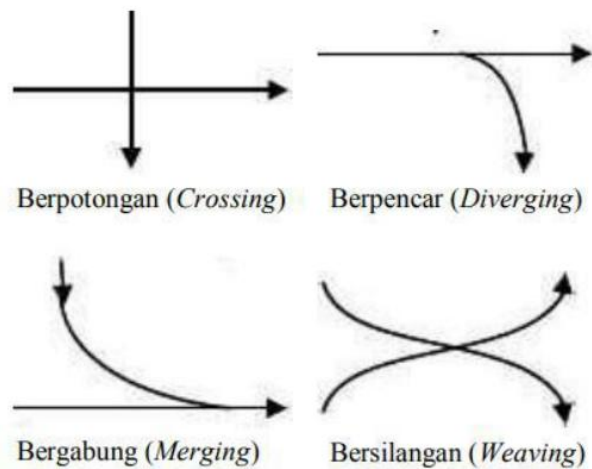
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Persimpangan

Persimpangan merupakan suatu titik atau area di mana dua atau lebih ruas jalan bertemu yang sering kali menjadi lokasi kritis dalam sistem transportasi. Di persimpangan, arus lalu lintas dari berbagai arah berpotongan yang dapat menyebabkan konflik dan potensi kemacetan. Persimpangan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, seperti simpang bersinyal, simpang tidak bersinyal, dan simpang layang. Simpang bersinyal dilengkapi dengan lampu lalu lintas yang mengatur arus kendaraan dan pejalan kaki, sedangkan untuk simpang tidak bersinyal menggunakan rambu-rambu lalu lintas atau tanda-tanda lainnya yang diperuntukkan sebagai pengatur lalu lintas. Desain dan pengaturan untuk persimpangan sangat penting untuk meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan efisiensi lalu lintas bagi pengguna jalan.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) persimpangan adalah titik di mana dua atau lebih ruas jalan saling bertemu yang dapat berupa simpang, simpang dengan lampu lalu lintas, bundaran, atau simpang yang tidak sejajar. Area persimpangan memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan karena adanya kemungkinan konflik antara kendaraan satu dengan yang lainnya atau dengan pejalan kaki. Hobbs (1979), mengidentifikasi ada empat jenis gerakan konflik lalu lintas yang terjadi pada persimpangan, yaitu gerakan pemisahan (*diverging*), gerakan penggabungan (*merging*), gerakan penyilangan (*crossing*), dan gerakan menyalip serta berpindah jalur (*weaving*). Gerakan-gerakan konflik lalu lintas pada simpang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Gerakan-Gerakan Konflik Lalu Lintas pada Simpang

(Sumber: Morlok, 1988)

3.2. Jenis Persimpangan

Menurut Morlok (1998), persimpangan dibagi menjadi dua bagian, yaitu persimpangan sebidang dan persimpangan tak sebidang. Berikut merupakan penjelasan bagian dari persimpangan.

1. Persimpangan sebidang

Persimpangan sebidang adalah lokasi di mana dua ruas jalan bertemu dalam satu bidang yang sama. Terdapat beberapa jenis persimpangan yang umum digunakan dalam desain persimpangan sebidang pada jalan. Jenis-jenis tersebut meliputi persimpangan berbentuk huruf T, huruf Y, persimpangan empat arah, dan persimpangan dengan banyak cabang. Menurut Morlok (1998), persimpangan sebidang adalah persimpangan di mana berbagai jalan atau ujung jalan yang masuk ke dalamnya mengarahkan arus lalu lintas ke jalur yang dapat berpotongan dengan arus dari arah lain. Berdasarkan fasilitas yang dapat dilakukan untuk mengatur lalu lintas, persimpangan sebidang dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu.

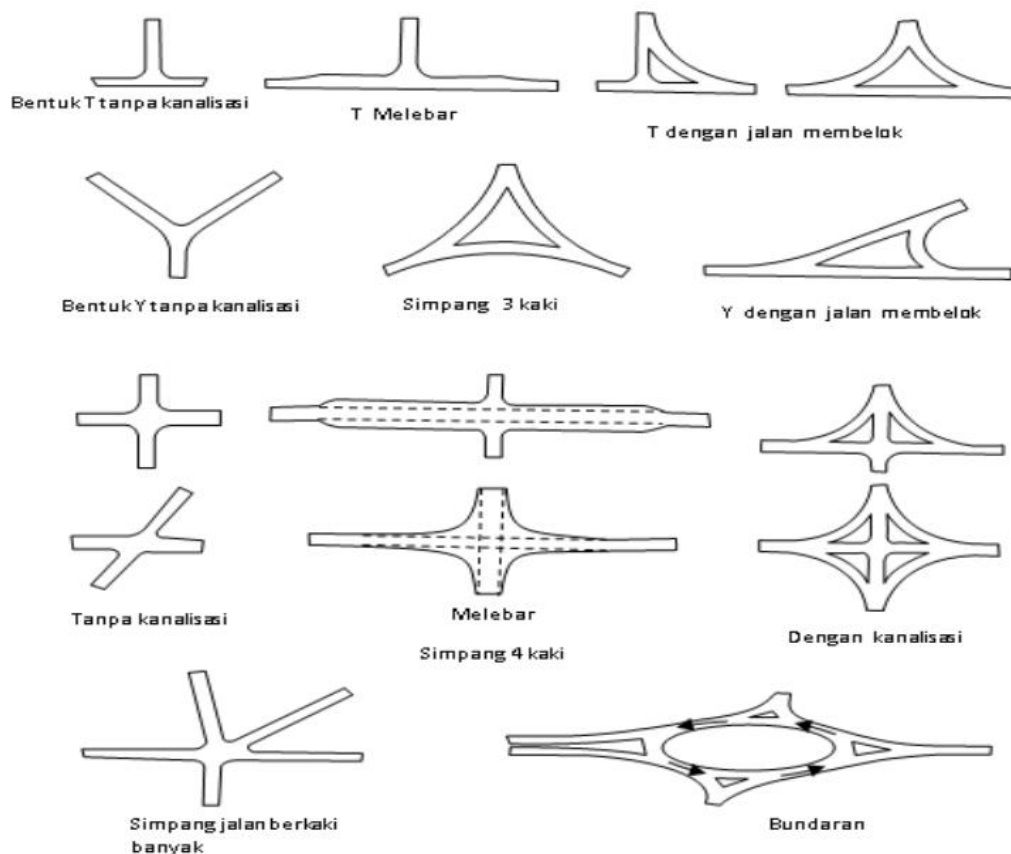
a. Simpang tak bersinyal

Simpang tak bersinyal adalah pertemuan antara dua atau lebih ruas jalan sebidang yang tidak diatur oleh alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL). Pengendara yang akan melewati persimpangan ini harus memastikan

simpang tersebut dalam keadaan aman untuk dilewati dan wajib berhenti terlebih dahulu untuk melihat kondisi simpang dari arah yang berlawanan.

b. Simpang bersinyal

Simpang bersinyal adalah pertemuan antara dua atau lebih ruas jalan sebidang yang dilengkapi dengan alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL) untuk mengatur lalu lintas supaya lebih aman untuk dilewati. Berikut merupakan jenis-jenis persimpangan sebidang yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



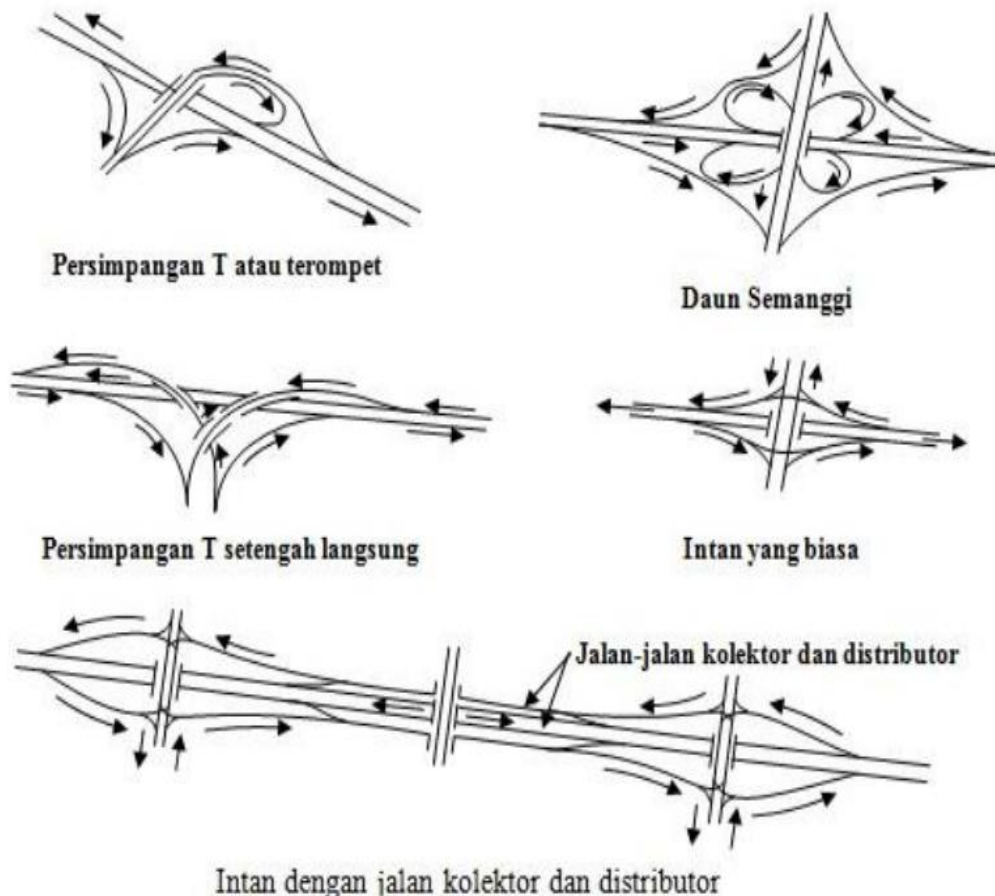
Gambar 3. 2 Jenis-Jenis Persimpangan Sebidang

(Sumber: Morlok, 1988)

2. Persimpangan tak sebidang

Menurut Hobbs (1979), simpang tak sebidang biasanya memungkinkan kendaraan untuk berbelok tanpa adanya pertemuan langsung antara jalan sehingga memerlukan tikungan yang lebar dan kompleks. Pertemuan jalan yang tidak sejajar juga membutuhkan area yang luas dan penempatan serta

desain yang sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi. Berikut merupakan jenis-jenis persimpangan tak sebidang yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3. 3 Jenis-Jenis Persimpangan Tak Sebidang

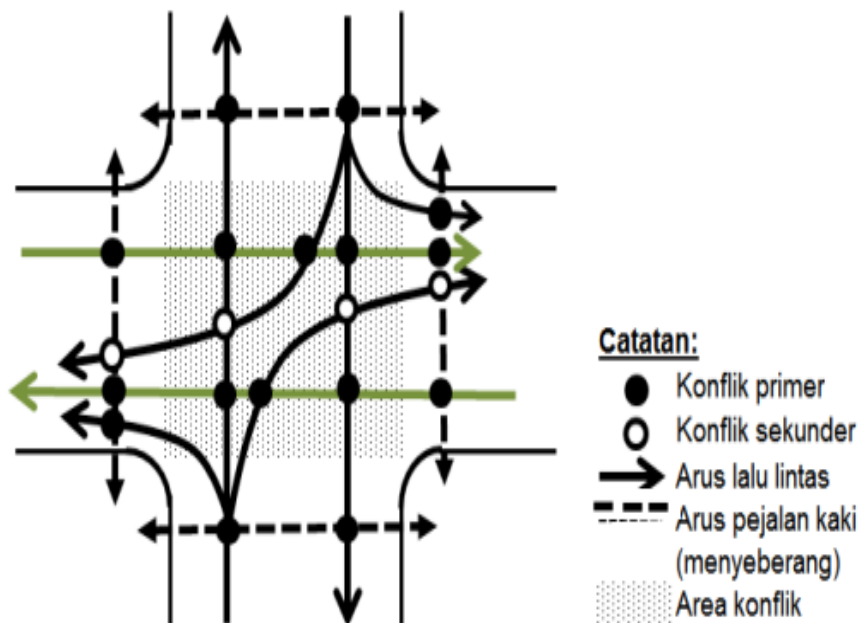
(Sumber: Morlok, 1988)

3.3. Analisis Simpang Bersinyal

APILL berguna untuk mengatur lalu lintas simpang dengan cara meminimalkan konflik yang terjadi, baik konflik primer maupun konflik sekunder dengan cara memisahkan waktu berjalannya arus pada tiap lajur. Gambar 3.4. menjelaskan tipikal konflik yang terjadi pada sebuah simpang.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), APILL digunakan untuk tujuan mempertahankan kapasitas persimpangan pada jam puncak dan mengurangi kecelakaan akibat tabrakan antar kendaraan dari arah yang berlawanan. Untuk

memenuhi aspek keselamatan, selain lampu isyarat hijau dan merah, pengaturan APILL harus dilengkapi dengan lampu kuning dan isyarat lampu merah semua. Lampu kuning untuk memperingati arus yang sedang bergerak bahwa fase sudah berakhir dan lampu merah semua (*all red*) untuk menjamin agar kendaraan terakhir pada fase hijau yang baru berakhir memperoleh waktu yang cukup untuk keluar dari area konflik sebelum kendaraan pertama dari fase berikutnya memasuki area yang sama.



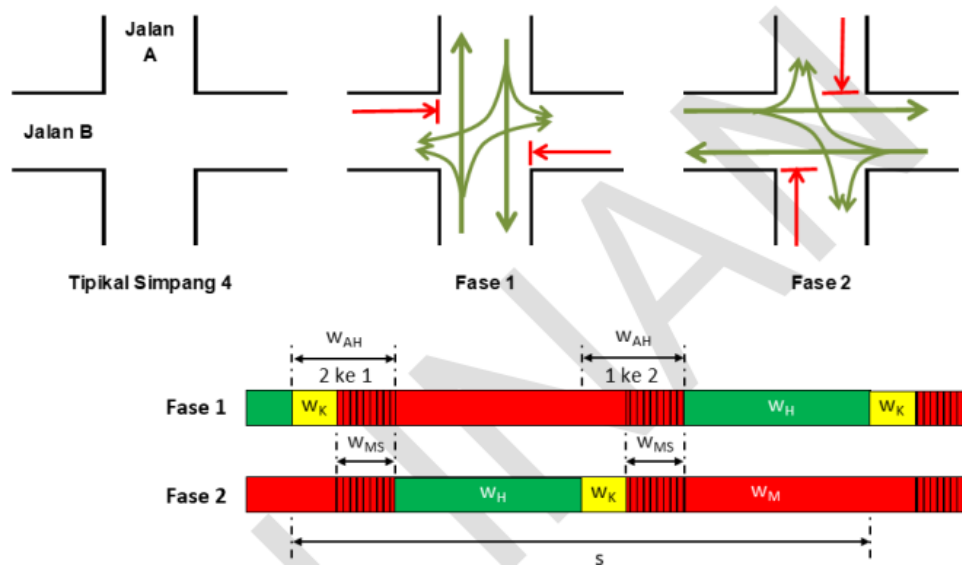
Gambar 3. 4 Konflik Primer dan Konflik Sekunder

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Pada awal analisis, pengaturan APILL dua fase dapat dipilih karena memberikan kapasitas terbesar dengan tundaan yang terendah dibandingkan dengan pengaturan fase lainnya. Ilustrasi pengaturan 2 (dua) fase dijelaskan dalam Gambar 3.5.

Urutan perubahan isyarat pada sistem pengaturan APILL 2 (dua) fase ini, meliputi s , w_K , w_{AH} , w_M , w_{MS} , dan w_H . Apabila pengaturan 2 (dua) fase ini belum memadai, evaluasi arus belok kanan, apakah memungkinkan bila dipisahkan dari arus lurus dan apakah tersedia lajur untuk memisahkannya. Pengaturan arus belok kanan yang terpisah hanya dilakukan bila arusnya melebihi 200 SMP/jam, tetapi

pemisahan dapat tetap dilakukan pemisahan walaupun arus belok kanan lebih rendah dari 200 SMP/jam dengan pertimbangan peningkatan terhadap keselamatan lalu lintas. Perhitungan rinci nilai w_{AH} dan w_{HH} diperlukan saat analisis operasional dan perencanaan peningkatan, untuk keperluan praktis, nilai normal W_{AH} dapat menggunakan nilai-nilai pada Tabel 3.1



Gambar 3. 5 Urutan Waktu Menyala Isyarat pada Pengaturan APILL Dua Fase

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Tabel 3. 1 Nilai normal waktu antar hijau

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

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, (2023)

3.4. Kapasitas Simpang APILL

Analisis kapasitas untuk setiap pendekatan dilakukan secara terpisah. Satu lengan simpang APILL dapat terdiri dari 1 (satu) pendekatan atau lebih (menjadi 2 (dua) atau lebih sub-pendekatan, termasuk pengaturan fasenya. Hal ini terjadi jika

gerakan belok kanan dan/atau belok kiri mendapat isyarat hijau pada fase yang berlainan dengan lalu lintas yang lurus, atau jika dipisahkan secara fisik oleh pulau-pulau jalan. Untuk masing-masing pendekat atau sub-pendekat, lebar efektif (L_E) ditetapkan dengan mempertimbangkan lebar pendekat pada bagian masuk dan pada bagian keluar simpang APILL. C dihitung menggunakan persamaan 3.1 berikut.

$$C = J \times \frac{W_H}{s} \quad (3.1)$$

dengan :

C = kapasitas simpang APILL (SMP/jam),

J = arus jenuh (SMP/jam),

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

s = waktu siklus (detik).

3.4.1 Tipe Pendekat

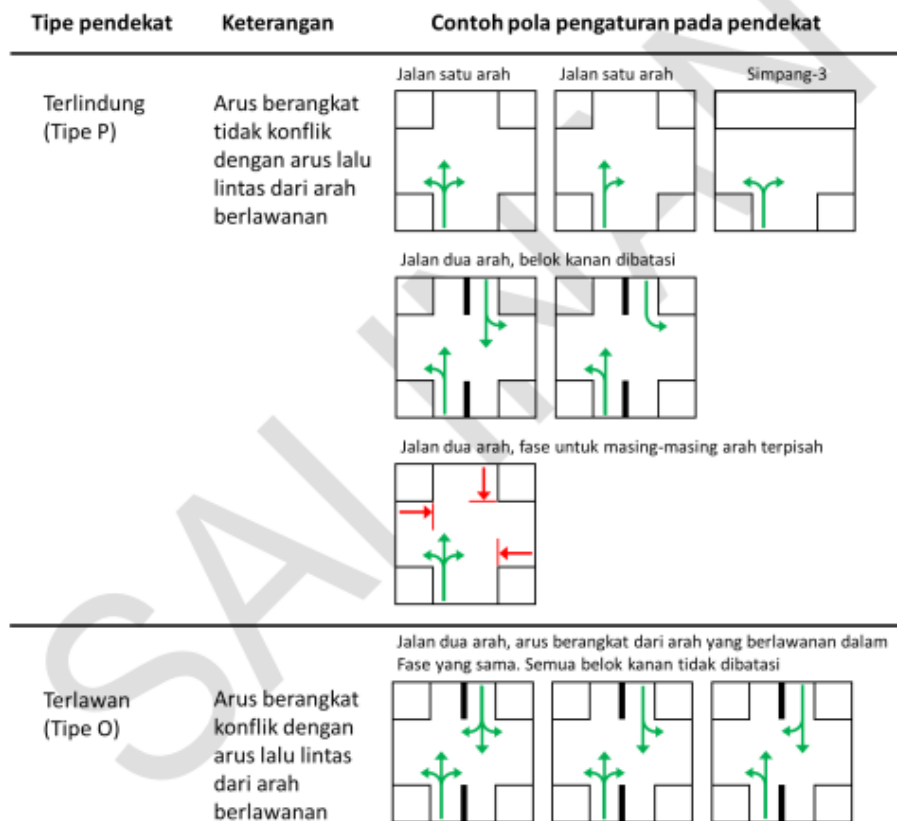
Pendekat pada lalu lintas mempunyai fase yang berbeda-beda, maka dari itu analisis untuk kapasitas dilakukan pada masing-masing pendekat yang dilakukan secara terpisah. Adapun perbedaan pada tipe pendekat, yaitu pendekat terlindung dan pendekat terlawan. Gambar 3.6 memberikan ilustrasi dalam penentuan tipe-tipe pendekat.

3.4.2 Lebar Pendekat Efektif

Penentuan lebar pendekat efektif (L_E) didasarkan pada beberapa parameter, yaitu lebar ruas pendekat awal (L), lebar masuk (L_M), dan lebar keluar (L_K). Ada beberapa ketentuan dalam menentukan L_M .

- Untuk pendekat dengan pulau lalu lintas, arus belok kiri memiliki lajur tersendiri sehingga lebar masuk (L_M) merupakan lebar antara tepi pulau lalu lintas dengan median yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 (kiri).
- Untuk pendekat tanpa pulau lalu lintas, arus belok kiri jalan terus bisa membentuk lajur sendiri atau bisa bergabung dengan arus yang lurus tergantung dari ketersediaan ruang kendaraan yang belok kiri. Apabila L_{BKUT} lebih dari 2 meter maka arus belok kiri dapat membentuk antrian sendiri sehingga $L_M = L -$

L_{BKJT} ditunjukkan pada Gambar 3.7 (tengah). Sedangkan apabila L_{BKJT} kurang dari 2 meter maka arus belok kiri akan menyatu dengan arus lalu lintas yang lurus ditunjukkan pada Gambar 3.7. (kanan).



Gambar 3. 6 Penentuan Tipe Pendekat

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Lebar efektif (L_E) dapat dihitung dengan menggunakan ketentuan sebagai berikut.

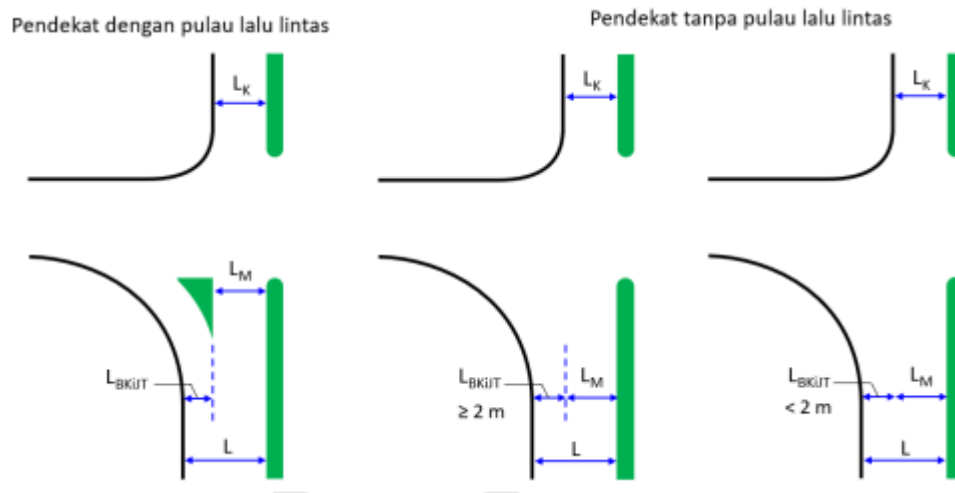
- Jika $L_{BKJT} \geq 2$ meter atau L_{BKJT} merupakan lajur eksklusif, maka arus kendaraan B_{KJT} dapat mendahului antrean kendaraan lurus dan belok kanan selama isyarat merah. L_E ditetapkan sebagai berikut.

Langkah 1 : Keluarkan arus B_{KJT} (q_{BKJT}) dari perhitungan dan selanjutnya arus yang dihitung adalah $q = q_{LRS} + q_{BKA}$

Penentuan lebar efektif adalah sebagai berikut.

$$L_E = \text{Min} \begin{cases} L - L_{BKijT} \\ L_M \end{cases} \quad (3.2)$$

Langkah 2 : Periksa L_K (hanya untuk pendekat tipe P), jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa})$, maka $L_E = L_K$ dan analisis penentuan waktu isyarat untuk pendekat ini didasarkan hanya bagian lalu lintas yang lurus saja yaitu q_{LRS}



Gambar 3. 7 Lebar Pendekat dengan dan Tanpa Pulau Lalu Lintas

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

- b. Jika $L_{BKijT} \leq 2$ meter, maka kendaraan L_{BKijT} dianggap tidak dapat mendahului antrean kendaraan lainnya selama isyarat merah. L_E ditetapkan sebagai berikut.

Langkah 1 : Sertakan q_{BKijT} pada perhitungan selanjutnya

$$L_E = \text{Min} \begin{cases} L \\ L_M + L_{BKijT} \\ L \times (1 + R_{BKijT}) - L_{BKijT} \end{cases} \quad (3.3)$$

Langkah 2 : Periksa L_K (hanya untuk pendekat tipe P), jika $L_K < L_M \times (1 - R_{BKa} - R_{BKijT})$, maka $L_E = L_K$ dan analisis penentuan waktu isyarat untuk pendekat ini didasarkan hanya bagian lalu lintas yang lurus saja.

3.4.3 Arus Jenuh

Arus jenuh (J, SMP/km) adalah kondisi di mana volume lalu lintas yang melewati satu titik atau segmen jalan mencapai kapasitas maksimum yang dapat

ditangani oleh sebuah jalanan. Arus lalu lintas tidak lagi mengalir dengan lancar dan terjadi tundaan yang signifikan. Nilai arus jenuh dapat dihitung menggunakan persamaan 3.4.

$$J = J_0 \times F_S \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \quad (3.4)$$

dengan :

J = arus Jenuh (SMP/jam),

J_0 = arus jenuh dasar,

F_{HS} = faktor koreksi J_0 akibat hambatan samping lingkungan jalan,

F_{UK} = faktor koreksi J_0 terkait ukuran kota,

F_G = faktor koreksi J_0 akibat kelandaian memanjang pendekat, dan

F_P = faktor koreksi J_0 akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama.

3.4.3.1 Arus Jenuh Dasar

Arus jenuh dasar merupakan besarnya arus lalu lintas keberangkatan antrean di dalam suatu pendekat pada kondisi ideal (SMP/jam). Arus jenuh dasar dapat dihitung menggunakan persamaan 3.5

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

dengan :

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

L_E = lebar efektif pendekat (m).

3.4.3.2 Faktor koreksi hambatan samping

Faktor koreksi hambatan samping adalah nilai kapasitas dasar akibat tipe lingkungan jalan, hambatan samping, dan arus kendaraan tak bermotor. Nilai faktor koreksi hambatan samping dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Faktor Hambatan Samping (F_{HS})

Tipe Lingkungan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0,00	0,005	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
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

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

Tipe Lingkungan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0,00	0,005	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial (KOM)	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
	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)

Kelas hambatan samping ditentukan dengan mengalikan jumlah frekuensi kejadian setiap jenis hambatan samping dengan bobot yang sesuai. Frekuensi kejadian hambatan samping dihitung melalui pengamatan di lokasi penelitian selama satu jam di sepanjang segmen yang dianalisis. Nilai bobot dan kriteria kelas hambatan samping ditetapkan berdasarkan ketentuan yang terdapat dalam analisis ruas jalan perkotaan, yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan 3.4

Tabel 3. 3 Pembobotan Hambatan Samping

No	Jenis Hambatan Samping Utama	Bobot
1	Pejalan kaki di badan jalan dan yang menyebrang	0,5
2	Kendaraan umum dan kendaraan lainnya yang berhenti	1,0
3	Kendaraan keluar/masuk sisi atau lahan samping jalan	0,7
4	Arus kendaraan lambat (kendaraan tak bermotor)	0,4

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, (2023)

Tabel 3. 4 Kriteria Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping	Jumlah Nilai Frekuensi Kejadian (Di Kedua Sisi Jalan) Dikali Bobot	Kondisi Khusus
Sangat rendah (SR)	< 100	Daerah permukiman; tersedia jalan lingkungan (<i>frontage road</i>)
Rendah (R)	100-299	Daerah permukiman; ada beberapa angkutan umum
Sedang (S)	300-499	Daerah industri, beberapa toko di sepanjang sisi jalan
Tinggi (T)	500-899	Daerah komersial, ada aktivitas sisi jalan yang tinggi
Sangat Tinggi (ST)	≥ 900	Daerah komersial, ada aktivitas pasar di sisi jalan

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, (2023)

3.4.3.3 Faktor koreksi ukuran kota

Faktor koreksi ukuran kota merupakan nilai kapasitas dasar sehubungan dengan ukuran kota yang dinyatakan oleh besarnya populasi. Faktor koreksi ukuran kota (FUK) dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3. 5 Faktor Koreksi Ukuran Kota (FUK)

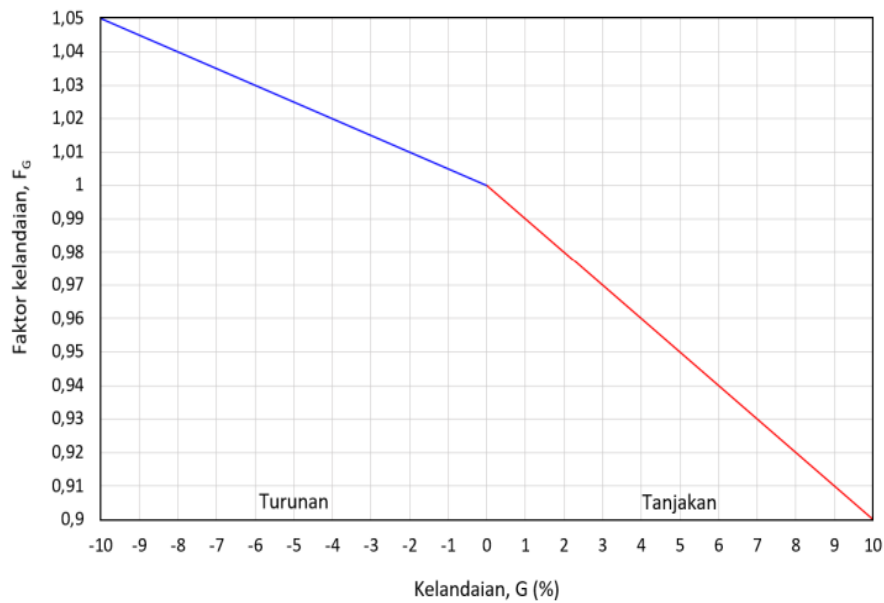
Jumlah Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Koreksi Ukuran Kota (FUK)
>3,0	1,05
1,0-3,0	1,00
0,5-1,0	0,94
0,1-0,5	0,83
<0,1	0,82

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, (2023)

3.4.3.4 Faktor koreksi kelandaian

Faktor koreksi kelandaian atau faktor gradien (F_G) merupakan faktor koreksi untuk kelandaian pendekat. Nilai pada faktor ini dinyatakan dalam bentuk persen. Ketika pendekat mengalami maka nilai persentasenya positif, sedangkan

ketika pendekat mengalami turunan maka nilai persentasenya negatif. Faktor kelandaian dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3. 8 Faktor Koreksi Kelandaian (F_G)

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.4.3.5 Faktor koreksi parkir

Faktor koreksi parkir merupakan faktor yang dihitung berdasarkan dari jarak antara garis henti dan kendaraan yang diparkir pertama pada suatu pendekat. Faktor ini dipengaruhi oleh jarak garis henti ke kendaraan yang diparkir pertama, lebar pendekat, serta durasi lampu hijau pada pendekat tersebut. Perhitungan faktor koreksi parkir dapat dihitung dengan Persamaan 3.6.

$$F_P = \frac{\left[\frac{L_P}{3} - \frac{(L-2) \times (\frac{L_P}{3} - W_H)}{L} \right]}{W_H} \quad (3.6)$$

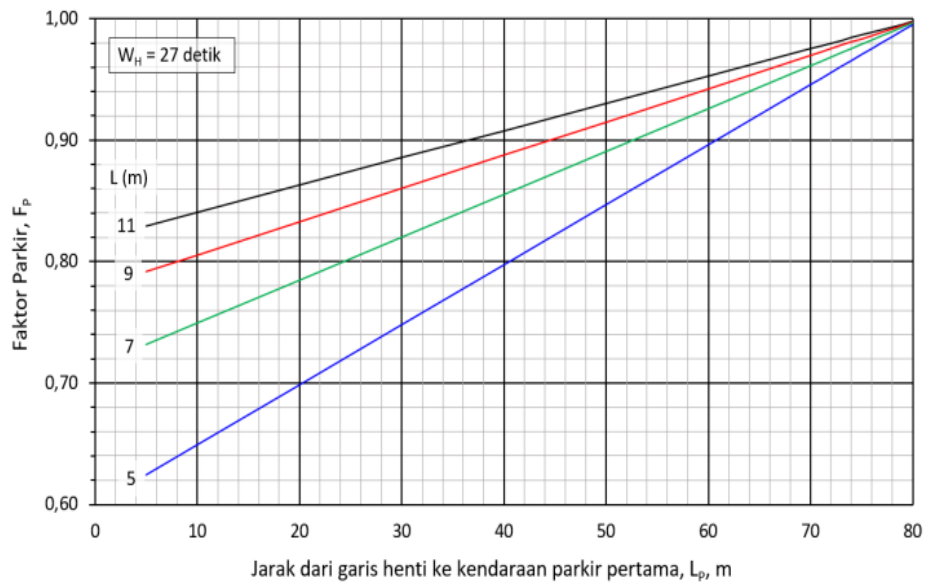
dengan :

L_P = jarak antara garis henti kendaraan yang parkir pertama pada lajur belok kiri atau panjang dari lajur belok kiri yang pendek (m),

L = lebar pendekat (m), dan

W_H = waktu hijau pada pendekat yang ditinjau (normalnya 27 detik).

Adapun perhitungan faktor koreksi parkir dengan melihat dengan grafik yang terdapat pada Gambar 3.9



Gambar 12-11 Faktor koreksi untuk pengaruh parkir (F_p)

Gambar 3. 9 Faktor Koreksi untuk Pengaruh Parkir (F_p)

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.4.3.6 Faktor koreksi belok kanan

Faktor koreksi belok kanan adalah nilai dari kapasitas dasar akibat arus lalu lintas belok kanan. Faktor ini hanya berlaku untuk pendekat tipe P tanpa median, tipe jalan dua arah, dan lebar efektif ditentukan oleh lebar masuk. Perhitungan faktor belok kanan dapat dihitung dengan Persamaan 3.7.

