TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA SIMPANG 4 BLOK O RINGROAD TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE PKJI 2023 DAN PEMODELAN MIKROSIMULASI DENGAN PTV VISSIM

(*Performance Evaluation of the Blok O Four-Leg Intersection on the East Ringroad Using the 2023 PKJI Method and PTV VISSIM Microsimulation Modeling)*

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

Ramadhana Alvino Rizky
21511120

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA SIMPANG 4 BLOK O RINGROAD TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE PKJI 2023 DAN PEMODELAN MIKROSIMULASI DENGAN PTV VISSIM

(*Performance Evaluation of the Blok O Four-Leg Intersection on the East Ringroad Using the 2023 PKJI Method and PTV VISSIM Microsimulation Modeling)*

Disusun oleh

Ramadhana Alvino Rizky
21511120

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

Diuji pada tanggal 05 Januari 2026
Oleh Dewan penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc.	Dr. Eng Faizul C, S.T., M.Sc	Miftahul F, S.T., M.T., Ph.D.
NIK : 205111303	NIK : 145110101	NIK : 955110103

Menngesahkan
Ketua Prodi Studi Teknik Spil

15 Jan 2026

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 19 Desember 2025
Yang membuat pernyataan

Ramadhana Alvino Rizky
(21511120)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Evaluasi Kinerja Simpang 4 Blok O Ringroad Timur Dengan Menggunakan Metode Pkji 2023 Dan Pemodelan Ptv Vissim (Performance Analysis Of Block O East Ringroad Intersection Using Pkji 2023 Method And Vissim Ptv Modeling)". Penyusunan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

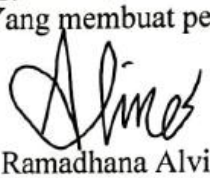
Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai hambatan dan keterbatasan. Namun demikian, berkat bimbingan, arahan, serta dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan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

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

6. Rekan-rekan surveyor lapangan yang telah berkontribusi dalam proses pengambilan data, sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
7. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Sipil serta seluruh pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan dan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

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

Yogyakarta, 19 Desember 2025
Yang membuat pernyataan



Ramadhana Alvino Rizky
(21511120)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal	6
2.2 Pemodelan Simpang Bersinyal dengan PTV VISSIM	12
2.3 Perbandingan Biaya Kerugian Gas Buang Kendaraan pada Simpang	17
BAB III LANDASAN TEORI	20

3.1 Pengertian simpang 20
3.2 Simpang APILL 23
3.2.1 Tipe Pendekat 24
3.2.2 Satuan Mobil Penumpang 24
3.2.3 Kapasitas 25
3.2.4 Arus Jenuh 25
3.2.5 Perhitungan dan penetapan Waktu Siklus (s) 30
3.2.6 Derajat Kejenuhan 34
3.2.7 Panjang Antrean 35
3.2.8 Rasio Kendaraan Henti 36
3.2.9 Tundaan 38
3.3 Tingkat Pelayanan 39
3.4 *Software* PTV VISSIM 40
3.4.1 Definisi dan Kegunaan PTV VISSIM 40
3.4.2 Kalibrasi dan Validasi *Software* PTV VISSIM 42
3.5 Biaya Kerugian Akibat Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) 46
3.5.1 Konsumsi BBM 46
3.5.2 Perhitungan Kerugian Akibat Konsumsi BBM 48
3.6 Analisis Beban Emisi Gas Buang Kendaraan 49
3.6.1 Definisi dan Komposisi Emisi Gas Buang Kendaraan 49
3.6.2 Beban Emisi Gas Buang Kendaraan 50
3.6.3 Biaya Kerugian Akibat Beban Emisi Gas Buang Kendaraan 53
BAB IV METODE PENELITIAN 55
4.1 Lokasi Penelitian 55
4.2 Waktu Pelaksanaan Survei 55
4.3 Pelaksanaan Pengumpulan Data 56
4.4 Alat yang Digunakan 60
4.5 Analisis Data 60

4.6 Bagan Alir Penelitian 62

BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 65

5.1 Data Hasil Pengamatan 65

5.1.1 Data Geometri Simpang 65

5.1.2 Data Pengaturan Isyarat Lalu Lintas 67

5.1.3 Data Volume Lalu Lintas 68

5.1.4 Data Panjang Antrean 72

5.1.4 Data Kecepatan Kendaraan 72

5.1.4 Data Perilaku Berkendara / *Driving behaviour* 73

5.2 Data Pendukung 73

5.3 Analisa Kinerja Simpang Berdasarkan PKJI 2023 74

5.3.1 Konversi Volume Lalu Lintas (q) 74

5.3.2 Perhitungan Arus Jenuh Dasar (J_0) 79

5.3.3 Penentuan Nilai Faktor Koreksi 79

5.3.4 Perhitungan Arus Jenuh (J) 85

5.3.5 Perhitungan Kapasitas (C) 86

5.3.5 Perhitungan Derajat Kejenuhan (D_J) 87

5.3.6 Perhitungan Panjang Antrean (P_A) 89

5.3.7 Perhitungan Tundaan Simpang (T_i) 90

5.3.8 Indikator Tingkat Pelayanan / *Level of Service* (LOS) 91

5.4 Pemodelan Simpang Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM 92

5.4.1 Hasil Simulasi Pemodelan Sebelum Kalibrasi 93

5.4.2 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi 96

5.5 Analisis Konsumsi BBM 101

5.5.1 Konsumsi BBM pada Simpang 101

5.5.2 Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM 101

5.6 Analisis Beban Emisi Gas Buang Kendaraan 102

5.6.1 Perhitungan beban emisi gas buang kendaraan 102

5.6.2 Analisis Biaya Kerugian Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan 103

5.7 Alternatif Solusi 105

5.5.1 Alternatif solusi 1 106

5.5.2 Alternatif solusi 2 115

5.5.3 Alternatif solusi 3 123

5.5.4 Alternatif solusi 4 131

5.8 Pembahasan Kinerja Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur 139

5.8.1 Perbandingan Derajat Kejenuhan (D_J) 139

5.8.2 Perbandingan Panjang Antrean 140

5.8.3 Perbandingan Tundaan dan Tingkat Pelayanan 141

5.6.4 Perbandingan Kinerja Keseluruhan 143

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 145

6.1 Kesimpulan 145

6.2 Saran 146

DAFTAR PUSTAKA 148

LAMPIRAN 151

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tipe Pendekat 24

Tabel 3.2 Angka Ekuivalensi Mobil Penumpang pada Simpang Bersinyal 25

Tabel 3.3 Faktor Koreksi untuk Tipe Lingkungan, Hambatan Samping, dan Kendaraan tak Bermotor (FHS) 27

Tabel 3.4 Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK}) 28

Tabel 3.5 Nilai Normal Waktu Antar Hijau 32

Tabel 3.6 Waktu Siklus (s) yang Layak 34

Tabel 3.7 Tingkat Pelayanan pada Persimpangan 40

Tabel 3.8 Ketentuan Nilai *Error* Rumus Statistik *Geoffery E. Havers* 45

Tabel 3.9 Kesimpulan dari Hasil Perhitungan MAPE 46

Tabel 3.10 Biaya Polutan Per Ton 54

Tabel 5. 1 Data Geometri Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 66

Tabel 5. 2 Data Waktu Isyarat Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 67

Tabel 5. 3 Data Volume Lalu Lintas Sesi Pagi 69

Tabel 5. 4 Data Volume Lalu Lintas Sesi Siang 69

Tabel 5. 5 Data Volume Lalu Lintas Sesi Sore 70

Tabel 5. 6 Data Panjang Antrean Maksimum dan Rata-Rata Pada Pendekat Blok O Ringroad Timur 72

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Data Kecepatan Kendaraan Rata-rata Simpang APILL APILL Blok O Ringroad Timur 72

Tabel 5. 8 Data Perilaku Berkendara / *Driving Behaviour* Pendekat Utara Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 73

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Volume Kendaraan Periode Jam Puncak Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 78

Tabel 5. 11 Nilai Faktor Hambatan Samping yang Digunakan dalam Analisis 83

Tabel 5. 12 Nilai Faktor Kelandaian yang Digunakan dalam Analisis 84

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Simpang 87

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Perhitungan Derajat Kejenuhan 88

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Panjang Antrean (P_A) Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 90
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Tundaan Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 91
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Kinerja Eksisting Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 92
Tabel 5. 18 Hasil Pemodelan Volume Lalu Lintas Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM Sebelum Kalibrasi 95
Tabel 5. 19 Hasil Pemodelan Panjang Antrean Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM Sebelum Kalibrasi 95
Tabel 5. 20 Perubahan Komponen Perilaku Berkendara (driving behaviour) Setelah Kalibrasi 96
Tabel 5. 21 Hasil Pemodelan Volume Lalu Lintas Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM Setelah Kalibrasi 99
Tabel 5. 22 Hasil Pemodelan Panjang Antrean Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM Setelah Kalibrasi 100
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM 100
Tabel 5. 24Rekapitulasi Hasil Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur 102
Tabel 5.25 Nilai Faktor Emisi untuk Setiap Jenis Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur 102
Tabel 5. 26 Nilai Beban Emisi Total untuk polutan saat kendaraan *idle* (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad 103
Tabel 5.27 Rekapitulasi Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur 104
Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Konversi Satuan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur 104
Tabel 5.29 Rekapitulasi Hasil Kerugian Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur 105
Tabel 5. 30 Rekapitulasi Penyesuaian Waktu Isyarat Hijau (W_{Hi}) 107
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Analisis Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J) Alternatif Solusi 1 Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 109

Tabel 5. 32 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM Alternatif Solusi 1 110
Tabel 5. 33 Rekapitulasi Hasil Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1 111
Tabel 5. 34 Perbandingan Nilai Beban Emesi Total untuk kendaraan idle (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad 112
Tabel 5.35 Perbandingan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 1 113
Tabel 5. 36 Perbandingan Hasil Konversi Satuan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur 113
Tabel 5. 37Perbandingan Rekapitulasi Hasil Kerugian Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 1 114
Tabel 5. 38 Penentuan Waktu Siklus (s) dan Waktu Hijau (W_{Hi}) pada Alternatif Solusi 2 115
Tabel 5. 39 Penentuan Waktu Siklus (s) dan Waktu Hijau (W_{Hi}) pada Alternatif Solusi 2 116
Tabel 5. 40 Rekapitulasi Analisis Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J) Alternatif Solusi 2 Simpang APILL Blok O Ringroad Timur. 118
Tabel 5. 41 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM Alternatif Solusi 2 118
Tabel 5. 42Rekapitulasi Hasil Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Simpang 4 APILL Blok O Alternatif Solusi 2 119
Tabel 5. 43 Perbandingan Nilai Beban Emesi Total untuk polutan saat kendaraan idle (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL 120
Tabel 5. 44 Perbandingan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 2 121
Tabel 5. 45 Perbandingan Hasil Konversi Satuan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 2 121
Tabel 5. 46 Perbandingan Rekapitulasi Hasil Kerugian Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Altternatif Solusi 2 122
Tabel 5. 47 Penentuan Waktu Siklus (s) dan Waktu Hijau (W_{Hi}) pada Alternatif Solusi 3 124

Tabel 5. 48 Rekapitulasi Analisis Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J) Alternatif Solusi 3 Simpang APILL Blok O Ringroad Timur. 126
Tabel 5. 49 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM Alternatif Solusi 3 126
Tabel 5. 50Rekapitulasi Hasil Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 3 127
Tabel 5. 51 Perbandingan Nilai Beban Emesi Total untuk polutan saat kendaraan idle (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL Blok O 128
Tabel 5. 52 Perbandingan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 3 129
Tabel 5. 53 Perbandingan Hasil Konversi Satuan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 3 129
Tabel 5. 54 Perbandingan Rekapitulasi Hasil Kerugian Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 3 130
Tabel 5. 55 Penentuan Waktu Siklus (s) dan Waktu Hijau (W_{Hi}) pada Alternatif Solusi 4 131
Tabel 5. 56 Rekapitulasi Analisis Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J) Alternatif Solusi 4 Simpang APILL Blok O Ringroad Timur. 133
Tabel 5. 57 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM Alternatif Solusi 4 134
Tabel 5. 58 Rekapitulasi Hasil Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 4 135
Tabel 5. 59 Perbandingan Nilai Beban Emesi Total untuk polutan saat kendaraan idle (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL Blok O 136
Tabel 5. 60 Perbandingan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 4 137
Tabel 5. 61 Perbandingan Hasil Konversi Satuan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 4 137
Tabel 5. 62 Perbandingan Rekapitulasi Hasil Kerugian Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 4 138
Tabel 5. 63 Perbandingan Kinerja Simpang 4 APILL Blok O r 144

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kemacetan pada Lengan Utara Jalan Majapahit 1
Gambar 1.2 Kemacetan pada Lengan Timur Jalan Maguwo 2
Gambar 1.3 Kemacetan pada Lengan Selatan Jalan Majapahit 2
Gambar 1.4 Kemacetan pada Lengan Barat Jalan GedongKuning 2
Gambar 1.5 Lokasi Penelitian 3
Gambar 3. 1 Jenis Persimpangan Sebidang 21
Gambar 3.2 Jenis Persimpangan Tak Sebidang 23
Gambar 3.3 Faktor Koreksi untuk Kelandaian (F_G) 28
Gambar 3.4 Faktor Koreksi untuk Pengaruh Parkir (F_P) 29
Gambar 3.5 Faktor Koreksi untuk Belok Kiri (F_{BKi}) untuk Pendekat Tipe P tanpa B_{KiJT}, dan L_E ditentukan oleh L_M 30
Gambar 3.6 Faktor Koreksi untuk Belok Kanan (F_{BKa}), Pada Pendekat Tipe P dengan Jalan Dua Arah, dan L_E ditentukan oleh L_M 30
Gambar 3.7 Penetapan Waktu Siklus Sebelum Dikoreksi 33
Gambar 3.8 Penentuan Jumlah Antrean Rata-rata 36
Gambar 3.9 Penentuan Rasio Kendaraan Henti 37
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian55
Gambar 4.2 Titik Peletakan Kamera 57
Gambar 4.3 Penempatan Surveyor Survei Kecepatan Kendaraan 59
Gambar 4.4 Bagan Alir Penelitian 63
Gambar 5. 1 Geometri Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 66
Gambar 5. 2 Tahapan Fase Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 67
Gambar 5.3 Diagram Waktu Isyarat Simpang APILL 68
Gambar 5. 4 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Pagi 69
Gambar 5. 5 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Siang 70
Gambar 5. 6 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Sore 70

Gambar 5. 7 Distribusi Pergerakan Volume Lalu Lintas Simpang APILL Blok O Ringroad Timur 71
Gambar 5.8 Hambatan Samping Pendekat Utara 80
Gambar 5.9 Hambatan Samping Pendekat Timur 81
Gambar 5.10 Hambatan Samping Pendekat Selatan 82
Gambar 5.11 Hambatan Samping Pendekat Barat 82
Gambar 5. 12 Nilai N_{qmax} yang Digunakan dalam Analisis Panjang Antrean 90
Gambar 5. 13 Pemodelan Kondisi Awal (default) Sebelum Kalibrasi 97
Gambar 5. 14 Pemodelan Kondisi Setelah Proses Kalibrasi 97
Gambar 5. 15 Diagram Waktu Siklus 128 detik untuk Alternatif 1 Simpang APILL Blok O ringroad Timur 107
Gambar 5. 16 Diagram Waktu Siklus 122 detik untuk Alternatif 2 Simpang APILL Blok O ringroad Timur 116
Gambar 5. 17 Ilustrasi Perubahan Fase APILL Solusi 3 123
Gambar 5. 18 Diagram Waktu Siklus 128 detik untuk Alternatif 3 Simpang APILL Blok O ringroad Timur 124
Gambar 5. 19 Diagram Waktu Siklus 122 detik untuk Alternatif 4 Simpang APILL Blok O ringroad Timur 132
Gambar 5. 20 Perbandingan Derajat Kejenuhan Pada Setiap Pendekat Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi 140
Gambar 5. 21 Perbandingan Panjang Antrean Pada Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi 141
Gambar 5. 22 Perbandingan Tundaan Pada Setiap Pendekat Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi 142
Gambar 5. 23 Perbandingan Tundaan Simpang dan Tingkat Pelayanan Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi 142

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Formulir Survei Data Volume Kendaraan Sabtu 152

Lampiran 2 Formulir Survei Panjang Atrean Sabtu 156

Lampiran 3 Formulir Survei *Driving Behavior* 164

Lampiran 4 Formulir Survei Kecepatan 165

Lampiran 5 Dokumentasi Survey 167

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

APILL	=	Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas
BBM	=	Bahan Bakar Minyak
C	=	Kapasitas
CO	=	Karbon Monoksida
CO2	=	Karbon Dioksida
D / Ti	=	Tundaan (*Delay*) / Tundaan Simpang
DJ	=	Derajat Kejenuhan (*Degree of Saturation*)
EF	=	Faktor Emisi (*Emission Factor*)
Fcs	=	Faktor Koreksi Ukuran Kota
Flt	=	Faktor Koreksi Belok Kiri (*Left Turn*)
Fp	=	Faktor Koreksi Parkir
Frt	=	Faktor Koreksi Belok Kanan (*Right Turn*)
Fsf	=	Faktor Koreksi Hambatan Samping (*Side Friction*)
HC	=	Hidrokarbon
J	=	Arus Jenuh (*Saturation Flow*)
J0	=	Arus Jenuh Dasar
KS	=	Kendaraan Sedang
LOS	=	*Level of Service* (Tingkat Pelayanan)
MP	=	Mobil Penumpang
NO2	=	Nitrogen Dioksida
Nq1	=	Jumlah kendaraan antrean pada awal fase hijau
PA / QL	=	Panjang Antrean (*Queue Length*)
PKJI	=	Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia
PM10	=	Partikulat (diameter < 10 mikron)
q	=	Arus Lalu Lintas / Volume Lalu Lintas
RH / RKH	=	Rasio Kendaraan Terhenti
s	=	Waktu Siklus
SM	=	Sepeda Motor

smp	=	Satuan Mobil Penumpang
SO2	=	Sulfur Dioksida
TG	=	Tundaan Geometri
TLL	=	Tundaan Lalu Lintas

ABSTRAK

Simpang 4 APILL Blok O merupakan titik temu antara Jalan Majapahit, Jalan Maguwo, dan Jalan Gedongkuning di Kabupaten Bantul yang sering mengalami kemacetan tinggi. Kondisi ini disebabkan oleh tingginya mobilitas di kawasan komersial sekitar, sehingga tingkat pelayanan simpang pada kondisi eksisting berada pada kategori F. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja operasional Simpang 4 Blok O, menentukan nilai derajat kejenuhan, panjang antrean, dan tundaan, serta mengestimasi dampak ekonomi dan lingkungan melalui perhitungan konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) dan emisi gas buang kendaraan.

Analisis kinerja simpang dilakukan dengan mengumpulkan data primer melalui survei lapangan pada hari Sabtu dan Senin. Data dianalisis menggunakan metode manual berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023) dan formulasi LAPI-ITB untuk menghitung beban emisi gas buang (CO, NO_2, HC, SO_2, PM_{10}, dan CO_2). Penelitian ini juga menggunakan pemodelan mikrosimulasi PTV VISSIM yang divalidasi dengan indikator Geoffrey E. Havers (GEH) untuk memastikan akurasi model terhadap kondisi riil di lapangan.

Analisis kondisi eksisting menunjukkan kinerja buruk dengan derajat kejenuhan (DJ) rata-rata 1,112, tundaan 510,73 detik/smp, dan antrean sepanjang 511 meter, yang memicu kerugian emisi sebesar Rp2.230.643.244. Dari empat skenario yang diuji, alternatif keempat merupakan solusi paling efektif yang berhasil menurunkan nilai DJ rata-rata menjadi 0,792, tundaan menjadi 503,64 detik/smp, serta panjang antrean menjadi 504 meter. Skenario ini juga mereduksi biaya kerugian emisi menjadi Rp1.923.948.521 melalui penurunan konsumsi BBM. Meskipun parameter teknis membaik, tingginya volume kendaraan menyebabkan tingkat pelayanan simpang (LOS) pada jam puncak tetap berada pada kategori F

Kata Kunci: Kinerja Simpang, LAPI-ITB, Mikrosimulasi, PKJI 2023, PTV VISSIM.

ABSTRACT

The Blok O Signalized Intersection (APILL) is a junction connecting Majapahit Street, Maguwo Street, and Gedongkuning Street in Bantul Regency, frequently experiences severe traffic congestion due to high mobility in the surrounding commercial areas. Consequently, the existing Level of Service (LOS) is categorized as F. This study aims to evaluate the operational performance of the Blok O intersection to address these congestion issues. The primary focus is to determine the degree of saturation, queue length, and delay under existing conditions and to formulate alternative solutions through various improvement scenarios. Additionally, this research estimates the economic and environmental impacts by calculating fuel consumption and vehicle exhaust emissions.

The intersection performance analysis was conducted by collecting primary data through field surveys, including traffic volume, road geometry, and traffic light cycle durations on Saturday and Monday. The data were analyzed using manual methods based on the 2023 Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI 2023) and supported by the LAPI-ITB formulation to calculate fuel consumption and exhaust emission loads (CO, NO_2, HC, SO_2, PM_{10}, and CO_2). This study also utilized PTV VISSIM microsimulation modeling, validated with the Geoffrey E. Havers (GEH) indicator to ensure model accuracy relative to real-world conditions.

The analysis of existing conditions indicates poor performance at the Blok O intersection, with an average degree of saturation (DS) of 1.112, a delay of 510.73 seconds/pcu, and a queue length of 511 meters, leading to an emission cost loss of IDR 2,230,643,244. Among the four scenarios tested, the fourth alternative emerged as the most effective solution, successfully reducing the average DS to 0.792, delay to 503.64 seconds/pcu, and queue length to 504 meters. This scenario also reduced the emission cost loss to IDR 1,923,948,521 through decreased fuel consumption. Despite the improvement in all technical parameters, the high traffic volume results in the intersection's Level of Service (LOS) remaining at category F during peak hours.

Keywords: *Intersection Performance, LAPI-ITB, Microsimulation, PKJI 2023, PTV VISSIM..*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

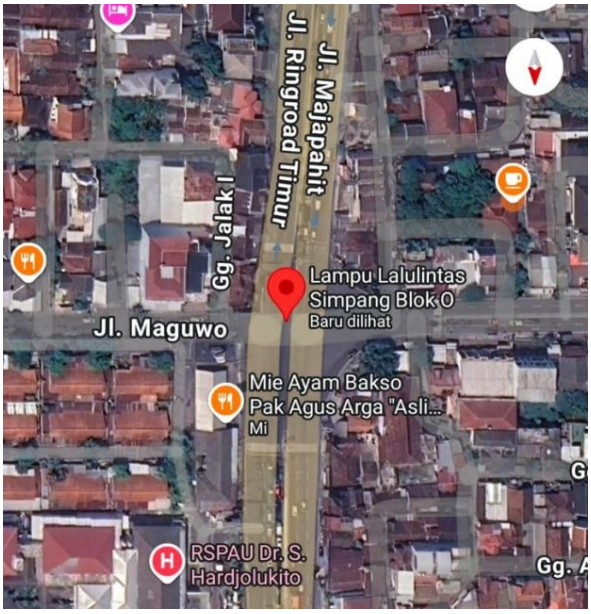
Simpang 4 dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) Blok O merupakan suatu simpang APILL yang menghubungkan antara Jalan Majapahit, Jalan Maguwo, dan Jalan Gedongkuning yang terletak di Kabupaten Bantul. Ruas Jalan Majapahit merupakan ruas jalan nasional dan ruas Jalan Gedongkuning (Gedongkuning – Wonocatur) merupakan ruas jalan provinsi (Sekretariat Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta, 2023). Sementara itu, ruas Jalan Maguwo merupakan ruas jalan kabupaten (Sekretariat Kabupaten Bantul, 2017). Berdasarkan kondisi lingkungan, area di sekitar Simpang 4 APILL Blok O merupakan kawasan komersial yang mencakup rumah sakit, hotel, dan perkantoran. Hal ini mengakibatkan tingginya mobilitas sehingga terjadi kemacetan pada simpang 4 APILL tersebut. Dinas Perhubungan Daerah Istimewa Yogyakarta (2022) menyatakan bahwa tingkat pelayanan Simpang 4 APILL Blok O berada pada Tingkat Pelayanan F dengan nilai tundaan 152,63 detik/smp. Kondisi terjadinya panjang antrean kendaraan di lokasi penelitian dan sketsa lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1 hingga Gambar 1.5.