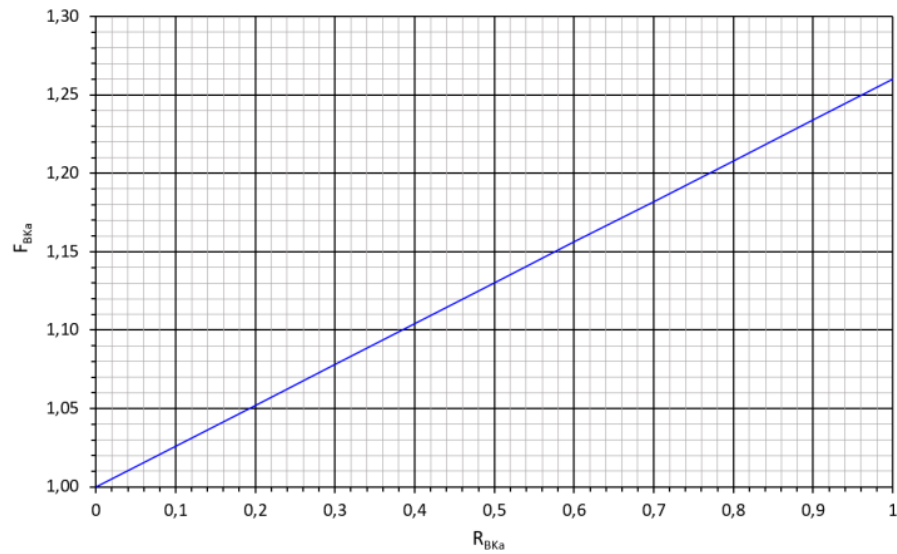
$$F_{Bka} = 1,0 + R_{BKa} \times 0,26 \quad (3.7)$$

dengan :

F_{BKA} = faktor koreksi belok kanan, dan

R_{BKA} = rasio kendaraan belok kanan.

Selain menggunakan persamaan di atas, penentuan faktor koreksi belok kanan dapat ditentukan dengan grafik pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Faktor Koreksi untuk Belok Kanan (F_{BKa}) pada Pendekat Tipe P dengan Jalan Dua Arah dan L_E Ditentukan oleh L_M

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.4.3.7 Faktor koreksi belok kiri

Faktor koreksi belok kiri adalah faktor koreksi nilai kapasitas dasar akibat arus lalu lintas belok kiri. Faktor ini hanya berlaku untuk pendekat tipe P tanpa B_{KIJT} (belok kiri jalan terus). Hal ini disebabkan karena di pendekat terlindung tanpa B_{KIJT} , kendaraan yang berbelok kiri cenderung melambat sehingga mengurangi arus jenuh pada pendekat tersebut. Perhitungan faktor koreksi belok kiri dapat dihitung dengan Persamaan 3.8.

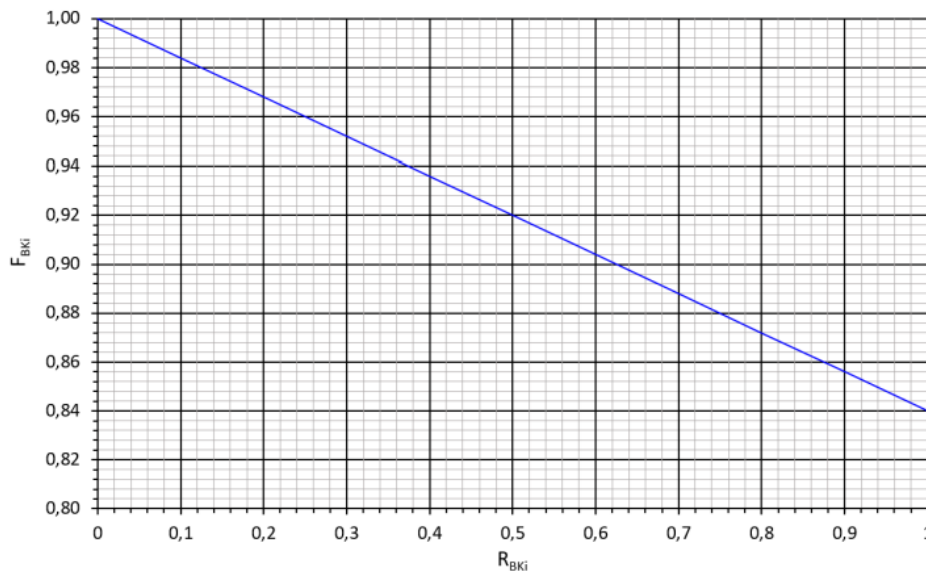
$$F_{BKl} = 1,0 - R_{BKl} \times 0,16 \quad (3.8)$$

dengan :

F_{BKl} = faktor koreksi belok kiri, dan

R_{BKl} = rasio kendaraan belok kiri.

Selain menggunakan Persamaan di atas, penentuan faktor koreksi belok kiri dapat ditentukan dengan grafik pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Faktor Koreksi untuk Belok Kiri (F_{BKi}) untuk Pendekat Tipe P Tanpa B_{KiJT} dan L_E Ditentukan oleh L_M

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.4.3.8 Rasio Arus terhadap Arus Jenuh

Perhitungan rasio arus terhadap arus jenuh untuk tiap *approach* dirumuskan sebagai Persamaan 3.9:

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

dengan :

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

q = arus lalu lintas (SMP/jam), dan

J = arus jenuh (SMP/jam).

Nilai perbandingan arus kritis ($R_{q/J}$ kritis) adalah nilai perbandingan arus tertinggi pada tiap fase. Dari jumlah nilai perbandingan arus kritis tiap fase didapat dari rasio arus simpang APILL ($R_{A/S}$). Rasio simpang APILL dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10.

$$R_{A/S} = \sum i(R_{q/J \text{ kritis}})_i \quad (3.10)$$

dengan :

$\sum i(R_{q/J \text{ kritis}})_i$ = perbandingan arus kritis,

$R_{A/S}$ = rasio arus simpang APILL, dan

i = indeks untuk fase ke i .

Rasio Fase (R_F) masing-masing fase sebagai rasio antara $\sum i(R_{q/J \text{ kritis}})_i$ dan $R_{A/S}$ dapat dihitung dengan Persamaan 3.11

$$R_F = \frac{R_{q/J \text{ kritis}}}{R_{A/S}} \quad (3.11)$$

dengan :

R_F = rasio fase,

$R_{q/J \text{ kritis}}$ = perbandingan arus kritis, dan

$R_{A/S}$ = rasio arus simpang APILL.

3.5. Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL

Kinerja lalu lintas pada simpang sangat dipengaruhi oleh pengaturan sinyal yang efektif dan efisien yang bertujuan untuk mengatur arus kendaraan dan pejalan kaki diersimpangan. Simpang APILL dirancang untuk meningkatkan keselamatan dan kelancaran lalu lintas dengan memberikan waktu yang tepat bagi setiap arah arus lalu lintas untuk bergerak sehingga mengurangi potensi konflik antara kendaraan dan pejalan kaki. Dengan pengaturan sinyal yang baik, simpang APILL dapat mengoptimalkan aliran lalu lintas, meminimalkan waktu tunggu, dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan sehingga berkontribusi pada efisiensi sistem transportasi secara keseluruhan.

3.5.1 Arus Lalu Lintas dan EMP

Arus lalu lintas jam perencanaan, q_{JP} , harus dihitung menggunakan nilai K yang berlaku dan L_{HRT} yang representatif. L_{HRT} didasarkan atas perhitungan lalu lintas menerus selama satu tahun, atau jika diprediksi, maka harus mengacu kepada ketentuan perkiraan yang berlaku dengan Persamaan 3.12

$$Q_{JP} = L_{HRT} \times K \quad (3.12)$$

dengan :

L_{HRT} = lalu lintas harian rata-rata tahunan, dinyatakan dalam SMP/hari, dan

K = faktor jam perencanaan, ditetapkan dari kajian fluktuasi arus lalu lintas jam-jaman selamasatu tahun. Nilai K yang dapat digunakan untuk jalan perkotaan berkisar antara 7% sampai dengan 12%.

Arus lalu lintas, q , dinyatakan dalam SMP/jam untuk satu atau lebih periode, misalnya pada periode jam puncak pagi, siang, atau sore. Arus lalu lintas dalam kend/jam dikonversi menjadi satuan SMP/jam menggunakan nilai EMP yang sesuai dengan masing-masing pendekat; terlindung atau terlawan. Dalam satu pendekat bisa terjadi dua tipe pendekat yang berbeda dengan fase yang berbeda. Jika hal ini ditemui, maka nilai EMP yang digunakan juga menjadi dua, sesuai tipe pendekat masing-masing fase tersebut. Nilai EMP untuk tiap jenis kendaraan pada tipe pendekat terlindung dan terlawan ditunjukkan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 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)

3.5.2 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (D_J) dihitung menggunakan Persamaan 3.13.

$$D_J = \frac{q}{C} \quad (3.13)$$

dengan :

D_J = derajat kejenuhan,

C = kapasitas segmen jalan, dalam SMP/jam, dan

q = volume lalu lintas, dalam SMP/jam, yang dalam analisis kapasitas terdiri dari dua jenis, yaitu qeksisting hasil perhitungan lalu lintas dan q_{JP} hasil prediksi atau hasil perancangan.

3.5.3 Panjang Antrean

Jumlah rata-rata antrian kendaraan (SMP) pada awal isyarat lampu hijau (N_q) dihitung sebagai jumlah kendaraan terhenti (SMP) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) ditambah jumlah kendaraan (SMP) yang datang dan terhenti dalam antrian selama fase merah (N_{q2}), diperkirakan atau dihitung menggunakan Persamaan 3.14 dan Persamaan 3.15.

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

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

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

$$N_{q2} = S \times \frac{(1-R_H)}{(1-R_H \times D_J)} \times \frac{q}{3600} \quad (3.15)$$

dengan :

N_q = jumlah rata-rata antrean kendaraan (SMP),

N_{q1} = jumlah rata-rata antrean kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (SMP),

D_J = derajat kejenuhan,

N_{q2} = jumlah rata-rata antrean kendaraan yang datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah (SMP),

s = waktu siklus (detik),

R_H = rasio hijau pendekat ($\frac{W_H}{S}$), dan

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

Panjang antrian (P_A) diperoleh dari perkalian N_q (SMP) dengan luas area rata-rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang (SMP) yaitu 20 m² , dibagi lebar masuk (m), sebagaimana Persamaan 3.16.

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M} \quad (3.16)$$

dengan:

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

20 = luas area rata-rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang (SMP) yaitu 20 m², dan

L_M = lebar pendekat (m).

3.5.4 Rasio Kendaraan Henti

Rasio kendaraan henti (R_{KH}) adalah rasio kendaraan pada pendekat yang terhenti akibat isyarat merah sebelum melewati simpang APILL terhadap jumlah arus pada fase yang sama pada pendekat tersebut, dihitung menggunakan Persamaan 3.17, Persamaan 3.18, Persamaan 3.19.

$$R_{KH} = 0,9 \times \frac{N_q}{q \times s} \times 3600 \quad (3.17)$$

$$N_{KH} = q \times R_{KH} \quad (3.18)$$

$$R_{KH} = \frac{(\sum N_{KH})}{q_{Total}} \quad (3.19)$$

dengan :

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

s = waktu siklus (detik),

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

N_{KH} = Jumlah kendaraan terhenti, dan

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

3.5.5 Tundaan

Tundaan merupakan waktu tempuh tambahan yang dibutuhkan pengemudi untuk melalui simpang APILL dibandingkan dengan lintasan tanpa simpang APILL. Tundaan pada suatu Simpang APILL terjadi karena 2 (dua) hal, yaitu tundaan lalu lintas (T_{LL}) dan tundaan geometri (T_G). Tundaan rata-rata untuk suatu pendekat i dihitung menggunakan Persamaan 3.20.

$$T_i = T_{LLi} + T_{Gi} \quad (3.20)$$

Tundaan lalu lintas rata-rata pada suatu pendekat i dapat ditentukan dari Persamaan 3.21 dan Persamaan 3.22.

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

Catatan: Hasil perhitungan tidak berlaku jika C dipengaruhi oleh faktor-faktor "luar" seperti terhalangnya jalan keluar akibat kemacetan pada bagian hilir, atau pengaturan oleh polisi secara manual, atau yang lainnya.

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

Keterangan:

PB adalah porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat.

Catatan: Nilai normal TG untuk kendaraan belok tidak berhenti adalah 6 detik dan untuk yang berhenti adalah 4 detik. Nilai normal ini didasarkan pada anggapan-anggapan, bahwa 1) kecepatan = 40 km/jam; 2) kecepatan belok tidak berhenti = 10 km/jam; 3) percepatan dan perlambatan = 1,5 m/det²; 4) kendaraan berhenti melambat untuk meminimumkan tundaan, sehingga menimbulkan hanya tundaan percepatan.

3.5.6 Penilaian Kinerja

Tujuan analisis kapasitas adalah memperkirakan kapasitas dan kinerja lalu lintas pada kondisi tertentu terkait rencana atau geometri eksisting, pengaturan fase dan waktu isyarat, arus lalu lintas dan lingkungan simpang APILL. Dengan perkiraan nilai kapasitas dan kinerja, memungkinkan dilakukan perubahan rencana simpang APILL untuk memperoleh kinerja lalu lintas yang diinginkan berkaitan dengan kapasitas dan tundaannya. Cara yang paling cepat untuk menilai hasil adalah dengan melihat nilai DJ untuk kondisi yang diamati dan membandingkannya dengan kondisi lalu lintas pada masa pelayanan terkait dengan pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur pelayanan yang diinginkan dari Simpang APILL tersebut. Jika nilai DJ yang diperoleh terlalu tinggi (misal >0,85), maka perlu dilakukan perubahan rencana yang berkaitan dengan penetapan fase dan waktu isyarat, lebar pendekat dan membuat perhitungan baru.

3.6. Penentuan Tingkat Pelayanan Simpang

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015, tingkat pelayanan merupakan ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas. Tingkat layanan pada simpang dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Klasifikasi Tundaan

No.	Tingkat Pelayanan	Kriteria
1	A	Tundaan kurang dari 5 detik per kendaraan
2	B	Tundaan lebih dari 5 detik sampai 15 detik per kendaraan
3	C	Tundaan lebih dari 15 detik sampai 25 detik per kendaraan
4	D	Tundaan lebih dari 25 detik sampai 40 detik per kendaraan
5	E	Tundaan lebih dari 40 detik sampai 60 detik per kendaraan
6	F	Tundaan lebih dari 60 detik per kendaraan

Sumber: Kementrian Perhubungan, (2015)

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015 juga menetapkan penetapan tingkat pelayanan pada persimpangan dan dibagi pada jaringan jalan primer dan jalan sekunder. Tingkat pelayanan minimal pada tiap jaringan jalan dan sesuai fungsinya dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

Tabel 3. 8 Tingkat Pelayanan Sistem Jaringan Jalan Primer

Fungsi	Tingkat Pelayanan Minimal
Jalan arteri primer	Sekurang-kurangnya B
Jalan kolektor primer	Sekurang-kurangnya B
Jalan lokal primer	Sekurang-kurangnya C
Jalan tol	Sekurang-kurangnya B

Tabel 3. 9 Tingkat Pelayanan Sistem Jaringan Jalan Sekunder

Fungsi	Tingkat Pelayanan Minimal
Jalan arteri sekunder	Sekurang-kurangnya C
Jalan kolektor sekunder	Sekurang-kurangnya C
Jalan lokal sekunder	Sekurang-kurangnya D
Jalan lingkungan	Sekurang-kurangnya D

3.7. Software PTV VISSIM

Menurut PTV-AG (2016), perangkat lunak simulasi lalu lintas aliran mikroskopis multimoda PTV VISSIM (*Verkehr in Städten Simulations Model*) dirancang untuk menganalisis operasi angkutan umum dan kendaraan pribadi dalam berbagai skenario, seperti konfigurasi jalur, komposisi kendaraan, sinyal lalu lintas, dan lainnya. PTV (Planing Transportasi Verkhher AG) merupakan perusahaan yang berbasis di Karlsruhe, Jerman, yang mengembangkan VISSIM.

Perangkat lunak PTV VISSIM memodelkan perilaku kendaraan, pejalan kaki, serta pengguna jalan lainnya di berbagai lingkungan transportasi, seperti jalan raya, kawasan perkotaan, persimpangan, dan lainnya. *Software* ini membantu pengguna dalam mempelajari dan menganalisis hubungan antara berbagai komponen lalu lintas, termasuk lampu lalu lintas, perpindahan jalur, penyeberangan pejalan kaki, fasilitas parkir, kendaraan, dan elemen lainnya.

Dengan memanfaatkan PTV VISSIM, pengguna dapat menjalankan simulasi untuk menguji dan membandingkan berbagai skenario lalu lintas, mengevaluasi kinerja jalan dan persimpangan, serta merancang sistem sinyal lalu lintas yang lebih efisien. Selain itu, perangkat ini memungkinkan analisis mendalam terhadap tingkat kepadatan lalu lintas, identifikasi kebutuhan infrastruktur tambahan, serta optimalisasi aliran lalu lintas di suatu wilayah. PTV VISSIM menyediakan kerangka analisis yang canggih dan komprehensif, mendukung proses perencanaan dan pengambilan keputusan yang lebih terinformasi dalam merancang, mengelola, dan mengoperasikan sistem transportasi

yang aman, efisien, dan berkelanjutan. Berikut merupakan beberapa kegunaan PTV VISSIM dalam pemodelan.

1. Simulasi Arteri
 - a. Model jaringan jalan
 - b. Simulasi persimpangan semua mode kendaraan
 - c. Analisis karakter antrean
 - d. Desain waktu lampu sinyal
2. Simulasi Transportasi Publik
 - a. Memodelkan Bus, Trem, LRT, MRT, dan BRT secara detail
 - b. Meningkatkan efisiensi operasional transportasi publik
 - c. Menguji dan mengoptimalkan waktu bersinyal transportasi publik
3. Simulasi Pejalan Kaki
 - a. Memodelkan pejalan kaki dalam lingkungan multimodal
 - b. Merencanakan evaluasi dari bangunan atau situasi darurat
4. Simulasi Jalan Bebas Hambatan
 - a. Mensimulasikan manajemen lalu lintas aktif dan sistem transportasi cerdas
 - b. Menganalisis dan menguji kawasan kerja strategis

3.7.1 Validasi Data

Dalam *software* VISSIM diperlukan adanya kalibrasi dan validasi data. Kalibrasi merupakan proses penyesuaian parameter dalam model simulasi untuk memastikan hasil yang dihasilkan mendekati kondisi aktual yang diamati di lapangan. Proses ini dilakukan dengan mengacu pada volume arus lalu lintas yang terukur, menggunakan pendekatan *trial and error* serta pengujian melalui perangkat lunak VISSIM. Dalam tahap kalibrasi, digunakan metode statistik seperti *chi-square*, rumus *Geoffrey E. Havers* (GEH), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk mengevaluasi kesesuaian antara hasil simulasi dan data empiris, berdasarkan volume lalu lintas dan panjang antrean. Untuk validasi kecepatan kendaraan, MAPE digunakan sebagai indikator akurasi dengan menghitung persentase perbedaan antara data aktual dan hasil simulasi.

1. Uji GEH

Rumusan GEH dikembangkan oleh Geoffrey E. Havers pada tahun 1970-an. Rumus ini digunakan untuk menilai kecocokan model simulasi lalu lintas. Rumus GEH dapat dilihat pada Persamaan 3.23 berikut.

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{simulated} - q_{observed})^2}{0,5 \times (q_{simulated} + q_{observed})^2}} \quad (3.23)$$

dengan :

$q_{simulated}$ = data volume lalu lintas yang didapat dari hasil pemodelan VISSIM (kendaraan/jam), dan

$q_{observed}$ = data volume lalu lintas yang didapat dari hasil survey lapangan (kendaraan/jam).

Ketentuan khusus dari nilai *error* yang dihasilkan dapat ditentukan dengan melihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Kesimpulan Hasil GEH

Nilai GEH	Keterangan
$GEH < 5$	Hasil Diterima
$5 \leq GEH \leq 10$	Peringatan : Kemungkinan model <i>error</i> atau data buruk
$GEH > 10$	Hasil Ditolak

Sumber : Gustavsson (2007)

2. Uji MAPE

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) merupakan rata-rata perbedaan absolut yang terdapat pada nilai prediksi dan nilai sebenarnya yang dinyatakan dalam persentase hasil perbedaan. Rumus MAPE dapat dilihat pada Persamaan 3.24

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_t^n = 1 \frac{|A_t - F_t|}{A_t} \times 100 \quad (3.24)$$

dengan :

n = jumlah data,

A_t = data lapangan / observasi, dan

F_t = data model simulasi.

Nilai ketentuan uji *MAPE* dari presentasi keakuratan data dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3. 11 Kesimpulan Uji MAPE

<i>MAPE</i>	Kesimpulan
< 10 %	Hasil prediksi sangat akurat
10 - 20 %	Hasil prediksi baik
20 % - 50 %	Hasil prediksi layak
> 50 %	Hasil prediksi tidak akurat

Sumber : Gustavsson (2007)

3.8. Biaya Kerugian Akibat Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM)

3.8.1 Konsumsi BBM

Isnaeni (2003) melakukan penelitian mengenai indikator lalu lintas dari perspektif lingkungan, yaitu konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Dalam penelitian tersebut, konsumsi bahan bakar dihitung menggunakan rumus yang diajukan oleh LAPI-ITB (1996) yang telah dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang sehingga konsumsi bahan bakar dapat diestimasi dengan Persamaan 3.25, Persamaan 3.26, dan Persamaan 3.27 berikut.

$$F_1 = A + BV + CV^2 \quad (3.25)$$

$$F_2 = EV^2 \quad (3.26)$$

$$F_3 = D \quad (3.27)$$

dengan :

F_1 = Konsumsi BBM pada kecepatan konstan (liter/100 smp-km),

F_2 = Konsumsi BBM pada saat akselerasi/deselerasi (liter/smp),

F_3 = Konsumsi BBM pada saat *idle* (liter/smp-jam),

V = Kecepatan kendaraan (km/jam),

A = 170.10^{-1} ,

B = -455.10^{-3} ,

C = 490.10^{-5} ,

$$D = 140.10^{-2}, \text{ dan}$$

$$E = 770.10^{-8}.$$

Sari (2019) menyatakan bahwa pada persamaan F_1 pada Persamaan yang merupakan perhitungan konsumsi BBM pada kecepatan konstan masih dalam satuan liter/100smp-km sehingga perlu dikalikan dengan volume lalu lintas dan panjang ruas jalan. Pengukuran panjang ruas jalan dimulai dari mulut simpang hingga simpang terdekat. Konsumsi BBM kendaraan pada kondisi kecepatan konstan yang dinyatakan dalam (liter/jam) akan diberi notasi huruf M dan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.28.

$$M_{b,c} = \frac{F_{1b,c} \times Q_{b,c} \times Id}{100} \quad (3.28)$$

dengan :

$M_{b,c}$: konsumsi BBM kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (liter/jam),

$F_{1b,c}$: konsumsi BBM pada kecepatan konstan (*cruise*) (liter/100 smp-km),

$Q_{b,c}$: volume kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (smp/jam), dan

Id : panjang ruas jalan (km).

Nilai F_3 pada Persamaan juga perlu diubah satuannya dari liter/smp-jam menjadi liter/jam. Menggunakan cara yang sama, Sari dkk. (2019) mengalikan nilai F_3 dengan volume lalu lintas dan nilai tundaan atau lama waktu *idle* rata-rata. Konsumsi BBM kendaraan pada kondisi *idle* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.29.

$$M_{b,c} = \frac{F_{3b,c} \times Q_{b,c} \times D}{3600} \quad (3.29)$$

dengan :

$M_{b,c}$: konsumsi BBM kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (liter/jam),

$F_{3b,c}$: konsumsi BBM kendaraan pada saat *idle* (liter/smp-jam),

$Q_{b,c}$: volume kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (smp/jam), dan

D : lama waktu tundaan atau lama waktu *idle* rata-rata (detik).

Lamsal (2013) melakukan penelitian di India menggunakan teknologi *Automotive Traffic Information System* (ATIS) untuk menentukan konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis kendaraannya. Dari hasil penelitiannya, didapatkan konsumsi bahan bakar dalam satuan mililiter per jam pada kondisi kendaraan *idle*. Untuk mendapatkan nilai konsumsi BBM pada simpang ditentukan dari durasi tundaan yang didapatkan pada simpang dikalikan dengan banyaknya konsumsi bahan bakar untuk tiap jenis kendaraannya. Berdasarkan hasil penelitiannya didapatkan perhitungan konsumsi BBM dilakukan dengan penggunaan nilai konversi pada tiap jenis kendaraan saat keadaan diam (*idle*) yang dapat dilihat konversinya pada Tabel 3.12

Tabel 3. 12 Konsumsi Bahan Bakar Menurut ATIS

No.	Jenis Kendaraan	Konsumsi BBM (ml/jam)
1	Sepeda Motor	170
2	Mobil	767
3	Truk atau Bus	833

Sumber : *Automotive Traffic Information System* (2013)

3.8.2 Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM

Perhitungan biaya kerugian akibat konsumsi BBM dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.30.

$$\text{Kerugian BBM} = \frac{Q_b}{Q_{\text{Total}}} \times M_{b,c} \times \text{Harga BBM}_c \quad (3.30)$$

dengan :

Kerugian BBM = harga kerugian akibat konsumsi BBM (Rp-liter/jam),

Harga BBM_c = harga suatu jenis bahan bakar minyak (Rp),

Q_{b,c} = volume kendaraan b (smp/jam),

Q_{Total} = total volume kendaraan (smp/jam), dan

M_{b,c} = konsumsi BBM kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (liter/jam).

BAB IV

METODE PENELITIAN

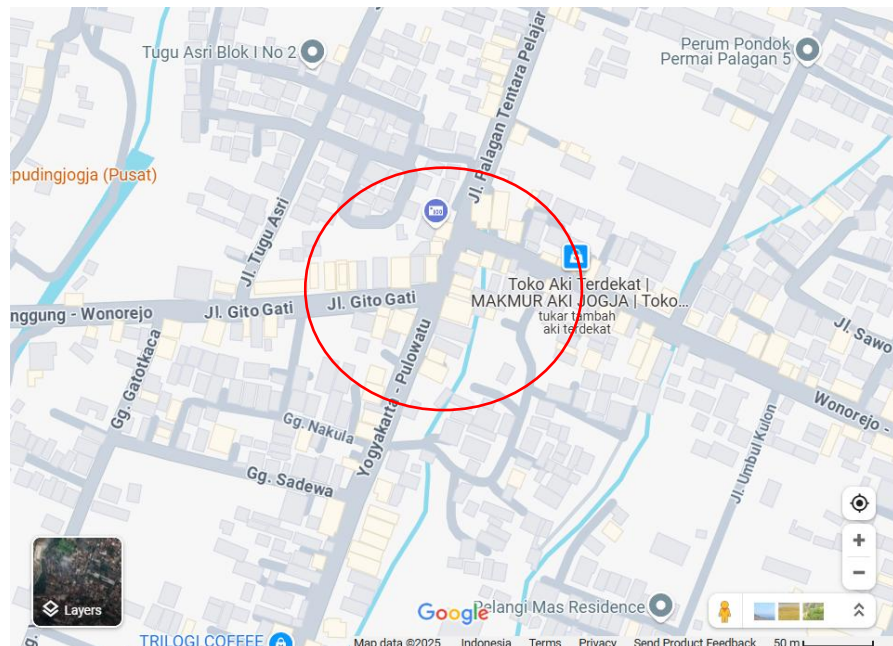
4.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah menggunakan metode deskriptif dan kuantitatif. Metode deskriptif adalah pendekatan penelitian yang bertujuan untuk menggambarkan karakteristik dari suatu fenomena atau populasi. Menurut (Jhon, 2014), tujuan dari metode deskriptif adalah untuk memberikan gambaran yang jelas dan mendetail tentang objek yang diteliti sehingga peneliti dapat menyajikan laporan yang akurat berdasarkan fakta yang ada di lapangan. Sementara itu, metode penelitian kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang menggunakan data numerik dan analisis statistik untuk menguji hipotesis atau menjelaskan hubungan antar variabel.

Penelitian ini akan meninjau dampak dari tundaan yang terjadi pada sebuah simpang bersinyal dan juga menganalisis kinerja dari simpang tersebut. Pengambilan data dilakukan di lapangan dengan melakukan survei langsung untuk mendapatkan data dan dilanjutkan dengan analisis data menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Setelah itu, dilakukan pemodelan dengan perangkat lunak VISSIM untuk mendapatkan solusi dari data yang didapatkan.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi pada simpang bersinyal Kamdanen Kota Yogyakarta yang menghubungkan 4 simpang dengan Jalan Palagan Tentara Pelajar pada lengan Utara, Jalan Kapten Haryadi pada lengan Timur, Jalan Palagan Tentara Pelajar pada lengan Selatan, dan Jalan Gito Gati pada lengan Barat. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian

4.3 Metode Pengumpulan Data

4.3.1. Data Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, penting memiliki data yang mencerminkan situasi aktual di lapangan. Data yang akurat akan mempengaruhi hasil penelitian agar sesuai dengan situasi sebenarnya di lapangan. Untuk memastikan bahwa permodelan mencerminkan kondisi yang sebenarnya, diperlukan penggunaan beberapa data yang saling mendukung. Dalam penelitian ini dibutuhkan data primer dan juga data sekunder. Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

1. Data Primer
 - a. Data Geometri Simpang
 - b. Data Volume Kendaraan
 - c. Data Perilaku Pengemudi
 - d. Data Panjang Antrean
 - e. Data Siklus Waktu Sinyal pada Simpang
 - f. Data Hambatan Samping
 - g. Data Kecepatan Kendaraan

2. Data Sekunder

- a. Denah lokasi simpang APILL
- b. Jumlah penduduk Kabupaten Sleman untuk penentuan faktor koreksi ukuran kota

4.3.2. Peralatan Penelitian

Adapun beberapa peralatan yang digunakan untuk membantu melakukan penelitian, peralatannya adalah sebagai berikut.

1. Formulir, papan jalan, dan alat tulis
2. Kamera
3. *Stopwatch*
4. *Powerbank*
5. Meteran
6. Komputer
7. Cat *pylox*

4.3.3. Waktu Penelitian

Penelitian ini diperlukan survei lapangan secara langsung. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan survei yang dibagi menjadi dua hari, yaitu pada hari kerja dan juga hari libur. Hari kerja dilakukan pada hari Senin dikarenakan hari tersebut merupakan salah satu hari kerja saat masyarakat melakukan aktivitas harian seperti berangkat bekerja, melakukan kegiatan perekonomian, sedangkan untuk hari libur dilakukan pada hari Minggu karena merupakan hari di mana masyarakat bepergian untuk berlibur. Penentuan waktu survei berdasarkan dari hasil observasi mandiri yang dilakukan di tiap harinya. Survei ini dilakukan pada keadaan paling ideal tanpa adanya gangguan cuaca maupun gangguan lalu lintas seperti perbaikan jalan, kecelakaan, ataupun gangguan lainnya karena tidak diinginkan data yang didapat akan terjadi penyimpangan terlalu jauh. Waktu yang dilakukan pada setiap harinya akan dibagi menjadi tiga sesi, yaitu sesi pagi pada pukul 06.00 - 08.00, sesi siang pada pukul 11.00 - 13.00, dan sesi sore pada pukul 16.00 - 18.00. Penentuan waktu tersebut berdasarkan dengan hasil survei pendahuluan yang merupakan waktu paling sibuk dan jam puncak volume kendaraan yang terjadi pada simpang tersebut.

Selain itu, survei untuk pengukuran geometri jalan dan survei kondisi simpang akan dilakukan pada malam hari untuk meminimalisir terjadinya risiko kecelakaan terhadap surveyor karena simpang tersebut sudah dalam keadaan sepi dan tidak mengganggu arus lalu lintas pada simpang.

4.3.4. Survei Data Lalu Lintas

Survei data lalu lintas dilakukan untuk mendapatkan data aktual yang nantinya akan dilakukan pengolahan dan pemodelan dalam pembahasan penelitian ini. Beberapa tahapan survei adalah sebagai berikut.

1. Tahapan Persiapan Survei

Beberapa hal yang harus dipersiapkan sebelum dilakukannya survei pada simpang tersebut, yaitu.

- a. menyiapkan formulir pencatata data arus lalu lintas yang sesuai dengan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)
- b. menempatkan kamera sesuai dengan titik-titik yang sudah direncanakan sebelumnya. Pastikan posisi kamera dipasang dengan kuat agar tidak bergerak dan pastikan posisi kamera dapat menangkap arus lalu lintas dengan baik.
- c. memposisikan surveyor sesuai bersamaan dengan titik-titik kamera yang sudah ditentukan

2. Tahapan Pelaksanaan Survei

Setelah persiapan sudah dilaksanakan dilanjutkan dengan tahapan pelaksanaan survei. Tahapannya adalah sebagai berikut.

- a. data geometri simpang didapatkan dengan cara melakukan survei dan pengukuran langsung di lokasi simpang dengan alat bantu meteran untuk mengetahui dimensi fisik simpang.
- b. data volume kendaraan dilakukan dengan penghitungan manual kendaraan yang melewati simpang selama periode tiap 15 menit. Penghitungan juga dibantu dengan alat bantu kamera yang sudah dipasang pada titik-titik sesuai dengan rencana. Surveyor juga akan mencatat jalur yang diambil oleh pengendara dari tiap simpangnya.