Gambar 1.1 Kemacetan pada Lengan Utara Jalan Majapahit

Gambar 1.2 Kemacetan pada Lengan Timur Jalan Maguwo

Gambar 1.3 Kemacetan pada Lengan Selatan Jalan Majapahit

Gambar 1.4 Kemacetan pada Lengan Barat Jalan GedongKuning



Gambar 1.5 Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Maps, 2025)

Dalam proses evaluasi kinerja simpang APILL, parameter kinerja yang digunakan adalah derajat kejenuhan dan tundaan. Guna meningkatkan kinerja simpang APILL, beberapa alternatif dapat diterapkan. Alternatif pertama adalah penyesuaian waktu lampu hijau dengan mempertimbangkan nilai derajat kejenuhan pada suatu lengan simpang. Alternatif lainnya adalah penyesuaian waktu siklus berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, yang memperhatikan kondisi eksisting. Selain itu, pelebaran pada salah satu lengan simpang untuk meningkatkan kapasitasnya juga dapat diterapkan.

Penelitian ini tidak hanya berfokus pada evaluasi kinerja simpang APILL, tetapi juga mengkaji perbandingan emisi gas buang kendaraan yang ditinjau dari nilai tundaannya. Hal ini didasari oleh temuan Alhafiz (2024) yang menunjukkan adanya korelasi positif yang signifikan antara durasi tundaan dengan volume emisi yang dihasilkan; di mana peningkatan nilai tundaan berbanding lurus dengan peningkatan emisi gas buang. Oleh karena itu, studi ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja operasional Simpang 4 APILL Blok O sekaligus menganalisis dampak lingkungannya melalui metode PKJI 2023 dan pemodelan mikrosimulasi PTV VISSIM.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kinerja Simpang 4 APILL Blok O pada kondisi eksisting?
2. Bagaimana alternatif yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kinerja Simpang 4 APILL Blok O?
3. Bagaimana perbandingan biaya kerugian pada Simpang 4 APILL Blok O antara kondisi eksisting dan kondisi alternatif?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis kinerja Simpang 4 APILL Blok O pada kondisi eksisting.
2. Menganalisis alternatif yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kinerja Simpang 4 APILL Blok O.
3. Menganalisis perbandingan biaya kerugian pada Simpang 4 APILL Blok O antara kondisi eksisting dan kondisi alternatif.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan mengenai manajemen lalu lintas terutama mengenai evaluasi simpang APILL. Selanjutnya, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya dan dapat menjadi referensi untuk Dinas Perhubungan Daerah Istimewa Yogyakarta dalam mengevaluasi Simpang 4 APILL Blok O.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Parameter kinerja simpang APILL yang digunakan adalah nilai tundaan.
2. Penentuan tingkat pelayanan kinerja ruas jalan mengacu kepada pedoman yang dibuat oleh Kementrian Perhubungan (2015).
3. Pengelompokkan jenis kendaraan yang disurvei adalah sebagai berikut.
   a. Mobil Penumpang (MP).
      Contoh: sedan, jeep, minibus, mikrobus, *pickup*, truk kecil.

b. Kendaraan Sedang (KS).
   Contoh: bus tanggung, bus metromini, truk sedang.
c. Sepeda Motor (SM).
d. Kendaraan Tidak Bermotor (KTB).

4. Analisis data dilakukan dengan berpedoman kepada PKJI 2023 dan pemodelan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM.
5. Perhitungan biaya kerugian dilakukan dengan berdasarkan emisi gas buang kendaraan bermotor dengan Metode Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 12 tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara Di Daerah.
6. Perhitungan kerugian konsumsi bahan bakar minyak (BBM) oleh kendaraan bermotor menggunakan metode LAPI ITB (1996).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal

Prayitno dkk. (2019) melakukan penelitian mengenai Analisis Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Raya Nginden - Jl. Raya Panjang Jiwo Menggunakan PKJI 2014. Tujuan penelitian ini adalah untuk mentukan kinerja simpang pada kondisi eksisting dan 5 (lima) tahun mendatang serta memberikan rekomendasi perbaikan kinerja simpang. Metode yang digunakan untuk analisis kinerja lalu lintas simpang dengan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2014). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil penelitian bahwa nilai derajat jenuh (DJ) eksisting (tahun 2018) pada hari Rabu pendekat Utara 1,45, Selatan 1,35, Barat 0,76, Timur 1,49 dan nilai DJ eksisting pada hari Minggu pendekat Utara 0,80, Selatan 0,88, Barat 0,69 dan Timur 1,12. Untuk kinerja lalu lintas lima tahun mendatang (tahun 2023) dengan waktu siklus dan fase eksisting, nilai DJ pada hari Rabu pendekat Utara 2,36, Selatan 2,20, Barat 1,24, Timur 2,43 dan nilai DJ pada hari Minggu pendekat Utara 1,30, Selatan 1,42, Barat 0,95 dan Timur 1,81. Untuk meningkatkan kinerja lalu lintas pada simpang dilakukan alternatif perbaikan yaitu mengubah waktu siklus dan fase pergerakan yang menghasilkan nilai DJ eksisting (tahun 2018) pada hari Rabu pendekat Utara 0,86, Selatan 0,92, Barat 0,77, Timur 0,43 dan nilai DJ pada hari minggu pendekat Utara 0,52, Selatan 0,67, Barat 0,52 dan Timur 0,28. Untuk kinerja lalu lintas lima tahun mendatang (tahun 2023), didapatkan nilai DJ pada hari Rabu pendekat Utara 1,45, Selatan 1,67, Barat 1,35, Timur 0,91 dan nilai DJ eksisting pada hari Minggu pendekat Utara 0,88, Selatan 1,22, Barat 0,92 dan Timur 0,60.

Andryani dkk. (2022) melakukan penelitian mengenai Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal dan Solusi Alternatif Menggunakan Vissim pada Simpang Tiga Pakem, Kabupaten Jember. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan adanya pengaruh dari volume kendaraan terhadap kapasitas simpang. Metode yang

digunakan pada penelitian ini adalah dengan melakukan survey volume lalu lintas dan mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 dan kemudian akan disimulasikan pada Vissim Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil penelitian bahwa perhitungan kapasitas simpang bersinyal pada Jl. Basuki Rahmat (utara) 641 skr /jam, Jl. Wolter Monginsidi 970 skr/jam, Jl. Basuki Rahmat (selatan) 946 skr/jam. Derajat kejenuhan simpang bersinyal sebesar 0,8830 dan tundaan rata-rata simpang bersinyal sebesar 62 pada Jl. Basuki Rahmat (utara), 51 pada Jl. Wolter Monginsidi, 50 pada Jl. Basuki Rahmat (selatan). Panjang antrian pada Jl. Basuki Rahmat (utara) 56 m, Jl. Wolter Monginsidi 80 m dan Jl. Basuki Rahmat (selatan) 78 m. Hasil simulasi pada Vissim didapatkan nilai tundaan sebesar 136 det/skr pada Jalan Basuki Rahmat, 103 det/skr pada Jalan Mr. Wahid, 147 det/skr pada Jalan M.H. Thamrin dan 156 det/skr pada Jalan Wolter Monginsidi.

Sirajaya dan Rahayu (2022) melakukan penelitian mengenai Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Dr. Ir. H. Sokarno - Jl. Mulyorejo Surabaya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kinerja Simpang Bersinyal Jl. Ir. Dr. H. Soekarno – Jl. Mulyorejo pada kondisi eksisting dan Menetukan kembali kinerja persimpangan dalam jangka waktu 5 tahun ke depan akibat penambahan volume kendaraan. Metode yang digunakan adalah Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (MKJI 1997). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil penelitian bahwa evaluasi keadaan eksisting tahun 2021 pada jam puncak LOS D pada pagi, siang dan sore hari. Panjang kemacetan maksimum adalah 465 m. Pagi, siang dan sore segmen waktu puncak Jl. DR.Ir.H. Soekarno LOS D. Sehingga perlu perbaikan mulai tahun 2021-2025 dengan mengubah jumlah fase dan waktu sinyal simpang puncak pagi, siang dan sore. Diperoleh tingkat LOS D dengan DI berkisar 214 268 det/smp, panjang antrian (QL) pada tahun 2025 maksimum 1973 m.

Amal dkk. (2022) melakukan penelitian mengenai Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Jl. Panglima Sudirman – Jl. Urip Sumoharjo – Jl. Pattimura di Kota Malang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja simpang dan tingkat derajat kejenuhan serta tingkat pelayanan simpang bersinyal empat pada kondisi saat ini berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)

1997. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode empiris untuk mendapatkan data dari pengamatan yang terjadi dilapangan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil penelitian bahwa diperoleh derajat kejenuhan (DS) pada pendekat utara 0,89, dengan panjang antrian (QL) = 140,30 m, pendekat selatan 0,84, dengan panjang antrian (QL) = 97,25 m, pendekat timur 0,49 dengan panjang antrian (QL) = 69,25 m dan pendekat barat 0,56 dengan panjang antrian (QL) = 54,40 m. Tundaan rata-rata simpang 27,31 det/smp dan masuk dalam nilai pelayanan level of service D.

Purnama (2022) melakukan penelitian mengenai Evaluasi Dan Peningkatan Kinerja Simpang Bersinyal Denggung Sleman. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja Simpang Denggung pada kondisi eksisting dan alternatif solusi penanganan pada simpang tersebut. Proses analisis dilakukan berdasarkan MKJI 1997 dan Highway Capacity Manual (HCM) serta pemodelan dengan software VISSIM. Simpang Denggung pada kondisi eksisting memiliki waktu siklus sebesar 174 detik dengan 4 fase. Tiap pendekat memiliki fase tersendiri dan pada pendekat selatan memiliki LTOR. Derajat kejenuhan (DS) untuk Jalan Magelang (utara) sebesar 0,92, Jalan KRT Pringgodiningrat (barat) sebesar 0,56, Jalan Magelang (selatan) sebesar 0,95, dan Jalan Gito Gati (timur) sebesar 1,01. Panjang antrean untuk Jalan Magelang (utara) sebesar 248,58 m, Jalan KRT Pringgodiningrat (barat) sebesar 93,94 m, Jalan Magelang (selatan) sebesar 271,22 m, dan Jalan Gito Gati (timur) sebesar 220,49 m. Waktu tundaan simpang sebesar 90,88 detik/smp dengan tingkat pelayanan F. Alternatif solusi berupa pengaturan 5 fase simpang dan penyesuaian waktu siklus menjadi 153 detik merupakan alternatif yang paling efekti.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Mengenai Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal

Penelitian Sebelumnya						Penelitian yang Dilakukan
Aspek	**Prayito dkk. (2019)**	**Andryani dkk. (2022)**	**Sirajaya dan Rahayu (2022)**	**Amal dkk. (2022)**	**Purnama (2022)**	**Rizky (Rizky (2025))**
Judul	Analisis Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Raya Nginden - Jl. Raya Panjang Jiwo Menggunakan PKJI 2014	Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal dan Solusi Alternatif Menggunakan Vissim pada Simpang Tiga Pakem, Kabupaten Jember	Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Dr. Ir. H. Sokarno - Jl. Mulyorejo Surabaya	Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Jl. Panglima Sudirman – Jl. Urip Sumoharjo – Jl. Pattimura di Kota Malang	Evaluasi Dan Peningkatan Kinerja Simpang Bersinyal Denggung Sleman	Analisis Kinerja Simpang Empat O Ringroad Timur dengan Menggunakan Metode PKJI 2023 dan Pemodelan PTV VISSIM
Tujuan Penelitian	mentukan kinerja simpang pada kondisi eksisting dan 5 (lima) tahun mendatang serta memberikan rekomendasi perbaikan kinerja simpang	untuk menentukan adanya pengaruh dari volume kendaraan terhadap kapasitas simpang	untuk menentukan kinerja Simpang Bersinyal Jl. Ir. Dr. H. Soekarno – Jl. Mulyorejo pada kondisi eksisting dan Menetukan kembali kinerja persimpangan dalam jangka waktu 5 tahun	untuk mengevaluasi kinerja simpang dan tingkat derajat kejenuhan serta tingkat pelayanan simpang bersinyal empat pada kondisi saat ini berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997	Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja Simpang Denggung pada kondisi eksisting dan alternatif solusi penanganan pada simpang tersebut. Proses analisis dilakukan berdasarkan MKJI 1997 dan Highway Capacity Manual (HCM) serta pemodelan dengan software VISSIM	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja operasional simpang pada kondisi eksisting serta merumuskan alternatif solusi untuk meningkatkan kinerjanya.

Sumber: Prayito dkk. (2019), Andryani dkk. (2022), Sirajaya dan Rahayu (2022), Amal dkk. (2022), Purnama (2022), Rizky (2025)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Mengenai Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal

Penelitian Sebelumnya						Penelitian yang dilakukan
Aspek	**Prayito dkk. (2019)**	**Andryani dkk. (2022)**	**Sirajaya dan Rahayu (2022)**	**Amal dkk. (2022)**	**Purnama (2022)**	**Rizky (2025)**
Hasil Penelitian	Penelitian menunjukkan nilai derajat jenuh (DJ) eksisting pada tahun 2018 untuk hari Rabu: Utara 1,45; Selatan 1,35; Barat 0,76; Timur 1,49, dan untuk hari Minggu: Utara 0,80; Selatan 0,88; Barat 0,69; Timur 1,12. Proyeksi DJ tahun 2023 dengan waktu siklus dan fase yang sama menunjukkan peningkatan pada hari Rabu: Utara 2,36; Selatan 2,20; Barat 1,24; Timur 2,43, dan pada	Penelitian menunjukkan kapasitas simpang bersinyal di Jl. Basuki Rahmat (utara) 641 skr/jam, Jl. Wolter Monginsidi 970 skr/jam, dan Jl. Basuki Rahmat (selatan) 946 skr/jam. Derajat kejenuhan simpang 0,8830 dengan tundaan rata-rata 62 detik di Jl. Basuki Rahmat (utara), 51 detik di Jl. Wolter Monginsidi, dan 50 detik di Jl. Basuki Rahmat (selatan). Panjang antrian: Jl.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahun 2021, kondisi LOS D terjadi pada jam puncak pagi, siang, dan sore di Jl. DR.Ir.H. Soekarno dengan panjang kemacetan maksimum 465 m. Perbaikan diperlukan pada 2021-2025 dengan mengubah fase dan waktu sinyal. Pada tahun 2025, diprediksi tingkat LOS D dengan DI 214-268 det/smp dan panjang antrian maksimum 1973 m.	Derajat kejenuhan (DS) diperoleh sebagai berikut: utara 0,89 dengan panjang antrian 140,30 m, selatan 0,84 dengan 97,25 m, timur 0,49 dengan 69,25 m, dan barat 0,56 dengan 54,40 m. Tundaan rata-rata simpang adalah 27,31 det/smp dengan level of service D.	Simpang Denggung pada kondisi eksisting memiliki waktu siklus sebesar 174 detik dengan 4 fase. Tiap pendekat memiliki fase tersendiri dan pada pendekat selatan memiliki LTOR. Derajat kejenuhan (DS) untuk Jalan Magelang (utara) sebesar 0,92, Jalan KRT Pringgodiningrat (barat) sebesar 0,56, Jalan Magelang (selatan) sebesar 0,95, dan Jalan Gito Gati (timur) sebesar 1,01. Panjang antrean untuk Jalan Magelang (utara) sebesar 248,58 m, Jalan KRT Pringgodiningrat (barat) sebesar 93,94 m, Jalan	Berdasarkan analisis empat skenario perbaikan, alternatif keempat dinilai sebagai solusi paling efektif dengan memodifikasi fase APILL dan optimasi waktu siklus, yang berhasil menurunkan nilai derajat kejenuhan (DJ) rata-rata menjadi 0,792 (memenuhi standar PKJI 2023 < 0,85). Penerapan skenario ini juga mampu mereduksi biaya kerugian beban emisi menjadi Rp1.923.948.521. Meskipun terjadi peningkatan kinerja teknis secara signifikan, volume lalu lintas yang tetap tinggi menyebabkan

Sumber: Prayito dkk. (2019), Andryani dkk. (2022), Sirajaya dan Rahayu (2022), Amal dkk. (2022), Purnama (2022), Rizky (2025)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Mengenai Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal

Penelitian Sebelumnya						Penelitian yang dilakukan
Aspek	**Prayito dkk. (2019)**	**Andryani dkk. (2022)**	**Sirajaya dan Rahayu (2022)**	**Amal dkk. (2022)**	**Purnama (2022)**	**Rizky (2025)**
Hasil Penelitian	hari Minggu: Utara 1,30; Selatan 1,42; Barat 0,95; Timur 1,81. Setelah dilakukan perubahan waktu siklus dan fase, nilai DJ tahun 2018 pada hari Rabu menurun: Utara 0,86; Selatan 0,92; Barat 0,77; Timur 0,43, dan pada hari Minggu: Utara 0,52; Selatan 0,67; Barat 0,52; Timur 0,28. Proyeksi 2023 menunjukkan penurunan DJ pada hari Rabu: Utara 1,45; Selatan 1,67; Barat 1,35; Timur 0,91, dan pada hari Minggu: Utara 0,88; Selatan 1,22; Barat 0,92; Timur 0,60.	Basuki Rahmat (utara) 56 m, Jl. Wolter Monginsidi 80 m, Jl. Basuki Rahmat (selatan) 78 m. Hasil simulasi Vissim menunjukkan tundaan: 136 detik di Jl. Basuki Rahmat, 103 detik di Jl. Mr. Wahid, 147 detik di Jl. M.H. Thamrin, dan 156 detik di Jl. Wolter Monginsidi.			Magelang (selatan) sebesar 271,22 m, dan Jalan Gito Gati (timur) sebesar 220,49 m. Waktu tundaan simpang sebesar 90,88 detik/smp dengan tingkat pelayanan F. Alternatif solusi berupa pengaturan 5 fase simpang dan penyesuaian waktu siklus menjadi 153 detik merupakan alternatif yang paling efekti.	tingkat pelayanan simpang secara keseluruhan pada kondisi jam puncak masih berada pada kategori F.

Sumber: Prayito dkk. (2019), Andryani dkk. (2022), Sirajaya dan Rahayu. (2022), Amal dkk. (2022), Purnama (2022), Rizky (2025)

2.2 Pemodelan Simpang Bersinyal dengan PTV VISSIM

Nadia dkk. (2022) melakukan penelitian mengenai Studi Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kebonagung Kota Pasuruan Dengan Menggunakan Metode Pkji 2014 Dan Software Vissim. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan eksisting simpang bersinyal dan segmen jalan. Untuk mengevaluasi panjang tundaan dan antrian yang ada dalam eksisting simpang. Dalam menelusuri usulan penanganan lalu lintas yang tepat dalam memberikan peningkatan pada kinerja simpang empat Kebonagung Kota Pasuruan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 dan Software Vissim. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil penelitian bahwa hasil analisa menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 pada kondisi eksisting simpang empat bersinyal Kebonagung Kota Pasuruan menghasilkan tundaan rata rata sebesar 44,67 det/skr. Sementara Software Vissimialah 65,94 det/skr dengan keterangan LOS E (Arus Tidak Stabil). Dua alternatif yang dipergunakan yaitu alternatif I dengan merubah waktu siklus lalu lintas sedangkan alternatif II dilakukan pelebaran jalan. Setelah melaksanakan Alternatif I dan Alternatif II di dapatkan Tundaan rata-rata mempergunakan PKJI 2014 adalah 20,40 det/skr dan 16,97 skr/det, sedangkan hasil Software Vissim Tundaan rata-rata simpang adalah 37,00 det/skr dan 33,25 skr/det.

Ahmad dkk. (2023) melakukan penelitian mengenai Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode PKJI Dan Metode PTV VISSIM (Studi Kasus: Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar, Kota Manado). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kinerja simpang bersinyal di Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode PKJI 2014 dan disimulasikan menggunakan aplikasi PTV Vissim Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil penelitian bahwa didapatkan derajat kejenuhan pada simpang tiga bersinyal Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar adalah 1,1 untuk lengan Pikat, 0,42 untuk lengan Babe Palar, 0,79 untuk lengan Lenso. Selain itu, didapatkan tundaan sebesar 327,27 set/skr pada lengan pikat, 358,35 m dan tundaan sebesar 463,07 det/skr pada lengan babe palar, 258,39 dan tundaan sebesar 204,72 det/skr pada lengan lenso. Skenario alternatif penyesuaian waktu

isyarat pada PTV VISSIM menghasilkan tingkat pelayanan (Level of Service) D untuk semua lemgan. Skenario alternatif pelebaran jalan pada aplikasi PTV VISSIM menghasilkan tingkat pelayanan (Levevl of Service) E untuk lengan Micon dan D untuk lengan Babe Palar dan lengan Lenso. Skenario alternatif Slip Lane pada PTV VISSIM menghasilkan tingkat pelayanan (Level of Service) C untuk semua lengan.

Maulana dkk. (2024) melakukan penelitian mengenai Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Berbasis Software Vissim Di Banyuwangi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kinerja dari simpang lateng dalam menangani kepadatan arus lalu lintas serta memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kondisi lalu lintas di simpang tersebut serta mengidentifikasi solusi yang efektif dalam mengatasi peningkatan arus lalu lintas. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) serta dimodelkan dengan menggunakan software Vissim. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil penelitian bahwa hasil yang diperoleh adalaha nilai Utara = 0,930, Timur = 0,868, Barat = 0,336 dan waktu tundaan pada simpang 150,3 det/smp sedangkan pada permodelan Vissim menghasilkan output Utara = 0,985, Timur = 0,894 Barat = 0,290 dan waktu tundaan pada simpang 51,08 det/smp dengan tingkat pelayanan simpang D, sehingga dilakukan pemecahan alternatif perbaikan kinerja simpang bersinyal. Alternatif yang dilakukan adalah dengan mengubah waktu siklus dan sinyal Metode perbaikan kinerja simpang yang paling efektif adalah dengan melakukan perubahan waktu siklus menjadi 90 detik dengan fase hijau 22 detik pada pendekat utara, 25 detik pada pendekat timur dan 23 detik pada pendekat barat, hasil analisa kinerja simpang bersinyal alternatif 1 menurunkan nilai derajat kejenuhan serta meningkatkan tingkat pelayanan simpang menjadi LoS D, dan lama tundaan dengan tingkat pelayanan simpang menjadi LoS D, dimana hasil dari optimasi menjadi lebih baik dari kondisi eksisting, Hasil analisis kinerja simpang lateng memiliki kinerja yang buruk pada saat jam puncak sehingga diperlukan upaya penanganan simpang salah satunya redesain geometri.

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Mengenai Pemodelan Simpang Bersinyal dengan PTV VISSIM

Penelitian Sebelumnya				**Penelitian yang dilakukan**
Aspek	**Nadia dkk. (2022)**	**Ahmad dkk. (2023)**	**Maulana dkk. (2024)**	**Rizky (2025)**
Judul	Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kebonagung Kota Pasuruan Dengan Menggunakan Metode Pkji 2014 Dan Software Vissim	Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode PKJI Dan Metode PTV VISSIM (Studi Kasus: Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar, Kota Manado)	mengenai Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Berbasis Software Vissim Di Banyuwangi	Analisis Kinerja Simpang Empat O Ringroad Timur dengan Menggunakan Metode PKJI 2023 dan Pemodelan PTV VISSIM
Tujuan Penelitian	untuk menentukan eksisting simpang bersinyal dan segmen jalan	untuk menentukan kinerja simpang bersinyal di Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar	menentukan kinerja dari simpang lateng dalam menangani kepadatan arus lalu lintas serta dan mengidentifikasi solusi yang efektif dalam mengatasi peningkatan arus lalu lintas	untuk mengevaluasi kinerja simpang dan tingkat pelayanan simpang bersinyal empat pada kondisi saat ini berdasarkan PKJI 2023
Metode Penelitian	metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 dan Software Vissim	PKJI 2014 dan PTV Vissim	metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) dan software Vissim	metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) dan software Vissim

Sumber: Nadia dkk. (2022), Ahmad dkk. (2023), Maulana dkk. (2024) dan Rizky (2025)

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Mengenai Pemodelan Simpang Bersinyal dengan PTV VISSIM

Penelitian Sebelumnya				Penelitian yang dilakukan
Aspek	**Nadia dkk. (2022)**	**Ahmad dkk. (2023)**	**Maulana dkk. (2024)**	**Rizky (2025)**
Hasil Penelitian	simpang empat bersinyal Kebonagung, Pasuruan, menunjukkan tundaan rata-rata 44,67 detik per siklus (PKJI 2014) dan 65,94 detik per siklus (Vissim, LOS E). Dua alternatif perbaikan: perubahan waktu siklus (Alternatif I) dan pelebaran jalan (Alternatif II) menunjukkan penurunan tundaan. Dengan PKJI 2014,	derajat kejenuhan pada simpang tiga bersinyal Jl. Sam Ratulangi – Jl. Babe Palar: 1,1 untuk lengan Pikat, 0,42 untuk lengan Babe Palar, dan 0,79 untuk lengan Lenso. Tundaan tercatat sebesar 327,27 det/skr pada lengan Pikat, 463,07 det/skr pada lengan Babe Palar, dan 204,72 det/skr pada lengan Lenso.	Hasil penelitian menunjukkan nilai Utara = 0,930, Timur = 0,868, Barat = 0,336, dan waktu tundaan pada simpang 150,3 det/smp. Pemodelan Vissim menghasilkan output Utara = 0,985, Timur = 0,894, Barat = 0,290, dengan waktu tundaan 51,08 det/smp dan tingkat pelayanan simpang D. Untuk memperbaiki kinerja simpang bersinyal, dilakukan perubahan waktu siklus menjadi 90 detik,	Berdasarkan analisis empat skenario perbaikan, alternatif keempat dinilai sebagai solusi paling efektif dengan memodifikasi fase APILL dan optimasi waktu siklus, yang berhasil menurunkan nilai derajat kejenuhan (DJ) rata-rata menjadi 0,792 (memenuhi standar PKJI 2023 < 0,85). Penerapan skenario ini juga mampu mereduksi biaya kerugian beban emisi menjadi Rp1.923.948.521. Meskipun terjadi peningkatan kinerja teknis secara signifikan, volume lalu lintas yang tetap tinggi menyebabkan tingkat pelayanan simpang secara keseluruhan pada kondisi jam puncak masih berada pada kategori F.

Sumber: Nadia dkk. (2022), Ahmad dkk. (2023), Maulana dkk. (2024) dan Rizky (2025)

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Mengenai Pemodelan Simpang Bersinyal dengan PTV VISSIM

Penelitian Sebelumnya				Penelitian yang dilakukan
Aspek	**Nadia dkk. (2022)**	**Ahmad dkk. (2023)**	**Maulana dkk. (2024)**	**Rizky (2025)**
Hasil Penelitian	tundaan rata-rata menjadi 20,40 dan 16,97 detik per siklus, sementara dengan Vissim menjadi 37,00 dan 33,25 detik per siklus.	Skenario penyesuaian waktu isyarat di PTV VISSIM menghasilkan tingkat pelayanan D untuk semua lengan. Skenario pelebaran jalan menghasilkan tingkat pelayanan E untuk lengan Micon dan D untuk lengan Babe Palar serta Lenso. Skenario Slip Lane menghasilkan tingkat pelayanan C untuk semua lengan.	dengan fase hijau 22 detik untuk utara, 25 detik untuk timur, dan 23 detik untuk barat. Hasil analisis menunjukkan penurunan derajat kejenuhan dan peningkatan tingkat pelayanan menjadi LoS D. Kinerja simpang Lateng buruk pada jam puncak, sehingga diperlukan redesain geometri.	

Sumber: Nadia dkk. (2022), Ahmad dkk. (2023), Maulana dkk. (2024) dan Rizky (2025)

2.3 Perbandingan Biaya Kerugian Gas Buang Kendaraan pada Simpang

Putra (2019) melakukan penelitian mengenai Evaluasi Pengurangan Polusi Udara Akibat Optimasi Siklus Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Aplikasi PTV Vissim. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan besarnya pengurangan polusi akibat optimasi *cycle time* pada sebuah simpang dengan studi kasus Simpang Way Halim, Bandar Lampung. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah membandingkan pengurangan besaran emisi CO pada simpang bersinyal hasil Simulasi menggunakan PTV VISSIM. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil penelitian bahwa dihasilkan besar emisi CO pada 2019 sebesar 261.475gr CO dan 2024 adalah sebesar 349.453gr. Setelah optimasi, emisi CO tahun 2019 171.852 gr sedangkan tahun 2024 sebesar 174.425gr CO. Kesimpulannya adalah pada dengan optimasi cycle time maka terjadi pengurangan emisi CO 2019 sebesar 34% dari sedangkan pada tahun 2024 terjadi pengurangan CO sebesar 50%.

Aladl dkk. (2024) melakukan penelitian mengenai Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan pada Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kadar emisi gas buang kendaraan yang signifikan tiap harinya. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode PTV Vistro dan metode Highway Capacity Manual (HCM) 2010. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa Hasil dari analisis menunjukkan adanya peningkatan kinerja simpang yang ditandai dengan penurunan nilai tundaan simpang setelah dilakukan optimasi kinerja. Kinerja Simpang Empat Titik Nol KM menghasilkan nilai tundaan (D) = 30,18 det/smp menjadi 22,3 det/smp pada jam sibuk pagi serta nilai tundaan (D) = 50,47 det/smp menjadi 27,4 det/smp pada jam sibuk sore. Peningkatan kinerja simpang berpengaruh positif dengan menurunnya nilai emisi gas buang kendaraan yang dihasilkan. Emisi gas buang kendaraan mengalami penurunan sebesar 52,85% pada jam sibuk pagi dan 63,26% pada jam sibuk sore dalam semua jenis gas yang dianalisis.

Tabel 2.3 Perbandingan Biaya Kerugian Gas Buang Kendaraan pada Simpang

Penelitian Sebelumnya			Penelitian yang dilakukan
Aspek	**Putra (2019)**	**Aladl dkk. (2024)**	**Rizky (2025)**
Judul	Evaluasi Pengurangan Polusi Udara Akibat Optimasi Siklus Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Aplikasi PTV Vissim	Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan pada Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta	Analisis Kinerja Simpang Empat O Ringroad Timur dengan Menggunakan Metode PKJI 2023 dan Pemodelan PTV VISSIM
Tujuan Penelitian	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan besarnya pengurangan polusi akibat optimasi cycle time pada sebuah simpang dengan studi kasus Simpang Way Halim, Bandar Lampung	untuk menentukan kadar emisi gas buang kendaraan yang signifikan tiap harinya.	untuk mengevaluasi kinerja simpang dan tingkat pelayanan simpang bersinyal empat pada kondisi saat ini berdasarkan PKJI 2023
Metode Penelitian	membandingkan pengurangan besaran emisi CO pada simpang bersinyal dan PTV VISSIM	metode PTV Vistro dan metode *Highway Capacity Manual* (HCM) 2010	metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) dan software Vissim

Sumber: Putra (2019), Aladl dkk. (2024) dan Rizky (2025)

Lanjutan Tabel 2.3 Perbandingan biaya kerugian gas buang kendaraan pada Simpang

Penelitian Sebelumnya			Penelitian yang dilakukan
Aspek	**Putra (2019)**	**Aladl dkk (2024)**	**Rizky (2025)**
Hasil Penelitian	Penelitian menunjukkan emisi CO pada 2019 sebesar 261.475 gr dan 2024 sebesar 349.453 gr. Setelah optimasi, emisi CO turun menjadi 171.852 gr (2019) dan 174.425 gr (2024). Optimasi ini mengurangi emisi CO sebesar 34% pada 2019 dan 50% pada 2024	bahwa optimasi kinerja Simpang Empat Titik Nol KM meningkatkan efisiensi lalu lintas, ditandai dengan penurunan tundaan. Pada jam sibuk pagi, tundaan berkurang dari 30,18 det/smp menjadi 22,3 det/smp, dan pada jam sibuk sore dari 50,47 det/smp menjadi 27,4 det/smp. Selain itu, emisi gas buang kendaraan berkurang signifikan, yaitu 52,85% pada pagi hari dan 63,26% pada sore hari untuk semua jenis gas yang dianalisis.	Berdasarkan analisis empat skenario perbaikan, alternatif keempat dinilai sebagai solusi paling efektif dengan memodifikasi fase APILL dan optimasi waktu siklus, yang berhasil menurunkan nilai derajat kejenuhan (DJ) rata-rata menjadi 0,792 (memenuhi standar PKJI 2023 < 0,85). Penerapan skenario ini juga mampu mereduksi biaya kerugian beban emisi menjadi Rp1.923.948.521. Meskipun terjadi peningkatan kinerja teknis secara signifikan, volume lalu lintas yang tetap tinggi menyebabkan tingkat pelayanan simpang secara keseluruhan pada kondisi jam puncak masih berada pada kategori F.

Sumber: Putra (2019), Aladl dkk. (2024) dan Rizky (2025)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian simpang

Menurut Hobbs (1995), simpang jalan merupakan simpul transportasi yang terbentuk dari beberapa pendekat/lengan, dimana arus kendaraan dari beberapa pendekat tersebut bertemu dan memencar meninggalkan simpang. Simpang dalam pengertian umum adalah pertemuan atau percabangan jalan, baik sebidang maupun susun.

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), persimpangan adalah titik pertemuan antara dua atau lebih ruas jalan, yang dapat berupa simpang, simpang APILL, bundaran, atau simpang tidak sebidang. Lalu lintas pada setiap bagian persimpangan bergerak secara bersama-sama dengan lalu lintas yang lain. Oleh karena itu, persimpangan memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kapasitas dan waktu perjalanan dalam suatu jaringan jalan.

Menurut Morlok (1995), persimpangan jalan terdiri dari dua kategori utama, yaitu persimpangan sebidang dan persimpangan tidak sebidang.

1. Persimpangan Sebidang

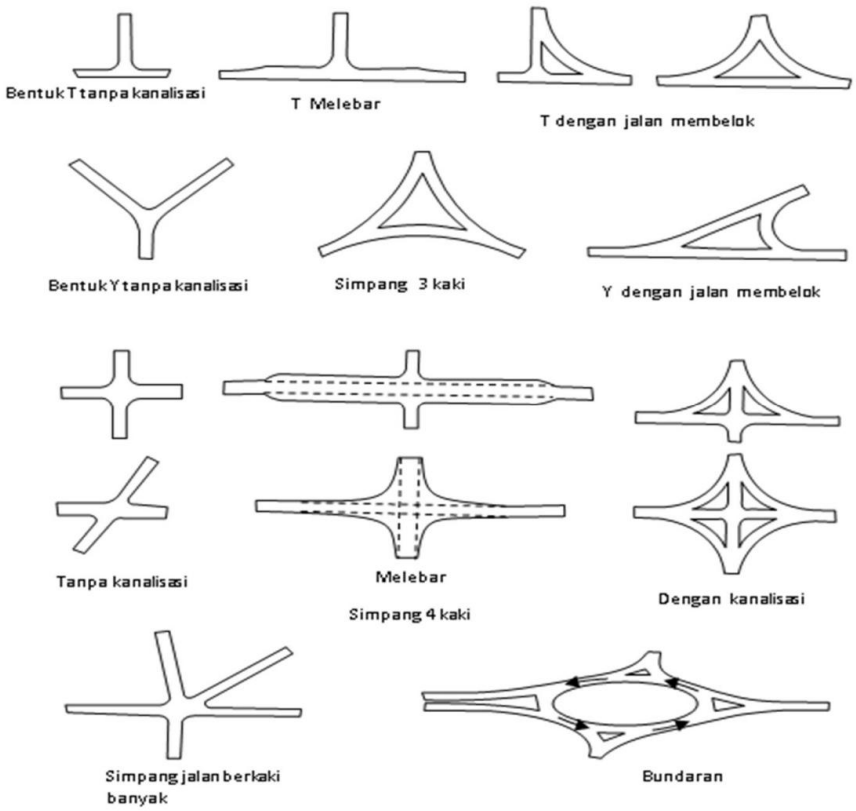
   Menurut Morlok (1995), persimpangan sebidang adalah persimpangan dimana berbagai jalan atau ujung jalan masuk ke persimpangan mengarahkan lalu lintas masuk ke jalur yang dapat berlawanan dengan lalu lintas lainnya.

   Morlok (1995), jenis simpang berdasarkan cara pengaturannya dibagi menjadi 2 (dua) jenis, diuraikan sebagai berikut;

   a. Simpang tanpa sinyal yaitu simpang yang tidak terdapat sinyal lalu lintas. Pada persimpangan ini pengendara harus memastikan bahwa pada saat menyebrang atau melewati simpang dalam keadaan aman dan harus berhenti dahulu sampai dalam keadaan aman dari lawan pengendara lain sehingga menimbulkan antrian panjang antar kendaraan karena banyak kendaraan yang tidak mau mengalah.

b. Simpang bersinyal yaitu simpang yang terdapat lampu sinyal lalu lintas. Jadi pengendara harus behenti ketika lampu sinyal berwarna merah dan boleh lewat pada saat warna lampu hijau.

Jenis persimpangan sebidang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Jenis Persimpangan Sebidang

(Sumber: Morlok, 1995)

2. Persimpangan Tak Sebidang

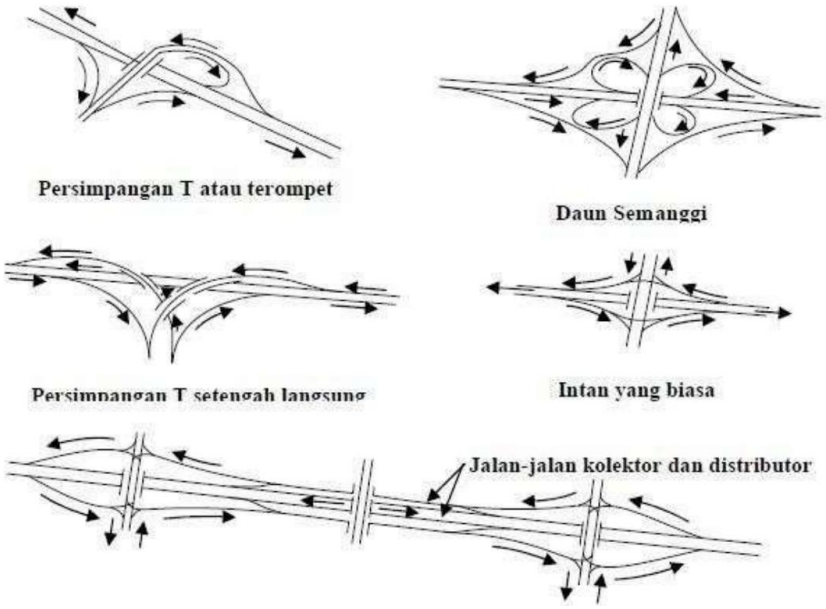
Persimpangan tidak sebidang (*Grade seperated junction*) adalah pertemuan dua atau lebih ruas jalan dimana satu atau lebih ruas jalan berada di atas dan di bawah ruas jalan yang lain atau suatu bentuk khusus dari pertemuan jalan yang bertujuan untuk mengurangi titik konflik atau bahaya belok kanan yang menghambat lalu-lintas dan lain-lain, perencanaan persimpangan ini memerlukan lahan yang luas yang cukup besar dan perencanaan yang cukup teliti untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Pertemuan jalan pada jalan-jalan

yang lebih penting biasanya berupa pertemuan jalan tak sebidang (Interchange, misalnya berbentuk semanggi), karena kebutuhan untuk menyediakan gerakan membelok tanpa perpotongan maka dibutuhkan tikungan yang besar dan sulit serta biasanya mahal. Pertemuan jalan tak sebidang juga membutuhkan daerah yang luas serta penempatan dan tata letaknya sangat dipengaruhi oleh topografi. Perencanaan persimpangan jalan tidak sebidang dilakukan bila kapasitas persimpangan tersebut sudah mendekati atau lebih besar dari kapasitas masingmasing ruas jalan sehingga arus lalu lintas untuk masing-masing lengan persimpangan sama sekali tidak boleh terganggu. Pada pertemuan tak sebidang (Interchange) jenis dan desainnya dipengaruhi oleh banyak faktor seperti klasifikasi jalan raya, karakter dan komposisi lalu-lintas, kecepatan desain, dan Tingkat pengendalian akses. Interchange merupakan fasilitas yang mahal, dan karena begitu bervariasinya kondisi lokasi, volume lalu-lintas, dan tata letak interchange, hal-hal yang menentukan dibuatnya interchange bisa berbeda-beda Persimpangan tak sebidang disebut juga dengan jalan bebas hambatan dimana tidak terdapat jalur gerak kendaraan yang berpapasan dengan jalur gerak lainnya pada persimpangan tak sebidang. Keuntungan dari persimpangan tak sebidang adalah:

a. Dengan adanya jalur gerak yang saling memotong pada persimpangan tak sebidang, maka tingkat kecelakaan akan dapat dikurangi.
b. Kecepatan kendaraaan akan dapat bertambah besar dikarenakan arus lalu lintas tak terganggu.
c. Kapasitas akan meningkat oleh karena tiadanya gangguan dalam setiap jalur lalu lintas.

Persimpangan ini bertujuan untuk mengurangi titik konflik atau bahaya belokkanan yang selalu menghambat lalu lintas jalan tersebut, mengurangi kemacetan lalu lintas dan lain-lain. Perencanaan persimpangan ini memerlukan lahan yang cukup luas serta biaya yang cukup besar. Perencanaan ini harus dilakukan dengan teliti untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Berikut akan diperlihatkan jenis-jenis persimpangan tak sebidang:

Berikut Penjelasan mengenai jenis jenis persimpangan tak sebidang pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Jenis Persimpangan Tak Sebidang

(Sumber: Morlok, 1995)

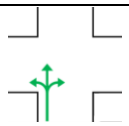
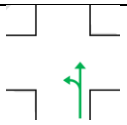
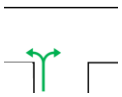
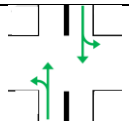
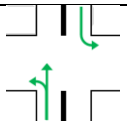
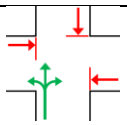
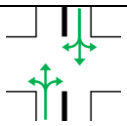
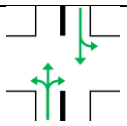
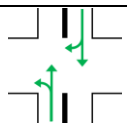
3.2 Simpang APILL

Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) menyatakan bahwa simpang APILL merupakan pertemuan dua atau lebih ruas jalan sebidang yang dilengkapi APILL untuk pengaturan lalu lintasnya. APILL atau Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas merupakan alat yang digunakan untuk mengatur lalu lintas simpang dengan cara meminimalkan konflik, baik konflik primer maupun konflik sekunder dengan memisahkan waktu berjalannya arus. Penggunaan APILL di persimpangan bertujuan untuk membagi kapasitas secara merata ke berbagai pendekat dengan mengalokasikan waktu hijau pada setiap pendekat. APILL dianggap sebagai metode paling efektif dalam mengatur lalu lintas di persimpangan dengan volume lalu lintas yang relatif tinggi pada setiap kaki simpang. Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) menyatakan beberapa alasan simpang APILL digunakan dengan tujuan untuk mempertahankan kapasitas persimpangan pada jam puncak dan mengurangi kecelakaan akibat tabrakan antar kendaraan dari arah yang berlawanan.

3.2.1 Tipe Pendekat

Penentuan tipe pendekat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Tipe Pendekat

<table>
<tr><th>Tipe Pendekat</th><th>Keterangan</th><th colspan="3">Contoh Pola-pola Pendekatan</th></tr>
<tr><td rowspan="6">Terlindung
(Tipe P)</td><td rowspan="6">Arus berangkat tidak konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan</td><td>Jalan satu arah</td><td>Jalan satu arah</td><td>Simpang-3</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="3">Jalan dua arah, belok kanan dibatasi</td></tr>
<tr><td>  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="3">Jalan dua arah, fase untuk masing-masing arah terpisah</td></tr>
<tr><td colspan="3">  </td></tr>
<tr><td>Terlawan
(Tipe O)</td><td>Arus berangkat konflik dengan arus lalu lintas dari arah berlawanan</td><td colspan="3">Jalan dua arah, arus berangkat dari arah yang berlawanan dalam fase yang sama. Semua belok kanan tidak dibatasi.</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

3.2.2 Satuan Mobil Penumpang

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) satuan mobil penumpang (SMP) satuan untuk arus lalu lintas dimana arus berbagai kendaraan yang berbeda telah diubah menjadi arus mobil penumpang dengan menggunakan nilai ekuivalen mobil penumpang. Ekuivalensi mobil penumpang (EMP) adalah faktor konversi untuk jenis kendaraan sedang, bus besar, truk besar, dan sepeda motor yang dibandingkan terhadap mobil penumpang sehubungan dengan dampaknya terhadap kapasitas jalan, untuk mobil penumpang dan juga kendaraan ringan yang mirip

memiliki nilai EMP 1. Angka ekuivalensi kendaraan penumpang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Angka Ekuivalensi Mobil Penumpang pada Simpang Bersinyal

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

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

3.2.3 Kapasitas

APILL mengatur lalu lintas simpang dengan cara meminimalkan konflik, baik konflik primer maupun konflik sekunder dengan memisahkan waktu berjalannya arus. Kapasitas simpang APILL merupakan kemampuan suatu persimpangan untuk menampung jumlah maksimum arus lalu lintas dalam satu satuan waktu. Kapasitas ini biasanya diukur dalam satuan smp/jam hijau. Kapasitas sebuah simpang APILL dinyatakan dengan Persamaan 3.1.

$$C = J \times \frac{W_H}{s} \tag{3.1}$$

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).

3.2.4 Arus Jenuh

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) arus jenuh (J) adalah hasil perkalian antara arus jenuh dasar (J0) dengan faktor-faktor koreksi untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal. Perhitungan dapat menggunakan Persamaan. 3.2.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKi} \times F_{BKa} \quad (3.2)$$

dengan:

J = arus jenuh,

J_0 = arus jenuh dasar,

F_{HS} = faktor koreksi hambatan samping,

F_{UK} = faktor koreksi ukuran kota,

F_G = faktor koreksi kelandaian memanjang pendekat,

F_P = faktor koreksi parkir,

F_{BKi} = faktor koreksi rasio arus belok kiri, dan

F_{BKa} = faktor koreksi rasio arus belok kanan.

Dalam menentukan arus jenuh diperlukan beberapa faktor koreksi. Faktor koreksi arus jenuh sebagai berikut.

1. Arus Jenuh Dasar

   Arus jenuh dasar untuk pendekat terlindung (P) dapat menggunakan Persamaan 3.3.

   $$J0 = 600 \times L_E \quad (3.3)$$

   dengan:

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

   L_E = lebar efektif pendekat (meter).

2. Penentuan Lebar Efektif Pendekat (LE)

   Lebar efektif pendekat ditentukan berdasarkan jumlah lajur lalu lintas yang menuju simpang pada pendekat tersebut, termasuk lajur lurus, belok kiri, dan belok kanan yang benar-benar digunakan kendaraan saat mendekati simpang, dapat menggunakan Persamaan 3.4.

   $$L_E = n \times w \quad (3.4)$$

   dengan:

   n = jumlah lajur efektif pada pendekat,

w = lebar rata-rata per lajur

3. Faktor koreksi akibat hambatan samping lingkungan jalan (F_{HS})

   Faktor koreksi akibat hambatan samping lingkungan jalan (F_{HS}) dapat ditentukan menggunakan nilai yang tertera pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Faktor Koreksi untuk Tipe Lingkungan, Hambatan Samping, dan Kendaraan tak Bermotor (FHS)

Lingkungan	Hambatan samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor					
			0	0,05	0,10	0,15	0,2	> 0,25
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
		Terlindung	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
	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
	Redah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,89	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
	Redah	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 (RA)	T/S/R	Terlawan	1,0	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,0	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

4. Faktor koreksi terkait ukuran kota (F_{UK})

   Faktor koreksi terkait ukuran kota (F_{UK}) dapat ditentukan menggunakan nilai yang tertera pada Tabel 3.4.