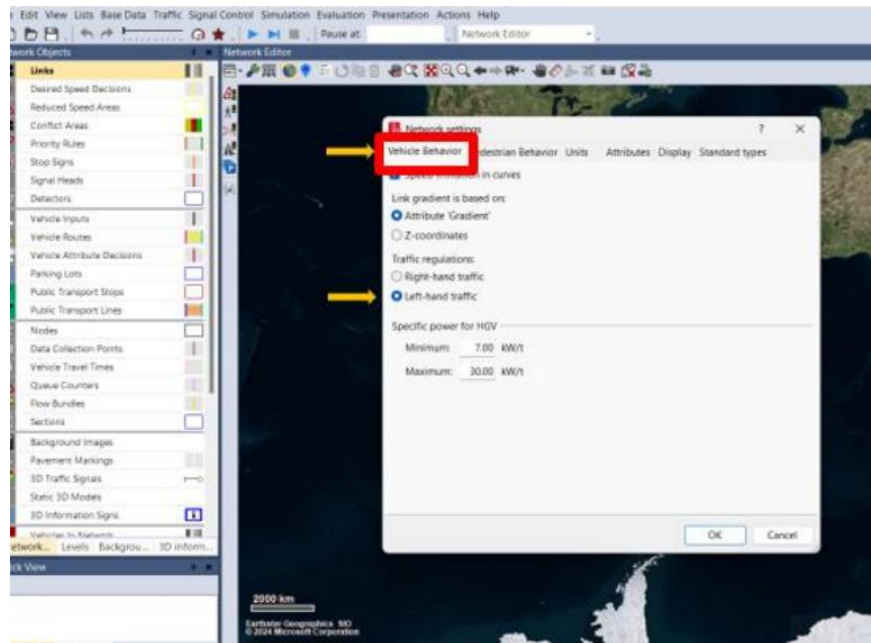
- c. Data kecepatan tempuh kendaraan diberlakukan dengan penentuan batas awal dan batas akhir segmen jalan sepanjang 50 meter. Kemudian catat waktu tempuh yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati segmen jalan sepanjang 50 meter. Pengamatan ini dilakukan setiap 15 menit.
- d. data perilaku pengemudi merupakan salah satu parameter yang dibutuhkan untuk pemodelan dalam perangkat lunak VISSIM. Data ini didapatkan dengan melakukan pengukuran jarak antar kendaraan berupa jarak depan belakang antar kendaraan juga jarak samping antar kendaraan. Pengamatan ini dilakukan saat kendaraan berhenti dan juga kendaraan berjalan dengan cara mengukur menggunakan alat bantu yang diletakkan tiap 50 cm agar jarak yang dilalui oleh kendaraan dapat diketahui. Data yang diambil terdiri dari 80 sampel kendaraan, dengan rincian 20 sampel untuk jarak antar kendaraan depan-belakang pada posisi berhenti, 20 sampel pada posisi bergerak, 20 sampel untuk jarak antar kendaraan bersisian saat berhenti, dan 20 sampel saat bergerak. Hal lain yang perlu diperhatikan dalam survei ini adalah mengamati bagaimana kendaraan bersiap untuk memberi ruang pada kendaraan lain, apakah dari sisi kanan, kiri, atau kedua-duanya.
- e. data panjang antrean dilakukan pada tiap lengan simpang. Data ini didapatkan saat siklus simpang bersinyal merah atau saat kendaraan berhenti. Pengamatan ini dibantu dengan pemberian garis tiap 10 meter untuk membantu mengetahui panjang antrean yang terjadi.
- f. data siklus waktu sinyal pada simpang dilakukan dengan mengamati dan mencatat waktu sinyal hijau, sinyal kuning, dan sinyal merah pada tiap simpang. Data ini dibutuhkan untuk pemodelan simpang pada perangkat lunak VISSIM.
- g. data hambatan samping dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan dan mengidentifikasi keadaan langsung apakah ada aktivitas masyarakat di sekitar simpang tersebut.

4.4 Metode Pemodelan PTV VISSIM

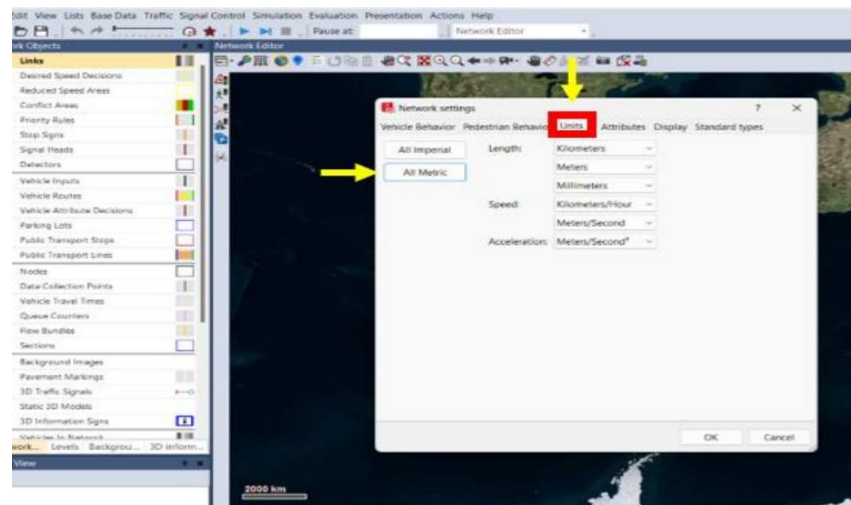
Perangkat lunak PTV VISSIM digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan dari kondisi eksisting pada simpang bersinyal yang akan diteliti. PTV VISSIM digunakan juga untuk menciptakan representasi digital dari persimpangan dan juga memungkinkan analisis yang lebih detail terhadap berbagai skenario lalu lintas termasuk pengaruh dari perubahan desain simpang, pengaturan sinyal, dan volume lalu lintas yang berbeda. Tahapan penggunaan PTV VISSIM adalah sebagai berikut.

1. *Network Setting*

VISSIM merupakan perangkat lunak yang berasal dari Eropa, di mana secara *default* kendaraannya beroperasi di jalur kanan. Namun, di Indonesia, kendaraan menggunakan jalur kiri. Untuk mengubah perilaku kendaraan ini dibutuhkan untuk mengubah pengaturan melalui *network setting*. Langkah pengaturan *network setting* adalah dengan klik *Base Data – Network Setting* – pada *Vehicle Behaviour* di ubah menjadi *left-hand traffic* dan pada *Units* diubah menjadi *All Metrics*. Perubahan pada *Network Setting* dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



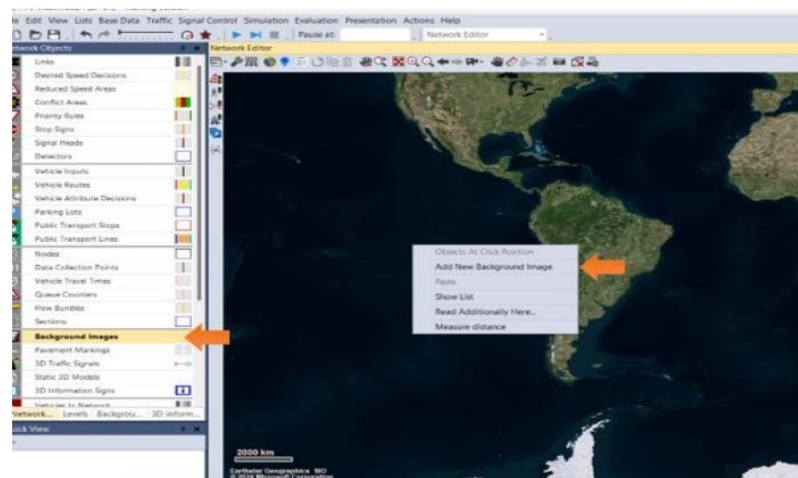
Gambar 4. 2 Pengaturan *Network Setting*



Gambar 4. 3 Pengaturan *Units* pada *Network Setting*

2. *Input Background Image*

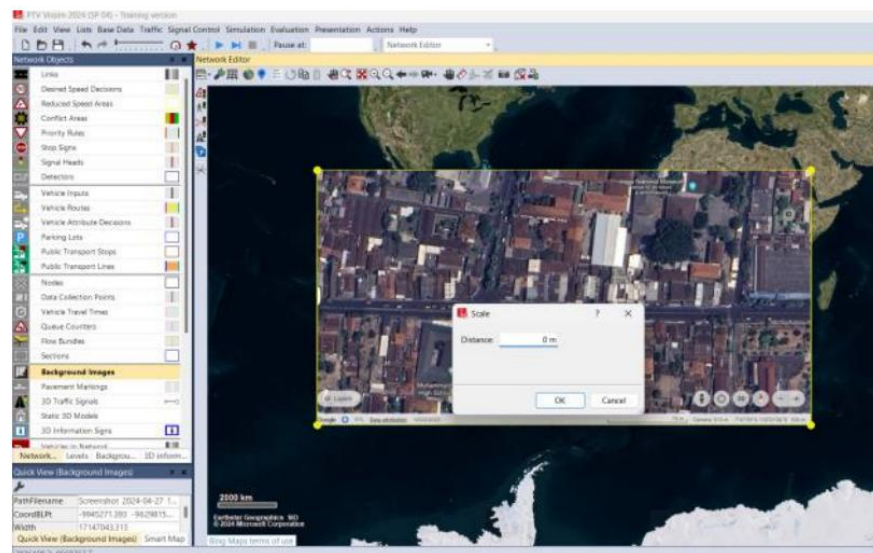
Input background images digunakan untuk mendapatkan peta lokasi penelitian yang di ambil dengan bantuan aplikasi *Google Earth*. Peta lokasi penelitian akan terpampang dengan perbandingan skala lebar jalan asli dengan peta dari *Google Earth*. Cara menginputnya adalah dengan klik menu *Background Image* pada *Network Object* – klik kanan pada jendela *Network Editor* – pilih menu *Add New Background Image* – pilih Gambar jaringan jalan yang ingin dibuat – klik *Open* – sesuaikan menggunakan *Scroll* untuk mendapatkan perbesaran gambar yang diinginkan. Input *Background Image* dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4. 4 Input *Background Image*

3. *Set Scale*

Set scale berguna untuk mengatur skala pada peta *Google Earth* dengan jalan lebar yang asli. Tahapan cara *set scale* pada aplikasi ini adalah sebagai berikut. Pertama, ukur jarak antara bangunan, jarak antar jalan,, lebar jalan, atau ukuran lain yang mudah diukur. Pengukuran dapat dilakukan langsung di lapangan atau menggunakan skala nyata (*Google Map*) dengan cara klik kanan pada gambar dan memilih *Set Scale*. Kemudian, tarik garis sebagai acuan dan masukkan ukuran asli yang ada di lapangan. Pengaturan skala gambar dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Pengaturan Skala

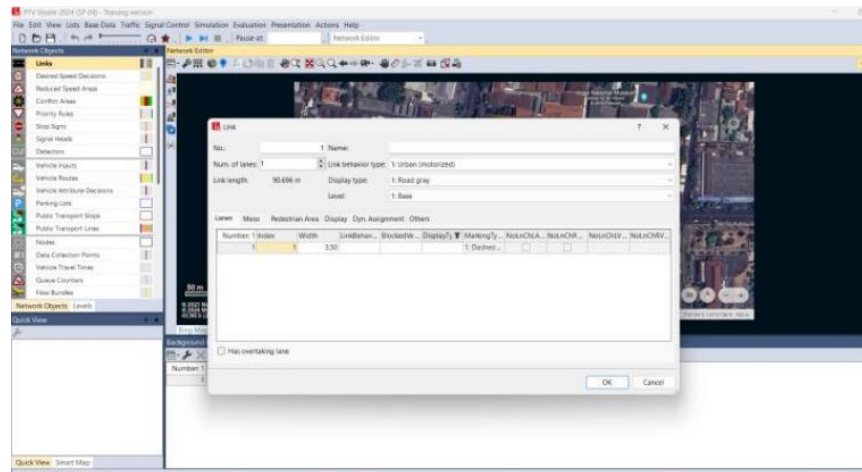
4. Pembuatan Jaringan Jalan (*Link* dan *Connector*)

Pembuatan jaringan jalan melalui beberapa tahap sebagai berikut.

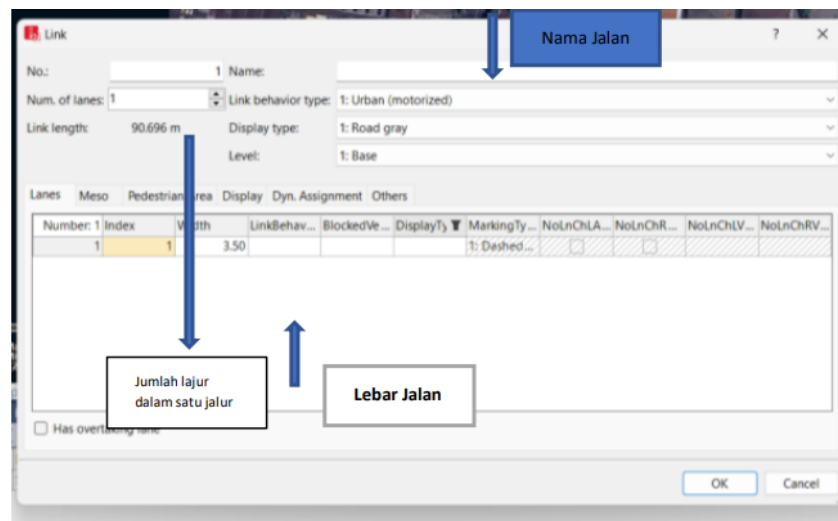
a. Pembuatan *Link*

Lebar *link* harus disesuaikan dengan lebar asli lapangan pada setiap lajur. Untuk membuat *link*, klik menu *Links* pada *Network Object*, kemudian di area *Network Editor* tekan tombol *Ctrl* dan klik kanan secara bersamaan. Tarik panjang link sesuai keinginan, lalu masukkan nama link, jumlah lajur, lebar lajur, dan tipe kendaraan

yang akan melewati link tersebut, kemudian klik OK. Langkah tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 6 Pengaturan *Link*



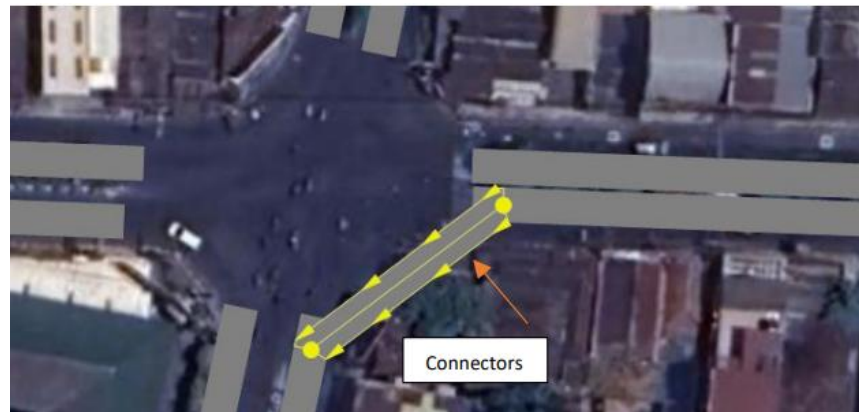
Gambar 4. 7 Pengaturan *Link Data*

Langkah-langkah dalam pengaturan *link data* : input nama jalan pada tulisan (*name*), input jumlah lajur pada tulisan (*Num of lane*) dan input lebar jalan setiap lajur pada tulisan (*width*)

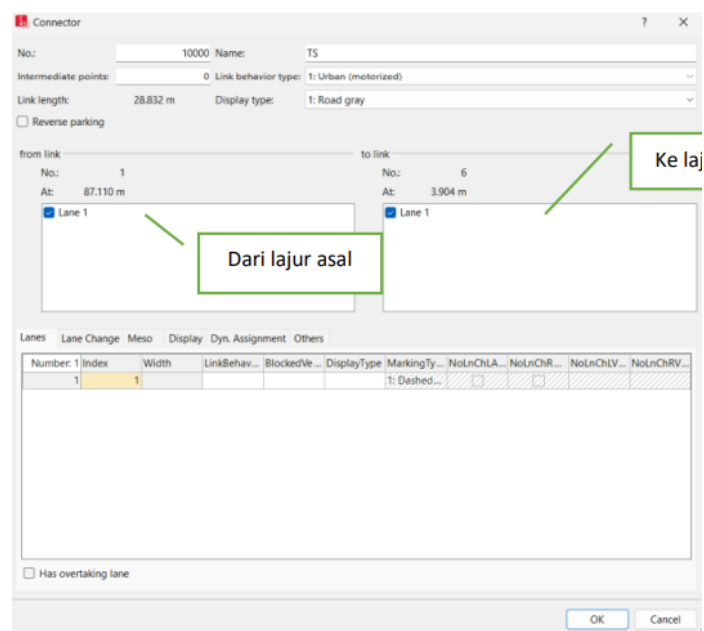
b. Pembuatan *Connector*

Setelah *link* dibuat, langkah selanjutnya adalah menghubungkan antar *link* dengan menggunakan *connectors*. Untuk membuat

connectors, klik pada link yang ingin diberi *connector*, kemudian tekan tombol *Ctrl* dan klik kanan secara bersamaan. Selanjutnya, tarik dan arahkan ke link yang menjadi tujuan. Dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4. 8 *Connectors*



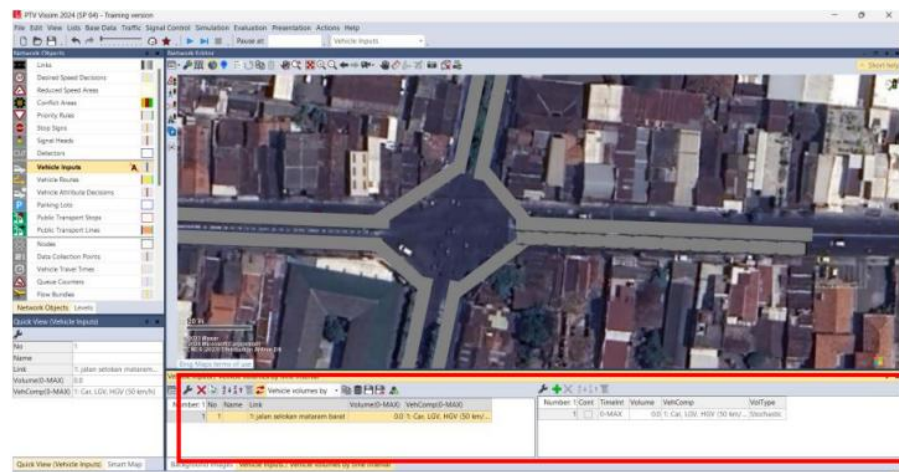
Gambar 4. 9 Setelan *Connector*

Selanjutnya langkah-langkah untuk mengatur *connector* adalah sebagai berikut: di bagian "*from link*" dan "*to link*," terdapat *Lane 1*, dan jika ada lebih dari satu lajur, akan ada *lane 2*, *lane 3*, dan seterusnya. "*From link*"

digunakan untuk menentukan titik awal penyambungan, sedangkan "*to link*" digunakan untuk memilih lajur yang akan disambungkan.

5. Vehicle Input

Vehicle input berfungsi untuk memasukkan volume arus lalu lintas. Untuk menginput data volume ke dalam VISSIM, diperlukan informasi mengenai volume kendaraan selama jam puncak. Langkah-langkah untuk melakukan *Vehicle Input* adalah dengan mengklik menu *Vehicle Input* pada *Network Object*, kemudian klik pada link yang akan diinput volumenya. Selanjutnya, tekan *ctrl* + klik kanan atau klik kanan dan pilih *Add New Vehicle Input*. Pengaturan *Vehicle Inputs* dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4. 10 Pengaturan *Vehicle Inputs*

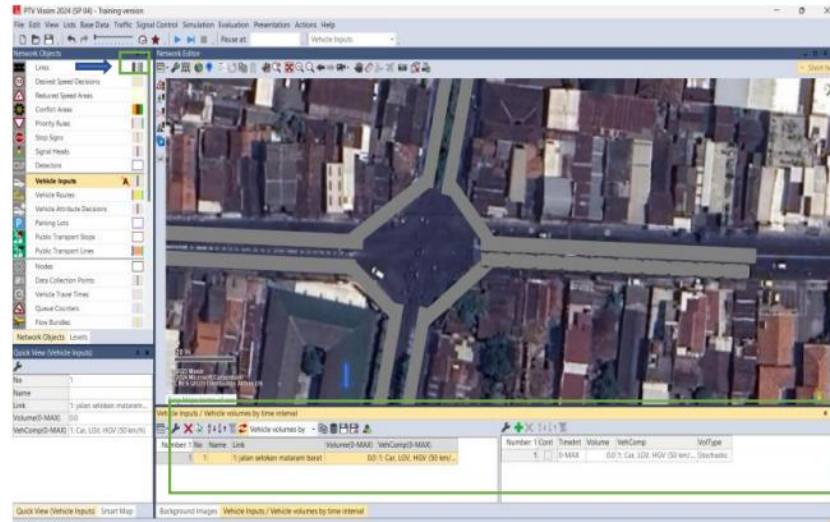
Tahap pengaturan *vehicle inputs* adalah sebagai berikut.

- Pada tulisan *Name* diisi dengan nama jalan
- Pada tulisan *Volume* diisi dengan volume kendaraan
- Pada *VehComp* diisi dengan jenis komposisi kendaraan yang telah dibuat di *VehicleCompositions*.

6. Vehicle Compositions

Vehicle Composition digunakan untuk penggabungan dari setiap jenis kendaraan beserta kecepatannya pada jam puncak. Kecepatan kendaraan diperoleh dari hasil survei. Langkah pengaturan *Vehicle Composition* adalah

Klik *Traffic* pada menu *Bar* – lalu pilih *Vehicle Composition* – akan muncul jendela seperti Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4. 11 *Vehicle Compositions*

Langkah pengaturan *Vehicle Compositions* adalah sebagai berikut.

- a. Bagian (a) untuk menambahkan nama kendaraan pada suatu *link*
- b. Bagian (b) untuk menambahkan tipe kendaraan dengan mengubah *VehType* dengan tipe kendaraan yang direncanakan.

7. *Vehicle Routes*

Vehicle Routes adalah proses pengaturan rute, rute digunakan untuk membuat pergerakan kendaraan. Langkah pengaturan rute adalah Klik *Vehicle Routes* pada *Network Object* – tekan *ctrl* + kanan pada jalan yang akan dibuat rute (*Start Point*) – tarik atau arahkan sesuai rute yang diinginkan (*End Point*) – klik kiri – *esc*.

8. *Conflict Areas*

Conflict Area digunakan untuk mengontrol kendaraan agar tidak saling bertabrakan. *Conflict area* juga digunakan untuk memprioritaskan kendaraan agar jalan terlebih dahulu sesuai yang diinginkan. Langkah memunculkan conflict area adalah Klik *conflict area* pada *Network Object* – Akan konflik pada *link* dengan tanda warna kuning – tekan *ctrl* + klik kanan pada *link* konflik warna kuning – salah satu link akan berwarna hijau dan link lainnya berwarna merah atau keduanya berwarna merah.

9. *Priority Rules*

Priority Rules hampir sama seperti *conflict area*. *Priority Rules* digunakan saat melakukan pengaturan titik dimana kendaraan mulai menunggu sehingga kendaraan itu dapat lolos pada saat arus lain kosong. Langkah pengaturannya dengan cara Klik *menu Priority Rules* pada *Network Objects* – tekan *ctrl* dan klik kanan pada jaringan jalan yang akan diatur

10. *Reduced Speed Areas*

Reduced Speed atau pengurangan kecepatan merupakan parameter kalibrasi yang dijadikan untuk menirukan kenyataan pengemudi dalam berkendara di jalan. Pada saat kendaraan melewati area tertentu (seperti persimpangan, *U-turn*, dll) pengemudi akan memperlambat kendaraannya. Langkah pengaturan adalah Klik *Reduced Speed Areas* pada *Network Object* – tekan *ctrl* + klik kanan pada daerah link yang akan diatur – tarik Panjang sesuai keinginan – akan muncul jendela sesuai Gambar – pada bagian kolom, klik kanan – *Add* – sesudah muncul baris baru, atau *VehClass* sesuai dengan kendaraan yang akan diatur kecepatannya – klik OK.

11. Pembuatan dan Pengaturan Model 3D

Model 3D digunakan untuk mempercantik tampilan simulasi VISSIM dapat menambahkan objek bangunan, median jalan, marka jalan, trotoar dan kendaraan 3D.

12. *Configuration and Running*

Configuration berfungsi untuk mengatur parameter yang digunakan dalam proses *running*. Langkah *configuration* dengan cara Klik *Evaluation* pada *Menu Bar* – klik *configuration* – klik atau centang *data collection*, *delays*, *queue length* dan *vehicle travel times*.

13. Kalibrasi dan Validasi

Proses validasi dengan merubah nilai random seed sekurang-kurangnya 5x (lima kali perubahan) sehingga mendapatkan nilai rata-rata dari hasil *running Data*. Langkah dalam mengatur random seed adalah Klik *simulation* pada *Menu Bar*, lalu klik *parameters*, ganti nilai *random seed*

sesuai dengan rencana, lalu klik OK kemudian *running*, Ulangi sesuai dengan keinginan.

4.5 Analisis Data

Tahap analisis dilakukan dengan bantuan beberapa perangkat lunak, yaitu dengan menggunakan *Microsoft Excel* untuk mengolah data dari hasil survei langsung di lapangan menggunakan ketentuan berdasarkan PKJI 2023. Selain itu, dilakukan pemodelan dengan perangkat lunak PTV VISSIM. Hasil analisis data menggunakan kedua perangkat lunak tersebut akan didapatkan kinerja simpang dan juga mendapatkan solusi atau alternatif yang paling baik pada simpang tersebut. Setelah mendapatkan data tersebut lalu perhitungan kerugian bahan bakar minyak (BBM) yang terbuang akibat tundaan pada simpang pada kondisi eksisting dan kondisi setelah adanya solusi alternatif. Langkah-langkah analisis data pada penelitian adalah sebagai berikut.

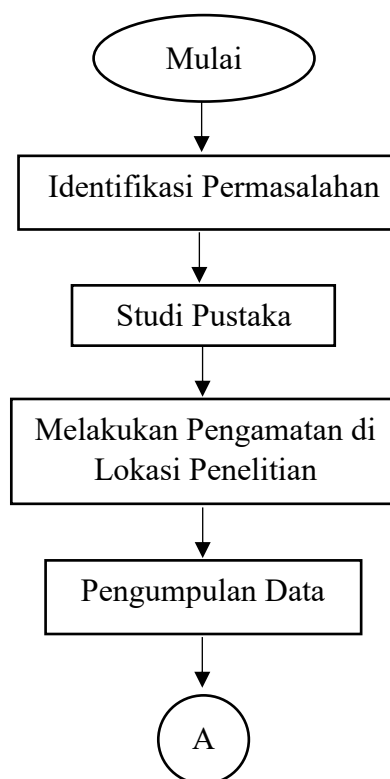
1. Data primer yang sudah didapatkan saat survei di lapangan dianalisis menggunakan *Microsoft Excel* dengan acuan PKJI 2023 untuk mencari data volume jam puncak.
2. Setelah mendapatkan data volume jam puncak dan kecepatan tempuh kendaraan, dilakukan analisis untuk mendapatkan hasil kinerja dan tingkat pelayanan simpang pada kondisi eksisting dengan acuan PKJI 2023 dan pemodelan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Kinerja simpang dapat dianalisis dengan menghitung parameter kapasitas (C) dan akan menghasilkan informasi mengenai derajat kejenuhan, tundaan, dan peluang antrian, serta tingkat pelayanan dengan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96, 2015.
3. Pemodelan menggunakan perangkat lunak VISSIM mencakup pemodelan jaringan jalan, jumlah kendaraan, pengaturan rute, dan komposisi kendaraan yang disesuaikan dengan hasil survei.
4. Setelah didapatkan pemodelan pada VISSIM, dilakukan kalibrasi dan validasi data pada pemodelan dengan aplikasi VISSIM. Kalibrasi dilakukan dengan mengubah nilai pada parameter *driving behaviour*. Setelah itu,

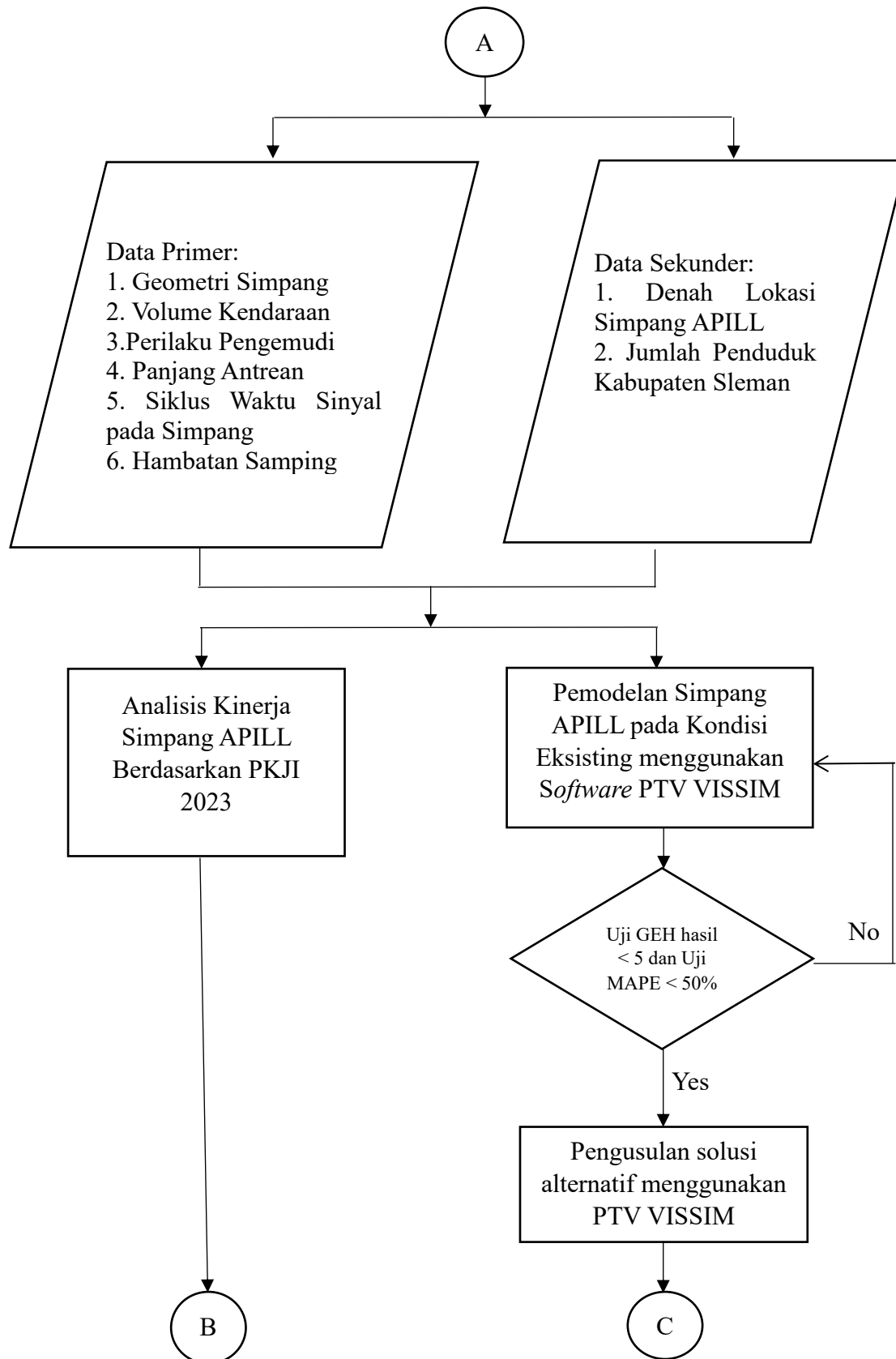
lakukan proses validasi dengan menguji kebenaran kalibrasi yang bersyaratkan hasil uji GEH dan uji MAPE mendekati kondisi eksisting.

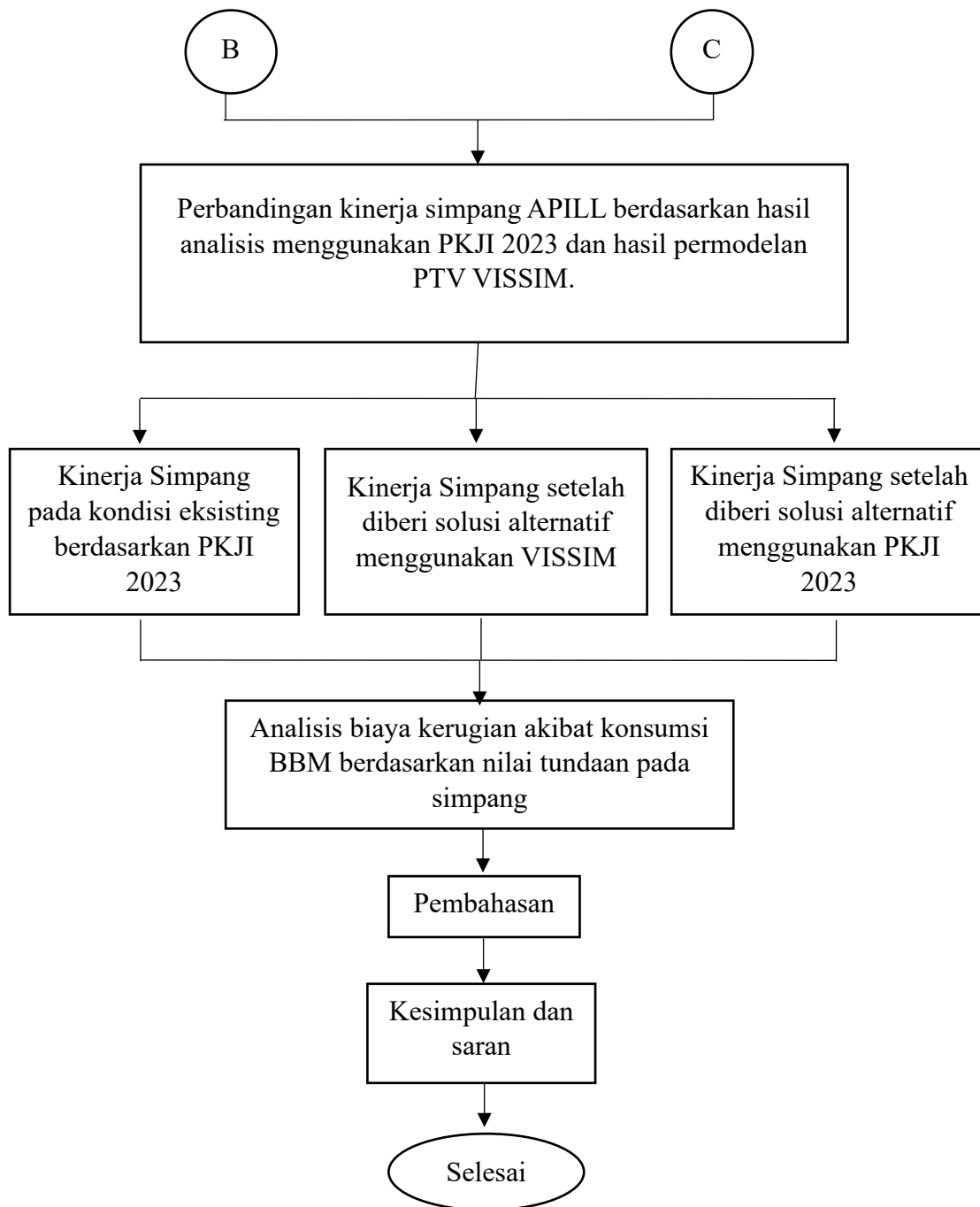
5. Melakukan perbandingan hasil dari analisis metode PKJI 2023 dengan aplikasi VISSIM berdasarkan tingkat pelayanannya. Jika hasil yang di dapat tidak memenuhi syarat maka diperlukan solusi alternatif perbaikan.
6. Pengusulan alternatif solusi untuk peningkatan kinerja simpang berdasarkan Tingkat Pelayanan (*Level of Service*) sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan 2015 tentang Penyelenggaraan Manajemen Lalu Lintas.
7. Dari hasil yang didapat dilakukan perbandingan antara alternatif solusi menggunakan metode PKJI 2023 dengan aplikasi VISSIM.
8. Analisis kerugian bahan bakar minyak (BBM) yang terjadi pada kondisi eksisting dan setelah diberikan alternatif sesuai dengan tundaan yang terjadi.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.12 sebagai berikut.







Gambar 4. 12 Bagan Alir Penelitian

BAB V

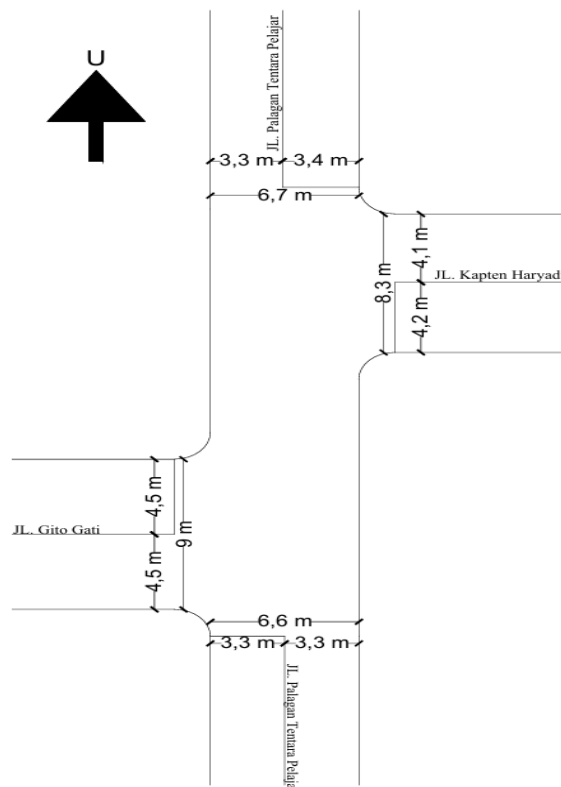
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Data Hasil Penelitian

Data hasil pengamatan didapatkan menggunakan metode survei langsung pada simpang APILL yang ditinjau. Data-data yang diambil akan dilakukan analisis berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan juga pemodelan menggunakan *software* PTV VISSIM.

5.1.1 Data Geometri Simpang

Data geometri simpang didapatkan dengan melakukan pengukuran dan pengamatan langsung pada lokasi simpang. Data yang diambil adalah lebar lajur tiap ruas, lebar pendekat per lajur. Serta ada data yang perlu diamati berupa tipe jalan, lebar lajur, lebar jalur, lebar median, dan lebar bahu atau lebar kereb. Data geometri simpang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Tabel 5.1.



Gambar 5. 1 Sketsa Geometri Simpang Kamdanen

Tabel 5. 1 Data Geometri Simpang Kamdanen

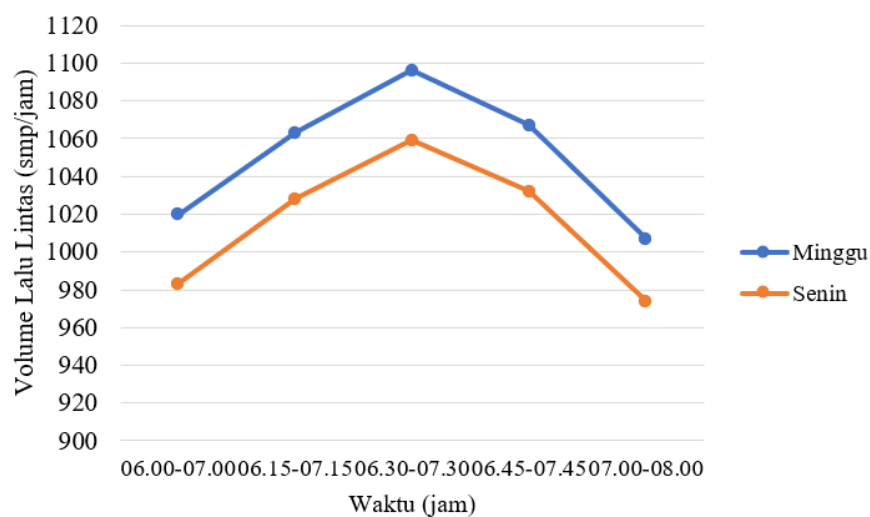
Pendekat	Median	Belok Kiri Langsung	Lebar Pendekat Masuk (m)	Lebar Pendekat Keluar (m)
Jalan Palagan Tentara (Utara)	Tidak	Tidak	3,4	3,3
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	Tidak	Tidak	4,2	4,5
Jalan Palagan Tentara (Selatan)	Tidak	Tidak	3,3	3,3
Jalan Gito Gati (Barat)	Tidak	Tidak	4,5	4,1

5.1.2 Data Volume Kendaraan

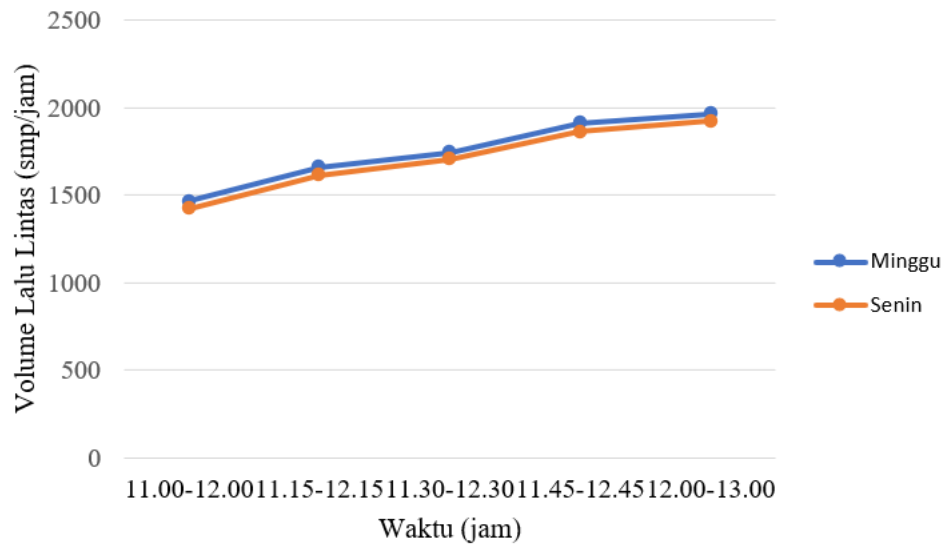
Data volume lalu lintas dilakukan dengan survei secara langsung pada simpang. Tiap surveyor mencatat kendaraan dalam satuan kendaraan per jam (kend/jam) dan diubah ke dalam satuan mobil per jam (smp/jam) sesuai dengan pedoman Direktorat Jenderal Bina Marga (2023). Pengambilan data volume kendaraan dilakukan pada 2 hari yang berbeda, yaitu pada hari Minggu sebagai hari libur dan hari Senin sebagai hari kerja. Pengambilan data di tiap harinya dibagi menjadi tiga sesi dengan detail pada sesi pagi pada pukul 06.00-08.00 WIB, sesi siang pada pukul 11.00-13.00 WIB, dan sesi sore pada pukul 16.00-18.00 dengan interval pengambilan data selama 15 menit. Syarat pengambilan data adalah pada saat kondisi cuaca cerah dan kondisi lalu lintas normal tidak sedang ada kecelakaan. Dari data yang dikumpulkan akan didapatkan hasil yang bervariasi pada lalu lintas yang terjadi. Variasi data yang dipakai adalah pada hari Minggu siang di rentang waktu 12.00-13.00 WIB karena memiliki angka terbesar dalam satuan smp/jam. Rekapitulasi data volume kendaraan dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.2, Gambar 5.3, dan Gambar 5.4

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Volume Simpang Kamdanen

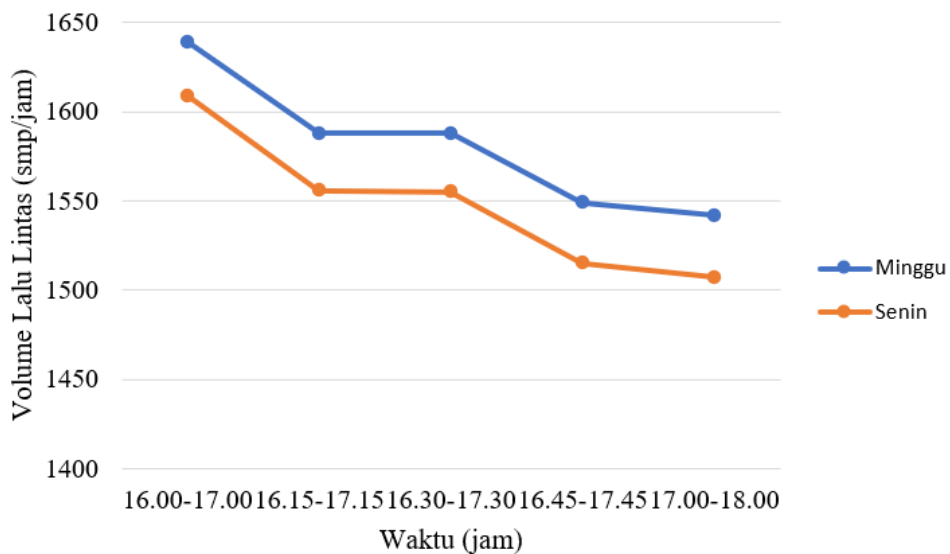
Sesi	Waktu (WIB)	Rekapitulasi Volume Simpang Kamdanen			
		Minggu		Senin	
		kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam
Pagi	06.00-07.00	2712	1020	2712	983
	06.15-07.15	2856	1063	2856	1028
	06.30-07.30	2887	1096	2887	1059
	06.45-07.45	2884	1067	2884	1032
	07.00-08.00	2753	1007	2753	974
Siang	11.00-12.00	3312	1465	3312	1426
	11.15-12.15	3712	1660	3712	1615
	11.30-12.30	3931	1745	3931	1706
	11.45-12.45	4262	1913	4262	1863
	12.00-13.00	4405	1965	4405	1925
Sore	16.00-17.00	3838	1639	3838	1609
	16.15-17.15	3753	1588	3753	1556
	16.30-17.30	3780	1588	3780	1555
	16.45-17.45	3689	1549	3689	1515
	17.00-18.00	3718	1542	3718	1507



Gambar 5. 2 Grafik Volume Lalu Lintas Jam Puncak Pagi (smp/jam)



Gambar 5. 3 Grafik Volume Lalu Lintas Jam Puncak Siang (smp/jam)



Gambar 5. 4 Grafik Volume Lalu Lintas Jam Puncak Sore (smp/jam)

5.1.3 Data Kecepatan Kendaraan

Data kecepatan kendaraan didapatkan dengan cara menghitung waktu tempuh kendaraan mobil penumpang yang melewati segmen sepanjang 50 meter pada ruas-ruas yang sudah ditandai sebelumnya. Surveyor akan mencatat dengan alat *stopwatch* pada saat kendaraan akan melewati segmen yang sudah ditentukan pada

lokasi survei. Data kecepatan kendaraan digunakan pada pemodelan dengan PTV VISSIM untuk menggambarkan kecepatan kendaraan saat survei dan sebagai indikator adanya hambatan samping pada simpang Kamdanen yang membuat kecepatan kendaraan berkurang saat melewati simpang . Data hasil pengamatan kecepatan kendaraan dapat dilihat pada Lampiran 26 sampai Lampiran 29 dan untuk rata-rata tiap lengan dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Data Kecepatan Kendaraan pada Simpang Kamdanen

Lengan	Panjang Segmen (m)	Waktu Tempuh Rata-rata (detik)	Kecepatan Rata-rata (km/jam)
Jalan Palagan Tentara (Utara)	50	5,979	30,104
Jalan Kapten Haryadi (Timur)		6,511	27,646
Jalan Palagan Tentara (Selatan)		5,721	31,463
Jalan Gito Gati (Barat)		6,274	28,690

5.1.4 Data Perilaku Pengemudi

Data perilaku pengemudi atau *driving behaviour* adalah data yang didapatkan dari pengamatan langsung pada tiap lengan simpang untuk digunakan sebagai parameter dalam aplikasi PTV VISSIM. Perilaku yang diamati adalah jarak antar kendaraan pada tiap lengannya. Data yang diambil adalah sebanyak 80 sampel dengan rincian, 20 sampel jarak antar kendaraan depan belakang saat kendaraan bergerak, 20 sampel jarak antar kendaraan depan belakang saat kendaraan berhenti, 20 sampel jarak antar kendaraan bersebalahan saat kendaraan bergerak, dan 20 sampel jarak antar kendaraan bersebalahan saat kendaraan berhenti. Data-data ini digunakan untuk proses kalibrasi saat menggunakan aplikasi PTV VISSIM yang menyesuaikan kondisi perilaku berkendara saat penelitian. Data *driving behaviour* dapat dilihat pada Lampiran 30 dan untuk rata-rata dapat dilihat pada Tabel 5.4.

5.1.5 Data Panjang Antrean

Data panjang antrean simpang didapatkan dari hasil pengamatan langsung dengan dilakukan penandaan tiap segmen agar mudah mengetahui panjang antrean pada tiap lengannya dan pencatatan panjang antrean dilakukan pada setiap lengan yang akan mendapatkan waktu hijau. Data panjang antrean pada jam puncak dapat dilihat pada Lampiran 25 dan untuk panjang antrean maksimum dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 4 Data Perilaku Pengemudi pada Simpang Kamdanen

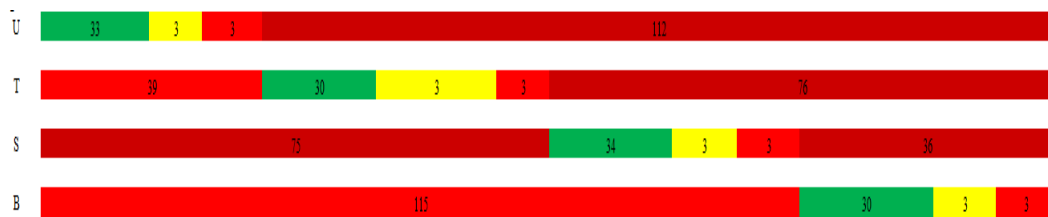
Lengan	Depan Belakang saat Berhenti	Depan Belakang saat Bergerak	Sejajar saat Berhenti	Sejajar saat Bergerak
Utara	0,4	0,7	0,6	0,8
Timur	0,6	1,0	0,4	0,5
Selatan	0,3	0,6	0,5	0,7
Barat	0,5	0,8	0,8	1,1

Tabel 5. 5 Data Panjang Antrean pada Simpang Kamdanen

Pendekat	Panjang Antrean Maksimum (m)
Jalan Palagan Tentara (Utara)	80
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	175
Jalan Palagan Tentara (Selatan)	120
Jalan Gito Gati (Barat)	95

5.1.6 Data Siklus Waktu Sinyal pada Simpang

Data siklus waktu sinyal pada simpang diperoleh dengan melakukan pengamatan langsung dan juga menghitung siklus waktu tiap simpang oleh surveyor menggunakan *stopwatch* dan mencatat data waktu hijau, kuning, merah, dan *all red*. Data ini digunakan untuk mengetahui kondisi eksisting pada simpang Kamdanen. Data siklus waktu sinyal pada simpang dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan pada Gambar 5.5.



Gambar 5. 5 Diagram Fase Simpang Kamdanen

Tabel 5. 6 Waktu Siklus Simpang Kamdanen

Lengan	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah Semua (detik)	Merah (detik)	Waktu Siklus (detik)	Urutan Fase
Jalan Palagan Tentara (Utara)	33	3	3	112	151	1
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	30	3	3	115	151	2
Jalan Palagan Tentara (Selatan)	34	3	3	111	151	3
Jalan Gito Gati (Barat)	30	3	3	115	151	4

5.1.7 Data Hambatan Samping

Survei hambatan samping dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung pada lokasi penelitian. Pengamatan dilakukan pada tiap lengan simpang untuk mengetahui kondisinya dan untuk penentuan kelas hambatannya yang dapat dilihat pada Tabel 3.2. Berdasarkan uraian kelas dan ciri-ciri pada tabel tersebut, hambatan samping pada tiap lengan dapat dilihat pada Gambar 5.6, Gambar 5.7, Gambar 5.8, dan Gambar 5.9.

Kondisi pada Jalan Palagan Tentara Pelajar sebagai pendekat Utara dapat dilihat pada Gambar 5.6.



**Gambar 5. 6 Hambatan Samping Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)
pada Simpang Kamdanen**

Berdasarkan dengan Gambar 5.6 dan Tabel 3.2, kondisi pada Jalan Palagan Tentara Pelajar sebagai pendekat Utara termasuk dalam tipe komersial karena adanya pertokoan. Lengan Utara akan termasuk dalam hambatan sedang.

Kondisi pada Jalan Kapten Haryadi sebagai pendekat Timur dapat dilihat pada Gambar 5.7



**Gambar 5. 7 Hambatan Samping Jalan Kapten Haryadi (Timur) pada
Simpang Kamdanen**

Berdasarkan dengan Gambar 5.7 dan Tabel 3.2, kondisi pada Jalan Kapten Haryadi sebagai pendekat Timur termasuk dalam tipe komersial karena adanya

pertokoan dan aktivitas di sisi jalan yang tinggi. Lengan Timur akan termasuk dalam hambatan tinggi.

Kondisi pada Jalan Palagan Tentara Pelajar sebagai pendekat Selatan dapat dilihat pada Gambar 5.8



**Gambar 5. 8 Hambatan Samping Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)
pada Simpang Kamdanen**

Berdasarkan dengan Gambar 5.8 dan Tabel 3.2, kondisi pada Jalan Palagan Tentara Pelajar sebagai pendekat Selatan termasuk dalam tipe komersial karena adanya pertokoan. Lengan Selatan akan termasuk dalam hambatan sedang.

Kondisi pada Jalan Gito Gati sebagai pendekat Barat dapat dilihat pada Gambar 5.9.



**Gambar 5. 9 Hambatan Samping Jalan Gito Gati (Barat) pada Simpang
Kamdanen**

Berdasarkan dengan Gambar 5.9 dan Tabel 3.2, kondisi pada Jalan Gito Gati sebagai pendekat barat termasuk dalam tipe komersial karena adanya pertokoan dan aktivitas di sisi jalan yang tinggi. Lengan Barat akan termasuk dalam hambatan tinggi, maka dari itu lengan Barat termasuk dalam kategori hambatan sedang.

5.2. Data Sekunder

5.2.1 Denah Lokasi Simpang APILL

Lokasi penelitian sudah ditentukan sebelum dilakukannya penelitian. Penelitian dilakukan pada Simpang Kamdanen, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Gambar peta lokasi simpang dapat dilihat pada Gambar 4.1.

5.2.2 Jumlah Penduduk Kabupaten Sleman

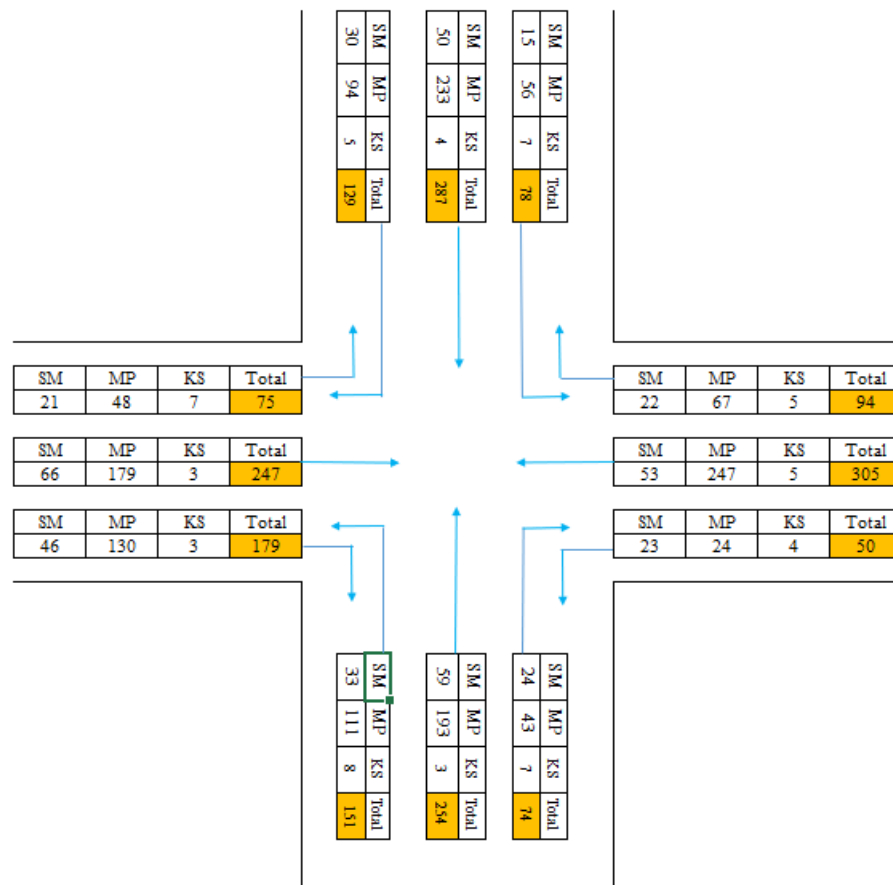
Data jumlah penduduk Kabupaten Sleman dapat diperoleh dari (Badan Pusat Statistik Kab Sleman, 2025) dalam angka 2025. Jumlah penduduk di Kabupaten Sleman pada tahun 2024 tercatat sebanyak 1.125.571 jiwa.

5.3. Analisis Kinerja Eksisting Simpang Berdasarkan PKJI 2023

Analisis kinerja simpang yang akan dilakukan adalah simpang APILL Kamdanen, Sleman Yogyakarta. Analisis ini mengacu pada PKJI 2023 untuk menghitung nilai kapasitas simpang, nilai derajat jenuh, dan mendapatkan nilai tingkat pelayanan simpang yang didalamnya terdapat panjang antrean, kendaraan yang terhenti, serta tundaan yang terjadi pada simpang.

5.3.1 Analisis Volume Lalu Lintas

Distribusi volume lalu lintas pada simpang Kamdanen saat jam puncak dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5. 10 Distribusi Volume Lalu Lintas Simping Kamdanen pada Kondisi Eksisting

Data volume lalu lintas yang sudah didapatkan lalu akan dikonversikan menjadi angka ekuivalen mobil penumpang (EMP) berdasarkan PKJI 2023 untuk menyamakan nilai berbagai jenis kendaraan menjadi satu nilai yang sama dan mengubah satuan nilainya dari kendaraan/jam menjadi smp/jam. Nilai EMP untuk tiap jenis kendaraan itu berbeda-beda, mulai dari sepeda motor (SM) adalah 0,15, mobil penumpang (MP) adalah 1, kendaraan sedang (KS) adalah 1,3. Sehingga data volume lalu lintas untuk simping Kamdanen dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Volume Lalu Lintas Simpang Kamdanen pada Kondisi Eksisting

Komposisi Lalu Lintas		MP		KS		SM		Kend Bermotor Total MV		Rasio Belok
Arus Lalu Lintas	Arah	Mobil Penumpang (MP)		Kendaraan Sedang (KS)		Sepeda Motor (SM)				
Pendekat		Kend/Jam	emp	Kend/Jam	emp	Kend/Jam	emp	Kend/Jam	smp/jam	
			1		1,3		0,15			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jl. Palagan Tentara Pelajar (Utara)	Bki	56	56	5	7	101	15	162	78	0,16
	Lurus	233	233	3	4	336	50	572	287	
	Bka	94	94	4	5	200	30	298	129	0,26
	Total	383	383	12	16	637	96	1032	494	0,42
Jl. Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	Bki	111	111	6	8	217	33	334	151	0,32
	Lurus	193	193	2	3	390	59	585	254	
	Bka	43	43	5	7	160	24	208	74	0,15
	Total	347	347	13	17	767	115	1127	479	0,47
Jumlah Jl. Mayor Total A+B		730	730	25	33	1404	211	2159	973	
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	Bki	24	24	3	4	150	23	177	50	0,11
	Lurus	247	247	4	5	354	53	605	305	
	Bka	67	67	4	5	145	22	216	94	0,21
	Total	338	338	11	14	649	97	998	450	0,32

Lanjutan Tabel 5. 7 Volume Lalu Lintas Simpang Kamdanen pada Kondisi Eksisting

Komposisi Lalu Lintas		MP		KS		SM		Kend Bermotor Total MV		Rasio Belok
Arus Lalu Lintas	Arah	Mobil Penumpang (MP)		Kendaraan Sedang (KS)		Sepeda Motor (SM)				
Pendekat		Kend/Jam	emp	Kend/Jam	emp	Kend/Jam	emp	Kend/Jam	smp/jam	
			1		1,3		0,15			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jl. Gito Gati (Barat)	Bki	48	48	5	7	138	21	191	75	0,15
	Lurus	179	179	2	3	438	66	619	247	
	Bka	130	130	2	3	306	46	438	179	0,36
	Total	357	357	9	12	882	132	1248	501	0,51
Jumlah Jl. Minor Total C+D		695	695	20	26	1531	230	2246	951	
Jln Mayor+Minor	Bki	239	239	19	25	606	91	864	355	0,18
	Lurus	852	852	11	14	1518	228	2381	1094	
	Bka	334	334	15	20	811	122	1160	475	0,25
	Total	1425	1425	45	59	2935	440	4405	1924	0,43

5.3.2 Analisis Lebar Pendekat Efektif

Simpang Empat Kamdanen mempunyai 4 lengan dan tidak memiliki L_{BKIJT} . Artinya tiap kendaraan yang akan mengambil belok kiri, lurus, dan belok kanan harus mengikuti antrean selama isyarat merah. Oleh karena itu, untuk nilai $L_E = L_M$ dan berikut nilai L_E pada tiap lengan:

1. Pendekat Utara

$$L_E = L_M$$

$$L_E = 3,4 \text{ m}$$

2. Pendekat Timur

$$L_E = L_M$$

$$L_E = 4,2 \text{ m}$$

3. Pendekat Selatan

$$L_E = L_M$$

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

4. Pendekat Barat

$$L_E = L_M$$

$$L_E = 4,5 \text{ m}$$

5.3.3 Analisis Arus Jenuh

Untuk mendapatkan nilai arus jenuh diperlukan beberapa faktor yang diperlukan, yaitu arus jenuh dasar, faktor koreksi ukuran kota, faktor koreksi hambatan samping, faktor koreksi kelandaian jalan, faktor koreksi untuk parkir, dan faktor koreksi untuk belok kanan dan belok kiri.

1. Arus jenuh dasar

a. Pendekat Utara

$$\begin{aligned} J_0 &= 600 \times L_E \\ &= 600 \times 3,4 \\ &= 2040 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

b. Pendekat Timur

$$\begin{aligned} J_0 &= 600 \times L_E \\ &= 600 \times 4,2 \\ &= 2520 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

c. Pendekat Selatan

$$\begin{aligned}J_0 &= 600 \times L_E \\&= 600 \times 3,3 \\&= 1980 \text{ smp/jam}\end{aligned}$$

d. Pendekat Barat

$$\begin{aligned}J_0 &= 600 \times L_E \\&= 600 \times 4,5 \\&= 2700 \text{ smp/jam}\end{aligned}$$

2. Faktor koreksi ukuran kota

Faktor koreksi ukuran kota adalah faktor penyesuaian untuk arus jenuh dengan mempertimbangkan besar kecilnya dari suatu kota yang ditinjau dalam angka jumlah penduduk. Berdasarkan Badan Pusat Statistik Kabupaten Sleman (2025) didapatkan jumlah penduduk yang berada di Kabupaten Sleman pada tahun 2024 sebanyak 1.125.571 jiwa. Berdasarkan Tabel 3.5 didapatkan faktor koreksi ukuran kota sebesar 1,00.

3. Faktor koreksi hambatan samping

a. Pendekat Utara

Jalan Palagan Tentara Pelajar yang menjadi pendekat Utara pada Simpang Kamdanen mempunyai tipe lingkungan komersial (KOM). Hal ini dikarenakan pada pendekat Utara terdapat pertokoan dan aktivitas ekonomi di sisi jalan tersebut. Berdasarkan pengamatan langsung ada beberapa aktivitas pada samping jalan. Maka nilai faktor hambatan samping pada pendekat Utara sebesar 0,94.

b. Pendekat Timur

Jalan Kapten Haryadi yang menjadi pendekat Timur pada Simpang Kamdanen mempunyai tipe lingkungan komersial (KOM). Hal ini dikarenakan pada pendekat Timur terdapat pertokoan dan aktivitas ekonomi di sisi jalan tersebut. Berdasarkan pengamatan langsung aktivitas pada samping jalan terbilang tinggi. Maka nilai faktor hambatan samping pada pendekat Timur sebesar 0,93.

c. Pendekat Selatan

Jalan Palagan Tentara Pelajar yang menjadi pendekat Selatan pada Simpang Kamdanen mempunyai tipe lingkungan komersial (KOM). Hal ini dikarenakan pada pendekat Selatan terdapat pertokoan dan aktivitas ekonomi di sisi jalan tersebut. Berdasarkan pengamatan langsung ada beberapa aktivitas pada samping jalan. Maka nilai faktor hambatan samping pada pendekat Selatan sebesar 0,94.

d. Pendekat Barat

Jalan Palagan Tentara Pelajar yang menjadi pendekat Barat pada Simpang Kamdanen mempunyai tipe lingkungan komersial (KOM). Hal ini dikarenakan pada pendekat Barat terdapat pertokoan dan aktivitas ekonomi di sisi jalan tersebut. Berdasarkan pengamatan langsung aktivitas pada samping jalan terbilang tinggi. Maka nilai faktor hambatan samping pada pendekat Barat sebesar 0,93.

4. Faktor koreksi kelandaian jalan

Berdasarkan pengamatan secara langsung di lapangan, kelandaian jalan pada simpang Kamdanen terbilang datar dan diasumsikan sebesar 0%. Sesuai dengan Gambar 3.8, apabila besaran kelandaian jalan adalah 0% maka nilai faktor kelandaian simpang Kamdanen pada tiap lengannya adalah sebesar 1.

5. Faktor koreksi untuk parkir

Faktor koreksi untuk parkir ditentukan dengan pengamatan di lapangan dan tidak terjadi adanya kendaraan yang terparkir di sepanjang jalur yang menuju simpang. Oleh karena itu, faktor koreksi untuk parkir pada tiap lengannya adalah sebesar 1.

6. Faktor koreksi belok kanan

Berdasarkan pengamatan di lokasi, tiap lengan pendekat pada Simpang Kamdanen tidak ada yang memiliki media. Sesuai dengan Persamaan 3.7, Faktor koreksi belok kanan adalah sebagai berikut.

a. Pendekat Utara

$$\begin{aligned} F_{Bka} &= 1,0 + R_{Bka} \times 0,26 \\ &= 1,0 + 0,26 \times 0,26 \\ &= 1,068 \end{aligned}$$

b. Pendekat Timur

$$\begin{aligned}F_{Bka} &= 1,0 + R_{Bka} \times 0,26 \\&= 1,0 + 0,21 \times 0,26 \\&= 1,054\end{aligned}$$

c. Pendekat Selatan

$$\begin{aligned}F_{Bka} &= 1,0 + R_{Bka} \times 0,26 \\&= 1,0 + 0,15 \times 0,26 \\&= 1,040\end{aligned}$$

d. Pendekat Barat

$$\begin{aligned}F_{Bka} &= 1,0 + R_{Bka} \times 0,26 \\&= 1,0 + 0,36 \times 0,26 \\&= 1,093\end{aligned}$$

7. Faktor koreksi belok kiri

Berdasarkan pengamatan di lokasi, tiap lengan pendekat pada Simpang Kamdananen tidak ada yang memiliki media. Sesuai dengan Persamaan 3.8, faktor koreksi belok kiri adalah sebagai berikut.

a. Pendekat Utara

$$\begin{aligned}F_{Bki} &= 1,0 - R_{Bki} \times 0,16 \\&= 1,0 - 0,16 \times 0,16 \\&= 0,975\end{aligned}$$

b. Pendekat Timur

$$\begin{aligned}F_{Bki} &= 1,0 - R_{Bki} \times 0,16 \\&= 1,0 - 0,11 \times 0,16 \\&= 0,982\end{aligned}$$

c. Pendekat Selatan

$$\begin{aligned}F_{Bki} &= 1,0 - R_{Bki} \times 0,16 \\&= 1,0 - 0,32 \times 0,16 \\&= 0,949\end{aligned}$$

d. Pendekat Barat

$$\begin{aligned}F_{Bki} &= 1,0 - R_{Bki} \times 0,16 \\&= 1,0 - 0,15 \times 0,16\end{aligned}$$

$$= 0,976$$

Berdasarkan dari nilai-nilai tiap faktor yang sudah didapatkan untuk analisis arus jenuh dasar maka didapatkan nilai arus jenuh pada Simpang Kamdanen dengan menggunakan Persamaan pada setiap pendekat sebagai berikut.