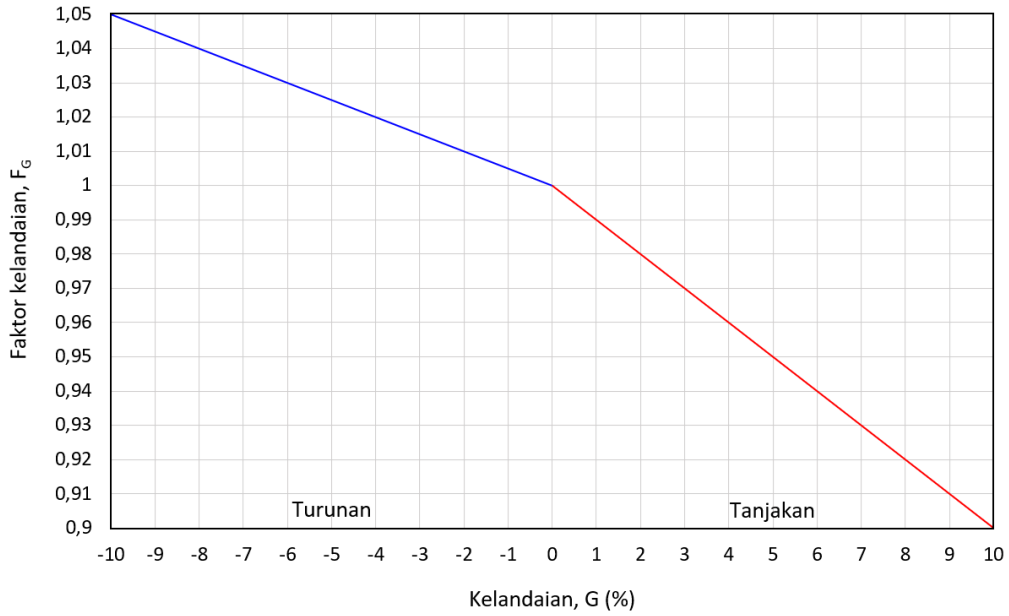
Tabel 3.4 Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Jumlah penduduk kota (Juta jiwa)	Faktor koreksi ukuran kota (F_{UK})
>3,0	1,05
1,0-3,0	1,00
0,5-1,0	0,94
0,1-0,5	0,83
<0,1	0,82

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

5. Faktor koreksi akibat kelandaian memanjang pendekat (F_G)

   Faktor koreksi akibat kelandaian memanjang pendekat (F_G) dapat ditentukan berdasarkan Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Faktor Koreksi untuk Kelandaian (F_G)

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

6. Faktor koreksi akibat adanya garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama (F_P)

   Faktor koreksi akibat adanya garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama (F_P) dapat ditentukan berdasarkan Gambar 3.4. Selain itu, nilai F_P juga dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.5.

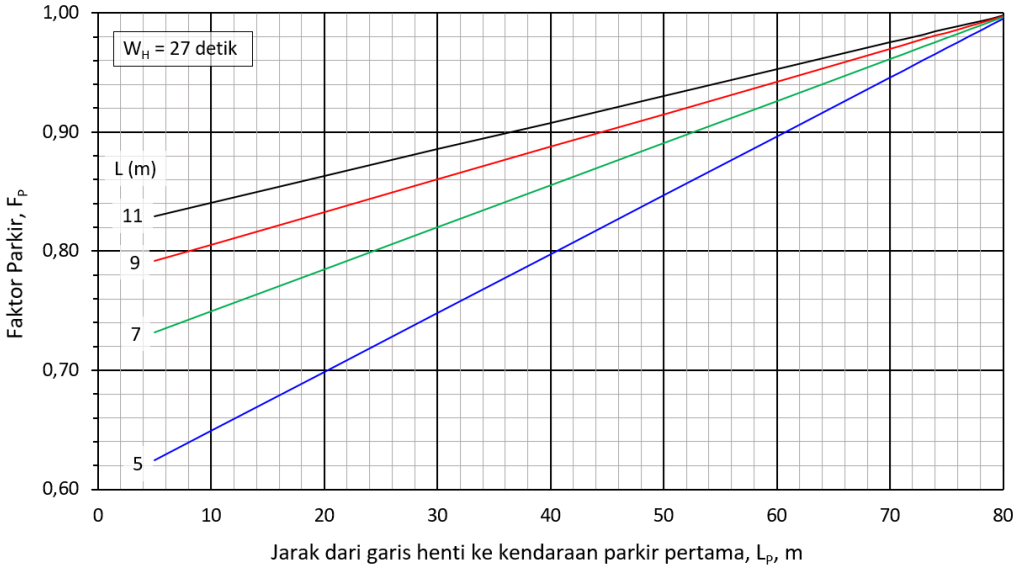
$$F_P = \frac{\left[\frac{L_P}{3}\right] - \frac{(L-2)}{L} \times \left(\frac{L_P}{3} - W_H\right)}{W_H} \quad (3.5)$$

dengan:

L_P = jarak antara garis henti ke 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 (nilai normalnya 27 detik).



Gambar 3.4 Faktor Koreksi untuk Pengaruh Parkir (F_P)

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

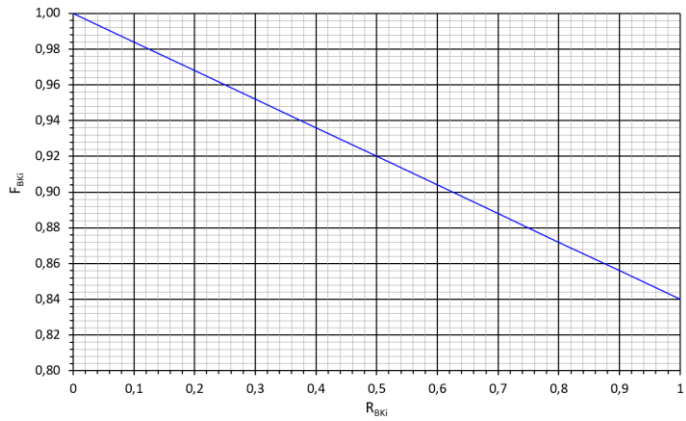
7. Faktor koreksi akibat arus yang membelok ke kiri (F_{BKi})

   Faktor koreksi akibat arus yang membelok ke kiri (F_{BKi}) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.6 atau dapat ditentukan berdasarkan Gambar 3.5.

   $F_{BKi} = 1{,}0 - R_{BKi} \times 0{,}16$ (3.6)

   dengan:

   R_{BKi} = rasio arus yang berbelok ke kiri.



Gambar 3.5 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)

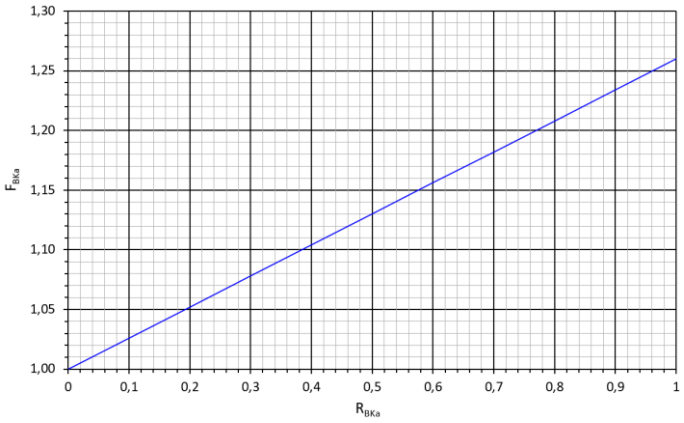
8. Faktor koreksi akibat arus yang membelok ke kanan (F_{BKa})

   Faktor koreksi akibat arus yang membelok ke kanan (F_{BKa}) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.7 atau dapat ditentukan berdasarkan Gambar 3.6.

   F_{BKa} = 1,0 + R_{BKa} x 0,26 (3.7)

   dengan :

   R_{BKi} = rasio arus yang berbelok ke kanan.



Gambar 3.6 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)

3.2.5 Perhitungan dan penetapan Waktu Siklus (s)

Perhitungan dan penetapan waktu siklus dapat dilakukan berdasarkan perhitungan-perhitungan sebagai berikut.

1. Rasio Arus Terhadap Arus Jenuh ($R_{q/J}$)

   Penghitungan perbandingan arus (R_q) dengan arus jenuh (J) untuk tiap pendekat dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.8.

   $$R_{q/J} = \frac{q}{J} \quad (3.8)$$

   dengan:

   Q = arus lalu lintas pada suatu pendekat (smp/jam), dan

   J = arus jenuh suatu pendekat (smp/jam).

2. Rasio Arus Terhadap Arus Jenuh yang Tertinggi dari Semua Pendekat ($R_{q/J\ Kritis}$) Setelah nilai $R_{q/J}$ tiap fase telah didapatkan, maka dapat ditentukan nilai rasio arus terhadap arus jenuh yang tertinggi dari semua pendekat ($R_{q/J\ Kritis}$) dari masing-masing fase.

3. Rasio Arus Simpang APILL (R_{AS})

   Rasio arus simpang APILL (R_{AS}) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9.

   $$R_{AS} = \sum_i (R_{q/J\ Kritis})_i \quad (3.9)$$

   dengan:

   $R_{q/J\ Kritis}$ = rasio arus terhadap arus jenuh yang tertinggi dari semua pendekat.

4. Waktu Merah Semua (W_{MS}) dan Waktu Kuning (W_K)

   Waktu merah semua (w_{MS}) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10.

   $$w_{MS} = \text{Max} \begin{cases} \frac{L_{KBR}+P_{KBR}}{V_{KBR}} - \frac{L_{KDT}}{V_{KDT}} \\ \frac{L_{PK}}{V_{PK}} \end{cases} \quad (3.10)$$

   dengan :

   w_{MS} = waktu merah semua (detik),

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

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

   v_{KBR}, v_{KDT}, v_{PK} = kecepatan untuk masing-masing kendaraan berangkat, kendaraan datang, dan pejalan kaki (m/det).

Durasi waktu kuning di Indonesia pada umumnya ditetapkan 3 detik. Untuk simpang APILL dengan area geometri yang luas dan kurang ideal, disarankan untuk dihitung.

5. Waktu Antar Hijau (W_{AH})

   Waktu antar hijau (W_{AH}) dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.5.

Tabel 3.5 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)

6. Waktu Hilang Hijau (W_{HH})

   Apabila nilai w_{MS} untuk masing-masing akhir fase telah ditetapkan, maka waktu hijau hilang total (w_{HH}) untuk simpang APILL setiap siklus dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu antar hijau dengan menggunakan Persamaan 3.11.

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

   dengan:

   w_{HH} = waktu hijau hilang (detik),

   w_{MS} = waktu merah semua (detik),

   w_K = waktu kuning (detik).

7. Waktu Siklus

   Waktu isyarat terdiri dari waktu siklus (s) dan waktu hijau (W_H). Penentuan waktu siklus untuk sistem kendali waktu tetap yang dapat dilakukan menggunakan rumus Webster (1966). Nilai s ditetapkan menggunakan Persamaan 3.12 atau Gambar 3.7.

$$s = \frac{(1{,}5 \times w_{HH} + 5)}{(1 - \Sigma R_{q/J\ kritis})} \quad (3.12)$$

dengan:

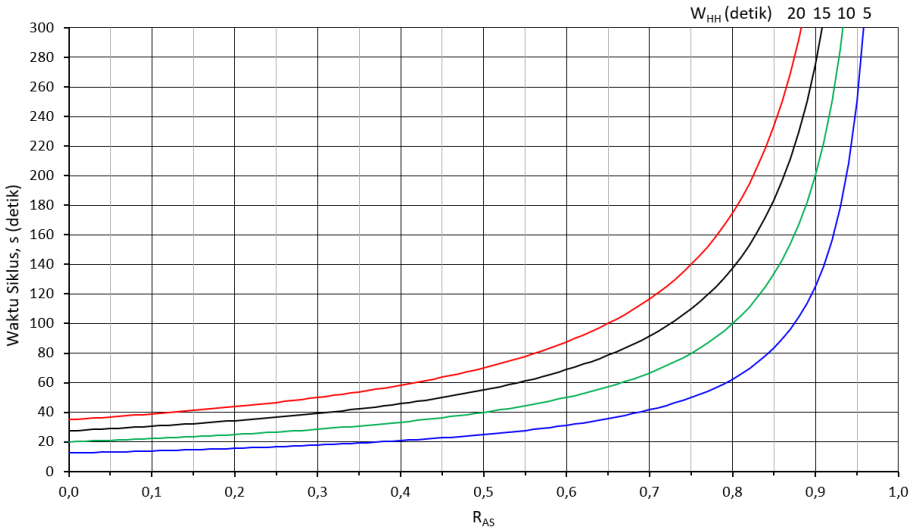
s = waktu siklus (detik),

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

$R_{q/J}$ = rasio arus ($_{q/J}$),

$R_{q/J\ kritis}$ = nilai $_{Rq/J}$ tertinggi dari pendekat pada fase yang sama, dan

$\Sigma R_{q/J\ kritis}$ = jumlah $_{Rq/J\ kritis}$ dari semua fase pada siklus tersebut atau rasio arus simpang APILL (R_{AS}).



Gambar 3.7 Penetapan Waktu Siklus Sebelum Dikoreksi

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

8. Penetapan Waktu Siklus

Penetapan waktu siklus dilakukan apabila waktu siklus yang terlalu besar akan menyebabkan meningkatnya tundaan rata-rata. Waktu siklus yang besar terjadi jika nilai $\Sigma(_{Rq/J\ kritis})$ mendekati satu, atau jika lebih dari satu, maka simpang APILL tersebut "melampaui jenuh" dan rumus Webster akan menghasilkan nilai s yang tidak realistik karena sangat besar atau negatif. Dengan demikian, jika nilai waktu siklus berdasakan rumus Webster dirasa tidak realistik atau bernilai negatif, maka dapat dilakukan penetapan waktu siklus dengan menggunakan Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Waktu Siklus (s) yang Layak

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

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

9. Rasio Fase (R_F)

   Rasio fase (R_F) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.13.

   $$R_F = \frac{R_{q/J\ kritis}}{R_{AS}} \quad (3.13)$$

   dengan:

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

   R_{AS} = rasio arus simpang APILL (R_{AS}).

10. Waktu Hijau (W_H)

    Waktu hijau suatu pendekat dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.14.

    $$w_{Hi} = (s - w_{HH}) \times \frac{R_{q/J\ kritis}}{\Sigma_i (R_{q/J\ kritis})i} \quad (3.14)$$

    dengan:

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

    i = indeks untuk fase i.

3.2.6 Derajat Kejenuhan

Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) menyatakan bahwa derajat kejenuhan (D_J) adalah rasio arus lalu lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekat. Nilai derajat kejenuhan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15.

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

dengan:

D_J = derajat kejenuhan,

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

q = semua arus lalu lintas kendaraan bermotor dari semua lengan simpang yang masuk ke dalam simpang (smp/jam).

3.2.7 Panjang Antrean

Antrean menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), yaitu jumlah suatu kendaraan yang mengantre dalam suatu pendekat simpang yang dinyatakan dalam kendaraan atau satuan mobil penumpang (smp), kemudian panjang antrean adalah panjang Antrean kendaraan di dalam suatu pendekat kemudian dinyatakan dalam satuan meter. Ketika melakukan perhitungan, hasil dari perhitungan derajat kejenuhan digunakan untuk menghitung jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya. Jumlah rata-rata antrean kendaraan (smp) pada awal isyarat lampu hijau (N_q) dapat dihitung dengan menambahkan jumlah kendaraan terhenti (smp) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) dengan jumlah kendaraan (smp) yang datang dan terhenti dalam antrean selama fase merah (N_{q2}). Perhitungan analisisnya dijelaskan pada Persamaan 3.16, Persamaan 3.17, Persamaan 3.18, dan Persamaan 3.19.

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \tag{3.16}$$

untuk $D_J < 0{,}5$

$$N_{q1} = 0 \tag{3.17}$$

untuk $D_J > 0{,}5$.

$$N_{q1} = 0{,}25 \times s \times \left\{ (D_J - 1) + \sqrt{(D_J - 1)^2 + \frac{8 \text{ x } (D_J - 0{,}5)}{s}} \right\} \tag{3.18}$$

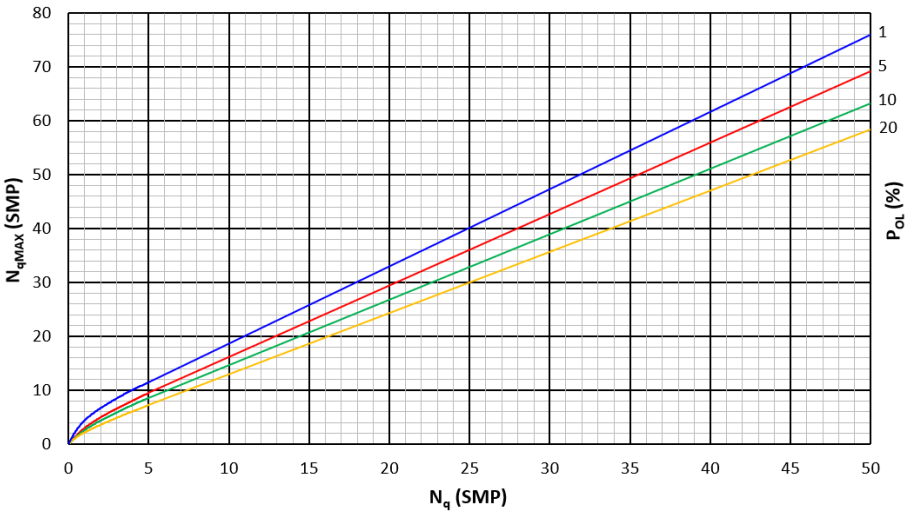
$$N_{q2} = s \times \frac{(1 - R_H)}{(1 - R_H \times D_J)} \times \frac{q}{3.600} \tag{3.19}$$

Panjang antrean (P_A) dapat diperoleh dengan mengalikan jumlah rata-rata antrean kendaraan (Nq) dalam satuan smp dengan luas area rata-rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang (smp), yang diasumsikan sebesar 20 m^2,

kemudian dibagi dengan lebar masuk (m). Perhitungannya dapat menggunakan Persamaan 3.20.

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M} \quad (3.20)$$

Untuk nilai dari NQ_{MAX} diperoleh dengan cara menghubungkan nilai NQ_{Total} dengan *probabilitas overloading* Pol (%). Disarankan Pol = 5-10%. Nilai dari NQ_{MAX} dapat dilihat dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Penentuan Jumlah Antrean Rata-rata

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

3.2.8 Rasio Kendaraan Henti

Rasio Kendaraan Henti (R_{KH}) yaitu rasio kendaraan pada pendekat yang harus berhenti akibat isyarat merah sebelum melewati suatu Simpang APILL terhadap jumlah arus pada fase yang sama pada pendekat tersebut. Rasio Kendaraan Henti (R_{KH}) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.21.

$$R_{KH} = 0{,}9 \times \frac{N_q}{q \times s} \times 3600 \quad (3.21)$$

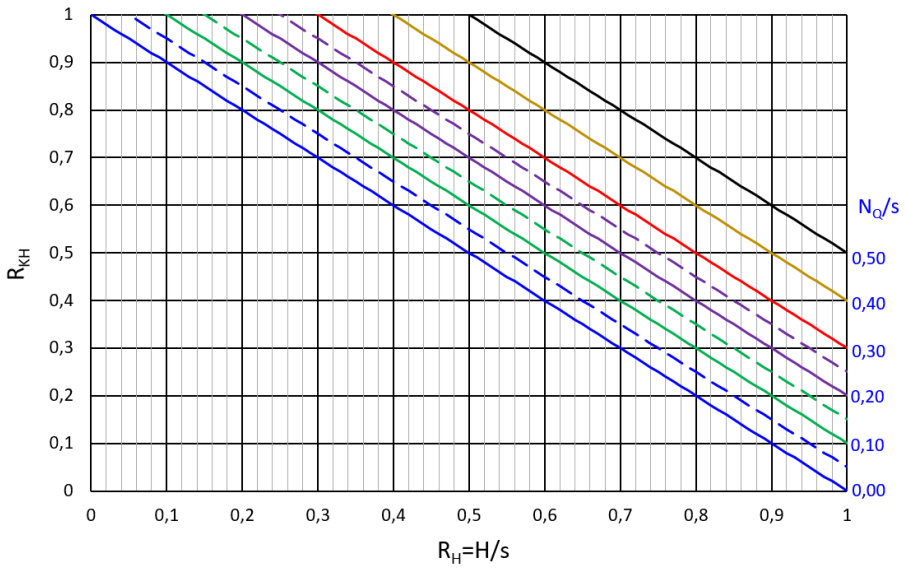
dengan:

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

s = waktu siklus (detik), dan

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

Penentuan Rasio Kendaraan Henti (R_{KH}) juga dapat dilakukan menggunakan Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Penentuan Rasio Kendaraan Henti

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023)

Jumlah rata-rata kendaraan berhenti (N_{KH}) adalah jumlah total rata-rata kendaraan yang berhenti (termasuk berhenti berulang dalam antrean) sebelum melintasi simpang APILL. Perhitungannya dapat dilakukan menggunakan Persamaan 3.22.

$$N_{KH} = q \times R_{KH} \quad (3.22)$$

Keterangan:

N_{KH} = jumlah rata rata kendaraan yang berhenti pada suatu simpang

q = arus lalu lintas (volume kendaraan yang melintasi simpang) satuan kendaraan/jam

R_{KH} = Rasio rata-rata kendaraan yang berhenti pada simpang

Rasio rata-rata kendaraan berhenti untuk seluruh simpang APILL atau angka henti seluruh simpang APILL ($R_{KH\ Total}$), dihitung menggunakan Persamaan 3.23.

$$R_{KH} = \frac{\sum N_{KH}}{q_{Total}} \quad (3.23)$$

dengan:

R_{KH} = rasio rata-rata kendaraan yang berhenti pada simpang

$\sum N_{KH}$ = jumlah total kendaraan yang berhenti di seluruh lengan simpang dalam satuan waktu tertentu (smp/jam),dan

Q_{Total} = total arus lalu lintas yang melintasi simpang dari semua pendekat (smp/jam)

3.2.9 Tundaan

Tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang digunakan pengemudi untuk melalui suatu Simpang APILL apabila dibandingkan dengan lintasan tanpa Simpang APILL. Tundaan ini terdiri dari dua jenis sebagai berikut;

1. Tundaan lalu lintas (T_{LL})

   Tundaan lalu lintas yaitu waktu menunggu yang disebabkan kondisi lalu lintas yang terjadi gerakan lalu lintas yang bertentangan. Perhitungan Tundaan lalu lintas rata-rata tiap pendekat bisa dilihat pada Persamaan 3.24.

   $$T_L = s \times \frac{0{,}5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_J)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{C} \quad (3.24)$$

   dengan:

   T_{LL} = tundaan lalu lintas (detik/smp)

   s = faktor penyesuaian untuk tundaan

   R_H = rasio kendaraan yang berhenti

   D_J = derajat kejenuhan, rasio antara arus dan kapasitas

   N_{q1} = jumlah kendaraan berada dalam antrean pada awal siklus (smp)

   C = waktu siklus (detik)

2. Tundaan Geometri (T_G)

   Tundaan geometri terjadi ketika kendaraan mengalami perlambatan dan percepatan saat melintasi simpang atau saat terhenti oleh lampu merah. Tundaan geometri simpang masing-masing pendekat dihitung dengan persamaan 3.25.

   $$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \quad (3.25)$$

dengan:

P_B = porsi kendaraan membelok pada suatu pendekat.

3. Tundaan rata-rata (T_i)

Tundaan untuk suatu pendekat i dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.26.

$$T_i = T_{LLi} + T_{Gi} \quad (3.26)$$

dengan:

T_i = tundaan total rata rata pada suatu pendekat (detik/smp)

T_{LLi} = tundaan lalu lintas pada pendekat ke-i (detik/smp), dan

T_{Gi} = tundaan geometri pada pendekat ke-i (detik/smp)

Tundaan rata-rata untuk seluruh lengan simpang APILL dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.27.

$$T_I = \frac{\sum(q \times T)}{q_{Total}} \quad (3.27)$$

dengan:

T_i = tundaan total rata rata pada suatu pendekat (detik/smp)

$\sum(q \times T)$ = jumlah hasil perkalian antara arus lalu lintas dan tundaan pada masing-masing pendekat (smp x detik), dan

q_{Total} = total arus lalu lintas pada seluruh pendekat (kendaraan/jam)

3.3 Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan menjadi ukuran yang digunakan sebagai kualitas suatu simpang ketika melayani arus lalu lintas. Menurut Republik Indonesia (2015) dalam Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015, tingkat pelayanan adalah ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas. Tingkat pelayanan pada simpang dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Tingkat Pelayanan pada Persimpangan

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: Republik Indonesia (2015)

Tingkat pelayanan yang diinginkan pada ruas jalan pada sistem jaringan jalan primer sesuai fungsinya, meliputi:

1. jalan arteri primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B;
2. jalan kolektor primer, tingkat pelayanan sekurang- kurangnya B;
3. jalan lokal primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C;
4. jalan to1, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B.