1. Pendekat Utara

$$\begin{aligned} J &= J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{Bka} \times F_{Bki} \\ &= 2040 \times 0,94 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,068 \times 0,975 \\ &= 1997 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

2. Pendekat Timur

$$\begin{aligned} J &= J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{Bka} \times F_{Bki} \\ &= 2520 \times 0,93 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,054 \times 0,982 \\ &= 2427 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

3. Pendekat Selatan

$$\begin{aligned} J &= J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{Bka} \times F_{Bki} \\ &= 1980 \times 0,94 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,040 \times 0,949 \\ &= 1838 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

4. Pendekat Barat

$$\begin{aligned} J &= J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{Bka} \times F_{Bki} \\ &= 2040 \times 0,93 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,093 \times 0,976 \\ &= 2678 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan arus jenuh (J) pada tiap pendekat pada Simpang Kamdanen dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Arus Jenuh pada Kondisi Eksisting

Parameter	Satuan	Lengan Pendekat			
		Utara	Timur	Selatan	Barat
Arus (q)	smp/jam	494	450	479	501
Lebar efektif (L_E)	meter	3,4	4,2	3,3	4,5
Arus Jenuh Dasar (J_0)	smp/jam	2040	2520	1980	2700
Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{UK})	-	1	1	1	1

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Arus Jenuh pada Kondisi Eksisting

Parameter	Satuan	Lengan Pendekat			
		Utara	Timur	Selatan	Barat
Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (F_{HS})	-	0,94	0,93	0,94	0,93
Faktor Penyesuaian Kelandaian (F_G)	-	1	1	1	1
Faktor Penyesuaian Parkir (F_P)	-	1	1	1	1
Faktor Penyesuaian Belok Kanan (F_{Bka})	-	1,068	1,054	1,040	1,093
Faktor Penyesuaian Belok Kiri (F_{Bki})	-	0,975	0,982	0,949	0,976
Arus Jenuh (J)	smp/jam	1997	2427	1838	2678

5.3.4 Analisis Kapasitas

Analisis kapasitas simpang dihitung pada tiap pendekat. Berikut merupakan perhitungan kapasitas pada tiap lengan pada Simpang Kamdanen.

1. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{W_H}{s} \\
 &= 1997 \times \frac{33}{151} \\
 &= 436 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

2. Lengan Timur

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{W_H}{s} \\
 &= 2427 \times \frac{30}{151} \\
 &= 482 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

3. Lengan Selatan

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{W_H}{s} \\
 &= 1838 \times \frac{34}{151}
 \end{aligned}$$

$$= 414 \text{ smp/jam}$$

4. Lengan Barat

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{W_H}{s} \\ &= 2678 \times \frac{30}{151} \\ &= 532 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

5.3.5 Analisis Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan menggunakan rumus pada Persamaan 3.13. Berikut merupakan perhitungan derajat kejenuhan pada tiap lengan pada Simpang Kamdanen.

1. Lengan Utara

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{494}{436} \\ &= 1,132 \end{aligned}$$

2. Lengan Timur

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{450}{482} \\ &= 0,933 \end{aligned}$$

3. Lengan Selatan

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{479}{414} \\ &= 1,157 \end{aligned}$$

4. Lengan Barat

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{501}{532} \\ &= 0,942 \end{aligned}$$

5.3.6 Analisis Perilaku Lalu Lintas

Analisis perilaku lalu lintas dibutuhkan beberapa perhitungan, yaitu panjang antrean, kendaraan terhenti, dan tundaan. Berikut perhitungan untuk analisis perilaku lalu lintas di tiap lengannya.

1. Panjang antrean

a. Lengan Utara

1) Rasio waktu hijau

$$R_H = \frac{W_H}{S}$$

$$R_H = \frac{33}{151}$$

$$= 0,218$$

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

$$\begin{aligned} N_{q1} &= 0,25 \times S \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \times (D_J - 0,5)}{S}} \right\} \\ &= 0,25 \times 151 \times \left\{ (1,132 - 1) + \sqrt{(1,132 - 1)^2 + \frac{8 \times (1,132 - 0,5)}{151}} \right\} \\ &= 14 \text{ smp} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} N_{q2} &= S \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times D_J)} \times \frac{q}{3600} \\ &= 151 \times \frac{(1 - 0,218)}{(1 - 0,218 \times 1,132)} \times \frac{494}{3600} \\ &= 22 \text{ smp} \end{aligned}$$

4) Jumlah rata-rata antrean kendaraan

$$\begin{aligned} N_q &= N_{q1} + N_{q2} \\ &= 14 + 22 \\ &= 36 \text{ smp} \end{aligned}$$

$$N_{qMAX} = 51 \text{ smp}$$

Karena nilai $N_q < N_{qMAX}$, maka nilai yang digunakan adalah nilai N_{qMAX} sebagai nilai N_q untuk mendapatkan nilai panjang antrean

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M}$$

$$= 51 \times \frac{20}{3,4}$$

$$= 300 \text{ m}$$

b. Lengan Timur

1) Rasio waktu hijau

$$R_H = \frac{W_H}{S}$$

$$R_H = \frac{30}{151}$$

$$= 0,198$$

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

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

$$= 0,25 \times 151 \times \left\{ (0,933 - 1) + \sqrt{(0,933 - 1)^2 + \frac{8 \times (0,933 - 0,5)}{151}} \right\}$$

$$= 4 \text{ smp}$$

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

$$N_{q2} = S \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times D_J)} \times \frac{q}{3600}$$

$$= S \times \frac{(1 - 0,198)}{(1 - 0,198 \times 0,933)} \times \frac{450}{3600}$$

$$= 19 \text{ smp}$$

4) Jumlah rata-rata antrean kendaraan

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

$$= 4 + 19$$

$$= 23 \text{ smp}$$

$$N_{qMAX} = 33 \text{ smp}$$

Karena nilai $N_q < N_{qMAX}$, maka nilai yang digunakan adalah nilai N_{qMAX} sebagai nilai N_q untuk mendapatkan nilai panjang antrean

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M}$$

$$= 33 \times \frac{20}{4,2}$$

$$= 157,143 \text{ m}$$

c. Lengan Selatan

1) Rasio waktu hijau

$$R_H = \frac{W_H}{S}$$

$$R_H = \frac{34}{151}$$

$$= 0,225$$

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

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

$$= 0,25 \times 151 \times \left\{ (1,157 - 1) + \sqrt{(1,157 - 1)^2 + \frac{8 \times (1,157 - 0,5)}{151}} \right\}$$

$$= 16 \text{ smp}$$

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

$$N_{q2} = S \times \frac{(1-R_H)}{(1-R_H \times D_J)} \times \frac{q}{3600}$$

$$= 151 \times \frac{(1-0,225)}{(1-0,225 \times 1,157)} \times \frac{479}{3600}$$

$$= 22 \text{ smp}$$

4) Jumlah rata-rata antrean kendaraan

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

$$= 16 + 22$$

$$= 38 \text{ smp}$$

$$N_{qMAX} = 54 \text{ smp}$$

Karena nilai $N_q < N_{qMAX}$, maka nilai yang digunakan adalah nilai N_{qMAX} sebagai nilai N_q untuk mendapatkan nilai panjang antrean

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M}$$

$$= 54 \times \frac{20}{3,3}$$

$$= 327,273 \text{ m}$$

d. Lengan Barat

1) Rasio waktu hijau

$$R_H = \frac{W_H}{S}$$

$$R_H = \frac{30}{151}$$

$$= 0,198$$

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

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

$$= 0,25 \times 151 \times \left\{ (0,942 - 1) + \sqrt{(0,942 - 1)^2 + \frac{8 \times (0,942 - 0,5)}{151}} \right\}$$

$$= 4 \text{ smp}$$

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

$$N_{q2} = S \times \frac{(1-R_H)}{(1-R_H \times D_J)} \times \frac{q}{3600}$$

$$= 151 \times \frac{(1-0,198)}{(1-0,198 \times 0,942)} \times \frac{501}{3600}$$

$$= 21 \text{ smp}$$

4) Jumlah rata-rata antrean kendaraan

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

$$= 16 + 22$$

$$= 25 \text{ smp}$$

$$N_{qMAX} = 54 \text{ smp}$$

Karena nilai $N_q < N_{qMAX}$, maka nilai yang digunakan adalah nilai N_{qMAX} sebagai nilai N_q untuk mendapatkan nilai panjang antrean

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M}$$

$$= N_q \times \frac{20}{4,5}$$

$$= 160 \text{ m}$$

2. Kendaraan terhenti

a. Lengan Utara

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

$$= 0,9 \times \frac{51}{494 \times 151} \times 3600$$

$$= 2,215$$

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

$$= 494 \times 2,215$$

$$= 1094 \text{ smp}$$

b. Lengan Timur

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

$$= 0,9 \times \frac{33}{450 \times 151} \times 3600$$

$$= 1,575$$

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

$$= 450 \times 1,575$$

$$= 708 \text{ smp}$$

c. Lengan Selatan

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

$$= 0,9 \times \frac{54}{479 \times 151} \times 3600$$

$$= 2,419$$

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

$$= 479 \times 2,419$$

$$= 1159 \text{ smp}$$

d. Lengan Barat

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

$$= 0,9 \times \frac{36}{501 \times 151} \times 3600$$

$$= 1,542$$

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

$$= 501 \times 1,542$$

$$= 772 \text{ smp}$$

$$R_{KH} = \frac{(\sum N_{KH})}{q_{Total}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(1094 + 708 + 1159 + 772)}{(494 + 450 + 479 + 501)} \\
&= \frac{3734}{1924} \\
&= 2
\end{aligned}$$

3. Tundaan

a. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
T_{LL} &= s \times \frac{0,5 \times (1-R_H)^2}{(1-R_H \times D_J)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{c} \\
&= 151 \times \frac{0,5 \times (1-0,218)^2}{(1-0,218 \times 1,132)} + \frac{14 \times 3600}{436} \\
&= 222,118 \text{ det/smp} \\
T_G &= (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 (R_{KH} \times 4) \\
&= (1 - 2,215) \times 0,43 \times 6 (2,215 \times 4) \\
&= 5,715 \text{ det/smp} \\
T &= T_{LL} + T_G \\
&= 222,118 + 5,715 \\
&= 227,833 \text{ det/smp}
\end{aligned}$$

b. Lengan Timur

$$\begin{aligned}
T_{LL} &= s \times \frac{0,5 \times (1-R_H)^2}{(1-R_H \times D_J)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{c} \\
&= 151 \times \frac{0,5 \times (1-0,198)^2}{(1-0,198 \times 0,933)} + \frac{4 \times 3600}{482} \\
&= 136,121 \text{ det/smp} \\
T_G &= (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 (R_{KH} \times 4) \\
&= (1 - 1,575) \times 0,43 \times 6 (1,575 \times 4) \\
&= 4,812 \text{ det/smp} \\
T &= T_{LL} + T_G \\
&= 136,121 + 4,812 \\
&= 140,933 \text{ det/smp}
\end{aligned}$$

c. Lengan Selatan

$$\begin{aligned}
T_{LL} &= s \times \frac{0,5 \times (1-R_H)^2}{(1-R_H \times D_J)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{c} \\
&= 151 \times \frac{0,5 \times (1-0,225)^2}{(1-0,225 \times 1,157)} + \frac{16 \times 3600}{414}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 246,286 \text{ det/smp} \\
T_G &= (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 (R_{KH} \times 4) \\
&= (1 - 2,419) \times 0,43 \times 6 (2,419 \times 4) \\
&= 6,004 \text{ det/smp} \\
T &= T_{LL} + T_G \\
&= 246,286 + 6,004 \\
&= 252,290 \text{ det/smp}
\end{aligned}$$

d. Lengan Barat

$$\begin{aligned}
T_{LL} &= s \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_J)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{c} \\
&= 151 \times \frac{0,5 \times (1 - 0,198)^2}{(1 - 0,198 \times 0,942)} + \frac{4 \times 3600}{532} \\
&= 133,219 \text{ det/smp} \\
T_G &= (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 (R_{KH} \times 4) \\
&= (1 - 1,542) \times 0,43 \times 6 (1,542 \times 4) \\
&= 4,765 \text{ det/smp} \\
T &= T_{LL} + T_G \\
&= 133,219 + 4,765 \\
&= 137,984 \text{ det/smp} \\
T_t &= \frac{\sum(q \times T)}{q_{Total}} \\
&= \frac{(494 \times 227,833) + (450 \times 140,933) + (479 \times 252,290) + (501 \times 137,984)}{1924} \\
&= 190,211 \text{ det/smp}
\end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil analisis perilaku lalu lintas pada Simpang Kamdanen pada kondisi eksisting dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Perilaku Lalu Lintas Simpang Kamdanen pada Kondisi Eksisting

Parameter	Satuan	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Utara)	Jl. Kapten Haryadi (Timur)	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	Jl. Gito Gati (Barat)
Antrean kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1})	smp	14	4	16	4
Antrean kendaraan yang datang dan berhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2})	smp	22	19	22	21
Jumlah rata-rata antrean kendaraan (N_q)	smp	36	23	38	25
Jumlah rata-rata antrean kendaraan (N_{qMAX})	smp	51	33	54	36
Panjang Antrean (P_A)	m	300	157,143	327,273	160
Rasio kendaraan henti (R_{KH})	-	2,215	1,575	2,419	1,542
Jumlah rata-rata kendaraan berhenti (N_{KH})	smp	1094	708	1159	772

**Lanjutan Tabel 5.9 Rekapitulasi Perilaku Lalu Lintas Simpang Kamdanen
pada Kondisi Eksisting**

Parameter	Satuan	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Utara)	Jl. Kapten Haryadi (Timur)	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	Jl. Gito Gati (Barat)
Angka henti seluruh simpang APILL ($R_{KH\ TOTAL}$)		2			
Tundaan lalu lintas (T_{LL})	det/smp	222,118	136,121	246,286	133,219
Tundaan Geometri (T_G)	det/smp	5,715	4,812	6,004	4,765
Tundaan (T)	det/smp	227,833	140,933	252,290	137,984
Tingkat Pelayanan		F	F	F	F
Tundaan rata-rata seluruh simpang (T_t)	det/smp	190,211			
Tingkat pelayanan simpang		F			

Berdasarkan hasil analisis kondisi Simpang Kamdanen menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Perhitungan analisis didapatkan nilai tundaan pada tiap-tiap lengannya. Lengan Utara didapatkan hasil nilai tundaan sebesar 227,833 det/smp, lengan Timur didapatkan hasil nilai tundaan sebesar 140,933 det/smp, lengan Selatan didapatkan hasil nilai tundaan sebesar 252,290 det/smp, dan untuk lengan Barat didapatkan hasil nilai tundaan sebesar 137,984 det/smp. Hasil tundaan yang didapatkan pada tiap lengan disesuaikan dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015 yang memiliki ketentuan dalam penilaian tingkatan pelayanan dalam sebuah simpang dan ruas jalannya. Berdasarkan peraturan tersebut simpang yang memiliki tundaan lebih dari 60

detik/smp berada pada tingkat pelayanan F. Oleh karena itu, dari hasil analisis di tiap lengan pada Simpang Kamdanen mempunyai nilai tundaan lebih dari 60 det/smp dan menghasilkan nilai tingkat pelayanan pada tiap lengan dan pelayanan simpang adalah F. Dengan catatan masih ada beberapa kendaraan jenis sepeda motor yang memotong untuk belok kiri dari lengan Utara dikarenakan ada jalur yang memungkinkan untuk memotong tanpa menunggu APILL.

5.4. Analisis Kinerja Eksisting Simpang Menggunakan *Software* VISSIM

Aplikasi PTV VISSIM digunakan untuk memodelkan simpang yang diteliti. Dari hasil pemodelan akan diperoleh hasil-hasil parameter berupa volume lalu lintas, panjang antrean, dan tundaan yang terjadi pada simpang. Pada pemodelan VISSIM harus dilakukan validasi sebagai patokan untuk kondisi eksisting dikatakan sama dengan yang dimodelkan pada VISSIM. Validasi yang digunakan adalah uji GEH dan juga uji MAPE.

5.4.1 Hasil Pemodelan Sebelum Kalibrasi

Keluaran yang didapatkan dari hasil pemodelan aplikasi VISSIM berupa volume kendaraan dan panjang antrean. Parameter volume kendaraan menggunakan uji GEH untuk memvalidasi, sedangkan parameter panjang antrean menggunakan uji MAPE untuk memvalidasi. Berikut merupakan data volume kendaraan dan panjang antrean beserta dengan uji GEH dan MAPE-nya untuk memvalidasi hasil pemodelan yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan 5.11.

Tabel 5. 10 Hasil Pemodelan Menggunakan PTV VISSIM Parameter Volume Sebelum Kalibrasi

Lengan Simpang	Volume Eksisting (kend/jam)	Volume PTV VISSIM (kend/jam)	Nilai GEH	Kesimpulan
Jalan Palagan Tentara (Utara)	1032	496	19,39	Hasil Ditolak
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	998	472	19,40	Hasil Ditolak

Lanjutan Tabel 5.10 Hasil Pemodelan Menggunakan PTV VISSIM
Parameter Volume Sebelum Kalibrasi

Lengan Simpang	Volume Eksisting (kend/jam)	Volume PTV VISSIM (kend/jam)	Nilai GEH	Kesimpulan
Jalan Palagan Tentara (Selatan)	1127	520	21,15	Hasil Ditolak
Jalan Gito Gati (Barat)	1248	484	25,96	Hasil Ditolak

Berdasarkan Tabel 5.10, hasil pemodelan pada VISSIM sebelum kalibrasi didapatkan semua lengan bernilai GEH > 10. Sesuai syarat dari uji GEH diharapkan agar hasil pemodelan dapat diterima adalah nilai GEH < 5.

Tabel 5. 11 Hasil Pemodelan Menggunakan PTV VISSIM Parameter Panjang
Antrean Sebelum Kalibrasi

Lengan Simpang	Panjang Antrean Eksisting (m)	Panjang Antrean PTV VISSIM (m)	Nilai MAPE (%)	Kesimpulan
Jalan Palagan Tentara (Utara)	300	260,73	13	Hasil Baik
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	123,80	352,55	185	Hasil Tidak Akurat
Jalan Palagan Tentara (Selatan)	327,27	264,86	19	Hasil Baik
Jalan Gito Gati (Barat)	160	337,37	111	Hasil Tidak Akurat

Berdasarkan Tabel 5.11, hasil pemodelan pada VISSIM sebelum kalibrasi didapatkan lengan Timur dan Barat bernilai MAPE > 50%. Sesuai syarat dari uji MAPE diharapkan agar hasil pemodelan dapat diterima adalah nilai GEH < 50%.

5.4.2 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi

Berdasarkan hasil pemodelan VISSIM dalam keadaan sebelum dilakukan kalibrasi didapatkan hasilnya belum memenuhi syarat dari uji GEH dan uji MAPE. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya perbedaan dari yang diamati pada lokasi penelitian dengan hasil pemodelan. Oleh karena itu, diperlukannya pengkalibrasian pada pemodelan agar memenuhi syarat kedua uji itu. Proses kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan parameter *driving behaviour* pada aplikasi VISSIM. Penyesuaian parameter *driving behaviour* dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Perubahan Komponen *Driving Behaviour* Setelah Kalibrasi

Parameter yang Diubah	Komponen yang Diubah		Default	Kalibrasi
			Nilai	
Car Following	Average Standstill Distance (m)		2,00	0,40
	Additive Part of Safety Distance		2,00	0,50
	Multiplicative Part of Safety Distance		3,00	0,60
	Look Ahead Distance (m)	Minimum	0,00 m	0 ,00
		maximum	250,00 m	250,00
		Observed vehicles	4	4
	Look Back Distance	minimum	0,00	0,00
		maximum	150,00	150,00 m
Lane Change	Waiting time before diffusion (s)		60,00	60,00
	Minimum Headway (front/rear) (m)		0,5	0,5
Lateral	Desired Position at Free Flow		Middle of lane	Any
	Minimum Distance Standing (m)		0,20	0,30

Lanjutan Tabel 5.12 Perubahan Komponen Driving Behaviour Setelah Kalibrasi

Parameter yang Diubah	Komponen yang Diubah	Default	Kalibrasi
		Nilai	
<i>Lateral</i>	<i>Minimum Distance Driving (m)</i>	1,00	0,50
	<i>Overtake on Same Lane</i>	<i>None</i>	<i>left/right</i>
<i>Signal Controller</i>	<i>Behaviour at Red/Amber Signal</i>	<i>Go (same as green)</i>	<i>Go (same as green)</i>

Kondisi simpang sebelum kalibrasi akan terlihat mengantri tiap kendaraan dan tidak ada yang bersampingan. Hasil dari pemodelan sebelum kalibrasi akan menghasilkan parameter volume kendaraan dan pola pergerakan tidak sesuai dengan kondisi eksisting. Setelah dilakukan kalibrasi, pemodelan menghasilkan gambaran yang mirip dengan kondisi eksisting. Gambar pemodelan sebelum kalibrasi dan setelah kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan 5.12.

Setelah dilakukan kalibrasi pada pemodelan, dilakukan kembali proses validasi untuk mendapatkan hasil valid dari setelah pengkalibrasian. Hasil pemvalidasian untuk volume lalu lintas, panjang antrean, dan tundaan dapat dilihat pada Tabel 5.13, Tabel 5.14, dan Tabel 5.13.

Berdasarkan hasil pada Tabel 5.13, nilai GEH untuk parameter volume kendaraan setelah kalibrasi mendapatkan nilai dibawah 5 untuk semua lengan. Oleh karena itu, sesuai dengan persyaratan uji GEH untuk pemodelan bisa dikatakan dapat diterima hasil pemodelannya.



Gambar 5. 11 Kondisi Setelah Kalibrasi



Gambar 5. 12 Kondisi Sebelum Kalibrasi

Tabel 5. 13 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi pada Parameter Volume

Lengan Simbang	Volume Eksisting (kend/jam)	Volume PTV VISSIM (kend/jam)	Nilai GEH	Kesimpulan
Jalan Palagan Tentara (Utara)	1032	956	2,41	Hasil Diterima
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	998	1001	0,09	Hasil Diterima
Jalan Palagan Tentara (Selatan)	1127	988	4,27	Hasil Diterima
Jalan Gito Gati (Barat)	1248	1238	0,23	Hasil Diterima

Tabel 5. 14 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi pada Parameter Panjang Antrean

Lengan Simbang	Panjang Antrean Eksisting (m)	Panjang Antrean PTV VISSIM (m)	Nilai MAPE (%)	Kesimpulan
Jalan Palagan Tentara (Utara)	300	210,53	30	Hasil Layak
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	157,14	116,87	26	Hasil Layak

Lanjutan Tabel 5.14 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi pada Parameter Panjang Antrean

Lengan Simbang	Panjang Antrean Eksisting (m)	Panjang Antrean PTV VISSIM (m)	Nilai MAPE (%)	Kesimpulan
Jalan Palagan Tentara (Selatan)	327,27	225,48	31	Hasil Layak
Jalan Gito Gati (Barat)	160	135,08	16	Hasil Baik

Berdasarkan hasil pada Tabel 5.14, nilai MAPE untuk parameter volume kendaraan setelah kalibrasi mendapatkan nilai dibawah 50% untuk semua lengan. Oleh karena itu, pemodelan bisa dikatakan valid berdasarkan persyaratan uji MAPE.

Tabel 5. 15 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi pada Parameter Tundaan

Lengan Simbang	Tundaan (det/smp)	Tundaan Simbang (det/smp)	Tundaan Simbang PT VISSIM(det/kend)	Nilai MAPE (%)	Kesimpulan
Jalan Palagan Tentara (Utara)	227,83	190,21	225,28	18	Hasil Baik
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	140,93				
Jalan Palagan Tentara (Selatan)	252,28				

Lanjutan Tabel 5.15 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi pada Parameter Tundaan

Lengan Sim pang	Tundaan (det/smp)	Tundaan Sim pang (det/smp)	Tundaan Sim pang PT VISSIM(det/kend)	Nilai MAPE (%)	Kesimpulan
Jalan Gito Gati (Barat)	137,98	190,21	225,28	18	Hasil Baik

Berdasarkan hasil pada Tabel 5.15, nilai MAPE untuk parameter volume kendaraan setelah kalibrasi mendapatkan nilai dibawah 50% untuk semua lengan. Oleh karena itu, pemodelan bisa dikatakan valid berdasarkan persyaratan uji MAPE.

5.5. Analisis Kinerja untuk Alternatif Solusi Sim pang

Alternatif solusi adalah sebuah metode untuk meningkatkan kinerja pada Sim pang Kamdanen dengan melakukan beberapa rekayasa pada sim pangnya. Proses alternatif solusi dilakukan menggunakan PKJI 2023. Setelah didapatkan hasil analisis, dilakukan pemodelannya dengan menggunakan PTV VISSIM. Alternatif solusi yang ditawarkan berjumlah tiga alternatif. Alternatif pertama adalah dengan memperlebar ruas jalan di lengan Utara sebesar 0,5 m karena masih terdapat ruang untuk pelebaran. Alternatif kedua adalah dengan melakukan penyesuaian waktu siklus berdasarkan waktu ideal yang terdapat dalam PKJI 2023. Alternatif ketiga adalah penggabungan antara pelebaran ruas jalan pada lengan Utara sebesar 0,5 dan juga penyesuaian waktu siklus ideal berdasarkan PKJI 2023.

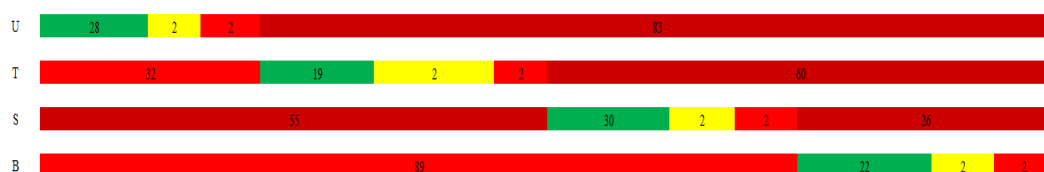
5.5.1 Analisis Kinerja Sim pang untuk Alternatif 1

Alternatif pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan penyesuaian waktu siklus pada sim pang sesuai dengan kondisi ideal waktu siklus yang berdasarkan pada PKJI 2023. Pada PKJI 2023 pengaturan waktu siklus yang ideal untuk sim pang 4 fase adalah 80-130 detik. Berdasarkan dengan PKJI 2023, dilakukan *trial and error* untuk waktu siklus ideal. *Trial and error* dilakukan untuk

mencari waktu optimal dengan mempertimbangkan aspek nilai tundaan yang akan terjadi pada simpang. Hasil *trial and error* penyesuaian waktu siklus dan diagram waktu siklus untuk alternatif solusi pertama dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Gambar 5.13.

Tabel 5. 16 Penentuan Waktu Hijau pada Alternatif Solusi 1

Trial	Lengan	Waktu (detik)				Waktu siklus	Urutan Fase	Tundaan (det/kend)
		Hijau	Kuning	All red	Merah			
Trial 1	Utara	29	3	3	90	125	1	174,593
	Timur	22			97		2	
	Selatan	28			91		3	
	Barat	22			97		4	
Trial 2	Utara	27	3	3	82	115	1	173,168
	Timur	19			90		2	
	Selatan	26			83		3	
	Barat	19			90		4	
Trial 3	Utara	25	2	2	86	115	1	148,606
	Timur	22			89		2	
	Selatan	30			81		3	
	Barat	22			89		4	
Trial 4	Utara	28	2	2	83	115	1	142,370
	Timur	19			92		2	
	Selatan	30			81		3	
	Barat	22			89		4	



Gambar 5. 13 Diagram Waktu Siklus Simpang Kamdanen Alternatif 1

Berdasarkan Tabel 5.16, *Trial* ke-4 mempunyai hasil nilai tundaan yang paling baik dibanding dengan *trial* yang lainnya. Oleh karena itu, penyesuaian waktu siklus tersebut dipilih untuk menjadi alternatif yang pertama. Terdapat perubahan waktu siklus yang ditawarkan pada alternatif solusi dan kondisi eksisting. Waktu siklus pada kondisi eksisting sebesar 151 detik dan pada alternatif diturunkan menjadi 115 detik. Waktu *allred* dan waktu kuning diturunkan menjadi 2 detik. Waktu hijau pada pendekat Utara menurun menjadi 28 detik, pendekat Timur menurun menjadi 19 detik, pendekat Selatan menurun menjadi 30 detik, dan pendekat Barat menurun menjadi 22 detik.

Penyesuaian waktu siklus memengaruhi nilai kapasitas dan juga derajat kejenuhan pada tiap lengan pendekat pada Simpang Kamdanen. Berikut adalah perhitungan ulang untuk kapasitas dan derajat kejenuhan untuk setiap lengan pendekat menggunakan waktu siklus yang ditawarkan pada alternatif solusi pertama.

1. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{W_H}{s} \\
 &= 1997 \times \frac{28}{115} \\
 &= 486 \text{ smp/jam} \\
 D_j &= \frac{Q}{C} \\
 &= \frac{494}{486} \\
 &= 1,016
 \end{aligned}$$

2. Lengan Timur

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{W_H}{s} \\
 &= 2427 \times \frac{19}{115} \\
 &= 401 \text{ smp/jam} \\
 D_j &= \frac{Q}{C} \\
 &= \frac{450}{401} \\
 &= 1,121
 \end{aligned}$$

3. Lengan Selatan

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{W_H}{s} \\ &= 1838 \times \frac{30}{115} \\ &= 479 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{479}{479} \\ &= 1,000 \end{aligned}$$

4. Lengan Barat

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{W_H}{s} \\ &= 2678 \times \frac{22}{115} \\ &= 512 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{501}{512} \\ &= 0,978 \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi untuk hasil analisis kapasitas (C) dan derajat kejenuhan (D_J) pada simpang Kamdanen sesuai dengan alternatif pertama dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J)

Lengan Pendekat	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (D _J)	Kesimpulan
Jl. Palagan Tentara (Utara)	486	1,016	Terjadi Kemacetan
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	401	1,121	Terjadi Kemacetan
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	479	1,000	Terjadi Kemacetan
Jl. Gito Gati (Barat)	512	0,978	Terjadi Kemacetan

Selain ada perubahan pada hasil kapasitas dan derajat kejenuhan, waktu siklus yang diubah akan merubah hasil dari panjang antrean dan juga tundaan simpang.

Rekapitulasi keseluruhan analisis simpang menggunakan PKJI 2023 untuk alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Setelah dilakukan penyesuaian waktu siklus menggunakan PKJI 2023, selanjutnya alternatif pertama dimodelkan menggunakan PTV VISSIM. Berikut hasil-hasil yang didapatkan.

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Analisis Simping Berdasarkan PKJI Menggunakan PKJI 2023 Alternatif 1

Parameter	Satuan	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Utara)	Jl. Kapten Haryadi (Timur)	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	Jl. Gito Gati (Barat)
Arus Jenuh	smp/jam	1997	2427	1838	2678
Kapasitas	smp/jam	486	401	479	512
Derajat Kejenuhan	-	1,016	1,121	1,000	0,978
Panjang Antrean	m	188,23	180,95	193,93	137,77
Tundaan (T)	det/smp	134,847	180,576	137,815	119,854
Tingkat Pelayanan		F	F	F	F
Tundaan rata-rata seluruh simpang (T_i)	det/smp	142,37			
Tingkat pelayanan simpang		F			

1. Panjang antrean

Hasil pemodelan PTV VISSIM untuk paramater panjang antrean di tiap pendekat pada alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5. 19 Panjang Antrean Alternatif 1

Nama Lengan	Panjang Antrean (m)
Jl. Palagan Tentara (Utara)	169,05
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	242,73

Lanjutan Tabel 5.19 Panjang Antrean Alternatif 1

Nama Lengan	Panjang Antrean (m)
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	188,83
Jl. Gito Gati (Barat)	177,41

2. Tundaan

Hasil pemodelan PTV VISSIM untuk paramater tundaan di tiap pendekat pada alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5. 20 Tundaan Alternatif 1

Nama Lengan	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang PTV VISSIM (det/kend)
Jl. Palagan Tentara (Utara)	190,345	243,515
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	349,603	
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	197,206	
Jl. Gito Gati (Barat)	244,929	

3. Tingkat Pelayanan

Hasil pemodelan PTV VISSIM untuk paramater tingkat pelayanan di simpang pada alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5. 21 Tingkat Pelayanan Alternatif 1

Nama Lengan	Volume	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang PTV VISSIM (det/kend)	Tingkat Pelayanan
Jl. Palagan Tentara (Utara)	1032	190,34	243,515	F

Lanjutan Tabel 5.21 Tingkat Pelayanan Alternatif 1

Nama Lengan	Volume	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang PTV VISSIM (det/kend)	Tingkat Pelayanan
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	998	349,60	243,515	F
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	1127	197,20		
Jl. Gito Gati (Barat)	1248	244,92		

5.5.2 Analisis Kinerja Sim pang untuk Alternatif 2

Alternatif solusi yang kedua pada penelitian ini adalah dengan memperlebar ruas jalan pada lengan pendekat Utara. Hal ini dilakukan karena berdasarkan pengamatan langsung masih terdapat ruang kosong pada lengan Utara untuk memperlebar ruas jalan sebesar 0,5 m. Dengan dilakukannya pelebaran pada lengan Utara, arus jenuh akan berpengaruh dan bertambah lebih besar. Waktu siklus yang digunakan adalah sesuai dengan kondisi eksisting, yaitu 151 detik dengan 3 detik waktu kuning dan 3 detik waktu *all red*. Berikut merupakan perhitungan dan rekapitulasi ulang pada derajat kejenuhan yang terjadi dengan menggunakan alternatif 2.

1. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{W_H}{s} \\
 &= 2291 \times \frac{33}{151} \\
 &= 501 \text{ smp/jam} \\
 D_j &= \frac{Q}{C} \\
 &= \frac{494}{501}
 \end{aligned}$$

$$= 0,987$$

2. Lengan Timur

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{W_H}{s} \\ &= 2427 \times \frac{30}{151} \\ &= 482 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{450}{482} \\ &= 0,933 \end{aligned}$$

3. Lengan Selatan

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{W_H}{s} \\ &= 1838 \times \frac{34}{151} \\ &= 414 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{479}{414} \\ &= 1,157 \end{aligned}$$

4. Lengan Barat

$$\begin{aligned} C &= J \times \frac{W_H}{s} \\ &= 2678 \times \frac{30}{151} \\ &= 532 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{501}{532} \\ &= 0,942 \end{aligned}$$

Berikut rekapitulasi untuk kapasitas dan derajat kejenuhan yang terjadi dengan digunakannya solusi alternatif 2 menggunakan PKJI 2023 dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (DJ)

Lengan Pendekat	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (DJ)	Kesimpulan
Jl. Palagan Tentara (Utara)	501	0,987	Terjadi Kemacetan
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	482	0,933	Terjadi Kemacetan
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	414	1,157	Terjadi Kemacetan
Jl. Gito Gati (Barat)	532	0,942	Terjadi Kemacetan

Selain ada perubahan pada hasil kapasitas dan derajat kejenuhan, penambahan lebar lajur pada pendekat Utara akan merubah hasil dari panjang antrean dan juga tundaan simpang. Rekapitulasi keseluruhan analisis simpang menggunakan PKJI untuk alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 5.23

Tabel 5. 23 Rekapitulasi Analisis Simpang Berdasarkan PKJI Menggunakan PKJI 2023 Alternatif 2

Parameter	Satuan	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Utara)	Jl. Kapten Haryadi (Timur)	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	Jl. Gito Gati (Barat)
Arus Jenuh	smp/jam	2340	2520	1980	2700
Kapasitas	smp/jam	501	482	414	532
Derajat Kejenuhan	-	0,987	0,933	1,157	0,942
Panjang Antrean	m	200	157,14	327,27	160
Tundaan (T)	det/smp	156,80	140,93	252,29	137,98
Tingkat Pelayanan		F	F	F	F

**Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Analisis Simpang Berdasarkan PKJI
Menggunakan PKJI 2023 Alternatif 2**

Parameter	Satuan	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Utara)	Jl. Kapten Haryadi (Timur)	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	Jl. Gito Gati (Barat)
Tundaan rata-rata seluruh simpang (T_t)	det/smp	171,96			
Tingkat pelayanan simpang		F			

Setelah dilakukan alternatif pelebaran pada pendekat Utara menggunakan PKJI 2023, selanjutnya hasil analisis dimodelkan menggunakan PT VISSIM. Berikut hasil-hasil yang didapatkan.

1. Panjang antrean

Hasil pemodelan PTV VISSIM untuk parameter panjang antrean di tiap pendekat pada alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 5.24.

Tabel 5. 24 Panjang Antrean Alternatif 2

Nama Lengan	Panjang Antrean (m)
Jl. Palagan Tentara (Utara)	152,80
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	89,36
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	227,39
Jl. Gito Gati (Barat)	173,74

2. Tundaan

Hasil pemodelan PTV VISSIM untuk parameter tundaan di tiap pendekat pada alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 5.25.

Tabel 5. 25 Tundaan Alternatif 2

Nama Lengan	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang PTV VISSIM (det/kend)
Jl. Palagan Tentara (Utara)	199,35	216,017
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	153,62	
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	265,88	
Jl. Gito Gati (Barat)	240,80	

3. Tingkat Pelayanan

Hasil pemodelan PTV VISSIM untuk paramater tingkat pelayanan di simpang pada alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 5.26

Tabel 5. 26 Tingkat Pelayanan Simpang Alternatif 2

Nama Lengan	Volume	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang PTV VISSIM (det/kend)	Tingkat Pelayanan
Jl. Palagan Tentara (Utara)	1032	199,35	216,01	F
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	998	153,62		
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	1127	265,88		
Jl. Gito Gati (Barat)	1248	240,80		

5.5.3 Analisis Kinerja Simpang untuk Alternatif 3

Alternatif solusi yang ketiga pada penelitian ini adalah penggabungan antara alternatif solusi pertama dan alternatif solusi kedua. Alternatif solusi pertama adalah penyesuaian waktu siklus eksisting menjadi waktu siklus ideal sesuai dengan PKJI 2023. Berdasarkan hasil alternatif solusi pertama, sudah ditentukan untuk penggunaan waktu siklus yang digunakan sebesar 115 detik. Alternatif solusi kedua adalah dilakukannya pelebaran ruas lengan Utara

sebesar 0,5 m. Waktu siklus yang digunakan adalah waktu siklus 115 detik dengan waktu *allred* dan waktu kuning sebanyak 2 detik. Berdasarkan hasil *trial and error* dengan mempertimbangkan hasil derajat kejenuhan, panjang antrean, dan tundaan didapatkan waktu siklus untuk alternatif 3 dapat dilihat pada Tabel 5.27.

Tabel 5. 27 Waktu Siklus Alternatif 3

Lengan	Waktu (detik)				Waktu siklus	Urutan Fase
	Hijau	Kuning	<i>All red</i>	Merah		
Utara	25	2	2	86	115	1
Timur	22			89		2
Selatan	30			81		3
Barat	22			89		4

Berikut merupakan hasil perhitungan ulang untuk analisis kinerja simpang untuk alternatif 3.

1. Lengan Utara

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{W_H}{s} \\
 &= 2340 \times \frac{25}{115} \\
 &= 498 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_j &= \frac{Q}{C} \\
 &= \frac{494}{498} \\
 &= 0,992
 \end{aligned}$$

2. Lengan Timur

$$\begin{aligned}
 C &= J \times \frac{W_H}{s} \\
 &= 2520 \times \frac{22}{115} \\
 &= 464 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

$$D_j = \frac{Q}{C}$$

$$= \frac{450}{464}$$

$$= 0,968$$

3. Lengan Selatan

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

$$= 1980 \times \frac{30}{115}$$

$$= 479 \text{ smp/jam}$$

$$D_j = \frac{Q}{C}$$

$$= \frac{479}{479}$$

$$= 1,000$$

4. Lengan Barat

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

$$= 2700 \times \frac{22}{115}$$

$$= 512 \text{ smp/jam}$$

$$D_j = \frac{Q}{C}$$

$$= \frac{501}{512}$$

$$= 0,978$$

Berikut merupakan rekapitulasi untuk hasil analisis kapasitas (C) dan derajat kejenuhan (D_j) pada simpang Kamdanen sesuai dengan alternatif 3 dapat dilihat pada Tabel 5.28.

Tabel 5. 28 Rekapitulasi Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan

Lengan Pendekat	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (D _j)	Kesimpulan
Jl. Palagan Tentara (Utara)	498	0,992	Terjadi Kemacetan
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	464	0,968	Terjadi Kemacetan
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	479	1,000	Terjadi Kemacetan
Jl. Gito Gati (Barat)	512	0,978	Terjadi Kemacetan

Selain ada perubahan pada hasil kapasitas dan derajat kejenuhan, waktu siklus yang diubah akan merubah hasil dari panjang antrean dan juga tundaan simpang. Rekapitulasi keseluruhan analisis simpang menggunakan PKJI untuk alternatif 3 dapat dilihat pada Tabel 5.29.

Tabel 5. 29 Rekapitulasi Analisis Simpang Berdasarkan PKJI Menggunakan PKJI 2023 Alternatif 3

Parameter	Satuan	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Utara)	Jl. Kapten Haryadi (Timur)	Jl. Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	Jl. Gito Gati (Barat)
Arus Jenuh	smp/jam	2340	2520	1980	2700
Kapasitas	smp/jam	498	464	479	512
Derajat Kejenuhan	-	0,992	0,968	1,000	0,978
Panjang Antrean	m	158,974	138,09	187,87	133,33
Tundaan (T)	det/smp	131,03	123,66	137,73	119,77
Tingkat Pelayanan		F	F	F	F
Tundaan rata-rata seluruh simpang (T_i)	det/smp	128,04			
Tingkat pelayanan simpang		F			

Setelah dilakukan penyesuaian waktu siklus dan juga pelebaran pada pendekat Utara menggunakan PKJI 2023, selanjutnya hasil analisis dimodelkan menggunakan PTV VISSIM. Berikut hasil-hasil yang didapatkan.

1. Panjang antrean

Hasil pemodelan PTV VISSIM untuk paramater panjang antrean di tiap pendekat pada alternatif 3 dapat dilihat pada Tabel 5.30.

Tabel 5. 30 Panjang Antrean Alternatif 3

Nama Lengan	Panjang Antrean (m)
Jl. Palagan Tentara (Utara)	152,97
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	147,14
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	195,91
Jl. Gito Gati (Barat)	188,83

2. Tundaan

Hasil pemodelan PTV VISSIM untuk paramater tundaan di tiap pendekat pada alternatif 3 dapat dilihat pada Tabel 5.31

Tabel 5. 31 Tundaan Alternatif 3

Nama Lengan	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang PTV VISSIM (detkend)
Jl. Palagan Tentara (Utara)	194,33	219,19
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	216,79	
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	205,28	
Jl. Gito Gati (Barat)	259,16	

3. Tingkat Pelayanan

Hasil pemodelan PTV VISSIM untuk paramater tingkat pelayanan di simpang pada alternatif 3 dapat dilihat pada Tabel 5.32

Tabel 5. 32 Tingkat Pelayanan Alternatif 3

Nama Lengan	Volume	Tundaan VISSIM (det/kend)	Tundaan Simpang PTV VISSIM (det/kend)	Tingkat Pelayanan
Jl. Palagan Tentara (Utara)	1032	194,33	219,19	F
Jl. Kapten Haryadi (Timur)	998	216,79		
Jl. Palagan Tentara (Selatan)	1127	205,28		
Jl. Gito Gati (Barat)	1248	259,16		

5.6. Analisis Kerugian Bahan Bakar Minyak

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana dampak dari tundaan yang terjadi pada simpang terhadap kerugian yang akan dirasakan oleh pengendara saat melewati Simpang Kamdanen. Salah satu yang dirasakan oleh pengendara adalah kerugian BBM yang terjadi pada saat melewati simpang. Hal tersebut dapat terjadi karena setiap pengendara harus menunggu beberapa waktu untuk melewati simpang atau yang disebut dengan tundaan. Semakin kecil waktu tundaan akan semakin kecil pula kerugian yang harus ditanggung oleh pengendaranya, begitu pula sebaliknya semakin lama waktu tundaan yang terjadi maka semakin besar kerugian yang ditanggung oleh pengendaranya.

Perhitungan kerugian BBM dilakukan dengan dua metode analisis, yaitu dengan rumus dari LAPI-ITB dan juga metode Lamsal (ATIS India). Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan dan selisih antara kedua metode tersebut. Analisis perhitungan kerugian BBM juga dilakukan dalam kondisi eksisting dan juga setelah alternatif. Perhitungan yang didapatkan juga berdasarkan dari hasil analisis menggunakan PKJI dan juga permodelan pada PTV VISSIM.

Berdasarkan hasil perhitungan analisis simpang dengan menggunakan PKJI 2023 dan juga pemodelan menggunakan PTV VISSIM sudah didapatkan hasil tundaan dari tiap kondisi simpangnya. Data tundaan inilah yang digunakan untuk perhitungan kerugian BBM yang terjadi pada simpang di setiap kondisinya. Kondisi yang digunakan untuk mendapatkan nilai kerugian BBM pada simpang adalah pada saat kendaraan dalam keadaan *idle* atau diam.

5.6.1 Analisis Perhitungan Kerugian BBM pada Kondisi Eksisting

Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan hasil kerugian BBM yang terjadi menggunakan metode LAPI-ITB dan metode Lamsal (ATIS-India) pada tiap pendekat Simpang Kamdanen saat kondisi eksisting berdasarkan hasil analisis PKJI 2023 dan juga pemodelan menggunakan aplikasi PTV VISSIM.

5.6.1.1 Kerugian BBM Berdasarkan Hasil Analisis Menggunakan PKJI 2023

1. Pendekat Utara

$$F = 140 \times 10^{-2} (\text{liter} / \text{smp} \times \text{jam}) \times T_i \times q$$

$$= 140 \times 10^{-2} \div 3600 \times 227,832 \times 494$$

$$= 43,782$$

Setelah didapatkan nilai F selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai total kerugian tiap jenis kendaraan karena perbedaan harga bahan bakar yang dipakainya.

a. Sepeda Motor (SM)

$$\text{Kerugian BBM SM} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite}$$

$$= \frac{96}{494} \times 43,782 \times \text{Rp}10.000$$

$$= \text{Rp}84.658,82$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\text{Kerugian BBM MP} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite}$$

$$= \frac{383}{494} \times 43,782 \times \text{Rp}10.000$$

$$= \text{Rp}339.344,11$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\text{Kerugian BBM KS} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Solar}$$

$$= \frac{16}{494} \times 43,782 \times \text{Rp}6.800$$

$$= \text{Rp}9.398,86$$

2. Pendekat Timur

$$F = 140 \times 10^{-2} (\text{liter} / \text{smp} \times \text{jam}) \times T_i \times q$$

$$= 140 \times 10^{-2} \div 3600 \times 140,93 \times 450$$

$$= 24,644$$

Setelah didapatkan nilai F selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai total kerugian tiap jenis kendaraan karena perbedaan harga bahan bakar yang dipakainya.

a. Sepeda Motor (SM)

$$\text{Kerugian BBM SM} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite}$$

$$= \frac{97}{450} \times 24,644 \times \text{Rp}10.000$$

$$= \text{Rp}53.354,74$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{338}{450} \times 24,644 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}185.248,11\end{aligned}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM KS} &= \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Solar} \\ &= \frac{14}{450} \times 24,644 \times \text{Rp}6.800 \\ &= \text{Rp}5.329,45\end{aligned}$$

3. Pendekat Selatan

$$\begin{aligned}F &= 140 \times 10^{-2} (\text{liter} / \text{smp} \times \text{jam}) \times T_i \times q \\ &= 140 \times 10^{-2} \div 3600 \times 252,289 \times 479 \\ &= 46,991\end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai F selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai total kerugian tiap jenis kendaraan karena perbedaan harga bahan bakar yang dipakainya.

a. Sepeda Motor (SM)

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{115}{479} \times 46,991 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}112.878,62\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{347}{479} \times 46,991 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}340.450,95\end{aligned}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\text{Kerugian BBM KS} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Solar}$$

$$= \frac{17}{479} \times 46,991 \times Rp6.800$$

$$= Rp11.274,11$$

4. Pendekat Barat

$$F = 140 \times 10^{-2} (\text{liter} / \text{smp} \times \text{jam}) \times T_i \times q$$

$$= 140 \times 10^{-2} \div 3600 \times 137,984 \times 501$$

$$= 26,883$$

Setelah didapatkan nilai F selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai total kerugian tiap jenis kendaraan karena perbedaan harga bahan bakar yang dipakainya.

a. Sepeda Motor (SM)

$$\text{Kerugian BBM SM} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite}$$

$$= \frac{132}{501} \times 26,883 \times Rp10.000$$

$$= Rp70.992,84$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\text{Kerugian BBM MP} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite}$$

$$= \frac{357}{501} \times 26,883 \times Rp10.000$$

$$= Rp191.567,15$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\text{Kerugian BBM KS} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Solar}$$

$$= \frac{12}{501} \times 26,883 \times Rp6.800$$

$$= Rp4.269,23$$

Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan hasil kerugian BBM yang terjadi menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) pada tiap pendekat Simpang Kamdanen saat kondisi eksisting. Untuk metode ATIS tiap kendaraan mempunyai koefisiennya sendiri.

1. Pendekat Utara

a. Sepeda Motor (SM)

Kendaraan sepeda motor mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 170 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk sepeda motor adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{SM} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times 227,832 \times 96 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}10.280\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

Kendaraan mobil penumpang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 767 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk mobil penumpang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{MP} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times 227,832 \times 383 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}185.912,09\end{aligned}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

Kendaraan kendaraan sedang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 833 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk kendaraan sedang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM KS} &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{KS} \times \text{Harga BBM Solar} \\ &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times 227,832 \times 16 \times \text{Rp}6.800 \\ &= \text{Rp}5.592,32\end{aligned}$$

2. Pendekat Timur

a. Sepeda Motor (SM)

Kendaraan sepeda motor mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 170 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk sepeda motor adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{SM} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times 140,932 \times 97 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}6.478,79\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

Kendaraan mobil penumpang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 767 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk mobil penumpang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{MP} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times 140,932 \times 338 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}101.489,50\end{aligned}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

Kendaraan kendaraan sedang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 833 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk kendaraan sedang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM KS} &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{KS} \times \text{Harga BBM Solar} \\ &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times 140,932 \times 14 \times \text{Rp}6.800 \\ &= \text{Rp}3.171,02\end{aligned}$$

3. Pendekat Selatan

a. Sepeda Motor (SM)

Kendaraan sepeda motor mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 170 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk sepeda motor adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{SM} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times 252,289 \times 115 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}13.706,69\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

Kendaraan mobil penumpang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 767 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk mobil penumpang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{MP} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times 252,289 \times 347 \times \text{Rp}10.000\end{aligned}$$

$$= \text{Rp}186.518,48$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

Kendaraan kendaraan sedang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 833 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk kendaraan sedang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM KS} &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{KS} \times \text{Harga BBM Solar} \\ &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times 252,289 \times 17 \times \text{Rp}6.800 \\ &= \text{Rp}6.708,69\end{aligned}$$

4. Pendekat Barat

a. Sepeda Motor (SM)

Kendaraan sepeda motor mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 170 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk sepeda motor adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{SM} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times 137,984 \times 132 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}8.620,56\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

Kendaraan mobil penumpang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 767 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk mobil penumpang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{MP} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times 137,984 \times 357 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}104.951,89\end{aligned}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

Kendaraan kendaraan sedang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 833 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk kendaraan sedang adalah sebagai berikut.

$$\text{Kerugian BBM KS} = \frac{833}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{KS} \times \text{Harga BBM Solar}$$

$$= \frac{833}{3600 \times 1000} \times 137,984 \times 12 \times \text{Rp}6.800$$

$$= \text{Rp}2.540,19$$

5.6.1.2 Kerugian BBM Berdasarkan Hasil Pemodelan PTV VISSIM

1. Pendekat Utara

$$F = 140 \times 10^{-2} (\text{liter} / \text{smp} \times \text{jam}) \times T_i \times q$$

$$= 140 \times 10^{-2} \div 3600 \times 260,259 \times 494$$

$$= 50,013$$

Setelah didapatkan nilai F selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai total kerugian tiap jenis kendaraan karena perbedaan harga bahan bakar yang dipakainya.

a. Sepeda Motor (SM)

$$\text{Kerugian BBM SM} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Pertalite}$$

$$= \frac{96}{494} \times 50,013 \times \text{Rp}10.000$$

$$= \text{Rp}96.707,95$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\text{Kerugian BBM MP} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Pertalite}$$

$$= \frac{383}{494} \times 50,013 \times \text{Rp}10.000$$

$$= \text{Rp}387.641,48$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\text{Kerugian BBM KS} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Solar}$$

$$= \frac{16}{494} \times 50,013 \times \text{Rp}6.800$$

$$= \text{Rp}10.736,56$$

2. Pendekat Timur

$$F = 140 \times 10^{-2} (\text{liter} / \text{smp} \times \text{jam}) \times T_i \times q$$

$$= 140 \times 10^{-2} \div 3600 \times 180,948 \times 450$$

$$= 31,641$$

Setelah didapatkan nilai F selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai total kerugian tiap jenis kendaraan karena perbedaan harga bahan bakar yang dipakainya.

a. Sepeda Motor (SM)

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{97}{450} \times 31,641 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}68.504,11\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{338}{450} \times 31,641 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}237.846,84\end{aligned}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM KS} &= \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Solar} \\ &= \frac{14}{450} \times 31,641 \times \text{Rp}6.800 \\ &= \text{Rp}6.842,67\end{aligned}$$

3. Pendekat Selatan

$$\begin{aligned}F &= 140 \times 10^{-2} (\text{liter} / \text{smp} \times \text{jam}) \times T_i \times q \\ &= 140 \times 10^{-2} \div 3600 \times 264,360 \times 479 \\ &= 49,239\end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai F selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai total kerugian tiap jenis kendaraan karena perbedaan harga bahan bakar yang dipakainya.

a. Sepeda Motor (SM)

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{115}{479} \times 49,239 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}118.279,36\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\text{Kerugian BBM MP} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Peralite}$$

$$= \frac{347}{479} \times 49,239 \times Rp10.000$$

$$= Rp356.740,02$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\text{Kerugian BBM KS} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Solar}$$

$$= \frac{17}{479} \times 49,239 \times Rp6.800$$

$$= Rp11.814,57$$

4. Pendekat Barat

$$F = 140 \times 10^{-2} (\text{liter} / \text{smp} \times \text{jam}) \times T_i \times q$$

$$= 140 \times 10^{-2} \div 3600 \times 193.245 \times 501$$

$$= 37,650$$

Setelah didapatkan nilai F selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai total kerugian tiap jenis kendaraan karena perbedaan harga bahan bakar yang dipakainya.

a. Sepeda Motor (SM)

$$\text{Kerugian BBM SM} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Pertalite}$$

$$= \frac{132}{501} \times 37,650 \times Rp10.000$$

$$= Rp99.424,83$$

b. Mobil Penumpang (MP)

$$\text{Kerugian BBM MP} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Pertalite}$$

$$= \frac{357}{501} \times 37,650 \times Rp10.000$$

$$= Rp268.289,22$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

$$\text{Kerugian BBM KS} = \frac{q_b}{q} \times F \times \text{Harga BBM Solar}$$

$$= \frac{12}{501} \times 37,650 \times Rp6.800$$

$$= Rp5.979,02$$

Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan hasil kerugian BBM yang terjadi menggunakan metode Lamsal pada tiap pendekat Simpang Kamdanen saat

kondisi eksisting. Untuk metode Lamsal tiap kendaraan mempunyai koefisiennya sendiri.

1. Pendekat Utara

a. Sepeda Motor (SM)

Kendaraan sepeda motor mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 170 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk sepeda motor adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{SM} \times \text{Harga BBM Pertalite} \\ &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times 260,251 \times 96 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}11.743,11\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

Kendaraan mobil penumpang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 767 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk mobil penumpang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{MP} \times \text{Harga BBM Pertalite} \\ &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times 260,251 \times 383 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}212.372,16\end{aligned}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

Kendaraan kendaraan sedang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 833 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk kendaraan sedang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM KS} &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{KS} \times \text{Harga BBM Solar} \\ &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times 260,251 \times 16 \times \text{Rp}6.800 \\ &= \text{Rp}6.388,25\end{aligned}$$

2. Pendekat Timur

a. Sepeda Motor (SM)

Kendaraan sepeda motor mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 170 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk sepeda motor adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{SM} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times 180,948 \times 97 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}8.318,36\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

Kendaraan mobil penumpang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 767 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk mobil penumpang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{MP} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times 180,948 \times 338 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}130.306,09\end{aligned}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

Kendaraan kendaraan sedang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 833 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk kendaraan sedang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM KS} &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{KS} \times \text{Harga BBM Solar} \\ &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times 180,948 \times 14 \times \text{Rp}6.800 \\ &= \text{Rp}4.071,39\end{aligned}$$

3. Pendekat Selatan

a. Sepeda Motor (SM)

Kendaraan sepeda motor mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 170 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk sepeda motor adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{SM} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times 264.360 \times 115 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}14.362,49\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

Kendaraan mobil penumpang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 767 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk mobil penumpang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{MP} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times 264.360 \times 347 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}195.442,57\end{aligned}$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

Kendaraan kendaraan sedang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 833 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk kendaraan sedang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM KS} &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{KS} \times \text{Harga BBM Solar} \\ &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times 264.360 \times 17 \times \text{Rp}6.800 \\ &= \text{Rp}7.029,67\end{aligned}$$

4. Pendekat Barat

a. Sepeda Motor (SM)

Kendaraan sepeda motor mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 170 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk sepeda motor adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM SM} &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{SM} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{170}{3600 \times 1000} \times 195.245 \times 132 \times \text{Rp}10.000 \\ &= \text{Rp}12.073,02\end{aligned}$$

b. Mobil Penumpang (MP)

Kendaraan mobil penumpang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 767 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk mobil penumpang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kerugian BBM MP} &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{MP} \times \text{Harga BBM Peralite} \\ &= \frac{767}{3600 \times 1000} \times 195.245 \times 357 \times \text{Rp}10.000\end{aligned}$$

$$= \text{Rp}146.984,17$$

c. Kendaraan Sedang (KS)

Kendaraan kendaraan sedang mempunyai koefisien dari metode Lamsal sebesar 833 ml/jam-smp. Maka besar kerugian untuk kendaraan sedang adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kerugian BBM KS} &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times T_i \times q_{KS} \times \text{Harga BBM Solar} \\ &= \frac{833}{3600 \times 1000} \times 195,245 \times 12 \times \text{Rp}6.800 \\ &= \text{Rp}3.557,82 \end{aligned}$$

Rekapitulasi untuk perhitungan kerugian BBM yang terjadi pada Simpang Kamdanan saat kondisi eksisting berdasarkan analisis menggunakan PKJI 2023 dan juga permodelan menggunakan PTV VISSIM dapat dilihat pada Tabel 5.33 dan Tabel 5.34.

Tabel 5. 33 Rekapitulasi Kerugian BBM PKJI 2023 pada Kondisi Eksisting

Lengan Pendekat	Kerugian BBM (Rp/jam)						
	Tundaan	LAPI-ITB			Lamsal		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS
Utara	227,832	84.658,82	339.344,11	9.398,86	10.280,00	185.912,09	5.592,32
Timur	140,932	53.354,74	185.248,11	5.329,45	6.478,79	101.489,50	3.171,02
Selatan	252,289	112.878,62	340.450,95	11.275,11	13.706,69	186.518,48	6.708,69
Barat	137,984	70.992,84	191.567,98	4.269,23	8.620,56	104.951,89	2.540,19

Tabel 5. 34 Rekapitulasi Kerugian BBM PTV VISSIM pada Kondisi Eksisting

Lengan Pendekat	Kerugian BBM (Rp/jam)						
	Tundaan	LAPI-ITB			Lamsal		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS
Utara	260,259	96.707,95	387.641,48	10.736,56	11.743,11	212.372,16	6.388,25
Timur	180,948	68.504,11	237.846,84	6.842,67	8.318,36	130.306,09	4.071,39
Selatan	264,360	118.279,36	356.740,02	11.814,57	14.362,49	195.442,57	7.029,67
Barat	193,245	99.424,83	268.289,22	5.979,02	12.073,02	146.984,17	3.557,52

5.6.2 Analisis Perhitungan Kerugian BBM Setelah Diberi Alternatif Solusi

Analisis perhitungan kerugian BBM juga dilakukan terhadap alternatif solusi dari kondisi eksisting pada Simpang Kamdanen. Hal ini juga dapat membantu bagaimana efektivitas dari alternatif solusi yang telah dilakukan akan berdampak juga terhadap kerugian BBM yang terjadi. Perhitungan analisis kerugian BBM menggunakan metode LAPI-ITB dan juga ATIS India yang datanya didapatkan dari hasil alternatif menggunakan PKJI 2023 dan juga pemodelan PTV VISSIM.

5.6.2.1 Alternatif Solusi 1

Alternatif solusi yang pertama adalah dengan menghitung ulang waktu siklus pada Simpang Kamdanen sesuai dengan aturan PKJI 2023. Alternatif yang diberikan adalah mengubah waktu siklus menjadi 115 detik dengan waktu *all red* dan *amber* menjadi 2 detik. Lalu untuk waktu hijau pada lengan Utara menjadi 28 detik, lengan Timur menjadi 19 detik, lengan Selatan menjadi 30 detik, dan lengan Barat menjadi 22 detik. Rekapitulasi hasil kerugian BBM yang terjadi untuk alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 5.35 dan Tabel 5.36.

Tabel 5. 35 Rekapitulasi Kerugian BBM PKJI 2023

Lengan Pendekat	Kerugian BBM (Rp/jam)						
	Tundaan	LAPI-ITB			Lamsal		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS
Utara	134,847	50.107,06	200.847,76	5.562,91	6.084,43	110.035,88	3.309,93
Timur	180,576	68.363,22	237.357,65	6.828,60	8.301,25	130.038,08	4.063,02
Selatan	137,814	61.660,67	185.973,51	6.159,10	7.487,37	101.886,91	3.664,66
Barat	119,854	61.664,92	166.397,41	3.708,29	7.487,88	91.162,01	2.206,43

Tabel 5. 36 Rekapitulasi Kerugian BBM PTV VISSIM

Lengan Pendekat	Kerugian BBM (Rp/jam)						
	Tundaan	LAPI-ITB (Rp)			Lamsal(Rp)		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS
Utara	260,259	96.707,95	387.641,48	10.736,56	11.743,11	212.372,16	6.388,25
Timur	180,948	68.504,11	237.846,84	6.842,67	8.318,36	130.306,09	4.071,39
Selatan	264,360	118.279,36	356.740,02	11.814,57	14.362,49	195.442,57	7.029,67
Barat	193,245	99.424,83	268.289,22	5.979,02	12.073,02	146.984,17	3.557,52

5.6.2.2 Alternatif Solusi 2

Alternatif solusi kedua yang digunakan adalah dengan melebarkan jalan pada lengan Utara selebar 0,5 m. Hal ini dapat dilakukan karena masih ada beberapa ruang kosong pada sisi lajur untuk ditambahkan pelebaran pada lengan tersebut. Berikut rekapitulasi hasil kerugian BBM yang terjadi untuk alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 5.37 dan Tabel 5.38.

Tabel 5. 37 Rekapitulasi Kerugian BBM PKJI 2023

Lengan Pendekat	Kerugian BBM (Rp/jam)						
	Tundaan	LAPI-ITB (Rp)			Lamsal (Rp)		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS
Utara	156,808	58.267,42	233.557,54	6.468,87	7.075,33	127.956,17	3.848,98
Timur	140,932	53.354,74	185.248,11	5.329,45	6.478,79	101.489,50	3.171,02
Selatan	252,289	112.878,62	340.450,95	11.275,11	13.706,69	186.518,48	6.708,69
Barat	137,984	70.992,84	191.567,98	4.269,23	8.620,56	104.951,89	2.540,19

Tabel 5. 38 Rekapitulasi Kerugian BBM PTV VISSIM

Lengan Pendekat	Kerugian BBM (Rp/jam)						
	Tundaan	LAPI-ITB (Rp)			Lamsal (Rp)		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS
Utara	199,353	74.076,51	296.926,23	8.224,00	8.995,00	162.673,16	4.893,28
Timur	153,626	58.160,60	201.934,08	5.809,49	7.062,36	110.631,03	3.456,65
Selatan	265,888	118.962,80	358.801,32	11.882,84	14.445,48	196.571,87	7.070,29
Barat	240,805	123.894,32	334.317,99	7.450,52	15.044,31	183.158,50	4.433,06

5.6.2.3 Alternatif Solusi 3

Alternatif solusi yang pertama adalah dengan menghitung ulang waktu siklus pada Simpang Kamdanen sesuai dengan aturan PKJI 2023. Alternatif yang diberikan adalah menggabungkan alternatif solusi 1 dan 2, yaitu mengubah waktu siklus menjadi 115 detik dengan waktu *all red* dan *amber* menjadi 2 detik. Lalu untuk waktu hijau pada lengan Utara menjadi 28 detik, lengan Timur menjadi 19 detik, lengan Selatan menjadi 30 detik, dan lengan Barat menjadi 22 detik. Serta untuk menambahkan pelebaran jalan pada lengan Utara selebar 0,5 m. Berikut rekapitulasi hasil kerugian BBM yang terjadi untuk alternatif 3 dapat dilihat pada Tabel 5.39 dan Tabel 5.40.

Tabel 5. 39 Rekapitulasi Kerugian BBM PKJI 2023

Lengan Pendekat	Kerugian BBM (Rp/jam)						
	Tundaan	LAPI-ITB (Rp)			Lamsal (Rp)		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS
Utara	131,037	48.691,53	195.173,79	5.405,75	5.912,54	106.927,36	3.216,42
Timur	123,664	46.817,45	162.550,58	4.676,46	5.684,98	89.054,50	2.782,49
Selatan	137,731	61.623,50	185.861,41	6.155,39	7.482,85	101.825,50	3.662,46
Barat	119,774	61.624,07	166.287,17	3.705,83	7.482,92	91.101,61	2.204,97

Tabel 5. 40 Rekapitulasi Kerugian BBM PTV VISSIM

Lengan Pendekat	Kerugian BBM (Rp/jam)						
	Tundaan	LAPI-ITB (Rp)			Lamsal (Rp)		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS
Utara	194,335	72.211,85	289.452,01	8.016,99	8.768,58	158.578,35	4.770,11
Timur	216,791	82.073,48	284.959,78	8.198,07	9.966,06	156.117,25	4.877,85
Selatan	205,284	91.847,83	277.020,41	9.174,41	11.152,95	151.767,61	5.458,77
Barat	259,168	133.342,18	359.812,24	8.018,67	16.191,55	197.125,70	4.771,11

5.7. Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada Simpang Kamdanen menggunakan dasaran Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan juga dilakukan pemodelan menggunakan aplikasi PTV VISSIM didapatkan hasil yang cukup berbeda diantara kedua pendekatan yang dilakukan. Hasil yang didapatkan dengan pendekatan PKJI 2023 adalah lebih fokus terhadap pengevaluasian kinerja lalu lintas yang terjadi pada simpang dengan parameter derajat kejenuhan, panjang antrean, dan tundaan di setiap lengan simpang. Sedangkan, untuk pemodelan menggunakan aplikasi PTV VISSIM lebih condong kepada simulasi yang terjadi pada simpang dengan parameter panjang antrean dan waktu tundaan kendaraan secara lebih realistis dan hasil yang kemungkinan terjadi secara nyata.

Melainkan penganalisan kinerja lalu lintas dan juga pemodelan lalu lintas, dilakukan juga analisis perhitungan estimasi kerugian biaya dari bahan bakar minyak (BBM) yang perlu ditanggung oleh kendaraan pada saat jam puncak. Perhitungan ini menggunakan dua metode perhitungan, yaitu menggunakan persamaan dari LAPI-ITB dan juga Lamsal (ATIS-India). Persamaan LAPI-ITB menggunakan konversi umum untuk tiap kendaraan dan menggunakan

perbandingan pada besar arus yang terjadi pada tiap lengannya. Metode Lamsal (ATIS-India) mempunyai angka konversi untuk tiap jenis kendaraan dan perhitungan perbandingan jumlah spesifik kendaraan dengan jumlah total kendaraan yang dilewati pada sebuah lengan. Oleh karena itu, kedua hasil yang diberikan dari kedua metode ini menunjukkan hasil yang berbeda.

5.7.1 Pembahasan Kinerja Simpang pada Kondisi Eksisting

Analisis kinerja Simpang Kamdanen yang dilakukan berdasarkan PKJI 2023 dan pemodelan menggunakan aplikasi PTV VISSIM menunjukkan adanya perbedaan hasil yang didapatkan. Berikut adalah perbedaan hasil yang didapatkan dari kedua metode yang dilakukan.

1. Nilai Derajat Kejenuhan

Hasil analisis kinerja simpang Kamdanen pada kondisi eksisting digunakan dengan dasar PKJI dan juga dilakukan pemodelan menggunakan PTV VISSIM untuk mevalidasi bahwa pemodelan tersebut telah merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Berikut adalah hasil derajat kejenuhan pada kondisi eksisting dapat dilihat pada Tabel 5.41.

Tabel 5. 41 Rekapitulasi Kapasitas dan Derajat Kejenuhan dalam Kondisi Eksisting

Lengan Pendekat	Kapasitas (smp/jam)	Derajat Kejenuhan
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	436	1,132
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	482	0,933
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	414	1,157
Jalan Gito Gati (Barat)	532	0,942

Berdasarkan Tabel 5.41 didapatkan hasil derajat kejenuhan pada kondisi eksisting dinyatakan sangat jenuh. Hal itu berdasarkan pada PKJI 2023 yang menyatakan apabila derajat kejenuhan di atas angka 0,85 maka lengan tersebut terbilang sangat jenuh.

2. Nilai Panjang Antrean

Parameter panjang antrean memiliki hasil yang berbeda antara metode PKJI 2023 dan juga permodelan menggunakan PTV VISSIM. Panjang antrean merupakan hal yang terjadi saat suatu lengan mengalami waktu merah dan terjadi antrean pada lengan tersebut. Berikut perbandingan di antara kedua metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.42.

Berdasarkan dari Tabel 5.42, hasil panjang antrean dari pemodelan PTV VISSIM menunjukkan angka yang lebih kecil dibandingkan dengan metode PKJI 2023.

Tabel 5. 42 Panjang Antrean dalam Kondisi Eksisting

Lengan Pendekat	Panjang Antrean (m)	
	PKJI 2023	PTV VISSIM
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	300,00	210,53
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	157,143	116,87
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	327,273	225,48
Jalan Gito Gati (Barat)	160,00	135,08

3. Nilai Tundaan

Nilai Tundaan yang dihasilkan pada metode PKJI 2023 dan juga pemodelan PTV VISSIM juga memiliki perbedaan hasil angka yang ditunjukkan. Berikut adalah hasil dari kedua metode dapat dilihat pada Tabel 5.43.

Tabel 5. 43 Tundaan dalam Kondisi Eksisting

Lengan Pendekat	Tundaan		Tundaan Rata-Rata	
	PKJI 2023 (det/smp)	PTV VISSIM (det/kend)	PKJI 2023 (det/smp)	PTV VISSIM (det/kend)
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	227,832	260,259	190,211	225,28
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	140,932	180,948		
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	252,289	264,360		
Jalan Gito Gati (Barat)	137,984	193,245		

Hasil-hasil analisis yang terdapat pada Tabel 5.41, 5.42, 5.43 memberikan nilai yang berbeda antara hasil analisis menggunakan PKJI 2023 dan juga PTV VISSIM. Berdasarkan dari hasil nilai tundaan yang didapatkan dari PKJI maupun pemodelan PTV VISSIM dapat diartikan bahwa Simpang Kamdanen mempunyai kinerja yang tidak sesuai dengan kebijakan pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 96 Tahun 2015. Peraturan tersebut menyatakan bahwa untuk simpang Kamdanen pada jalan mayor sekurang-kurangnya bernilai B dan untuk Jalan Mayor sekurang-kurangnya bernilai C.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rahman (2023) tentang Evaluasi dan Rekayasa Peningkatan Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kamdanen Kota Yogyakarta, didapatkan jumlah volume puncaknya adalah 5251 kend/jam atau setelah dikonversi menjadi 2236,3 smp/jam. Hasil penelitiannya adalah derajat kejenuhan pada Simpang Kamdanen dengan menggunakan dasaran MKJI 1997, derajat kejenuhan yang terjadi di lengan Utara adalah sebesar 0,85, lengan Timur sebesar 0,44, lengan Selatan sebesar 0,49, dan lengan Barat sebesar 0,72. Selain itu, tundaan total yang didapat adalah sebesar 60,599 det/smp dengan tingkat pelayanan pada simpang adalah F.

5.7.2 Pembahasan Biaya Kerugian Bahan Bakar Minyak pada Kondisi Eksisting

Konsumsi biaya kerugian BBM pada Simpang Kamdanen dilakukan dengan dua metode perhitungan, yaitu metode Lamsal (ATIS-India) dan LAPI-ITB. Kedua metode tersebut dibutuhkan nilai tundaan untuk mendapatkan besaran kerugian yang terjadi. Oleh karena itu, juga ada perbandingan antara hasil dari tundaan yang dihasilkan dari PKJI 2023 dan juga hasil pemodelan dari PTV VISSIM. Hasil kerugian BBM pada kondisi eksisting dapat dilihat pada Tabel 5.44, Tabel 5.45, dan Gambar 5.14.

Tabel 5. 44 Kerugian Konsumsi BBM Berdasarkan PKJI pada Kondisi Eksisting

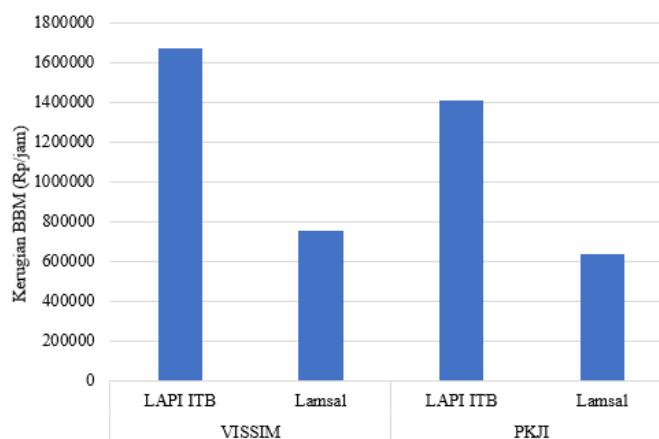
Lengan Pendekat	Kerugian Konsumsi Bahan Bakar (Rp/jam)	
	LAPI-ITB	Lamsal
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	433.401,79	201.784,41

Lanjutan Tabel 5.44 Kerugian Konsumsi BBM Berdasarkan PKJI pada Kondisi Eksisting

Lengan Pendekat	Kerugian Konsumsi Bahan Bakar (Rp/jam)	
	LAPI-ITB	Lamsal
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	243.932,30	111.139,31
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	464.604,68	206.933,86
Jalan Gito Gati (Barat)	266.830,05	116.112,64
Total Pengeluaran	1.408.631,82	635.970,23

Tabel 5. 45 Kerugian Konsumsi BBM Berdasarkan PTV VISSIM pada Kondisi Eksisting

Lengan Pendekat	Kerugian Konsumsi Bahan Bakar (Rp/jam)	
	LAPI-ITB	Lamsal
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	495.085,99	230.503,51
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	313.193,62	142.695,84
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	486.833,96	216.834,73
Jalan Gito Gati (Barat)	373.693,07	162.614,70
Total Pengeluaran	1.668.806,74	752.648,78



Gambar 5. 14 Diagram Perbandingan Kerugian Bahan Bakar Minyak pada Kondisi Eksisting

Berdasarkan dari hasil tabel di atas, didapatkan perbedaan yang cukup signifikan. Pertama terdapat perbedaan antara hasil dari PKJI 2023 dan juga pemodelan menggunakan PTV VISSIM dikarenakan hasil tundaan yang berbeda

dari kedua metode tersebut. Kedua, perbedaan antara kedua metode LAPI-ITB dan juga Lamsal dikarenakan parameter yang digunakan antara kedua metode berbeda. LAPI-ITB menggunakan rasio volume kendaraan tiap jenisnya di tiap lengan untuk mendapatkan nilai perhitungannya, sedangkan untuk metode Lamsal menggunakan koefisien yang sudah ditetapkan pada tiap jenis kendaraannya. Oleh karena itu, terjadi perbedaan nilai kerugian BBM dari hasil kedua metode tersebut.

Harahap (2025) melakukan penelitian tentang studi Evaluasi Kinerja Simpang dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar pada Simpang Empat Ketandan Ringroad Timur berdasarkan PKJI 2023 dan Pemodelan VISSIM. Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai biaya kerugian BBM adalah metode Lamsal dan juga LAPI-ITB. Setelah dilakukan pemodelan pada kondisi eksisting, perhitungan biaya konsumsi BBM menggunakan metode LAPI-ITB didapatkan kerugian pada simpang tersebut adalah sebesar Rp3.625.049/jam, sedangkan dengan menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) didapatkan kerugian sebesar Rp1.449.790/jam.

5.7.3 Perbandingan Kinerja Simpang Setelah Diberikan Alternatif Solusi

Analisis dilanjutkan dengan mencari alternatif solusi yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kinerja lalu lintas pada Simpang Kamdanen. Dari hasil yang telah dilakukan terdapat 3 alternatif solusi atas permasalahan tersebut. Untuk itu perlu dilakukan perbandingan antara kondisi eksisting dengan ketiga alternatif solusi untuk mendapatkan dan menentukan alternatif solusi terbaik yang dapat digunakan pada Simpang Kamdanen. Perbandingan ini juga dilakukan antara metode PKJI 2023 dan juga dari hasil pemodelan menggunakan PTV VISSIM.

1. Perbandingan Nilai Derajat Kejenuhan

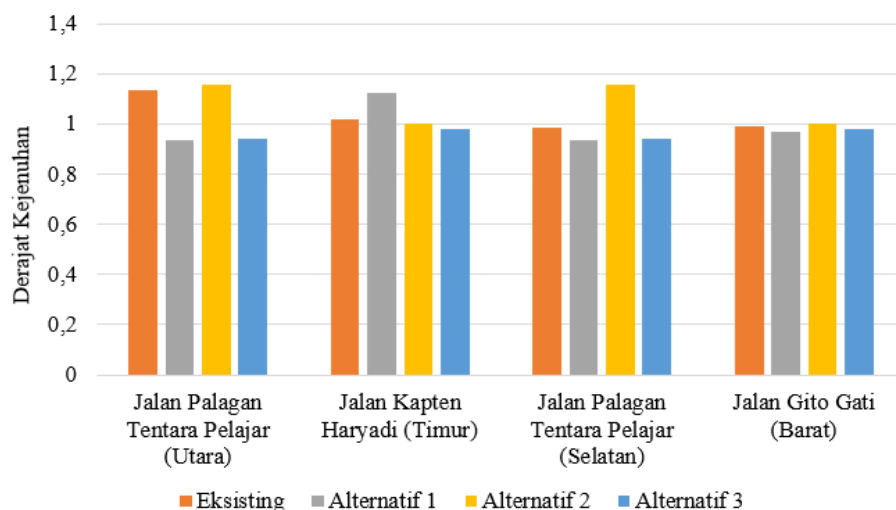
Analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai derajat kejenuhan yang dihasilkan dari kondisi eksisting dan juga kondisi alternatif solusi yang dilakukan. Berikut perbandingan nilai derajat kejenuhan antar kondisi dapat dilihat pada Tabel 5.46 dan Gambar 5.15 dan persentase perbedaannya dapat dilihat pada Tabel 5.47.

Tabel 5. 46 Perbandingan Derajat Kejenuhan

Lengan Pendekat	Derajat Kejenuhan (D_J)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	1,132	1,016	0,987	0,992
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	0,933	1,121	0,933	0,968
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	1,157	1,000	1,157	1,000
Jalan Gito Gati (Barat)	0,942	0,978	0,942	0,978

Tabel 5. 47 Persentase Perubahan Derajat Kejenuhan dengan Kondisi Eksisting

Lengan Pendekat	Perbandingan D_J (%)		
	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	90	87	88
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	120	100	104
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	86	100	86
Jalan Gito Gati (Barat)	104	100	104



Gambar 5. 15 Perbandingan Derajat Kejenuhan

Dari Tabel 5.44, Tabel 5.45 dan Gambar 5.15 di atas, dapat disimpulkan bahwa Alternatif 2 yang mempunyai penurunan nilai derajat kejenuhan pada lengan Utara tanpa menurunkan nilai derajat kejenuhan di lengan yang lain. Sementara itu,

untuk alternatif Alternatif 1 dan 3 mempunyai penurunan nilai derajat kejenuhan pada lengan Utara dan lengan Selatan tetapi mengalami kenaikan nilai derajat kejenuhan pada lengan Timur dan lengan Barat. Walaupun alternatif 2 mempunyai kenaikan hasil pada lengan Utara dan tidak mengalami penurunan hasil pada lengan lainnya, namun kondisi pada alternatif 3 memiliki jumlah total hasil penurunan nilai derajat kejenuhan paling baik di antara kondisi alternatif lain yang dapat dilihat pada Gambar 5.14. Oleh karena itu, kondisi alternatif 3 merupakan kondisi yang paling baik dalam penilaian derajat kejenuhan. Namun, dari semua hasil alternatif tidak mencapai solusi yang baik karena masih di atas angka 0,85 yang artinya masih terjadi kemacetan.

2. Perbandingan Nilai Panjang Antrean

Terdapat perbedaan hasil nilai panjang antrean yang terjadi pada Simpang Kamdanan dari pemodelan PTV VISSIM yang telah dilakukan pada kondisi eksisting, alternatif 1, alternatif 2, dan alternatif 3. Perbandingan juga dilakukan antara metode PKJI 2023 dan juga pemodelan menggunakan PTV VISSIM. Perbedaan hasil panjang antrean dapat dilihat pada Tabel 5.48, Tabel 5.49, dan Gambar 5.15 berikut.

Tabel 5. 48 Perbandingan Panjang Antrean Menggunakan PTV VISSIM

Lengan Pendekat	Panjang Antrean (m)				
	Observasi	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	80	210,53	169,05	152,80	152,97
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	175	116,87	242,73	89,36	147,14
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	120	225,48	188,83	227,39	195,91
Jalan Gito Gati (Barat)	95	135,08	177,41	173,74	188,83

Tabel 5. 49 Perbandingan Panjang Antrean Menggunakan PKJI 2023

Lengan Pendekat	Panjang Antrean (m)				
	Observasi	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	80	300	188,23	200	158,97
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	175	157,14	180,95	157,14	138,09
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	120	327,27	193,93	327,27	187,87
Jalan Gito Gati (Barat)	95	160	137,77	160	133,33

Persentase perbedaan antara kondisi eksisting dan setiap alternatif solusi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.50 dan Tabel 5.51.

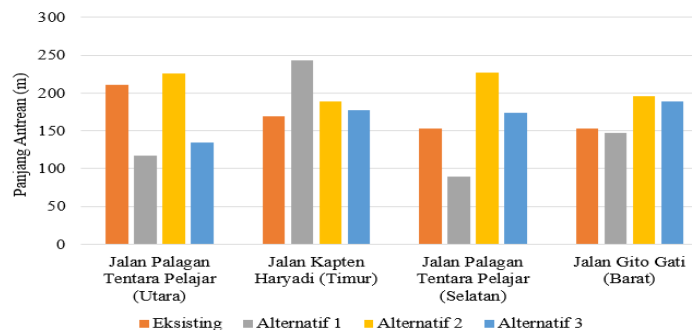
Tabel 5. 50 Persentase Perubahan Panjang Antrean Menggunakan PTV VISSIM pada Kondisi Eksisting

Lengan Pendekat	Perbandingan Panjang Antrean (%)		
	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	80,3	72,58	72,66
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	207,68	76,46	125,9
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	83,75	100,85	86,89
Jalan Gito Gati (Barat)	131,33	128,62	139,79

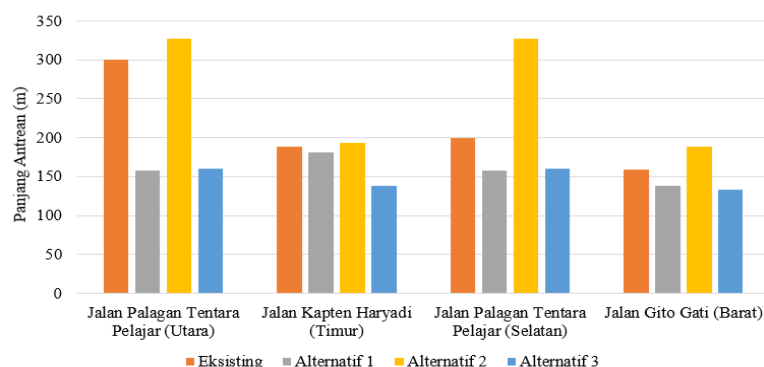
Tabel 5. 51 Persentase Perubahan Panjang Antrean Menggunakan PKJI 2023 pada Kondisi Eksisting

Lengan Pendekat	Perbandingan Panjang Antrean (%)		
	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	63	67	53
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	115	100	88
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	59	100	57
Jalan Gito Gati (Barat)	86	100	83

Berdasarkan Tabel 5.48, Tabel 5.49, Tabel 5.50, Tabel 5.51, Gambar 5.16, dan Gambar 5.17 dapat dikatakan bahwa panjang antrean untuk tiap kondisi alternatif yang diberikan terjadi perubahan dibandingkan dengan kondisi eksisting. Hal ini disebabkan karena waktu siklus yang berbeda-beda dan dibuat lebih singkat dibanding kondisi eksisting. Berdasarkan dari pemodelan PTV VISSIM, alternatif solusi terbaik yang bisa dilakukan adalah alternatif 2 karena mempunyai penurunan persentase paling besar dibandingkan dengan alternatif lainnya. Hal ini dapat terjadi karena waktu siklus pada alternatif 2 mempunyai perbaikan yang signifikan pada lengan Utara dan lengan Timur walaupun memiliki kenaikan pada lengan Selatan dan lengan Timur, namun kenaikannya tidak terlalu signifikan dibandingkan perbaikan pada alternatif yang lainnya. Sedangkan dengan menggunakan metode PKJI, alternatif 3 menunjukkan hasil yang paling baik karena pada tiap lengannya menunjukkan hasil perbaikan yang sangat signifikan dibandingkan dengan alternatif 1 yang mengalami kenaikan pada lengan Timur dan alternatif 2 yang tidak mengalami perubahan di semua lengan kecuali lengan Utara.



Gambar 5. 16 Diagram Perbandingan Panjang Antrean Menggunakan PTV VISSIM



Gambar 5. 17 Diagram Perbandingan Panjang Antrean Menggunakan PKJI 2023

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Widodo dan Farhanto (2025) tentang studi Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM 2024 (Pada Simpang Empat di Daerah Istimewa Yogyakarta) mendapatkan alternatif terbaik untuk simpang tersebut adalah skenario ke-4. Skenario tersebut adalah dilakukannya pelebaran jalur pada Jalan Affandi dan Jalan Anggajaya dikarenakan kedua jalur tersebut perlu ditingkatkan kapasitasnya dilihat dari tingginya volume kendaraan yang melintas. Hasil yang didapatkan dari pemodelan PTV VISSIM untuk skenario ke-4 adalah hasil panjang antrean rata-ratanya adalah menjadi 104,61 m yang awalnya pada kondisi eksistingnya adalah 113,08m.

3. Perbandingan Nilai Tundaan

Terdapat perbedaan hasil nilai tundaan yang terjadi pada Simpang Kamdanen dari pemodelan PTV VISSIM yang telah dilakukan pada kondisi eksisting, alternatif 1, alternatif 2, dan alternatif 3. Perbandingan juga dilakukan antara metode PKJI 2023 dan juga pemodelan menggunakan PTV VISSIM. Perbedaan hasil panjang antrean dapat dilihat pada Tabel 5.52, Tabel 5.53, Gambar 5.18, dan Gambar 5.19 berikut.

Tabel 5. 52 Perbandingan Tundaan Menggunakan PTV VISSIM

Lengan Pendekat	Tundaan (detik/kend)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	260,25	190,34	199,35	194,33
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	180,94	349,60	153,62	216,79
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	264,36	197,20	265,88	205,28
Jalan Gito Gati (Barat)	193,24	244,92	240,80528	259,16
Tundaan Rata-Rata	225,28	243,51	216,01	219,19

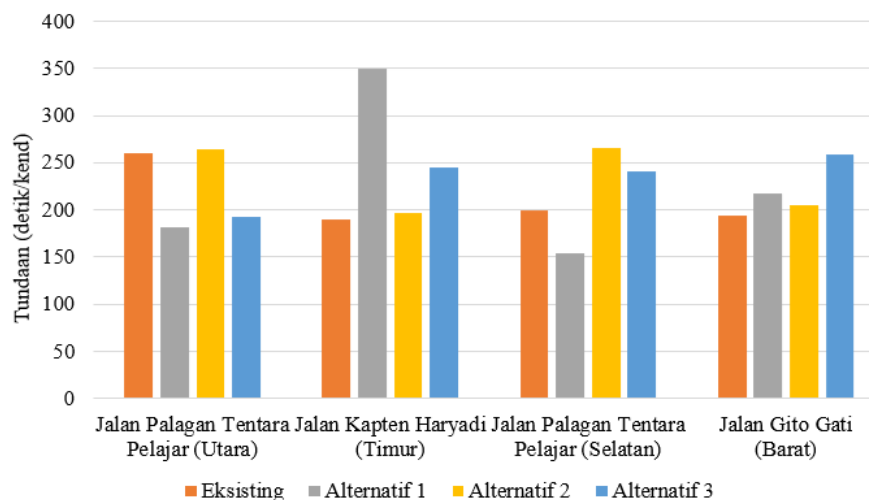
Tabel 5. 53 Perbandingan Tundaan Menggunakan PKJI 2023

Lengan Pendekat	Tundaan (det/smp)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	227,833	134,847	156,808	131,038
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	140,933	180,576	140,933	123,665
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	252,290	137,815	252,290	137,732
Jalan Gito Gati (Barat)	137,984	119,854	137,984	119,775
Tundaan Rata-Rata	190,211	142,37	137,98	119,775

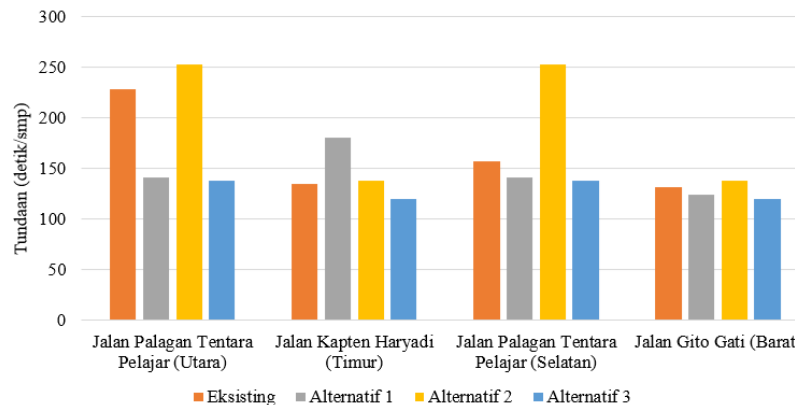
Persentase perbandingan nilai tundaan simpang antara kondisi eksisting dengan skenario alternatif yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.52 dan Tabel 5.53.

Tabel 5. 54 Persentase Perubahan Tundaan Rata-Rata dengan Kondisi Eksisting

Perbandingan Tundaan (%)			
Metode	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
PTV VISSIM	108	96	97
PKJI 2023	75	73	63



Gambar 5. 18 Diagram Perbandingan Tundaan Menggunakan PTV VISSIM



Gambar 5. 19 Diagram Perbandingan Tundaan Menggunakan PKJI 2023

Berdasarkan Tabel 5.52, Tabel 5.53, dan Tabel 5.54 dapat disimpulkan adanya perubahan hasil dari metode PKJI 2023 dan juga pemodelan dengan PTV VISSIM. Berdasarkan dari hasil pemodelan PTV VISSIM, tidak terjadi banyak perubahan pada tiap alternatifnya. Dari hasil pada Tabel 5.50, tiap alternatif menghasilkan perbaikan pada lengan Utara dan lengan Selatan tetapi harus mengorbankan pada lengan Timur dan lengan Barat yang mengalami kenaikan nilai tundaan secara signifikan dan alternatif 2 yang memberikan hasil paling baik karena nilai tundaan rata-rata mengalami penurunan sebanyak 4%. Sedangkan pada metode PKJI 2023 tiap alternatif mengalami perbaikan untuk nilai tundaan yang terjadi. Alternatif 3 merupakan solusi alternatif terbaik menurut PKJI 2023 karena memiliki perbaikan 63% dari kondisi eksisting untuk waktu tundaan yang terjadi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Nadia dkk. (2022) tentang Studi Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kebonagung Kota Pasuruan dengan Menggunakan Metode PKJI 2014 dan *Software* VISSIM, didapatkan hasil tundaan pada simpang menggunakan PKJI 2014 dan juga *software* VISSIM. Hasil yang didapatkan adalah dengan menggunakan dasaran PKJI 2014 tundaan yang terjadi adalah sebesar 44,67 detik/skr, sedangkan setelah dilakukan pemodelan pada *software* VISSIM nilai tundaannya adalah 65,93 det/skr.

4. Perbandingan Tingkat Pelayanan Simpang

Tingkat pelayan simpang pada kondisi eksistifng Simpang Kamdanen mendapatkan nilai F berdasarkan dari PM nomor 96 Tahun 2015. Tingkat pelayanan

simpang pada kondisi yang telah diberikan skenario alternatif tetap mendapatkan nilai F sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 5.56 berikut.

Walaupun hasil dari tiap alternatif solusi yang diberikan tetap mendapatkan nilai F. Hasil dari metode PTV VISSIM maupun PKJI 2023 tetap menunjukkan nilai F, namun dari hasil nilai tundaan yang didapat dengan menggunakan PTV VISSIM alternatif 2 memiliki hasil yang paling baik dibandingkan alternatif lain. Sedangkan, saat menggunakan PKJI 2023 alternatif 3 lah yang menghasilkan nilai tundaan paling baik dibandingkan alternatif lainnya.

Tabel 5. 55 Persentase Perubahan Tingkat Pelayanan Simpang dengan Kondisi Eksisting

Tingkat Pelayanan Simpang				
Metode	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
PTV VISSIM	F	F	F	F
PKJI 2023	F	F	F	F

Berdasarkan hasil penelitian Ain dan Fatmawati (2021) tentang Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal dengan Metode MKJI dan *Sidra Intersection* didapatkan hasil kinerja pada simpang tersebut. Hasil dengan menggunakan metode MKJI didapatkan *Level of Service* pada pendekatan Utara adalah D dengan nilai tundaan rata-rata 39,4 det/smp, pendekatan Selatan adalah F dengan nilai tundaan rata-rata 99,2 det/smp, pendekatan Barat adalah F dengan nilai tundaan rata-rata 152,9 det/smp, pendekatan Timur adalah E dengan nilai tundaan rata-rata 57,7 det/smp. Sedangkan dengan menggunakan metode SIDRA didapatkan *Level of Service* pada pendekatan Utara adalah F dengan nilai tundaan rata-rata 97 det/smp, pendekatan Selatan adalah F dengan nilai tundaan rata-rata 147 det/smp, pendekatan Barat adalah F dengan nilai tundaan rata-rata 97 det/smp, pendekatan Timur adalah F dengan nilai tundaan rata-rata 122,3 det/smp.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rahman (2023) tentang Evaluasi dan Rekayasa Peningkatan Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kamdanan Kota Yogyakarta berhasil memperbaiki kinerja simpang menggunakan permodelan PTV VISSIM. Hasil yang didapatkan pada kondisi eksisting adalah volume lalu

lintas jam puncaknya adalah sebesar 2236 smp/jam dengan nilai derajat kejenuhan tertinggi adalah pada lengan Utara sebesar 0,85 dan terendahnya adalah lengan Timur sebesar 0,44. Sementara itu, setelah dilakukan pemodelan PTV VISSIM didapatkan tundaan rata-rata pada simpangnya adalah 60,59 det/smp. Alternatif solusi yang dinilai paling baik menurut Rahman (2023) adalah dilakukan pelebaran jalur sebesar 0,5 m di semua lengan dan waktu siklus sebesar 129 detik dengan waktu *all red* dan *amber* selama 2 detik, serta nilai LTI sebesar 14 detik. Berdasarkan alternatif tersebut didapatkan nilai derajat kejenuhan di semua lengan menjadi 0,51, lalu untuk nilai tundaan pada lengan Utara adalah 37,64 detik/kend, lengan Timur adalah 39,04 detik/kend, lengan Selatan adalah 48,85 detik/kend, dan lengan Barat adalah 35,41 detik/kend. Nilai level of service untuk lengan Utara adalah D, lengan Timur adalah D, lengan Selatan adalah E, dan lengan Barat adalah D. Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rahman (2023), penelitian yang sudah dilakukan di tempat simpang sama hasilnya sangat berbeda jauh dan kondisi eksisting yang terjadi sekarang hasilnya semakin memburuk untuk kinerja simpangnya. Setelah dilakukan alternatif, hasil semuanya masih menunjukkan nilai tingkat pelayanannya adalah F. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi yang lebih masif untuk memperbaiki simpang Kamdanen ini.

5.7.4 Perbandingan Kerugian Bahan Bakar Minyak (BBM) pada Kondisi Eksisting dan Setelah Alternatif Solusi

Analisis kerugian bahan bakar minyak (BBM) dilakukan terhadap kondisi eksisting dan juga pada skenario alternatif 1, alternatif 2, dan alternatif 3. Hasil yang diberikan dari keempat skenario yang terjadi menunjukkan hasil yang berbeda-beda karena dari perbedaan kondisi pada tiap skenario tersebut saat menggunakan pemodelan PTV VISSIM. Hasil dari penggunaan metode LAPI-ITB dan metode Lamsal (ATIS-India), memberikan hasil yang cukup berbeda dikarenakan pendekatan perhitungan dan konversi bahan bakar yang digunakan juga berbeda. Perbandingan nilai kerugian yang perlu ditanggung oleh pengendara akibat kerugian BBM dapat dilihat pada Tabel 5.58 dan Tabel 5.59.

Tabel 5. 56 Perbandingan Kerugian Konsumsi BBM Metode LAPI ITB
Berdasarkan PTV VISSIM

Lengan Pendekat	Kerugian Konsumsi Bahan Bakar (Rp/jam)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	495.085,99	362.089,82	379.226,74	369.680,86
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	313.193,62	605.108,73	265.904,16	375.231,33
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	486.833,96	363.165,63	489.646,96	378.042,65
Jalan Gito Gati (Barat)	373.693,07	473.638,55	465.662,82	501.173,09
Total Pengeluaran	1.668.806,64	1.804.002,74	1.600.440,69	1.624.127,93

Tabel 5. 57 Perbandingan Kerugian Konsumsi BBM Metode Lamsal
Berdasarkan PTV VISSIM

Lengan Pendekat	Kerugian Konsumsi Bahan Bakar (Rp/jam)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	230.503,51	168.582,79	176.561,44	172.117,04
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	142.695,84	275.696,85	121.150,03	170.961,17
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	216.834,73	161.753,14	218.087,64	168.379,33
Jalan Gito Gati (Barat)	162.614,70	206.106,55	202.635,87	218.088,37
Total Pengeluaran	752.648,78	812.139,34	718.434,98	729.545,92

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel didapatkan perbedaan yang cukup signifikan pada kerugian biaya konsumsi bahan bakar minyak yang perlu ditanggung oleh pengendara saat kondisi eksisting. Dari hasil alternatif solusi yang telah dilakukan, kondisi alternatif 2 memiliki hasil kerugian bahan bakar yang lebih baik dibandingkan dengan alternatif lainnya. Hal ini dapat terjadi karena alternatif 2 mempunyai nilai tundaan simpang yang paling kecil dibandingkan dengan kondisi eksisting dan juga alternatif lainnya.

Sama halnya dengan penggunaan metode PKJI 2023 untuk mendapatkan nilai kerugian BBM yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5.60 dan 5.61.

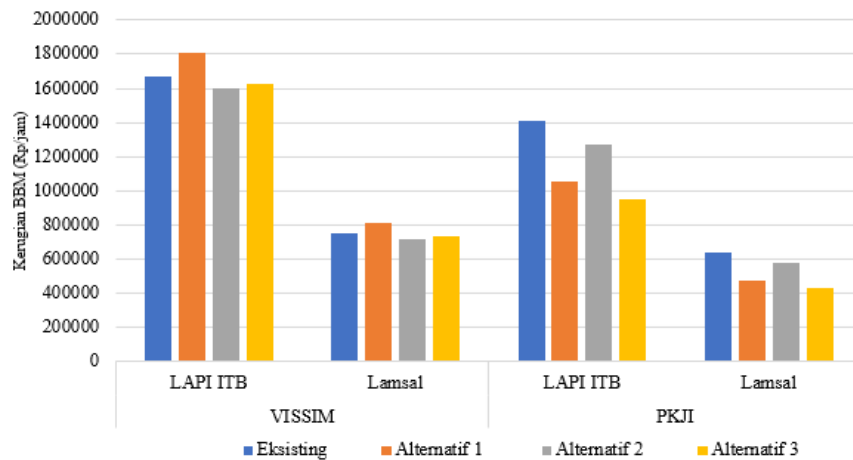
**Tabel 5. 58 Perbandingan Kerugian Konsumsi BBM Metode LAPI ITB
Berdasarkan PKJI 2023**

Lengan Pendekat	Kerugian Konsumsi Bahan Bakar (Rp/jam)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	433.401,79	256.517,73	298.293,84	249.271,07
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	243.932,30	312.549,46	243.932,30	214.044,49
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	464.604,68	253.793,27	464.604,68	253.640,30
Jalan Gito Gati (Barat)	266.830,05	231.770,62	266.830,05	231.617,07
Total Pengeluaran	1.408.768,82	1.054.631,09	1.273.660,87	948.572,94

**Tabel 5. 59 Perbandingan Kerugian Konsumsi BBM Metode Lamsal
Berdasarkan PKJI 2023**

Lengan Pendekat	Kerugian Konsumsi Bahan Bakar (Rp/jam)			
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Utara)	201.784,41	119.430,24	138.880,48	116.056,32
Jalan Kapten Haryadi (Timur)	111.139,31	142.402,35	111.139,31	97.521,97
Jalan Palagan Tentara Pelajar (Selatan)	206.933,86	113.038,94	206.933,86	112.970,81
Jalan Gito Gati (Barat)	116.112,64	100.856,33	116.112,64	100.789,50
Total Pengeluaran	635.970,23	475.727,86	573.066,29	427.338,60

Berdasarkan dari Tabel 5.58 dan Tabel 5.59 hasil tundaan menggunakan PKJI 2023, hasil yang didapat menjadi lebih kecil karena perbedaan nilai tundaan yang dihasilkan dari menggunakan pemodelan PTV VISSIM. Namun, untuk perbedaan hasil dari metode Lamsal dan metode LAPI-ITB tetap berbeda karena konversi kendaraan yang berbeda dari kedua metode tersebut. Berikut diagram perbandingan untuk kerugian BBM pada kondisi eksisting dan tiap alternatif solusinya dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5. 20 Diagram Perbandingan Kerugian Bahan Bakar Minyak

Hasil penelitian ini memiliki indikasi adanya hubungan antara tundaan lalu lintas yang terjadi pada simpang dan juga besarnya kerugian dari konsumsi bahan bakar kendaraan. Semakin tinggi nilai tundaan yang terjadi maka akan semakin besar juga estimasi biaya kerugian dari konsumsi bahan bakar kendaraan yang diperlukan. Hal ini dapat terjadi karena suatu kendaraan memerlukan waktu tambahan untuk melewati simpang yang di mana pada saat kondisi diam suatu kendaraan juga perlu memakai bahan bakar kendaraan. Oleh karena itu, dalam perencanaan perbaikan atau evaluasi suatu simpang untuk melancarkan arus lalu lintas dan meningkatkan tingkat pelayanan simpang serta dapat mengurangi biaya yang harus dikeluarkan oleh pengendara dalam hal kerugian bahan bakar kendaraan yang terjadi saat melewati simpang.