Tingkat pelayanan yang diinginkan pada ruas jalan pada sistem jaringan jalan sekunder sesuai fungsinya meliputi:

1. jalan arteri sekunder, tingkat pelayanan sekurang- kurangnya C;
2. jalan kolektor sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C;
3. jalan lokal sekunder, tingkat pelayanan sekurang- kurangnya D;
4. jalan lingkungan, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya D.

Tingkat pelayanan ditetapkan oleh Direktur Jenderal, Gubernur, Bupati dan Walikotasesuai kewenangan.

3.4 *Software* PTV VISSIM

3.4.1 Definisi dan Kegunaan PTV VISSIM

PTV VISSIM (*Verkehr in Stadten Simulations Model*) menurut PTV-AG (2011) adalah perangkat lunak simulasi lalu lintas aliran mikroskopis multimoda yang menjadi solusi untuk menganalisis operasi kendaraan pribadi dan angkutan umum dalam berbagai skenario, termasuk permasalahan seperti konfigurasi jalur,

komposisi kendaraan, sinyal lalu lintas, dan lain-lain. VISSIM dikembangkan oleh PTV (*Planing Transportasi Verkher AG*) di Karlsruhe, Jerman.

PTV VISSIM menyediakan lingkungan simulasi yang komprehensif untuk memodelkan perilaku kendaraan, pejalan kaki, dan pengguna jalan lainnya di jalan raya, jalan perkotaan, simpang, dan lingkungan transportasi lainnya. Perangkat lunak ini memungkinkan pengguna untuk mempelajari dan menganalisis interaksi antara berbagai elemen lalu lintas, termasuk sinyal lalu lintas, perubahan jalur, penyeberangan pejalan kaki, parkir, kendaraan, dan lain-lain.

Menggunakan bantuan PTV VISSIM, pengguna dapat melakukan simulasi untuk menguji dan membandingkan berbagai skenario lalu lintas, melakukan evaluasi kinerja jalan dan simpang, merancang rancangan sinyal lalu lintas yang efisien, menganalisis kepadatan lalu lintas, mengidentifikasi kebutuhan infrastruktur tambahan, dan mengoptimalkan aliran lalu lintas di suatu area. PTV VISSIM memberikan alat yang kuat untuk analisis dan perencanaan yang cermat, membantu pengguna membuat keputusan yang lebih baik dalam merancang, mengoperasikan, dan mengelola sistem lalu lintas yang efisien dan aman. Beberapa kegunaan PTV VISSIM dalam pemodelan adalah sebagai berikut.

1. Arteri simulasi
    a. Model jaringan jalan.
    b. Simulasi persimpangan terhadap semua mode kendaraan.
    c. Analisa karakteristik antrean.
    d. Desain waktu sinyal.
2. Simulasi transportasi publik
    a. Semua rincian model untuk bus, MRT, Trem, BRT, dan LRT.
    b. Analisa peningkatan operasi publik transportasi tertentu.
    c. Menguji dan mengoptimalkan waktu bersinyal transportasi publik secara standar sesuai dengan prioritas perencanaan.
3. Simulasi pejalan kaki
    a. Model pejalan kaki di lingkungan multimoda.
    b. Perencanaan evakuasi dari bangunan dan acara khusus.

4. Simulasi *motor way*
    a. Simulasi manajemen lalu lintas aktif dan sistem transportasi cerdas.
    b. Uji dan menganalisis strategi zona kerja.

3.4.2 Kalibrasi dan Validasi *Software* PTV VISSIM

Kalibrasi dalam *Software* PTV VISSIM merupakan proses penyesuaian nilai-nilai parameter guna menciptakan model lalu lintas yang dapat merepresentasikan kondisi nyata secara akurat. Proses ini dilakukan dengan mengacu pada perilaku pengemudi (*driving behaviour)* yang diamati di lokasi. Dalam proses kalibrasi ini, berbagai parameter perilaku pengemudi dianalisis dan disesuaikan agar hasil simulasi mendekati kondisi lalu lintas aktual. Penjelasan mengenai parameter-parameter perilaku pengemudi yang digunakan dalam proses kalibrasi dijabarkan sebagai berikut.

1. *Car Following*

    Parameter *car following* merupakan bagian dari perilaku mengemudi (*driving behaviour*) yang menggambarkan interaksi antar kendaraan dalam menjaga jarak aman, baik terhadap kendaraan di depan maupun di belakang. Parameter ini berperan penting dalam merepresentasikan dinamika pergerakan kendaraan dalam kondisi lalu lintas. Beberapa komponen yang termasuk dalam parameter *car following* dijelaskan sebagai berikut.

    a. *Average Standstill Distance* (ax)

        Average Standstill Distance (ax) merupakan komponen untuk menentukan jarak rata-rata antara dua kendaraan berurutan pada saat berhenti di simpang.

    b. *Additive Part of Safety Distance (bx_add)*

        Additive Part of Safety Distance (bx_add) merupakan komponen yang digunakan dalam perhitungan jarak aman sebesar *d*.

    c. Multiplicative Part of Safety Distance (bx_mult)

        Multiplicative Part of Safety Distance (bx_mult) merupakan komponen yang digunakan dalam perhitungan jarak aman sebesar d. Jarak d pada parameter car following dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.28.

$d = ax + bx$ (3.28)

dengan:

ax = *average standstill distance.*

Bx = (bx_add + bx_mult * z) * v.

v = *vehicle speed* (m/s).

z = *value of range.*

d. *Look Ahead Distance*

Look ahead distance merupakan komponen yang berkaitan mengenai jarak pandang kendaraan ke depan. Komponen look ahead distance memiliki beberapa bagian sebagai berikut.

1). *Minimum*

Minimum Look ahed distance merupakan jarak pandang minimal kendaraan ke depan.

2) *Maximum*

Maximum Look ahed distance merupakan jarak pandang maksimal kendaraan ke depan.

3). *Observed Vehicles*

Observed vehicles merupakan jumlah kendaraan yang berinteraksi dalam jarak pandang kendaraan ke depan.

e. *Look Back Distance*

Look back distance merupakan komponen yang berkaitan mengenai jarak pandang kendaraan ke belakang. Komponen *look back distance* memiliki beberapa bagian sebagai berikut.

1) *Minimum*

Minimum look back distance merupakan jarak pandang minimal kendaraan ke belakang.

2) *Maximum*

Maximum look back distance merupakan jarak pandang maksimal kendaraan ke belakang.

2. *Lane Change*

   Lane change merupakan perilaku pengemudi dalam memilih lajur kosong untuk meminimkan jarak dan waktu.

   a. *Waiting Time Before Diffusion*

      Waiting Time Before Diffusion adalah lamanya waktu kendaraan dapat menunggu celah ketika melakukan perpindahan jalur yang diperlukan.

   b. *Minimum Headway* (*front/rear*)

      Minimum Headway (*front/rear*) adalah jarak minimum antara dua kendaraan yang harus tersedia pada saat berpindah jalur.

3. *Lateral*

   Lateral merupakan perilaku pengemudi dalam menjaga jarak aman samping antara satu kendaraan dengan kendaraan lain.

   a. *Desired Position at Free Flow*

      Desired Position at Free Flow merupakan perilaku posisi pengemudi yang diinginkan di arus bebas.

   b. *Minimum Distance Standing*

      Minimum Distance Standing merupakan jarak rata-rata antara dua kendaraan berurutan pada saat bersisian dalam kondisi berhenti.

   c. *Minimum Distance Driving*

      Minimum Distance Driving merupakan jarak rata-rata antara dua kendaraan berurutan pada saat bersisian dalam kondisi berjalan.

   d. *Overtake on Same Lane*

      Overtake on Same Lane merupakan perilaku pengemudi dalam menyiap kendaraan pada lajur yang sama.

4. *Signal controller*

   Signal controller merupakan perilaku pengemudi saat berada di area persinyalan, yaitu tetap melaju ataupun berhenti.

Validasi pada Software PTV VISSIM merupakan proses pengujian kebenaran dari kalibrasi dengan membandingkan hasil survey dengan hasil simulasi. Proses validasi terbagi menjadi dua jenis, yaitu validasi internal dan eksternal. Validasi internal dilakukan berdasarkan jumlah volume arus lalu lintas. Metode yang

digunakan adalah dengan menggunakan rumus dasar Chi-squared berupa rumus statistik Geoffery E. Havers (GEH) (Gustavsson, 2007). GEH merupakan rumus statistik modifikasi dari uji T dengan menggabungkan perbedaan antara nilai relatif dan mutlak. Rumus GEH dapat dilihat pada Persamaan 3.29.

$$\text{GEH} = \sqrt{\frac{2 \text{ x } (\text{qsimulated} - \text{qobserved})^2}{(\text{qsimulated} + \text{qobserved})}} \tag{3.29}$$

dengan:

q *simulated* = data volume arus lalu lintas hasil simulasi (kendaraan/jam), dan

q *observed* = data volume arus lalu lintas hasil observasi (kendaraan/jam).

GEH memiliki ketentuan khusus dari nilai error yang dihasilkan seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Ketentuan Nilai *Error* Rumus Statistik *Geoffery E. Havers*

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

Sumber: Gustavsson (2007)

Selanjutnya, untuk validasi eksternal menggunakan persyaratan Pengujian Mean Average Percentage Error (MAPE). Validasi eksternal dilakukan untuk memvalidasi parameter kinerja pada ruas dan simpang, seperti kecepatan dan panjang antrean. Nilai MAPE dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.30.

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} \left[\frac{At - Ft}{At} \right] x \ 100\% \tag{3.30}$$

dengan:

At = nilai suatu parameter pemodelan berdasarkan hasil pengamatan di lokasi penelitian, dan

Ft = nilai suatu parameter pemodelan berdasarkan hasil pemodelan.

Kesimpulan dari hasip perhitungan MAPE dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Kesimpulan dari Hasil Perhitungan MAPE

Nilai MAPE (%)	Keterangan
MAPE <10	Kemampuan pemodelan sangat baik
10≤MAPE≤20	Kemampuan pemodelan baik
20≤MAPE≤50	Kemampuan pemodelan layak
MAPE>50	Kemampuan pemodelan buruk

Sumber: Gustavsson (2007)

3.5 Biaya Kerugian Akibat Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM)

3.5.1 Konsumsi BBM

Isnaeni (2003) melakukan penelitian terkait indikator kinerja lalu lintas dari sudut pandang lingkaran, khususnya yang berkaitan dengan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Dalam penelitian tersebut, perhitungan konsumsi bahan bakar dilakukan menggunakan formulasi yang dikembangkan oleh LAPI-ITB (1996), yang telah dikonversikan ke dalam satuan mobil penumpang. Dengan demikian, estimasi kebutuhan bahan bakar dapat dihitung melalui Persamaan 3.31 hingga Persamaan 3.33.

$$F1 = A + BV + CV^2 \quad (3.31)$$

$$F2 = EV^2 \quad (3.32)$$

$$F3 = D \quad (3.33)$$

dengan:

F1 = konsumsi BBM pada kecepatan konstan (liter/100 smp-km).

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

F3 = 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} E = 770×10^{-8}

Sari dkk. (2019) menjelaskan bahwa satuan variabel F1 pada Persamaan 3.31 masih dinyatakan dalam liter per 100 smp-km, sementara konsumsi bahan bakar yang digunakan dalam analisis harus dinyatakan dalam liter per jam. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian melalui perkalian dengan volume lalu lintas serta panjang ruas jalan. Panjang ruas jalan dihitung dari mulut simpang hingga simpang terdekat. Menurut Fontes dkk. (2015), panjang ruas yang dianalisis idealnya berada dalam rentang 30 hingga 500 meter. Apabila panjang ruas melebihi 500 meter, tingkat ketelitian spasial emisi cenderung menurun, sedangkan ruas yang lebih pendek dari 30 meter tidak mampu menggambarkan pola pergerakan kendaraan secara representatif. Konsumsi bahan bakar pada kondisi kecepatan konstan, yang dinyatakan dalam liter per jam dan diberi notasi M, selanjutnya dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.34.

$$M_{b,c} = \frac{F_{1b,c} \text{ x } Q_{b,c} \text{ x } ld}{100} \quad (3.34)$$

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 F3 pada Persamaan 3.33 dinyatakan dalam satuan liter/smp-jam, sedangkan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan dalam analisis harus disajikan dalam satuan liter/jam. Oleh karena itu, Sari dkk. (2019) menyatakan bahwa nilai F3 perlu dikalikan dengan volume lalu lintas serta nilai tundaan atau durasi rata-rata waktu *idle* kendaraan. Konsumsi bahan bakar kendaraan pada kondisi *idle*, yang dinyatakan dalam satuan liter/jam dan diberi notasi M, selanjutnya dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.35.

$$M_{b,c} = \frac{F_{3b,c} \text{ x } Q_{b,c} \text{ x } D}{3600} \quad (3.35)$$

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).

Dengan demikian, perhitungan konsumsi bahan bakar pada setiap segmen disesuaikan dengan kondisi lalu lintas yang diamati. Konsumsi BBM pada ruas jalan dihitung menggunakan Persamaan 3.34, yang menggambarkan penggunaan bahan bakar saat kendaraan bergerak dengan kecepatan konstan. Sementara itu, konsumsi BBM pada area simpang ditentukan melalui Persamaan 3.35, yang merepresentasikan penggunaan bahan bakar ketika kendaraan berada dalam kondisi berhenti atau *idle* akibat tundaan. Penggunaan kedua persamaan ini memungkinkan estimasi konsumsi BBM yang lebih akurat sesuai dengan karakteristik operasional kendaraan di lapangan.

3.5.2 Perhitungan Kerugian Akibat Konsumsi BBM

Perhitungan biaya kerugian akibat konsumsi BBM dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.36.

$$\text{Kerugian BBM} = \frac{Q_b}{Q_{Total}} \text{ x } M_{b,c} \text{ x Harga BBM}_c \quad (3.36)$$

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).

3.6 Analisis Beban Emisi Gas Buang Kendaraan

3.6.1 Definisi dan Komposisi Emisi Gas Buang Kendaraan

Muziansyah (2015) menyatakan bahwa emisi gas buang kendaraan mengandung beberapa jenis polutan dengan rincian sebagai berikut.

1. Karbon Monoksida (C_O)

   Karbon monoksida (C_O) adalah gas tak berwarna, tidak berasa, tidak mengiritasi dan tidak berbau. Gas ini dihasilkan melalui pembakaran gas, minyak, petrol, bahan bakar padat atau kayu. Karbon monoksida dapat meningkatkan resiko penyakit jantung apabila terpapar gas ini dalam jumlah sedang dan tinggi dalam jangka waktu yang lama.

2. Nitrogen Oksida (Nox)

   Nitrogen oksida (Nox) adalah gas tidak berwarna dan tidak beraroma. Gas ini dihasilkan dari reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara saat pembakaran, terutama pada suhu tinggi. Di tempat-tempat dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi seperti di kota-kota besar, jumlah nitrogen oksida yang dilepaskan ke udara sebagai polusi udara dapat meningkat secara signifikan.

3. Hidro Karbon (H_C)

   Hidro karbon (H_C) adalah gas yang memiliki warna gelap dan beraroma tajam. Gas hidro karbon terbentuk jika proses pembakaran di combustion chamber tidak berlangsung dengan sempurna atau diakibatkan oleh pasokan bahan bakar berlebihan.

4. Karbon Dioksida (C_{O2})

   Karbon dioksida (C_{O2}) adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Ketika dihirup pada konsentrasi yang lebih tinggi dari konsentrasi karbon dioksida di atmosfer maka akan terasa asam di mulut dan menyengat di hidung serta tenggorokan. Efek ini disebabkan oleh pelarutan gas di membran mukosa dan saliva, membentuk larutan asam karbonat yang lemah.

5. Oksida Belerang (S_{O2})

   Oksida belerang (S_{O2}) adalah gas yang dapat menimbulkan efek iritasi pada saluran pernafasan sehingga menimbulkan gejala batuk, sesak nafas dan asma.

6. *Particulate Matter* (PM_{10})

   Particulate Matter (PM_{10}) adalah debu partikulat yang dihasilkan dari emisi gas buang kendaraan. Sekitar 50%-60% dari partikel melayang merupakan debu berdiameter 10 μm. Debu PM10 ini bersifat sangat mudah terhirup dan masuk ke dalam paru-paru, sehingga PM10 dikategorikan sebagai *Respirable Particulate Matter* (RPM). Debu PM10 ini akan mengganggu sistem pernafasan bagian atas maupun bagian bawah (*alveoli*). Pada *alveoli* terjadi penumpukan partikel kecil sehingga dapat merusak jaringan atau sistem jaringan paru-paru, sedangkan debu yang lebih kecil dari 10 μm, akan menyebabkan iritasi mata.

3.6.2 Beban Emisi Gas Buang Kendaraan

Perhitungan beban emisi kendaraan mengacu pada formula dari *European Environment Agency* (EEA) yang telah diadaptasi dalam Oleh Kementrian Negara Lingkungan Hidup (2010) yang dapat dilihat pada Persamaan 3.37.

$$Em = \sum_{b=1,c=1}^{n,m}(VKT_{b,c} \times FE_{a,b,c} \times 10^{-3}) \quad (3.37)$$

$$VKT_{b,c} = M_{b,c} \times FE_{b,c} \quad (3.38)$$

dengan:

Em_a = beban pencemar untuk polutan a (ton/tahun)

$VKT_{b,c}$ = total panjang perjalanan tahunan kendaraan bermotor berkategori b yang menggunakan bahan bakar jenis c (km/tahun),

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

$FE_{b,c}$ = ekonomi BBM kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (km/liter),

$FE_{b,c}$ = besarnya polutan a yang diemisikan untuk setiap (kilometer) perjalanan yang dilakukan kendaraan bermotor kategori b yang menggunakan bahan bakar jenis c (g/km) atau disebut juga faktor emisi

a = jenis pencemar (secara berurutan untuk CO, NO_2, HC, PM_{10}, SO_2, dan CO_2),

b = kategori jenis kendaraan bermotor, dan

c = jenis bahan bakar (untuk besin dan solar).

Sari dkk. (2019) menyatakan bahwa nilai faktor emisi kendaraan saat kecepatan konstan (*cruise*) (Ec) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.39.

$$Ec_a = \sum(M_{b,c} \times FE_{b,c} \times EF_{a,b,c} \times 10^{-3}) \quad (3.39)$$

dengan:

Ec_a = beban emisi untuk polutan a saat kendaraan kondisi *cruise* (kg/jam),

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

$FE_{b,c}$ = ekonomi BBM kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (km/liter),

$EF_{a,b,c}$ = faktor emisi polutan a untuk kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (g/km),

a = jenis pencemar (secara berurutan untuk CO, NO_2, HC, PM_{10}, SO_2, dan CO_2),

b = kategori jenis kendaraan bermotor, dan

c = jenis bahan bakar (untuk besin dan solar).

Dengan demikian, nilai Ec dapat diubah bentuk menjadi Persamaan 3.40.

$$Ec_a = \sum(F_{1b,c} \times Q_{b,c} \times ld \times FE_{b,c} \times EF_{a,b,c} \times 10^{-5} \quad (3.40)$$

dengan:

Ec_a = beban emisi untuk polutan a saat kendaraan kondisi *cruise* (kg/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),

ld = panjang ruas jalan (km),

$FE_{b,c}$ = ekonomi BBM kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (km/liter),

$EF_{a,b,c}$= faktor emisi polutan a untuk kendaraan b yang berbahan bakar jenis c(g/km),

a = jenis pencemar (secara berurutan untuk CO, NO_2, HC, PM_{10}, SO_2, dan

CO_2),

b = kategori jenis kendaraan bermotor, dan

c = jenis bahan bakar (untuk besin dan solar).

Penentuan faktor emisi gas buang kendaraan berdasarkan kategori kendaraanuntuk kota metropolitan dan kota besar di Indonesia yang ditetapkan berdasarkan kategori kendaraan dapat dilihat pada Tabel 3.10 dan penetuan nilai ekonomi BBMkendaraan b yang berbahan bakar jenis c (km/liter) atau $FE_{b,c}$ dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.11.

Tabel 3.10 Faktor Emisi Gas Buang Kendaraan untuk Kota Besar di Indonesia yang Ditetapkan Berdasarkan Kategori Kendaraan

Kategori untuk perhitugan beban pencemar udara	CO (g/km)	HC (g/km)	NO_x (g/km)	PM10 (g/km)	SO2 (g/km)
Sepeda motor	14	5,9	0,29	0,24	0,008
Mobil	40	4	2	0,01	0,026
Bis	11	1,3	11,9	1,4	0,93
Truk	8,4	1,8	17,7	1,4	0,82

Sumber: Kementerian Negara Lingkungan Hidup (2010)

Tabel 3.11 Ekonomi BBM Kendaraan Bermotor

Kategori Kendaraan	Ekonomi BBM (km/liter)
Sepeda Motor/roda 3	28
Sedan	9,8
Truk 2 as	4,4
Truk 3 as/Bus sedang/mikrobus	4,0

Sumber: Kementerian Negara Lingkungan Hidup (2010)

Satuan F3 masih dalam (liter/smp-jam) sedangkan Mb,c dalam (liter/jam) sehingga perlu dikalikan dengan volume lalulintas dan lama waktu *idle* rata-rata. dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.40

$$Ei_a = \sum\left(\frac{IT_{b,d} x F_{3b,c} x Q_{b,c} x EF_{b,c} x FE_{a,b,c}}{60} x 10^{-3}\right) \quad (3.41)$$

dengan:

$IT_{3b,c}$ = waktu *idle* rata-rata untuk kendaraan b pada ruas jalan d (menit/hari).

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

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

$EF_{a,b,c}$ = faktor emisi polutan a (secara khusus pada persamaan ini adalah pencemar berjenis CO_2) untuk kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (g/kg),

$FE_{b,c}$ = ekonomi BBM kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (km/liter),

a = jenis pencemar (secara khusus pada persamaan ini adalah pencemar berjenis CO_2),

b = kategori jenis kendaraan bermotor, dan

c = jenis bahan bakar (untuk besin dan solar).

3.6.3 Biaya Kerugian Akibat Beban Emisi Gas Buang Kendaraan

Biaya kerugian akibat beban emisi kendaraan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.42.

$$\text{Biaya kerugian emisi}_a = E_a \text{ x biaya polutan}_a \quad (3.42)$$

Keterangan:

Biaya kerugian emisi = biaya kerugian yang ditimbulkan akibat polutan a (Rp/tahun),

Biaya polutan = biaya sebuah polutan a (Rp/ton),

E_a = beban pencemar untuk polutan a (ton/tahun), dan

a = jenis pencemar (secara berurutan untuk CO, NO_2, HC, PM_{10}, SO_2, dan CO_2).

Dalam penelitian ini ditetapkan bahwa nilai Ea sama dengan nilai Eca. Nilai Eca dihitung menggunakan Persamaan 3.42. Penentuan biaya polutan mengacu pada nilai biaya emisi yang dikeluarkan oleh Victoria Transport Policy Institute (2011). Besaran biaya emisi yang semula dinyatakan dalam satuan dolar per ton ($/ton) kemudian dikonversi ke mata uang Rupiah, dengan ketentuan bahwa 1 dolar Amerika Serikat setara dengan Rp16.698 (2 Januari 2026). Rincian biaya polutan dalam satuan $/ton dan hasil konversinya ke dalam satuan Rp/ton disajikan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.10 Biaya Polutan Per Ton

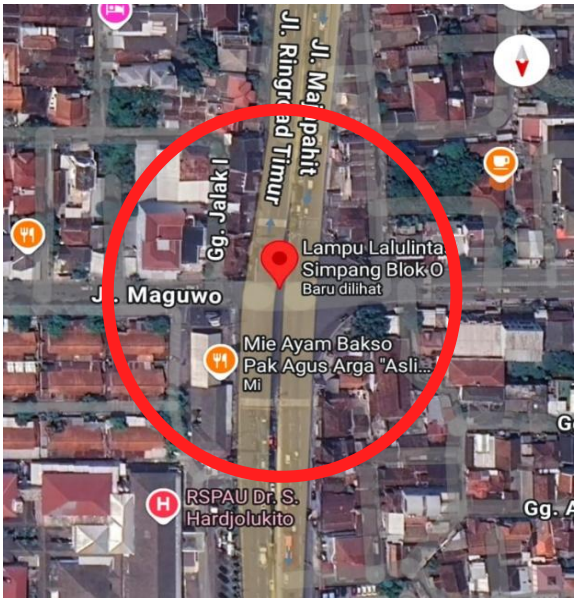
Jenis Polutan	Biaya Polutan ($/ton)	Biaya Polutan (Rp/ton)
Karbon Monoksida (CO)	205	3.326.771
Hidro Karbon (HC)	44	714.039
Nitrogen Oksida (NO_X)	934	15.157.092
Particulate Matter (PM_{10})	3,17	51.443
Karbon Dioksida (CO_2)	205	3.326.771
Oksida Belerang (SO_2)	1.000	16.228.150

Sumber: Victoria Transport Policy Institute (2011)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Simpang 4 dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas Simpang 4 APILL Blok O merupakan suatu simpang APILL yang menghubungkan antara Jalan Majapahit, Jalan Maguwo, dan Jalan Gedongkuning yang terletak di Kabupaten Bantul. Lokasi Simpang 4 APILL Blok O dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Maps, 2025)

4.2 Waktu Pelaksanaan Survei

Survei lapangan pada simpang APILL dilaksanakan selama dua hari, yaitu Senin, 23 Juli sebagai representasi hari kerja dan Sabtu, 21 Juli sebagai representasi akhir pekan. Periode pengamatan ditetapkan pada pukul 06.00–09.00 WIB, 11.00–13.00 WIB, dan 15.00–18.00 WIB. Penentuan waktu puncak (*peak hour*) dilakukan melalui survei pendahuluan selama satu minggu sebelum penelitian utama dilaksanakan. Pengamatan dilakukan secara langsung pada setiap lengan simpang dengan memantau fluktuasi panjang antrean kendaraan guna mengidentifikasi hari

dan jam dengan volume lalu lintas tertinggi. Sementara itu, pengambilan data geometrik jalan dilaksanakan pada malam hari untuk menjaga akurasi pengukuran serta meminimalisasi gangguan terhadap arus lalu lintas di lokasi penelitian.

4.3 Pelaksanaan Pengumpulan Data

Pengambilan data yang di laksanakan terdiri dari dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung dari lapangan dengan cara melakukan survei, Sementara itu, data sekunder didapatkan dari instansi terkait. Data primer dan sekunder yang dibutuhkan sebagai berikut.

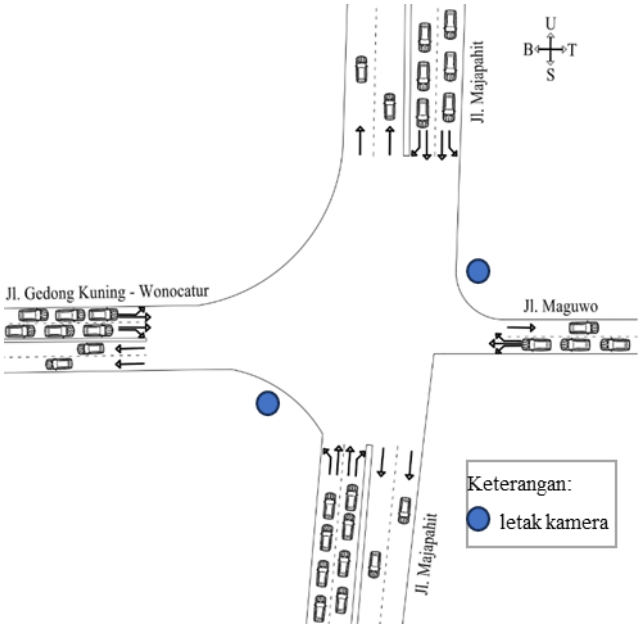
1. Data primer

   Data primer diperoleh dari melakukan survei langsung di lapangan. Dimana data primer yang diperlukan sebagai berikut:

   a. Data Geometri simpang digunakan untuk mengetahui kondisi fisik persimpangan. Pengumpulan data geometri dilakukan melalui pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan alat ukur berupa meteran dorong. Pengukuran yang dilakukan meliputi lebar lajur pada pendekat (lajur masuk) dan pelepas (lajur keluar). Selain itu, dilakukan pula pengamatan visual di lapangan untuk mengidentifikasi jumlah lajur, tipe pendekat, tipe simpang, serta ketersediaan median.

   b. Data Volume Lalu lintas

      Data volume lalu lintas diperoleh dari perhitungan jumlah kendaraan yang melewati simpang pada setiap lajur, dengan klasifikasi sebagai berikut: mobil penumpang (MP), kendaraan sedang (KS), sepeda motor (SM), dan kendaraan tidak bermotor (KTB). Data juga mencakup arah pergerakan kendaraan di simpang. Volume lalu lintas ini digunakan untuk menghitung kinerja simpang dan sebagai input pemodelan di perangkat lunak VISSIM. Pengambilan data dilakukan menggunakan rekaman video dari kamera yang dipasang pada titik-titik tertentu, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Titik Peletakan Kamera

c. Data Perilaku pengemudi

Pengamatan data perilaku mengemudi (*driving behaviour*) merupakan salah satu parameter penting dalam perangkat lunak simulasi mikrosimulasi lalu lintas PTV VISSIM yang berpengaruh terhadap interaksi antar kendaraan. Parameter ini perlu disesuaikan dengan kondisi nyata di lokasi penelitian melalui proses kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan mengumpulkan data perilaku mengemudi secara langsung di lapangan, khususnya dengan mengamati jarak antar kendaraan. Teknik survei yang digunakan yaitu dengan memberikan tanda berupa *double tape* pada permukaan aspal untuk menandai posisi kendaraan yang bersisian maupun yang berada dalam posisi depan-belakang. Selanjutnya, dilakukan pengukuran jarak antar kendaraan menggunakan alat ukur meteran. Jumlah sampel yang dikumpulkan sebanyak 40 kendaraan, dengan rincian: 10 sampel jarak antar kendaraan posisi depan-belakang saat kendaraan berhenti, 10 sampel saat kendaraan berjalan, 10 sampel jarak antar kendaraan bersisian saat kendaraan berhenti, dan 10 sampel saat kendaraan berjalan. Selain itu, aspek lain yang juga diamati dalam survei ini adalah kecenderungan kendaraan

dalam menyiap (mendahului atau menyalip) kendaraan lain, baik dari sisi kanan, kiri, maupun dari kedua arah.

d. Data panjang antrean.

Data panjang antrean kendaraan dilakukan melalui kegiatan pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan pada saat terjadi antrean di setiap lengan simpang. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui sejauh mana panjang antrean yang terbentuk akibat akumulasi kendaraan, khususnya pada periode waktu dengan tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi. Pengumpulan data dilakukan selama durasi 15 menit yang dipilih berdasarkan periode puncak (*peak hour*), yaitu waktu ketika volume kendaraan mencapai titik tertinggi. Pengukuran panjang antrean dilakukan hanya pada fase merah, dengan mencatat posisi kendaraan pertama hingga kendaraan terakhir yang mengantre, kemudian diukur dari garis henti (stop line) menuju posisi kendaraan terakhir menggunakan alat ukur seperti meteran atau dengan bantuan penanda visual yang telah tersedia di lapangan.

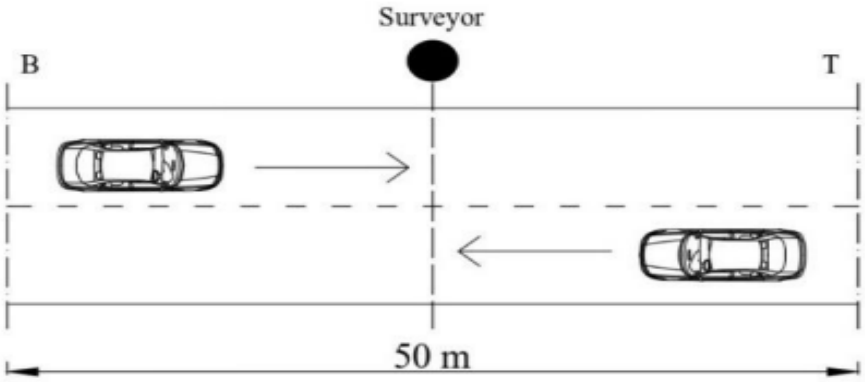
e. Data waktu siklus simpang

Data waktu siklus simpang diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap sistem fase dan durasi sinyal pada simpang yang dilengkapi dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) di lokasi penelitian. Pengamatan ini dilakukan dengan cara mencatat durasi masing-masing fase sinyal, yaitu waktu lampu hijau (*green time*), lampu kuning atau amber (*amber time*), serta waktu lampu merah menyala secara serentak pada seluruh lengan simpang atau yang dikenal sebagai *all red*. Pencatatan dilakukan secara manual dengan menggunakan alat bantu berupa *stopwatch* untuk memastikan ketepatan waktu yang diamati. Pengamatan dilakukan pada seluruh lengan simpang yang terkait, dengan tujuan untuk memperoleh data akurat mengenai distribusi waktu siklus yang berlaku di lokasi.

f. Data kecepatan kendaraan

Survei kecepatan kendaraan dilakukan melalui metode pengamatan langsung di lokasi penelitian dengan pendekatan observasi visual. Teknik pengukuran

yang digunakan adalah dengan mencatat waktu tempuh kendaraan saat melintasi suatu jarak tertentu yang telah ditetapkan sebelumnya. Jarak pengamatan ditentukan sepanjang 50 meter dan diberi penanda yang jelas di lokasi, serta ditempatkan pada posisi yang menjauhi mulut simpang untuk menghindari pengaruh perlambatan atau percepatan kendaraan akibat kondisi simpang. Penetapan panjang jarak pengamatan ini disesuaikan dengan estimasi kecepatan kendaraan yang umum terjadi di sekitar lokasi penelitian, agar hasil pengukuran waktu tempuh dapat merepresentasikan kecepatan aktual kendaraan dalam kondisi lalu lintas yang normal. Pengukuran waktu dilakukan menggunakan *stopwatch* oleh petugas survei yang ditempatkan pada titik awal dan akhir jarak pengamatan. Skema atau sketsa penempatan *surveyor* dan penanda jarak untuk survei kecepatan kendaraan ditampilkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Penempatan Surveyor Survei Kecepatan Kendaraan

2. Data Sekunder

   Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh melalui studi literatur dan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan menelusuri berbagai sumber terpercaya, seperti jurnal ilmiah, dokumen perencanaan, serta publikasi resmi dari badan pusat statistic Indonesia (BPS). Jenis data sekunder yang digunakan meliputi informasi mengenai jam puncak lalu lintas di sekitar lokasi penelitian, data jumlah penduduk yang

menggambarkan kepadatan dan potensi pergerakan kendaraan di wilayah tersebut, serta peta lokasi penelitian yang memberikan gambaran spasial mengenai kondisi eksisting Lokasi.

4.4 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat tulis dan formulir survei, digunakan untuk mencatat dan merekap hasil observasi secara manual di lapangan.
2. Meteran dorong, digunakan untuk mengukur elemen geometrik jalan seperti lebar jalan, panjang antrean, dan jarak antar kendaraan secara langsung di lokasi.
3. Cat semprot (pilox), digunakan sebagai penanda jarak atau titik-titik referensi di lapangan guna mempermudah proses pengamatan dan pengukuran.
4. Counter, digunakan untuk menghitung jumlah kendaraan yang melintas pada waktu tertentu selama proses observasi berlangsung.
5. Stopwatch, digunakan untuk mengukur durasi waktu dalam berbagai kegiatan survei, seperti waktu tempuh kendaraan atau siklus lampu lalu lintas.
6. Kamera, digunakan untuk merekam kondisi lalu lintas serta mendokumentasikan kegiatan survei sebagai data pendukung.
7. Powerbank, digunakan sebagai sumber daya tambahan untuk mengisi ulang baterai kamera selama kegiatan pengamatan berlangsung di lapangan.
8. Laptop, digunakan untuk proses pengolahan, perekapan, serta analisis data survei yang telah dikumpulkan dari lapangan.
9. Perangkat lunak PTV VISSIM, digunakan untuk melakukan pemodelan, simulasi, dan analisis kinerja simpang berdasarkan data hasil survei.

4.5 Analisis Data

Tahap analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dan software VISSIM. Data yang telah diperoleh selanjutnya dianalisis berdasarkan acuan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 serta dimodelkan menggunakan software VISSIM guna mengetahui

kinerja simpang dan merumuskan solusi alternatif untuk perbaikan simpang. Langkah-langkah analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

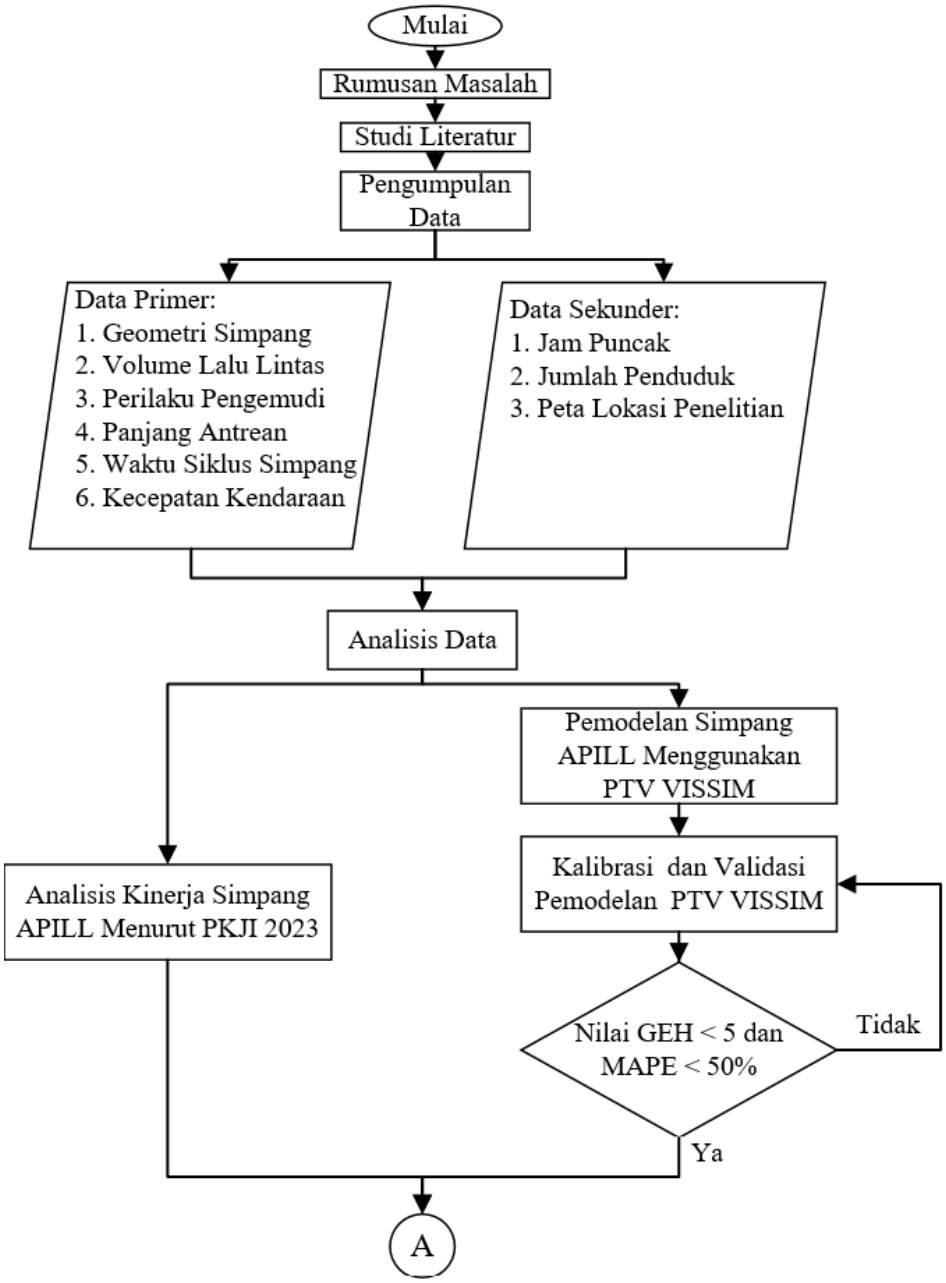
1. Data primer berupa volume lalu lintas yang diperoleh dari hasil pengamatan dan perhitungan di lokasi penelitian kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel untuk menentukan volume lalu lintas pada jam puncak.
2. Setelah memperoleh data volume lalu lintas pada jam puncak, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis untuk menentukan kinerja dan tingkat pelayanan simpang APILL pada kondisi eksisting. Analisis ini dilakukan dengan mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 serta menggunakan pemodelan melalui perangkat lunak VISSIM. Penilaian kinerja simpang APILL dilakukan dengan menghitung parameter kapasitas (C), nilai derajat kejenuhan, panjang antrean, angka henti, tundaan, serta penetapan tingkat pelayanan (*Level of Service*) berdasarkan ketentuan Menteri Perhubungan (2015).
3. Pemodelan Pemodelan menggunakan perangkat lunak VISSIM meliputi pembuatan jaringan jalan, penentuan jumlah kendaraan, pengaturan rute perjalanan, serta penyusunan komposisi kendaraan berdasarkan hasil survei lapangan.
4. Melakukan Kalibrasi dan validasi data pada pemodelan menggunakan perangkat lunak VISSIM dilakukan untuk memastikan akurasi hasil simulasi. Kalibrasi dilakukan dengan mengubah nilai pada parameter driving behaviour hingga model mendekati kondisi eksisting. Selanjutnya, validasi dilakukan untuk menguji kebenaran hasil kalibrasi, di mana proses kalibrasi dikatakan valid jika memenuhi kriteria Uji GEH dan Uji MAPE. Pada penelitian ini, validasi dilakukan melalui dua jenis pengujian, yaitu validasi internal menggunakan Uji GEH untuk parameter volume lalu lintas, serta validasi eksternal menggunakan Uji MAPE untuk parameter panjang antrean pada simpang APILL.
5. Membandingkan hasil analisis kinerja simpang APILL yang diperoleh menggunakan metode PKJI 2023 dengan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak VISSIM, dengan fokus pada Tingkat Pelayanan (*Level of Service*). Jika

hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja simpang tidak memenuhi standar yang ditetapkan, maka diperlukan usulan solusi alternatif untuk perbaikan.

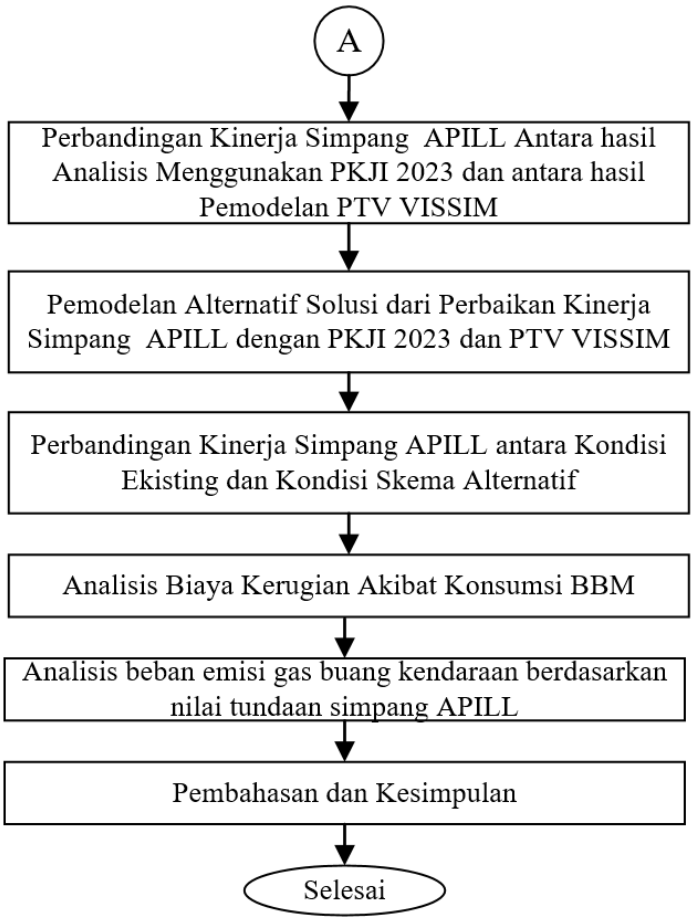
6. Mengusulkan alternatif solusi untuk meningkatkan kinerja simpang APILL berdasarkan Tingkat Pelayanan (*Level of Service*) yang mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015.
7. Membandingkan hasil kinerja simpang APILL antara kondisi eksisting atau kondisi simpang APILL tanpa penerapan alternatif dengan kondisi penerapan alternatif berdasarkan hasil pemodelan PTV VISSIM.
8. Menetapkan alternatif solusi yang paling efektif dan sesuai untuk perbaikan kinerja simpang.
9. Menganalisis beban emisi gas buang kendaraan pada kondisi eksisting dan pada kondisi penerapan alternatif berdasarkan hasil pemodelan PTV VISSIM.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian atau tahapan-tahapan pekerjaan yang akan dilakukan selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.4 Bagan Alir Penelitian

BAB V
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Hasil Pengamatan

Data penelitian dalam studi ini terdiri atas data primer dan data sekunder yang digunakan untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal. Data primer diperoleh melalui survei langsung di lapangan pada lokasi simpang APILL. Pengamatan dilakukan dengan merekam arus lalu lintas, kemudian menghitung jumlah kendaraan dalam satuan kendaraan per jam (kend/jam) dan mengonversinya menjadi satuan mobil penumpang per jam (SMP/jam) berdasarkan standar PKJI 2023. Selain volume lalu lintas, survei lapangan juga mencakup pengukuran geometri simpang, waktu siklus sinyal, panjang antrean, perilaku berkendara (*Driving behaviour*), serta kecepatan kendaraan pada setiap lengan simpang. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari instansi terkait dan berisi informasi pendukung seperti data kependudukan serta dokumen perencanaan yang relevan. Seluruh data yang dikumpulkan digunakan sebagai dasar perhitungan dengan metode PKJI 2023 dan sebagai input dalam pemodelan simulasi menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Dengan demikian, data penelitian ini memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi aktual simpang dan menjadi acuan dalam proses analisis serta penyusunan rekomendasi perbaikan.

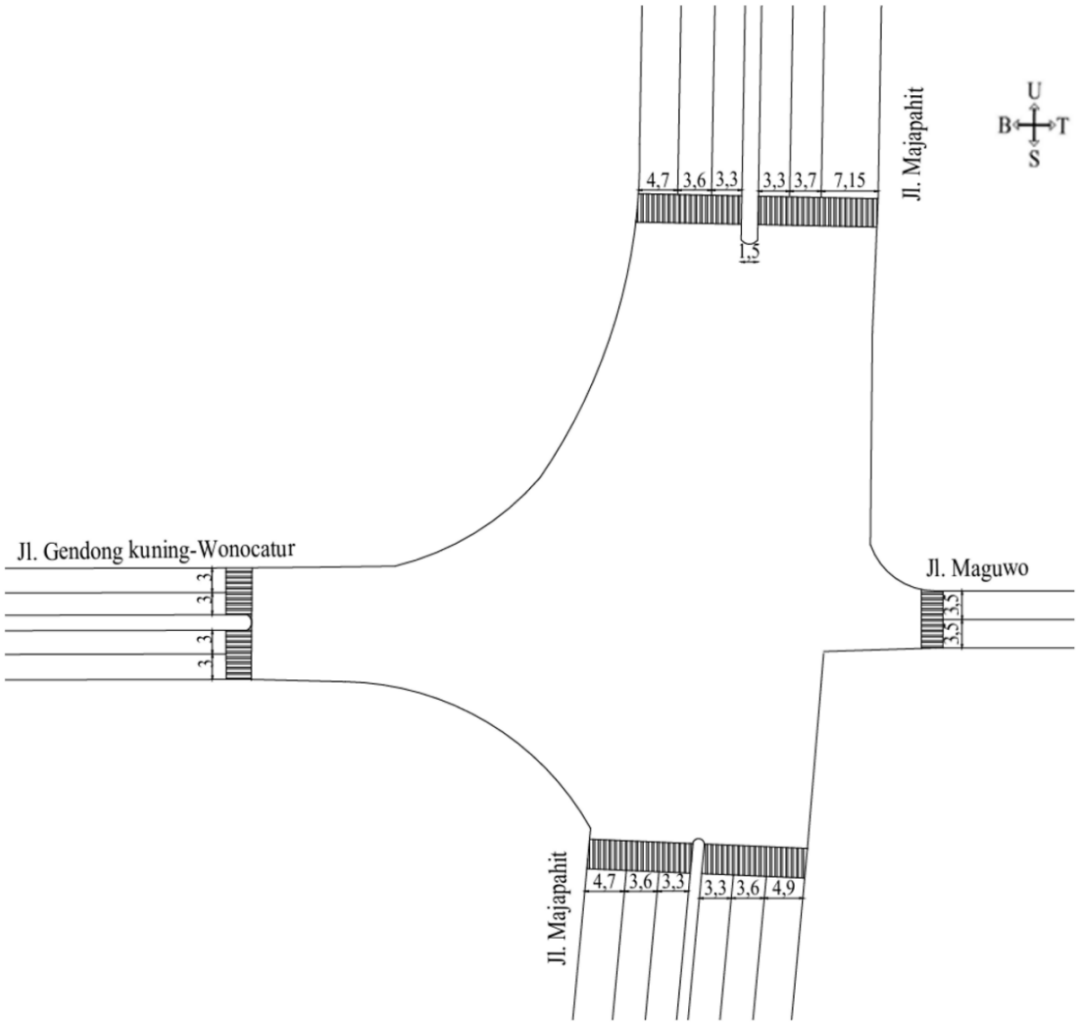
5.1.1 Data Geometri Simpang

Data geometri simpang diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan terhadap lebar pendekat dan lebar ruas jalan pada setiap lengan simpang. Pengukuran dilakukan menggunakan alat walking measure untuk menentukan lebar masuk, lebar keluar, serta lebar efektif yang diperlukan dalam analisis. Hasil pengukuran tersebut kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan ilustrasi untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi fisik simpang.