Berdasarkan hasil penelitian Rahman (2023) tentang Evaluasi dan Rekayasa Peningkatan Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kamdanen Kota Yogyakarta, menggunakan alternatif pelebaran jalur sebesar 0,5 m di semua lengan dan merubah waktu siklus menjadi 129 detik dengan waktu *all red* dan *amber* sebesar 2 detik, dan nilai LTI sebesar 14 detik. Hasil dari alternatif tersebut adalah nilai derajat kejenuhan pada semua lengan adalah sebesar 0,51. Panjang antrean untuk lengan Utara adalah 20,58 m, lengan Timur adalah 23,29 m, lengan Selatan adalah 28,60 m, dan lengan Barat adalah 27,63 m. Sedangkan untuk nilai tundaan yang terjadi pada lengan Utara sebesar 37,64 detik/kend dengan nilai LOS-nya adalah D, lengan Timur sebesar 39,04 det/kend dengan nilai LOS-nya adalah D, lengan Selatan

sebesar 48,85 detik/kend dengan nilai LOS-nya adalah E, dan lengan Barat sebesar 35,41 det/kend dengan nilai LOS-nya adalah D.

Romadhona dan Suhandha (2019) melakukan penelitian tentang Hubungan Antara Simpang Bersinyal Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak di Gondomanan, Yogyakarta. Berdasarkan penelitian tersebut alternatif 3, yaitu pengaturan ulang waktu siklus dan median digeser ke pendekat selatan mendapatkan hasil yang paling baik karena untuk panjang antrean menjadi lebih kecil dan nilai tundaan di beberapa pendekat mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi eksisting. Menurut Romadhona dan Suhandha (2019), dilihat dari hasil analisisnya terjadi hubungan antara simpang bersinyal dengan konsumsi bahan bakar dikarenakan oleh kinerja simpang berupa tundaan. Hasil penurunan biaya kerugian bahan bakar minyak pada alternatif 3 adalah Rp1.942.792 yang awalnya pada kondisi eksisting adalah sebesar Rp2.150.012.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari Simpang Kamdanen dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis pada kondisi eksisting menggunakan metode PKJI 2023 didapatkan nilai derajat kejenuhan terbesar adalah pada lengan Selatan sebesar 1,157 dan terkecil pada lengan Timur sebesar 0,933. Selain itu, menggunakan PTV VISSIM pada kondisi eksisting didapatkan nilai panjang antrean terbesar adalah pada lengan Selatan sebesar 225,48 m. Untuk nilai tundaan rata-rata simpang diperoleh sebesar 225,28 det/smp dengan tingkat pelayanan simpang senilai F.
2. Analisis kinerja Simpang Kamdanen menggunakan PKJI 2023 dan pemodelan PTV VISSIM menghasilkan nilai tundaan yang digunakan untuk menghitung biaya kerugian BBM. Berdasarkan PKJI 2023, total kerugian BBM yang terjadi pada simpang ini adalah Rp1.408.768,82 jika dihitung dengan metode LAPI-ITB, dan Rp635.970,23 jika menggunakan metode Lamsal (ATIS-India). Sementara itu, hasil pemodelan PTV VISSIM menunjukkan total kerugian BBM sebesar Rp1.668.806,64 dengan metode LAPI-ITB, dan Rp752.648,78 dengan metode Lamsal. Secara keseluruhan, total biaya kerugian BBM di Simpang Kamdanen berkisar antara Rp635.970,23 hingga Rp1.668.806,64, tergantung pada kombinasi metode perhitungan yang digunakan
3. Analisis alternatif solusi untuk Simpang Kamdanen menunjukkan bahwa solusi paling efektif berbeda tergantung alat analisis yang digunakan. Pemodelan PTV VISSIM mengindikasikan Alternatif 2 (penambahan lebar lajur 0,5 m pada lengan Utara) sebagai yang terbaik, menghasilkan nilai tundaan rata-rata simpang sebesar 216,01 detik/kend (Tingkat Pelayanan F) dan nilai derajat kejenuhan (DJ) tertinggi 1,157 pada lengan Selatan.

Sementara itu, perhitungan PKJI 2023 merekomendasikan Alternatif 3 (pelebaran lajur 0,5 m pada lengan Utara dan siklus waktu 115 detik dengan waktu all red dan amber 2 detik), yang memperbaiki tundaan rata-rata simpang secara signifikan menjadi 128,048 det/smp (Tingkat Pelayanan F), dengan DJ tertinggi 1,000 pada lengan Selatan

4. Penerapan skenario alternatif berhasil mengurangi biaya kerugian BBM Simpang Kamdanen dibandingkan kondisi eksisting. Pada Alternatif 2 (PTV VISSIM), total kerugian BBM turun menjadi Rp1.600.440,69 (LAPI-ITB) dan Rp718.434,98 (Lamsal). Penurunan ini relatif kecil, yaitu sekitar Rp68.365 (LAPI-ITB) dan Rp34.213,80 (Lamsal) dari kondisi eksisting. Sementara itu, Alternatif 3 (PKJI 2023) menunjukkan efektivitas yang jauh lebih tinggi, menurunkan total kerugian menjadi Rp948.572,94 (LAPI-ITB) dan Rp427.338,60 (Lamsal). Penurunan yang signifikan dari kondisi eksisting adalah sebesar Rp460.195,88 (LAPI-ITB) dan Rp208.631,62 (Lamsal).

6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pemodelan yang sudah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan evaluasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Hal tersebut dilakukan agar dapat terjadinya peningkatan kinerja Simpang Kamdanen supaya lebih meningkat dari sisi pelayanannya. Berikut saran dari penulis.

1. Berdasarkan PKJI 2023 alternatif 3 adalah yang paling baik dengan dilakukannya pelebaran pada pendekat Utara sebanyak 0,5 m dan diberlakukannya waktu siklus 115 detik dengan waktu *amber* dan *all red* selama 2 detik. Berdasarkan hasil pemodelan PTV VISSIM alternatif 2 adalah yang paling baik dengan dilakukannya pelebaran pada pendekat Utara sebanyak 0,5 m. Walaupun kekurangannya adalah dilakukannya perombakan pada pendekat Utara dan terjadi gangguan sementara pada simpang tersebut dan ada beberapa kendaraan sepeda motor yang tidak mengikuti APILL dari lengan Utara karena adanya lahan untuk memotong belok kiri.

2. Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan tambahan rentang jam pada sesi siang menjadi 11.00-14.00 dan sesi sore menjadi 15.00-18.00 dikarenakan masih ada kemungkinan untuk terjadi jam puncak lainnya dan dapat mempertimbangkan alternatif lain seperti dilakukannya pertimbangan pada bangunan di sekitar persimpangan untuk dihilangkan agar bisa dilakukannya pelebaran lajur yang lebih masif dan diberlakukannya L_{BkiJT} atau diperkirakan untuk diadakannya alternatif secara makro karena kondisi simpang yang sudah sangat jenuh seperti pengalihan jalur, pengadaan angkutan umum, atau kebijakan pemerintah terkait penggunaan kendaraan.
3. Hasil evaluasi kinerja yang sudah dilakukan diharapkan dapat dijadikan rujukan sebagai pertimbangan kepada pihak Dinas Perhubungan untuk dilakukan perbaikan. Hal yang perlu dirujuk adalah keadaan hambatan samping pada daerah lajur simpang saat melewati lampu APILL perlu ditinjau kembali karena geometri nya yang tidak biasa, kerugian BBM, dan pertumbuhan penduduk Sleman.

DAFTAR PUSTAKA

- Ain, M. M., dan Fatmawati. 2021. Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Dengan Metode MKJI Dan *Sidra Intersection*. *Journal Borneo Engineering*, Vol. 5 No.1. Politeknik Negeri Balikpapan. Balikpapan.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sleman. 2025. *Kecamatan Sleman Dalam Angka 2025*. Badan Pusat Statistik Provinsi D.I. Yogyakarta. Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2023. *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Penerbit Bina Marga. Jakarta.
- Fhadil. 2019. Analisis Simpang Bersinyal Dan Hubungan Panjang Antrian Dan Waktu Tundaan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Firdaus, A. Z. G. 2024. Koordinasi Simpang 4 Cebongan dan Simpang 3 Taman Ringin Cebongan Kabupaten Sleman dengan Permodelan PTV VISSIM. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Gustavsson. 2007. *New Transportation Research Progress*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Harahap, R. H., dan Fauziah, M. 2025. Evaluasi Kinerja Simpang dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar pada Simpang Empat Ketandan Ringroad Timur Berdasarkan PKJI 2023 dan Permodelan VISSIM. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, Vol.5. No.1. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hobbs, F. D. 1979. *Traffic Planning And Engineering* (O. Press, Ed.). DKI Jakarta.

- Isnaeni, M., Lubis, dan H.A.S. 2003. Efek Lingkungan Interaksi Transportasi dan Tata Ruang Kota. *Tesis Magister*. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Jhon. 2014. Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif Dan Mixed. Gadjah Mada University. Yogyakarta.
- Lamsal, A. 2013. *Toward Geo Enebel Economy*. Automotive Traffic Information System India. India.
- Morlok. 1998. *Pengantar Teknik Dan Perencanaan Transportasi*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Nadia, S., Rokhmawati, A., & Rahmawati, A. 2022. Studi Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kebonagung Kota Pasuruan Dengan Menggunakan Metode PKJI 2014 Dan Software VISSIM. *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol.12 No. 1. Universitas Islam Malang. Malang.
- Nurlitasari, D. A. R. 2023. Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Dengan Menggunakan MKJI 1997 Dan Software VISSIM pada Simpang Sisingamangaraja. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia. 2015. Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas. Penerbit Menteri Perhubungan. Jakarta
- PTV Planug Transport Verkehr AG. 206. *PTV VISSIM User Manual-version 9.0*. Karlsruhe, Germany, 2016.
- Purnama, B. A., Jannah, A. N., dan Prayitno, P. A. 2023. Evaluasi Dan Peningkatan Kinerjasimpang Bersinyal Denggung Sleman. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 2(2). Yogyakarta
- Rahman, M. F., Jannah, A. N., Rahmayuda, H. 2023. Evaluasi Dan Rekayasa Peningkatan Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kamdanen Yogyakarta. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 3(1). Yogyakarta

- Rahman, M. F. 2024. Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Dongkelan, Ring Road Selatan, Yogyakarta. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ramzy, M. R., Rahardjo, B., dan Supriyanto, B. 2024. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Di Kota Malang Menggunakan PKJI 2023 (Studi Kasus: Simpang Dieng Malang). *Jurnal Inovasi Teknologi Dan Edukasi Teknik*, 4(7). Universitas Negeri Malang. Malang
- Riza, M. A., Suraji, A., dan Sudjianto, A. T. 2025. Analisis Kinerja Simpang Empat Bersinyal Rsud Dr. R. Soedarsono Kota Pasuruan Terhadap Tundaan Dan Panjang Antrian. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, Pasuruan.
- Romadhona, P. J., dan Suhandha, A. A. 2019. Hubungan Antara Kinerja Simpang Bersinyal Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak Di Gondomanan, Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. Universitas Udayana. Bali
- Sari, D. N., Malkhamah, S., dan Priyanto, S. 2019. Penerapan Kebijakan *Idling Stop* untuk Pengendalian Beban Emisi Kendaraan pada Simpang Bersinual (Studi Kasus: Simpang Demangan, Yogyakarta). *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana. Departemen Teknik Sipil FT-UI*. DKI Jakarta
- Widodo, W., & Farhanto, A. S. 2025. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM 2024 (Pada Simpang Empat di Daerah Istimewa Yogyakarta). *Bulletin of Civil Engineering*, Vol 5. No. 1. Yogyakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 1 (06.00-08.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Utara

Sesi : Pagi

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,4 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	06:00-06:15	30	9	0	77	17	1	23	9	0
2	06:15-06:30	18	3	0	58	13	2	45	8	0
3	06:30-06:45	15	8	1	60	24	1	27	19	0
4	06:45-07:00	18	10	0	74	32	1	49	12	0
5	07:00-07:15	21	9	0	79	30	0	52	15	0
6	07:15-07:30	18	7	2	70	29	1	47	11	1
7	07:30-07:45	17	4	0	65	18	1	44	8	0
8	07:45-08:00	15	8	0	61	22	0	43	6	0

Lampiran 2 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 1 (06.00-08.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Timur

Sesi : Pagi

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat :4,2 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	06:00-06:15	11	1	0	59	30	2	38	4	1
2	06:15-06:30	13	2	0	72	27	0	30	1	1
3	06:30-06:45	11	2	0	63	27	1	27	3	1
4	06:45-07:00	17	5	1	69	30	1	49	4	2
5	07:00-07:15	15	6	0	74	36	2	54	6	0
6	07:15-07:30	10	2	1	62	29	0	39	3	0
7	07:30-07:45	13	4	0	66	24	0	46	1	1
8	07:45-08:00	12	1	0	58	28	1	33	2	1

Lampiran 3 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 1 (06.00-08.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Selatan

Sesi : Pagi

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,3 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	06:00-06:15	38	9	0	63	31	3	10	6	1
2	06:15-06:30	36	12	0	55	33	3	24	7	4
3	06:30-06:45	28	16	1	73	33	0	11	3	0
4	06:45-07:00	21	6	1	65	24	1	26	5	1
5	07:00-07:15	18	14	0	79	28	0	23	4	0
6	07:15-07:30	26	11	0	64	31	0	18	2	2
7	07:30-07:45	37	9	2	48	24	2	21	6	0
8	07:45-08:00	24	12	1	51	20	4	24	3	0

Lampiran 4 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 1 (06.00-08.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Barat

Sesi : Pagi

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 4,5 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	06:00-06:15	27	10	1	73	11	0	50	11	4
2	06:15-06:30	49	5	3	59	15	0	43	11	0
3	06:30-06:45	33	3	0	90	14	3	54	11	1
4	06:45-07:00	45	6	0	76	21	2	49	13	0
5	07:00-07:15	52	9	1	88	18	0	57	14	0
6	07:15-07:30	37	5	2	65	22	2	46	16	2
7	07:30-07:45	41	6	0	71	19	1	51	10	1
8	07:45-08:00	39	3	0	64	12	0	47	8	2

Lampiran 5 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 2 (11.00-13.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Utara

Sesi : Siang

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,4 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	11.00-11.15	20	11	1	62	30	1	29	11	0
2	11.15-11.30	25	16	0	73	32	0	48	15	1
3	11.30-11.45	24	9	0	59	34	1	30	8	0
4	11.45-12.00	27	21	0	69	46	0	43	14	1
5	12.00-12.15	33	20	2	89	51	2	64	28	1
6	12,15-12.30	23	15	1	84	60	0	50	18	1
7	12.30-12.45	26	8	0	75	55	1	37	26	0
8	12.45-13.00	19	13	2	88	67	0	49	22	2

Lampiran 6 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 2 (11.00-13.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Timur

Sesi : Siang

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 4,2 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	11.00-11.15	27	5	1	83	45	1	35	11	1
2	11.15-11.30	23	11	0	78	32	1	49	24	2
3	11.30-11.45	14	4	0	65	37	0	43	15	0
4	11.45-12.00	27	8	0	75	48	2	47	14	1
5	12.00-12.15	39	4	1	94	67	1	27	21	2
6	12,15-12.30	30	8	1	89	56	1	48	13	0
7	12.30-12.45	42	5	0	81	69	2	31	11	1
8	12.45-13.00	39	7	1	90	55	0	39	22	1

Lampiran 7 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 2 (11.00-13.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Selatan

Sesi : Siang

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,3 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	11.00-11.15	38	18	2	77	31	1	34	9	2
2	11.15-11.30	44	22	0	82	45	0	24	10	0
3	11.30-11.45	45	23	0	62	35	1	22	7	2
4	11.45-12.00	42	25	1	80	40	0	27	7	0
5	12.00-12.15	59	31	1	130	59	1	51	13	0
6	12,15-12.30	58	21	2	88	47	0	28	7	3
7	12.30-12.45	48	34	0	98	53	1	36	12	2
8	12.45-13.00	52	25	3	74	34	0	45	11	0

Lampiran 8 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 2 (11.00-13.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Barat

Sesi : Siang

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 4,5 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	11.00-11.15	26	12	0	48	24	0	63	29	1
2	11.15-11.30	29	14	1	54	31	3	56	24	0
3	11.30-11.45	20	13	1	59	32	0	59	21	0
4	11.45-12.00	43	21	1	70	28	2	52	27	0
5	12.00-12.15	34	14	2	90	49	1	79	34	0
6	12,15-12.30	31	11	0	133	50	0	77	28	1
7	12.30-12.45	34	10	2	117	43	1	82	37	1
8	12.45-13.00	39	13	1	98	37	0	68	31	0

Lampiran 9 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 3 (16.00-18.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Utara

Sesi : Sore

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,4 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	16.00-16.15	20	25	1	89	43	0	41	21	0
2	16,15-16.30	29	19	1	85	39	1	29	14	1
3	16.30-16.45	25	21	0	78	45	2	33	15	1
4	16.45-17.00	30	20	0	90	40	0	49	19	1
5	17.00-17.15	27	14	0	82	38	1	44	17	1
6	17.15-17.30	20	17	1	83	39	1	47	12	0
7	17.30-17.45	15	11	0	57	25	0	28	16	1
8	17.45-18.00	24	14	1	88	39	0	42	4	0

Lampiran 10 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 3 (16.00-18.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Timur

Sesi : Sore

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 4,2 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	16.00-16.15	26	9	0	119	59	3	43	9	1
2	16,15-16.30	24	10	0	104	48	2	37	13	0
3	16.30-16.45	19	7	0	99	49	1	48	10	1
4	16.45-17.00	28	9	0	101	51	0	39	11	0
5	17.00-17.15	30	8	0	93	47	0	34	11	0
6	17.15-17.30	19	9	1	104	39	4	48	13	2
7	17.30-17.45	27	5	0	110	50	3	41	10	0
8	17.45-18.00	19	12	0	111	42	0	46	11	0

Lampiran 11 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 3 (16.00-18.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Selatan

Sesi : Sore

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,3 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	16.00-16.15	52	25	3	80	25	3	29	12	1
2	16,15-16.30	48	35	0	69	33	0	24	10	0
3	16.30-16.45	53	32	1	73	24	1	36	9	0
4	16.45-17.00	50	28	0	72	29	0	33	11	0
5	17.00-17.15	46	21	0	78	32	1	31	10	0
6	17.15-17.30	51	36	1	68	21	0	32	11	1
7	17.30-17.45	42	27	0	70	25	1	20	8	0
8	17.45-18.00	60	26	1	99	34	0	17	11	0

Lampiran 12 Data Survei Lalu Lintas Hari Minggu Sesi 3 (16.00-18.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Sim pang : Barat

Sesi : Sore

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 4,5 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	16.00-16.15	40	9	0	86	46	0	63	25	0
2	16,15-16.30	33	12	1	75	41	1	71	21	2
3	16.30-16.45	41	11	0	72	38	0	67	23	0
4	16.45-17.00	38	9	0	79	42	0	64	20	0
5	17.00-17.15	35	6	0	76	43	1	72	24	0
6	17.15-17.30	47	8	0	82	50	1	62	29	0
7	17.30-17.45	44	10	0	69	40	0	60	28	1
8	17.45-18.00	42	6	1	100	48	2	70	22	0

Lampiran 13 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 1 (06.00-08.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Utara

Sesi : Pagi

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,4 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	06:00-06:15	19	8	1	95	11	3	57	8	2
2	06:15-06:30	26	16	0	127	8	3	62	7	0
3	06:30-06:45	27	11	0	139	10	1	88	13	1
4	06:45-07:00	15	10	1	118	13	1	70	9	0
5	07:00-07:15	32	7	1	136	9	2	73	9	1
6	07:15-07:30	37	16	1	157	21	4	73	15	0
7	07:30-07:45	47	11	0	153	26	1	98	13	2
8	07:45-08:00	40	9	2	205	25	1	88	18	2

Lampiran 14 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 1 (06.00-08.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Timur

Sesi : Pagi

Lokasi Survei : Simping Kamdanen

Lebar Pendekat :4,2 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	06:00-06:15	8	4	0	153	28	2	48	10	0
2	06:15-06:30	10	2	0	144	35	0	55	8	0
3	06:30-06:45	11	2	0	192	25	2	63	5	2
4	06:45-07:00	9	6	1	189	33	4	57	12	0
5	07:00-07:15	14	5	0	195	37	4	61	9	0
6	07:15-07:30	16	5	1	276	53	3	65	6	1
7	07:30-07:45	20	2	0	247	29	5	68	11	0
8	07:45-08:00	30	2	0	287	42	6	103	15	3

Lampiran 15 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 1 (06.00-08.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Selatan

Sesi : Pagi

Lokasi Survei : Simping Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,3 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	06:00-06:15	47	10	2	55	14	2	14	4	2
2	06:15-06:30	62	16	0	82	28	0	25	9	0
3	06:30-06:45	57	24	1	104	23	1	22	7	1
4	06:45-07:00	60	19	0	83	27	2	27	7	1
5	07:00-07:15	55	21	1	90	29	1	30	8	2
6	07:15-07:30	54	12	2	57	18	4	20	6	0
7	07:30-07:45	59	15	1	110	21	1	21	6	1
8	07:45-08:00	69	23	3	147	27	3	38	8	2

Lampiran 16 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 1 (06.00-08.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Barat

Sesi : Pagi

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 4,5 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	06:00-06:15	41	7	1	157	11	3	76	11	1
2	06:15-06:30	52	11	1	199	16	1	111	18	2
3	06:30-06:45	49	10	0	182	18	0	144	17	0
4	06:45-07:00	55	8	0	171	22	3	139	20	0
5	07:00-07:15	49	8	0	175	13	2	106	13	3
6	07:15-07:30	50	11	0	212	23	5	167	21	1
7	07:30-07:45	62	10	1	249	21	2	141	12	2
8	07:45-08:00	48	5	3	308	25	5	234	9	1

Lampiran 17 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 2 (11.00-13.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Utara

Sesi : Siang

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,4 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	11.00-11.15	14	9	3	72	22	1	29	11	0
2	11.15-11.30	18	15	1	68	29	2	42	9	0
3	11.30-11.45	22	12	1	98	34	2	37	16	1
4	11.45-12.00	17	17	0	74	27	0	47	12	3
5	12.00-12.15	22	14	1	61	30	2	36	20	2
6	12,15-12.30	22	16	2	109	21	2	51	8	2
7	12.30-12.45	17	15	1	105	34	4	48	14	2
8	12.45-13.00	21	23	1	106	40	6	55	22	1

Lampiran 18 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 2 (11.00-13.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Timur

Sesi : Siang

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 4,2 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	11.00-11.15	29	8	0	87	25	0	24	8	0
2	11.15-11.30	33	11	0	92	33	1	21	16	1
3	11.30-11.45	24	8	1	110	38	2	33	13	1
4	11.45-12.00	27	9	0	96	34	4	45	19	0
5	12.00-12.15	23	5	3	92	35	4	41	10	1
6	12,15-12.30	19	7	1	93	30	5	19	20	1
7	12.30-12.45	29	4	1	102	47	3	29	12	3
8	12.45-13.00	32	9	0	160	49	8	27	15	1

Lampiran 19 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 2 (11.00-13.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Selatan

Sesi : Siang

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,3 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	11.00-11.15	62	24	1	77	24	0	29	6	0
2	11.15-11.30	48	22	0	92	28	1	24	9	0
3	11.30-11.45	57	28	3	71	19	1	22	12	0
4	11.45-12.00	66	36	4	107	34	2	37	11	0
5	12.00-12.15	64	30	1	115	34	1	29	10	0
6	12,15-12.30	57	22	6	57	37	2	32	17	1
7	12.30-12.45	42	24	2	89	29	7	26	6	0
8	12.45-13.00	71	21	3	111	43	2	36	12	2

Lampiran 20 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 2 (11.00-13.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Barat

Sesi : Siang

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 4,5 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	11.00-11.15	22	6	0	88	29	0	67	18	0
2	11.15-11.30	29	10	0	93	42	1	78	26	0
3	11.30-11.45	33	9	3	74	38	2	71	21	1
4	11.45-12.00	27	14	1	81	33	2	82	20	2
5	12.00-12.15	26	10	2	90	37	2	77	22	0
6	12,15-12.30	35	9	3	66	36	5	64	23	2
7	12.30-12.45	37	13	1	81	40	9	80	22	3
8	12.45-13.00	41	11	0	122	43	8	92	33	0

Lampiran 21 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 3 (16.00-18.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Utara

Sesi : Sore

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,4 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	16.00-16.15	35	18	3	110	24	1	57	18	2
2	16.15-16.30	31	15	1	93	29	1	86	22	0
3	16.30-16.45	33	11	0	85	22	0	92	16	0
4	16.45-17.00	28	14	1	88	30	1	68	19	0
5	17.00-17.15	24	11	0	106	32	1	86	18	1
6	17.15-17.30	23	9	0	76	28	0	70	17	0
7	17.30-17.45	17	6	0	66	20	0	58	18	0
8	17.45-18.00	13	4	0	41	18	0	50	14	0

Lampiran 22 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 3 (16.00-18.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Timur

Sesi : Sore

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 4,2 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	16.00-16.15	42	12	1	216	42	3	89	19	0
2	16.15-16.30	31	7	0	183	35	3	66	14	1
3	16.30-16.45	38	4	1	199	33	1	72	12	1
4	16.45-17.00	32	6	0	138	39	1	84	10	2
5	17.00-17.15	43	13	0	279	37	3	103	10	1
6	17.15-17.30	27	4	0	217	35	4	71	11	1
7	17.30-17.45	31	7	0	188	37	0	72	15	0
8	17.45-18.00	26	5	0	158	29	0	64	8	0

Lampiran 23 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 3 (16.00-18.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Selatan

Sesi : Sore

Lokasi Survei : Simping Kamdanen

Lebar Pendekat : 3,3 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	16.00-16.15	133	27	0	183	35	3	52	13	1
2	16.15-16.30	107	18	2	166	28	3	49	7	0
3	16.30-16.45	95	19	2	117	26	2	44	8	0
4	16.45-17.00	93	19	0	164	29	1	47	9	0
5	17.00-17.15	147	26	1	143	23	1	48	9	0
6	17.15-17.30	111	28	1	137	35	1	26	9	0
7	17.30-17.45	99	23	0	124	32	0	33	11	1
8	17.45-18.00	78	14	0	130	31	0	34	8	0

Lampiran 24 Data Survei Lalu Lintas Hari Senin Sesi 3 (16.00-18.00)

FORMULIR SURVEI SIMPANG

Lengan Simping : Barat

Sesi : Sore

Lokasi Survei : Simpang Kamdanen

Lebar Pendekat : 4,5 m

No	Waktu	Jenis Kendaraan								
		Belok Kiri			Lurus			Belok Kanan		
		SM	MP	KS	SM	MP	KS	SM	MP	KS
1	16.00-16.15	54	9	0	149	52	4	106	22	2
2	16.15-16.30	62	3	0	175	44	1	113	18	4
3	16.30-16.45	41	8	2	144	42	1	85	16	0
4	16.45-17.00	66	10	1	158	44	4	76	19	1
5	17.00-17.15	64	9	0	157	58	8	112	24	0
6	17.15-17.30	39	7	0	129	34	1	101	24	2
7	17.30-17.45	59	4	0	96	35	7	59	19	1
8	17.45-18.00	52	8	1	101	33	0	69	15	0

Lampiran 25 Formulir Panjang Antrean

Sesi	Waktu	Lengan Utara	Lengan Timur	Lengan Selatan	Lengan Barat
		Panjang Antrean (m)	Panjang Antrean (m)	Panjang Antrean (m)	Panjang Antrean (m)
Minggu Siang	11:00-11:15	55	70	75	70
	11:15-11:30	60	85	85	70
	11:30-11:45	70	100	75	65
	11:45-12:00	85	95	90	85
	12:00-12:15	75	140	120	80
	12:15-12:30	80	175	85	80
	12:30-12:45	75	85	85	95
	12:45-13:00	75	65	50	75

Lampiran 26 Data Survei Kecepatan pada Simpang Kamdanen

UTARA			
SIANG			
Waktu	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan Perjalanan
Ket	m	s	km/jam
SIANG	50	6,243	28,832
		5,833	30,859
		6,562	27,431
		6,027	29,866
		5,879	30,617
		5,974	30,131
		6,244	28,828
		6,094	29,537
		5,926	30,375
		6,384	28,195
		6,027	29,866
		6,161	29,216
		5,839	30,827
		5,939	30,308
		6,435	27,972
		6,054	29,732
		5,883	30,597
		6,285	28,640
		6,036	29,821
		5,839	30,827
		6,289	28,621
		6,037	29,816
		5,984	30,080
		6,381	28,209
		6,182	29,117
		6,242	28,837
		6,048	29,762
		5,796	31,056
		5,828	30,885
		6,296	28,590
		5,764	31,228
RATA-RATA		6,081	29,635

Lampiran 27 Data Survei Kecepatan pada Simpang Kamdanen

TIMUR			
SIANG			
Waktu	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan Perjalanan
Ket	m	s	km/jam
SIANG	50	6,823	26,381
		6,833	26,343
		7,362	24,450
		8,027	22,424
		6,579	27,360
		6,974	25,810
		6,748	26,675
		6,994	25,737
		7,626	23,605
		6,250	28,800
		6,625	27,169
		6,411	28,078
		6,644	27,091
		7,244	24,847
		5,938	30,316
		6,294	28,599
		6,090	29,556
		6,312	28,517
		6,411	28,078
		6,644	27,091
		7,244	24,847
		5,938	30,316
		6,294	28,599
		6,090	29,556
		6,312	28,517
		6,882	26,155
		5,641	31,911
		5,979	30,104
		5,786	31,112
		5,996	30,018
		6,090	29,556
RATA-RATA		6,551	27,665

Lampiran 28 Data Survei Kecepatan pada Simpang Kamdanen

SELATAN			
SIANG			
Waktu	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan Perjalanan
Ket	m	s	km/jam
SIANG	50	6,279	28,667
		6,274	28,690
		6,148	29,278
		6,601	27,269
		6,216	28,958
		6,425	28,016
		6,511	27,646
		6,257	28,768
		6,279	28,667
		6,274	28,690
		6,148	29,278
		6,601	27,269
		6,382	28,204
		6,305	28,549
		6,531	27,561
		6,274	28,690
		6,382	28,204
		6,226	28,911
		6,628	27,158
		6,794	26,494
		7,026	25,619
		6,302	28,562
		6,669	26,991
		5,841	30,819
		6,271	28,704
		6,329	28,441
		6,458	27,872
		6,893	26,113
		6,314	28,508
		6,516	27,624
		6,297	28,587
RATA-RATA		6,402	28,155

Lampiran 29 Data Survei Kecepatan pada Simpang Kamdanen

BARAT			
SIANG			
Waktu	Panjang Segmen	Waktu Tempuh	Kecepatan Perjalanan
Ket	m	s	km/jam
SIANG	50	6,297	28,585
		6,575	27,376
		6,589	27,318
		6,601	27,269
		6,516	27,624
		6,425	28,016
		6,511	27,646
		6,257	28,768
		6,531	27,561
		6,628	27,158
		6,312	28,517
		6,541	27,519
		6,296	28,590
		6,696	26,882
		6,055	29,727
		6,294	28,599
		6,094	29,537
		6,382	28,204
		6,305	28,549
		6,531	27,561
		6,274	28,690
		6,382	28,204
		6,226	28,911
		6,369	28,262
		6,327	28,450
		6,279	28,667
		6,274	28,690
		6,148	29,278
		6,186	29,098
		6,875	26,182
		6,341	28,387
RATA-RATA		6,391	28,188

Lampiran 30 Formulir Survei *Driving Behaviour*

No	Depan – Belakang saat Berhenti	Sejajar saat Berhenti	Depan – Belakang saat Bergerak	Sejajar saat Bergerak
	(m)	(m)	(m)	(m)
1	0,3	0,3	0,3	0,3
2	0,2	0,2	0,2	0,3
3	0,4	0,3	0,5	0,3
4	0,2	0,3	0,2	0,5
5	0,4	0,4	0,2	0,5
6	0,2	0,5	0,2	0,3
7	0,3	0,4	0,2	1
8	0,4	0,6	1	1,5
9	1,5	0,5	1,3	1,5
10	1,3	0,4	1,3	1,3
11	1,6	1	1,3	1,3
12	1,5	1,5	1,5	1
13	12	1,3	1,5	1,3
14	1,3	1,3	1,5	1,5
15	2	1,4	2	0,5
16	1,3	1,2	1,8	0,5
17	1,4	1,2	1,8	0,3
18	1	1,3	1,5	0,3
19	1,2	1,4	1,5	0,5
20	1,1	1,2	1,5	0,5