Rincian lengkap geometri pada simpang APILL Blok O Ringroad Timur dilampirkan pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.1.

Tabel 5. 1 Data Geometri Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

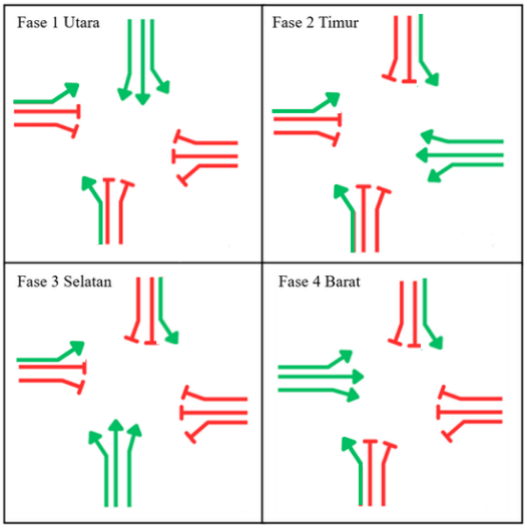
Pendekat	**Ruas Jalan**	**Median**	**BKiJT**	**Lebar Masuk** (m)	**Lebar Keluar** (m)	**Lebar Efektif** (m)
Utara	Jl. Majapahit	Ada	Ada	14,15	11,6	14,15
Timur	Jl. Maguwo	Tidak	Tidak	3,5	3,5	3,5
Selatan	Jl. Majapahit	Ada	Ada	11,6	11,8	11,8
Barat	Jl. Gedong Kuning-Wonocatur	Ada	Ada	3,3	3,3	3,3



Gambar 5. 1 Geometri Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

5.1.2 Data Pengaturan Isyarat Lalu Lintas

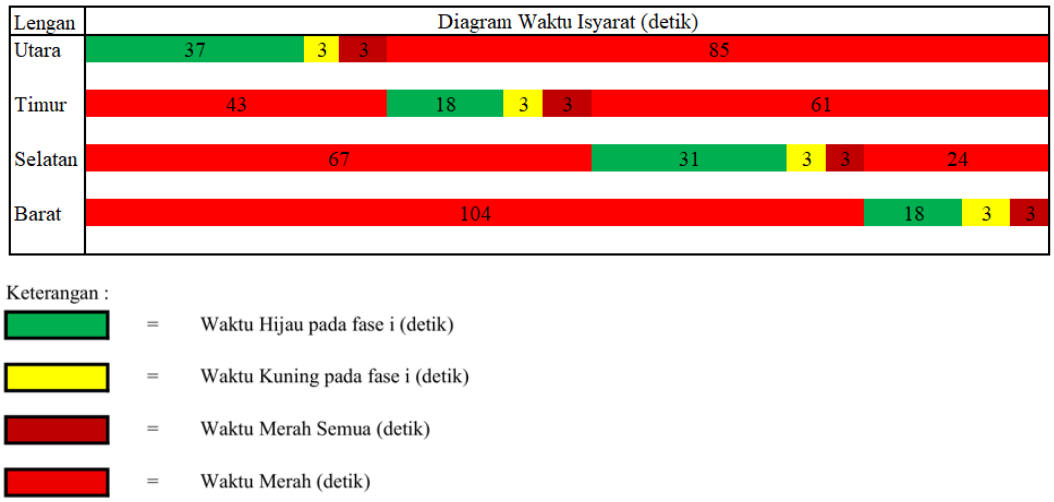
Data pengaturan isyarat lalu lintas mencakup informasi mengenai fase isyarat serta durasi waktu hijau, kuning, dan merah pada setiap fase. Simpang APILL Blok O Ringroad Timur memiliki waktu siklus sebesar 128 detik dengan konfigurasi pengaturan yang terdiri atas empat fase. Seluruh fase pada setiap pendekat beroperasi sebagai fase terlindung, sehingga setiap pergerakan kendaraan mendapatkan alokasi waktu tersendiri untuk melintasi persimpangan tanpa menimbulkan konflik dengan arus dari arah berlawanan. Ilustrasi mengenai urutan fase dapat dilihat pada Gambar 5.2. dan untuk data rincian waktu isyarat dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Gambar 5.3.



Gambar 5. 2 Tahapan Fase Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

Tabel 5. 2 Data Waktu Isyarat Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

Pendekat	**Fase ke-**	**Waktu Isyarat**				**BKIJT**	**Waktu siklus** (detik)
		Hijau (detik)	**Kuning** (detik)	**Merah semua** (detik)	**Merah** (detik)		
Utara	1	37	3	3	85	Ada	128
Timur	2	18	3	3	104	Tidak	
Selatan	3	31	3	3	91	Ada	
Barat	4	18	3	3	104	Ada	



Gambar 5.3 Diagram Waktu Isyarat Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

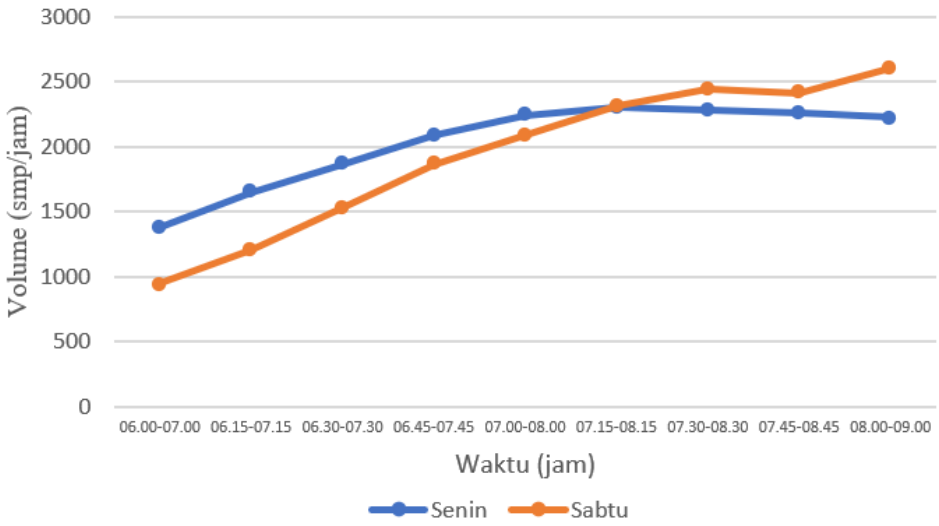
5.1.3 Data Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas pada penelitian ini diperoleh melalui kegiatan survei yang dilaksanakan selama dua hari, yaitu pada hari Sabtu, 21 Juli 2025, dan Senin, 23 Juli 2025. Pengambilan data dilakukan dengan memanfaatkan kamera perekam yang ditempatkan pada titik pengamatan untuk merekam arus kendaraan pada tiga rentang waktu, yaitu pagi (06.00–09.00 WIB), siang (11.00–13.00 WIB), dan sore (15.00–18.00 WIB). Rekaman tersebut kemudian dianalisis secara manual untuk menghitung jumlah kendaraan yang melintas pada setiap pendekat, dan hasilnya dinyatakan dalam satuan kendaraan per jam (kend/jam).

Hasil rekapitulasi dari seluruh sesi pengamatan menunjukkan bahwa volume lalu lintas tertinggi atau jam puncak terjadi pada hari Sabtu, 21 Juli 2025, pada periode waktu 12.00–13.00 WIB. Volume puncak ini merupakan nilai tertinggi yang tercatat dalam interval satu jam selama kegiatan survei berlangsung. Informasi lengkap mengenai rekapitulasi volume lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.3 sampai dengan Tabel 5.5, serta dilihant pada Gambar 5.4 sampai dengan Gambar 5.6.

Tabel 5. 3 Data Volume Lalu Lintas Sesi Pagi

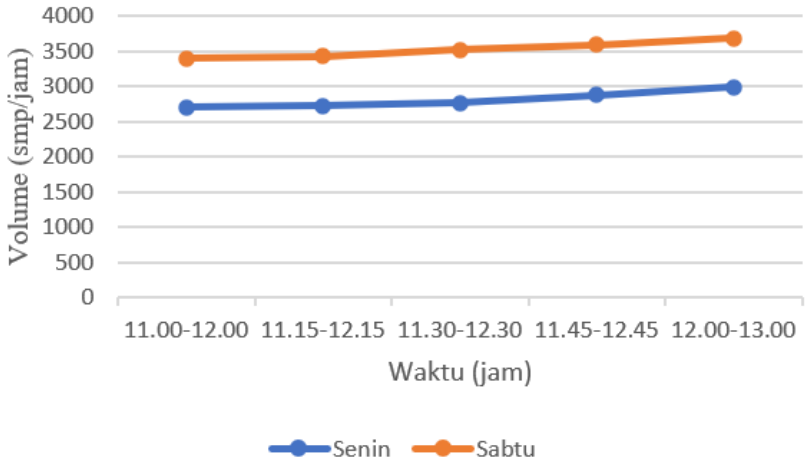
Waktu	Volume lalu lintas Senin, 23 Juli 2025 (smp/jam)	Volume lalu lintas Sabtu, 21 Juli 2025 (smp/jam)
6.00-7.00	1385	945
6.15-7.15	1651	1207
6.30-7.30	1868	1533
6.45-7.45	2091	1863
7.00-8.00	2241	2085
7.15-8.15	2304	2316
7.30-8.30	2288	2445
7.45-8.45	2263	2416
8.00-9.00	2226	2604



Gambar 5. 4 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Pagi

Tabel 5. 4 Data Volume Lalu Lintas Sesi Siang

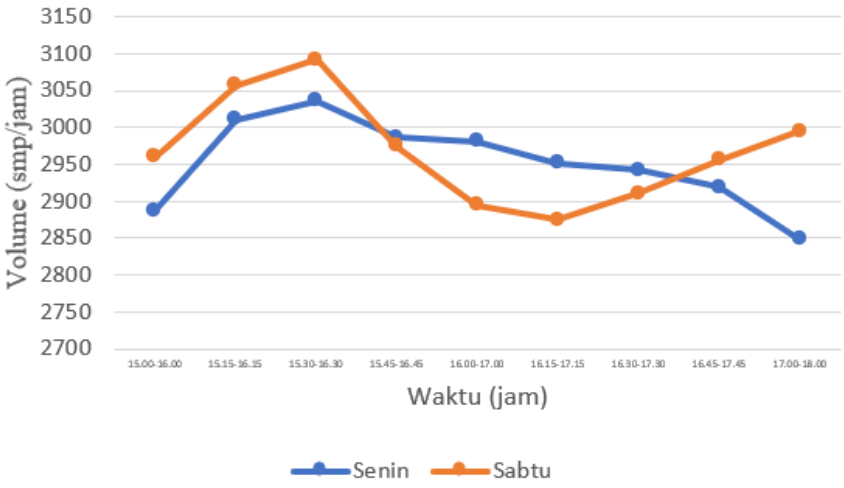
Waktu	Volume lalu lintas Senin, 23 Juli 2025 (smp/jam)	Volume lalu lintas Sabtu, 21 Juli 2025 (smp/jam)
11.00-12.00	2703	3392
11.15-12.15	2716	3425
11.30-12.30	2764	3517
11.45-12.45	2868	3590
12.00-13.00	2987	3649



Gambar 5. 5 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Siang

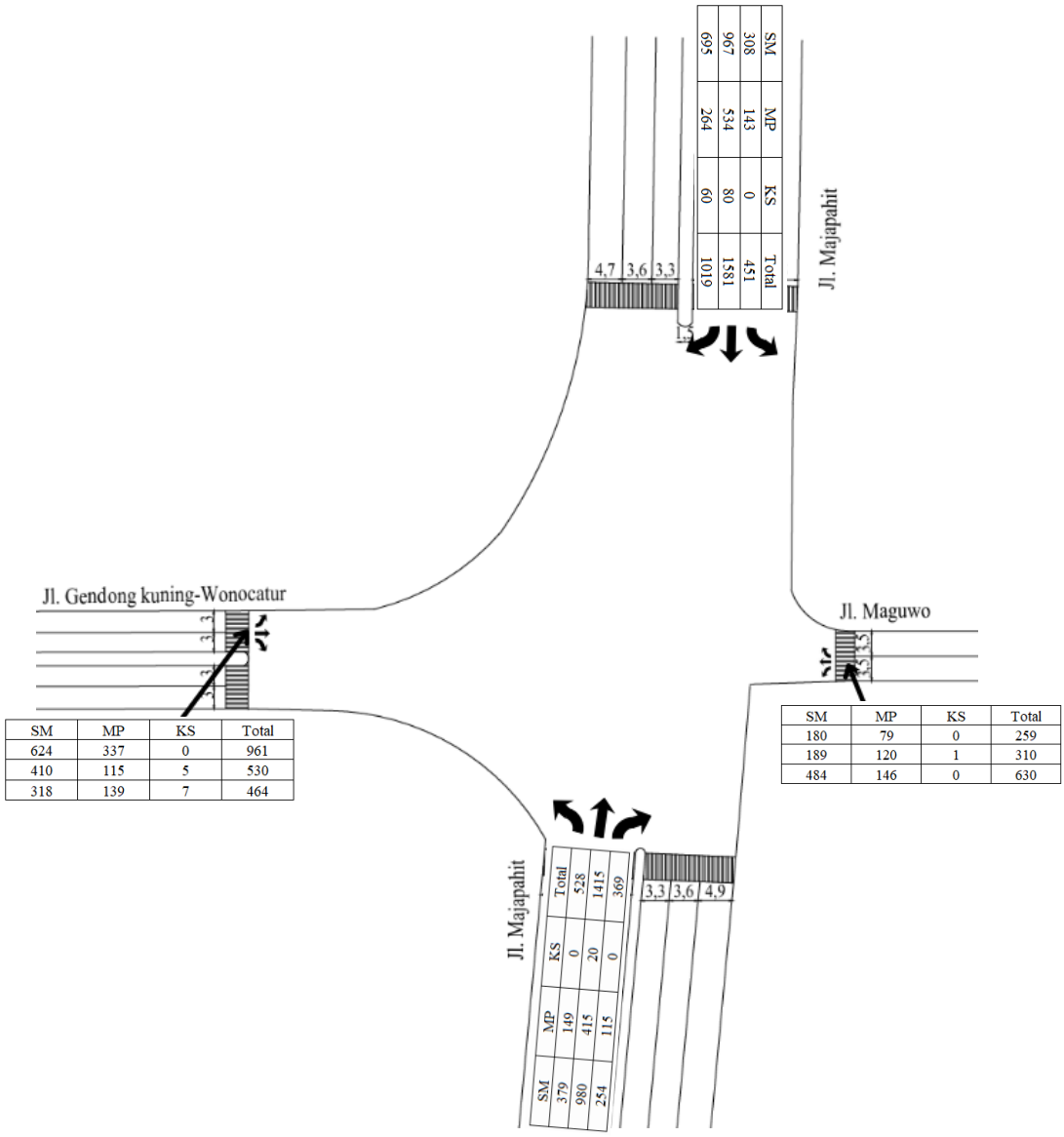
Tabel 5. 5 Data Volume Lalu Lintas Sesi Sore

Waktu	**Volume lalu lintas Senin, 23 Juli 2025** (smp/jam)	**Volume lalu lintas Sabtu, 21 Juli 2025** (smp/jam)
15.00-16.00	2888	2960
15.15-16.15	3011	3057
15.30-16.30	3036	3092
15.45-16.45	2987	2976
16.00-17.00	2981	2895
16.15-17.15	2952	2875
16.30-17.30	2943	2911
16.45-17.45	2919	2956
17.00-18.00	2849	2996



Gambar 5. 6 Grafik Data Volume Lalu Lintas Sesi Sore

Berdasarkan data dan grafik yang telah disajikan, jam puncak lalu lintas pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur terjadi pada hari Sabtu pukul 12.00–13.00 WIB dengan total volume sebesar 3.649 smp/jam. Volume ini terdiri atas mobil penumpang (MP), kendaraan sedang (KS), dan sepeda motor (SM), yang masing-masing didistribusikan berdasarkan arah pergerakan pada setiap lengan pendekat sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.7. Kendaraan tak bermotor (KTB) tidak dimasukkan dalam perhitungan karena analisis penelitian difokuskan pada kendaraan bermotor yang berpengaruh langsung terhadap kinerja simpang.



Gambar 5. 7 Distribusi Pergerakan Volume Lalu Lintas Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

5.1.4 Data Panjang Antrean

Panjang antrean merupakan jarak kendaraan yang menunggu di belakang garis henti ketika sinyal lalu lintas menunjukkan lampu merah. Pengukuran panjang antrean dilakukan secara langsung di lapangan selama kegiatan survei berlangsung. Hasil pengamatan pada periode jam puncak, yaitu sesi siang hari Sabtu, pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur disajikan pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Data Panjang Antrean Maksimum dan Rata-Rata Pada Pendekat Blok O Ringroad Timur

Pendekat	**Ruas Jalan**	**Maksimum (m)**	**Rata- Rata (m)**
Utara	Jl. Majapahit	600	194
Timur	Jl. Maguwo	350	106
Selatan	Jl. Majapahit	535	190
Barat	Jl. Gedung Kuning-Wonocatur	220	74

5.1.4 Data Kecepatan Kendaraan

Data kecepatan kendaraan pada penelitian ini tidak digunakan dalam perhitungan berdasarkan PKJI 2023, tetapi dimanfaatkan sebagai salah satu parameter dalam proses pemodelan menggunakan perangkat lunak VISSIM. Pengambilan data dilakukan pada tiga sesi waktu, yaitu pagi, siang, dan sore. Selama survei, surveyor mencatat waktu tempuh setiap kendaraan untuk menempuh jarak 25 meter pada lokasi yang telah ditentukan. Rekapitulasi kecepatan rata-rata kendaraan pada sesi siang hari Sabtu 21 Juli 2025 disajikan pada Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Data Kecepatan Kendaraan Rata-rata Simpang APILL APILL Blok O Ringroad Timur

Pendekat	**SM** (Km/jam)	**MP** (Km/jam)	**KS** (Km/jam)	**Rata-rata** (Km/jam)
Utara	38,41	29,37	25,34	33,86
Timur	40,12	30,05	29,42	30,87
Selatan	35,98	29,28	25,15	32,10
Barat	37,22	28,71	24,52	31,69

5.1.4 Data Perilaku Berkendara / *Driving behaviour*

Parameter perilaku berkendara digunakan untuk mengatur pola interaksi antar kendaraan yang akan disimulasikan pada perangkat lunak VISSIM. Proses kalibrasi dilakukan agar hasil pemodelan mampu merepresentasikan kondisi aktual di lokasi penelitian. Data perilaku berkendara diperoleh melalui pengamatan dan pengukuran langsung terhadap jarak antar kendaraan di lapangan. Dalam penelitian ini dikumpulkan sebanyak 10 sampel pada setiap sesi, yang terdiri atas jarak sejajar antar kendaraan saat berhenti, jarak depan–belakang saat berhenti, jarak sejajar antar kendaraan saat bergerak, serta jarak depan–belakang antar kendaraan saat bergerak. Data lengkap mengenai parameter perilaku berkendara disajikan pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Data Perilaku Berkendara / *Driving Behaviour* Pendekat Utara Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

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

5.2 Data Pendukung

Simpang APILL Blok O Ringroad Timur merupakan persimpanga yang menghubungkan antara Jalan Majapahit, Jalan Maguwo, dan Jalan Gedongkuning, yang secara administratif berada di wilayah Kabupaten Bantul. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Bantul, jumlah penduduk di Kabupaten Bantul pada tahun 2025 mencapai 1.106.992 jiwa.

5.3 Analisa Kinerja Simpang Berdasarkan PKJI 2023

PKJI (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia) 2023 digunakan sebagai acuan utama dalam menganalisis kinerja Simpang APILL Blok O Ringroad Timur. Melalui pedoman ini, analisis kinerja simpang dapat menghasilkan beberapa parameter penting, antara lain kapasitas simpang, tingkat derajat kejenuhan, besarnya tundaan lalu lintas, serta estimasi panjang antrean kendaraan. Nilai tundaan yang diperoleh dari hasil perhitungan kemudian digunakan untuk menentukan tingkat pelayanan (Level of Service) pada simpang tersebut. Data volume lalu lintas yang digunakan dalam analisis ini merupakan data periode jam puncak, yaitu pada hari Sabtu, 21 Juli 2025, pukul 11.00 hingga 13.00 WIB. Analisis terhadap kinerja eksisting Simpang APILL Blok O Ringroad Timur selanjutnya disajikan melalui perhitungan-perhitungan pada bagian berikut.

5.3.1 Konversi Volume Lalu Lintas (q)

Konversi volume lalu lintas merupakan tahap untuk mengubah satuan kendaraan per jam (kend/jam) pada periode jam puncak menjadi satuan setara mobil penumpang per jam (SMP/jam). Proses konversi ini dilakukan dengan menggunakan nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) sebagaimana tercantum pada Tabel 3.1. Melalui proses tersebut, volume lalu lintas dari berbagai jenis kendaraan dapat diseragamkan sehingga lebih representatif untuk analisis kinerja simpang. Hasil perhitungan volume lalu lintas dalam satuan SMP/jam disajikan pada bagian berikutnya.

1. Pendekat Utara (Jl.Majapahit)
   a. Sepeda Motor (SM), EMP = 0,15
      1) Belok Kiri (BKi) $= 308 \times 0{,}15$
         $= 46{,}20$ SMP/jam
      2) Lurus (LRS) $= 967 \times 0{,}15$
         $= 145{,}05$ SMP/jam
      3) Belok Kanan (BKa) $= 695 \times 0{,}15$
         $= 104{,}25$ SMP/jam

b. Mobil Penumpang (MP), EMP = 1

1) Belok Kiri (BKi) = 143×1
= 143 SMP/jam

2) Lurus (LRS) = 534×1
= 534 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) = 264×1
= 264 SMP/jam

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

1) Belok Kiri (BKi) = $0 \times 1{,}3$
= 0 SMP/jam

2) Lurus (LRS) = $80 \times 1{,}3$
= 104 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) = $60 \times 1{,}3$
= 78 SMP/jam

d. Volume kendaraan yang telah di konversi pendekat Utara

Volume (q) = 1418,50 SMP/jam

2. Pendekat Timur (Jl. Maguwo)

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

1) Belok Kiri (BKi) = $180 \times 0{,}15$
= 27 SMP/jam

2) Lurus (LRS) = $189 \times 0{,}15$
= 28,35 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) = $484 \times 0{,}15$
= 72,60 SMP/jam

b. Mobil Penumpang (MP), EMP = 1

1) Belok Kiri (BKi) = 79×1
= 79 SMP/jam

2) Lurus (LRS) = 120×1
= 120 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) = 146×1
= 146 SMP/jam

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

1) Belok Kiri (BKi) = $0 \times 1{,}3$
= 0 SMP/jam

2) Lurus (LRS) = $1 \times 1{,}3$
= 1,3 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) = $0 \times 1{,}3$
= 0 SMP/jam

d. Volume kendaraan yang telah di konversi Pendekat Timur
Volume (q) = 474,25 SMP/jam

3. Pendekat Selatan (Jl. Majapahit)

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

1) Belok Kiri (BKi) = $379 \times 0{,}15$
= 56,85 SMP/jam

2) Lurus (LRS) = $980 \times 0{,}15$
= 147 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) = $254 \times 0{,}15$
= 38,10 SMP/jam

b. Mobil Penumpang (MP), EMP = 1

1) Belok Kiri (BKi) = 149×1
= 149SMP/jam

2) Lurus (LRS) = 415×1
= 415 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) = 115×1
= 115 SMP/jam

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

1) Belok Kiri (BKi) = $0 \times 1{,}3$
= 0 SMP/jam

2) Lurus (LRS) = $20 \times 1{,}3$
= 26 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) = $0 \times 1{,}3$
= 0 SMP/jam

d. Volume Kendaraan yang telah di konversi pendekat Selatan

Volume (q) = 946,95 SMP/jam

4. Pendekat Barat (Jl. Gedong Kuning-Wonocatur)

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

1) Belok Kiri (BKi) $= 624 \times 0{,}15$

= 93,60 SMP/jam

2) Lurus (LRS) $= 410 \times 0{,}15$

= 61,50 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) $= 318 \times 0{,}15$

= 47,70 SMP/jam

b. Mobil Penumpang (MP), EMP = 1

1) Belok Kiri (BKi) $= 337 \times 1$

= 337 SMP/jam

2) Lurus (LRS) $= 115 \times 1$

= 115 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) $= 139 \times 1$

= 139 SMP/jam

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

1) Belok Kiri (BKi) $= 0 \times 1{,}3$

= 0 SMP/jam

2) Lurus (LRS) $= 5 \times 1{,}3$

= 6,50 SMP/jam

3) Belok Kanan (BKa) $= 7 \times 1{,}3$

= 9,10 SMP/jam

d. Volume Kendaraan yang telah di konversi pendekat Barat

Volume (q) = 809,40 SMP/jam

Total volume kendaraan pada periode jam puncak merupakan hasil penjumlahan dari seluruh pendekat, yaitu 1.418,50 SMP/jam, 474,25 SMP/jam, 946,95 SMP/jam, dan 809,40 SMP/jam. Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh volume total kendaraan sebesar 3.649,10 SMP/jam. Rekapitulasi lengkap

mengenai volume kendaraan dalam satuan SMP/jam pada periode jam puncak hari Sabtu, 21 Juli 2025, disajikan pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Volume Kendaraan Periode Jam Puncak Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

Pendekat	Arah	SM		MP		KS		Total Kendaraan Bermotor		Rasio Belok	KTB	Rasio KTB
		EMP = 0,15		EMP = 1		EMP = 1,3						
		kend/jam	SMP/jam	kend/jam	SMP/jam	kend/jam	SMP/jam	kend/jam	SMP/jam			
Utara	BKi	308	46,20	143	143	0	0	451	189,20	0,13	3	0,001
	LRS	967	145,05	534	534	80	104	1581	783,05	-	1	
	Bka	695	104,25	264	264	60	78	1019	446,25	0,31	2	
	Total	1970	296	941	941	140	182,00	3051	1419			
Timur	BKi	180	27,00	79	79	0	0,00	259	106,00	0,22	4	0,008
	LRS	189	28,35	120	120	1	1,30	310	149,65	-	3	
	Bka	484	72,60	146	146	0	0,00	630	218,60	0,46	3	
	Total	853	128	345	345	1	1,30	1199	474			
Selatan	BKi	379	56,85	149	149	0	0	528	205,85	0,22	2	0,001
	LRS	980	147,00	415	415	20	26	1415	588	-	0	
	Bka	254	38,10	115	115	0	0	369	153,10	0,46	2	
	Total	1613	242	679	679	20	26,00	2312	947			
Barat	BKi	624	93,60	337	337	0	0	961	430,60	0,53	3	0,002
	LRS	410	61,50	115	115	5	6,50	530	183,00	-	2	
	Bka	318	47,70	139	139	7	9,10	464	195,80	0,24	0	
	Total	1352	203	591	591	12	15,60	1955	809			

5.3.2 Perhitungan Arus Jenuh Dasar (J_0)

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

1. Arus Jenuh Dasar Pendekat Utara

   $S_0 = 600 \times L_e$

   $= 600 \times 7$

   $= 4200$ SMP/jam

2. Arus Jenuh Dasar Pendekat Timur

   $S_0 = 600 \times L_e$

   $= 600 \times 3{,}5$

   $= 2100$ SMP/jam

3. Arus Jenuh Dasar Pendekat Selatan

   $S_0 = 600 \times L_e$

   $= 600 \times 6{,}9$

   $= 4140$ SMP/jam

4. Arus Jenuh Dasar Pendekat Barat

   $S_0 = 600 \times L_e$

   $= 600 \times 3$

   $= 1800$ SMP/jam

5.3.3 Penentuan Nilai Faktor Koreksi

Dalam analisis perhitungan arus jenuh, diperlukan identifikasi berbagai faktor koreksi yang memengaruhi kapasitas pendekat. Faktor-faktor tersebut meliputi faktor hambatan samping (FHS), faktor ukuran kota (FUK), faktor kelandaian (FG), faktor parkir (FP), faktor belok kiri (FBKi), serta faktor belok kanan (FBKa). Seluruh faktor koreksi tersebut digunakan untuk menyesuaikan nilai arus jenuh agar sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Proses perhitungan arus jenuh pada simpang empat APILL Simpang Blok O Ringroad Timur dijelaskan secara rinci pada bagian berikutnya.

1. Faktor Hambatan Samping (F_{HS})

   Penentuan faktor hambatan samping dilakukan secara kualitatif melalui analisis dokumentasi visual berupa foto pada setiap pendekat di lokasi penelitian. Data tersebut digunakan untuk mengidentifikasi tipe lingkungan jalan serta menentukan tingkat hambatan samping pada masing-masing pendekat. Kategori kelas hambatan samping ditetapkan dengan merujuk pada Tabel 5.10, berdasarkan karakteristik khusus yang tercantum, dan diperkuat oleh hasil pengamatan visual sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.8 Kondisi Pendekat Utara (Jl. Majapahit) pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dapat di lihat pada Gambar 5.8.

Gambar 5.8 Hambatan Samping Pendekat Utara

Berdasarkan hasil identifikasi yang ditunjukkan pada Gambar 5.8 serta merujuk pada Tabel 5.16, lingkungan pada Pendekat Utara di Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dikategorikan sebagai tipe lingkungan komersial (KOM) dengan tingkat hambatan samping yang tinggi. Penilaian tersebut didasarkan pada keberadaan berbagai aktivitas di sekitar lokasi, seperti rumah sakit, kawasan perumahan, dan perkantoran, serta tingginya intensitas kegiatan yang berlangsung di sisi jalan.

Kondisi Pendekat Timur (Jl. Maguwo) pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dapat di lihat pada Gambar 5.9.

Gambar 5.9 Hambatan Samping Pendekat Timur

Berdasarkan hasil identifikasi yang ditunjukkan pada Gambar 5.9 serta merujuk pada Tabel 5.16, lingkungan pada Pendekat Timur di Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dikategorikan sebagai tipe lingkungan komersial (KOM) dengan tingkat hambatan samping tinggi. Penetapan kategori tersebut dipengaruhi oleh tingginya aktivitas komersial di sekitar kawasan simpang, termasuk keberadaan restoran, pertokoan, dan perkantoran, serta intensitas kegiatan di sisi jalan yang cukup tinggi. Kondisi Pendekat Selatan (Jl. Majapahit) pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dapat di lihat pada Gambar 5.10.

Gambar 5.10 Hambatan Samping Pendekat Selatan

Berdasarkan hasil identifikasi yang ditunjukkan pada Gambar 5.10 serta merujuk pada Tabel 5.16, lingkungan pada Pendekat Selatan di Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dikategorikan sebagai tipe lingkungan komersial (KOM) dengan tingkat hambatan samping yang tinggi. Penilaian tersebut didasarkan pada keberadaan berbagai aktivitas di sekitar lokasi, seperti rumah makan, bengkel, kawasan perumahan, dan perkantoran, serta tingginya intensitas kegiatan yang berlangsung di sisi jalan.

Kondisi Pendekat Barat (Jl. Gedong Kuning- Wonocatur) pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dapat di lihat pada gambar 5.11.

Gambar 5.11 Hambatan Samping Pendekat Barat

Berdasarkan hasil identifikasi pada Gambar 5.11, lingkungan pada Pendekat Barat di Simpang APILL Blok O Ringroad Timur ditetapkan sebagai area dengan tipe lingkungan komersial (KOM) dan tingkat hambatan samping yang

tinggi. Penetapan ini didukung oleh keberadaan berbagai aktivitas komersial di sekitar lokasi, seperti restoran, pertokoan, dan perkantoran, yang berkontribusi terhadap meningkatnya intensitas aktivitas di sepanjang sisi jalan. Rekapitulasi penentuan tipe lingkungan dan tingkat hambatan samping untuk seluruh pendekat ditampilkan secara lengkap pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 10 Nilai Faktor Hambatan Samping yang Digunakan dalam Analisis

Pendekat	Ruas Jalan	Tipe Simpang	Tipe Lingkungan	Faktor Hambatan Samping (F_{HS})
Utara	Jl. Majapahit	Terlindung	KOM	0,93
Timur	Jl. Maguwo		KOM	0,95
Selatan	Jl. Majapahit		KOM	0,94
Barat	Jl. Gedung Kuning-Wonocatur		KOM	0,95

2. Faktor Ukuran Kota (F_{UK})

   Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik Kabupaten Sleman, jumlah penduduk Kabupaten Bantul pada tahun 2025 tercatat sebanyak 1.106.992 jiwa. Dengan merujuk pada ketentuan klasifikasi ukuran kota pada Tabel 3.4, jumlah penduduk tersebut menghasilkan nilai faktor koreksi ukuran kota sebesar 1.

3. Faktor Kelandaian (F_G)

   Berdasarkan hasil pengukuran kemiringan menggunakan perangkat lunak Google Earth, diketahui bahwa nilai slope pada Pendekat Utara, Timur, Selatan, dan Barat adalah 0%. Nilai kemiringan tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan faktor koreksi kelandaian (FG) pada masing-masing pendekat. Informasi lengkap mengenai nilai faktor kelandaian yang diterapkan pada setiap pendekat disajikan pada Tabel 5.12

Tabel 5. 11 Nilai Faktor Kelandaian yang Digunakan dalam Analisis

Pendekat	Ruas Jalan	Kelandaian (%)	Faktor Kelandaian (F_G)
Utara	Jl. Majapahit	0	1
Timur	Jl. Maguwo	0	1
Selatan	Jl. Majapahit	0	1
Barat	Jl. Gedung Kuning-Wonocatur	0	1

4. Faktor Koreksi Parkir (F_P)

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

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

   a. Pada Pendekat Utara, Selatan, dan Barat di Simpang APILL Blok O Ringroad Timur, pergerakan belok kanan beroperasi pada fase terlindung (P) dan masing-masing pendekat dilengkapi dengan median. Berdasarkan ketentuan PKJI, kondisi tersebut tidak memerlukan penyesuaian tambahan terhadap manuver belok kanan, sehingga faktor koreksi belok kanan (FBKa) yang digunakan pada ketiga pendekat tersebut ditetapkan sebesar 1,0.

   b. Pada Pendekat Timur di Simpang APILL Blok O Ringroad Timur, manuver belok kanan beroperasi pada fase terlindung (P), namun tidak didukung oleh keberadaan median. Kondisi tersebut menyebabkan perlunya penentuan faktor koreksi belok kanan (FBKa) melalui proses perhitungan khusus. Oleh karena itu, nilai FBKa untuk pendekat ini dihitung dengan menggunakan persamaan yang berlaku sesuai ketentuan PKJI.

   $F_{BKa} = 1{,}0 + R_{BKa} \times 0{,}26$

   $= 1{,}0 + 0{,}461 \times 0{,}26$

   $= 1{,}12$

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

   Pada Pendekat Utara, Selatan, dan Barat di Simpang APILL Blok O Ringroad Timur, kendaraan yang berbelok kiri memperoleh fasilitas belok kiri jalan terus (BKiJT), sehingga nilai faktor belok kiri (FBKi) untuk ketiga pendekat tersebut ditetapkan sebesar 1,0. Sementara itu, pada Pendekat Timur, kendaraan yang melakukan manuver belok kiri harus mengikuti kendali lampu APILL. Oleh karena itu, penentuan nilai faktor belok kiri pada pendekat tersebut memerlukan perhitungan khusus yang dilakukan menggunakan persamaan sesuai ketentuan PKJI.

   a. Pendekat Timur

   $F_{BKi} = 1{,}0 - R_{BKi} \times 0{,}16$

   $= 1{,}0 - 0{,}224 \times 0{,}16$

   $= 0{,}964$

5.3.4 Perhitungan Arus Jenuh (J)

Dengan mengacu pada nilai arus jenuh dasar serta hasil analisis terhadap seluruh faktor koreksi yang telah ditetapkan sebelumnya, perhitungan arus jenuh untuk masing-masing pendekat dapat dilakukan menggunakan persamaan yang relevan. Rincian proses perhitungan tersebut disajikan pada bagian berikut untuk menggambarkan tahapan penentuan arus jenuh secara lebih sistematis.

1. Arus Jenuh Pendekat Utara

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

   $= 4200 \times 0{,}932 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1$

   $= 3913$ SMP/jam

2. Arus Jenuh Pendekat Timur

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

   $= 3300 \times 0{,}949 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0{,}964 \times 1{,}120$

   $= 3383$ SMP/jam

3. Arus Jenuh Pendekat Selatan

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

   $= 4140 \times 0{,}937 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1$

   $= 3882$ SMP/jam

4. Arus Jenuh Pendekat Barat

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

= 1800 × 0,950 × 1 × 1 × 1 × 1 × 1

= 1710 SMP/jam

5.3.5 Perhitungan Kapasitas (C)

Dengan menggunakan nilai arus jenuh (S) yang telah diperoleh serta informasi mengenai waktu hijau dan waktu siklus sebagaimana tercantum pada Tabel 5.2, kapasitas masing-masing pendekat dapat dihitung menggunakan persamaan yang sesuai. Tahapan perhitungan kapasitas simpang tersebut disajikan pada bagian berikut untuk memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai proses penentuannya.

1. Kapasitas Pendekat Utara

C = J × $\frac{WH}{s}$

= 3913 × $\frac{37}{128}$

= 1131 SMP/jam

2. Kapasitas Pendekat Timur

C = J × $\frac{WH}{s}$

= 3383 × $\frac{18}{128}$

= 476 SMP/jam

3. Kapasitas Pendekat Selatan

C = J × $\frac{WH}{s}$

= 3882 × $\frac{31}{128}$

= 940 SMP/jam

4. Kapasitas Pendekat Barat

C = J × $\frac{WH}{s}$

= 1710 × $\frac{18}{128}$

= 240 SMP/jam

Hasil rekapitulasi perhitungan kapasitas simpang disajikan pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Simpang

Parameter	Satuan	Pendekat			
		Utara	Timur	Selatan	Barat
Ruas Jalan	-	Jl. Majapahit	Jl. Maguwo	Jl. Majapahit	Jl. Gedong Kuning-Wonocatur
Volume Lalu Lintas (q)	SMP/jam	1229	474	741	379
Lebar efektif (L_E)	meter	7,0	3,5	6,9	3,0
Arus Jenuh Dasar (J_0)	SMP/jam	4200	3300	4140	1800
Faktor Hambatan Samping (F_{HS})	-	0,932	0,949	0,937	0,950
Faktor Ukuran Kota (F_{UK})	-	1,00	1,00	1,00	1,00
Faktor Kelandaian (F_G)	-	1,00	1,00	1,00	1,00
Faktor Parkir (F_P)	-	1,00	1,00	1,00	1,00
Faktor Belok Kanan (F_{BKa})	-	1,00	0,964	1,00	1,00
Faktor Belok Kiri (F_{BKi})	-	1,00	1,120	1,00	1,00
Arus Jenuh (J)	SMP/jam	3913	3383	3882	1710
Waktu Hijau (W_H)	detik	37	18	31	18
Waktu Siklus (s)	detik	128	128	128	128
Kapasitas (C)	SMP/jam	1131	476	940	240

5.3.5 Perhitungan Derajat Kejenuhan (D_J)

Derajat kejenuhan (DJ) dihitung sebagai rasio antara volume lalu lintas (q) pada setiap pendekat terhadap kapasitas (C) yang dimiliki oleh pendekat tersebut. Nilai DJ ditentukan menggunakan Persamaan 3.15 sesuai ketentuan PKJI. Rincian proses perhitungan derajat kejenuhan untuk masing-masing pendekat disajikan pada bagian berikut.

1. Derajat Kejenuhan Pendekat Utara

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

$= \frac{1229}{1131}$

= 1,087

2. Derajat Kejenuhan Pendekat Timur

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

$= \frac{474}{476}$

= 0,997

3. Derajat Kejenuhan Pendekat Selatan

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

$= \frac{741}{940}$

= 0,788

4. Derajat Kejenuhan Pendekat Barat

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

$= \frac{379}{240}$

=1,575

Hasil rekapitulasi perhitungan derajat kejenuhan disajikan pada Tabel 5.13.

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Perhitungan Derajat Kejenuhan

Pendekat	**Volume Lalu Lintas (q)**	**Kapasitas (C)**	**Derajat Kejenuhan (D_J)**	**Rata-rata D_J**
	(SMP/jam)	(SMP/jam)		
Utara	1229	1131	1,087	1,112
Timur	474	476	0,997	
Selatan	741	940	0,788	
Barat	379	240	1,575	

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 5.13, derajat kejenuhan rata-rata pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur mencapai 1,112. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kinerja simpang masih berada di luar batas kriteria yang dipersyaratkan, yaitu DJ ≤ 0,85. Dari seluruh pendekat yang ditinjau, hanya Pendekat Selatan yang memenuhi standar tersebut, dengan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,788.

5.3.6 Perhitungan Panjang Antrean (P_A)

Perhitungan panjang antrean (P_A) pada setiap pendekat dalam kondisi eksisting Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dilakukan dengan mengacu pada Persamaan 3.16 hingga 3.19. Selain itu, penentuan nilai NqMax juga mengikuti ketentuan yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Sebagai ilustrasi, uraian berikut menyajikan contoh proses perhitungan panjang antrean pada salah satu pendekat, sehingga memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai tahapan analisis yang digunakan.

1. Pendekat Selatan

   Pendekat Selatan memiliki derajat kejenuhan (D_J) sebesar 0,788, nilai derajat kejenuhan tersebut melebihi ambang batas ≥ 0,5. Oleh sebab itu, rata-rata kendaraan yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) dihitung menggunakan Persamaan 3.18. Rincian perhitungan panjang antrean (P_A) Pendekat timur disajikan sebagai berikut.

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

   $= 0{,}25 \times 128 \times \left\{ (0{,}788 - 1) + \sqrt{(0{,}788 - 1)^2 + \frac{8 \times (0{,}788 - 0{,}5)}{128}} \right\}$

   $= 2$ SMP

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

   $= 128 \times \frac{(1 - 0{,}24)}{(1 - 0{,}24 \times 0{,}788)} \times \frac{741}{(3600)}$

   $= 25$ SMP

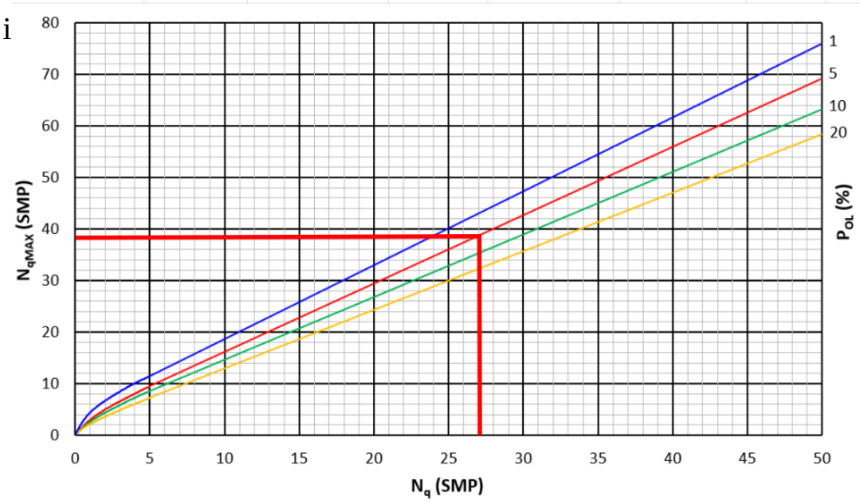
   c. N_q $= N_{q1} + N_{q2}$

   $= 2 + 25$

   $= 27$ SMP

   Setelah diperoleh nilai rata-rata antrean kendaraan (Nq), langkah selanjutnya adalah menentukan nilai maksimum antrean (Nqmax) dengan mengacu pada Gambar 3.8, yang menampilkan kurva hubungan antara Nq dan tingkat pembebanan overloading (POL). Nilai Nqmax yang diperoleh tersebut

kemudian dijadikan dasar dalam proses analisis perhitungan panjang antrean pada setiap pendekat. Adapun nilai Nqmax yang digunakan dalam analisis disaji



Gambar 5. 12 Nilai N_{qmax} yang Digunakan dalam Analisis Panjang Antrean

d. P_{OL} = 5% s/d 10% (digunakan 5%)

e. N_{qmax} = 39 SMP

f. P_A $= N_{qmax} \times \frac{20}{L_M}$

$= 39 \times \frac{20}{6,9}$

= 113m

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Panjang Antrean (P_A) Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

Pendekat	L_M	N_{q1}	N_{q2}	N_q	N_{qmax}	P_A
	(m)	(SMP)	(SMP)	(SMP)	(SMP)	(m)
Utara	7,0	10	46	56	56	160
Timur	5,5	6	17	23	35	127
Selatan	6,9	2	25	27	39	113
Barat	3,0	39	15	54	66	440

5.3.7 Perhitungan Tundaan Simpang (T_i)

Nilai tundaan (Ti) dihitung sebagai penjumlahan antara tundaan geometri rata-rata (TG) dan tundaan lalu lintas rata-rata (TLL), dengan mengacu pada Persamaan 3.25 hingga Persamaan 3.27. Proses perhitungan ini dilakukan untuk memperoleh gambaran kinerja setiap pendekat secara lebih akurat. Sebagai

ilustrasi, uraian berikut menyajikan contoh perhitungan tundaan pada salah satu pendekat Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dalam kondisi eksisting.

1. Pendekat Utara

a. T_G $= (1 – R_{KH}) \times P_B + (R_{KH} \times 4)$

$= (1 – 1{,}153) \times (0{,}533x6) + (1{,}153\times 4)$

$= 4{,}123$ det/SMP

b. T_{LL} $= s \text{ x } \frac{0{,}5 \times (1-RH)^2}{(1-RH \times DJ)} + \frac{Nq1 \times 3600}{C}$

$= 128 \text{ x } \frac{0{,}5 \times (1-0{,}29)^2}{(1- 0{,}29\times 1{,}087)} + \frac{10 \times 3600}{1131}$

$= 117{,}346$ det/SMP

c. T_i $= T_{LL} + T_{Gi}$

$= 117{,}346 + 4{,}123$

$= 121{,}469$ det/SMP

Rekapitulasi nilai tundaan (T_i) pada seluruh pendekat Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dalam kondisi eksisting disajikan pada Tabel 5.15.

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Tundaan Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

Pendekat	**T_G**	**T_{LL}**	**T_i**	**Tundaan Simpang Rata-rata**
	(det/SMP)	(det/SMP)	(det/SMP)	(det/SMP)
Utara	4,123	117,346	121,469	139,539
Timur	4,696	118,366	123,062	
Selatan	4,266	82,119	86,385	
Barat	6,733	664,445	671,178	

5.3.8 Indikator Tingkat Pelayanan / *Level of Service* (LOS)

Berdasarkan hasil analisis kinerja simpang menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, diketahui bahwa pada kondisi eksisting, nilai tundaan rata-rata untuk Pendekat Utara adalah sebesar 121,469 det/SMP, Pendekat Timur sebesar 123,062 det/SMP, Pendekat Selatan sebesar 86,385 det/SMP, dan Pendekat

Barat mencapai 671,178 det/SMP. Berdasarkan keempat nilai tersebut, tundaan rata-rata keseluruhan pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur tercatat sebesar 250,524 det/SMP, yang menunjukkan bahwa kinerja simpang berada pada kondisi kurang optimal.

Mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, simpang dengan nilai tundaan lebih dari 60 detik/SMP dikategorikan berada pada tingkat pelayanan F. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, tundaan rata-rata pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur berada di atas batas tersebut, sehingga secara keseluruhan simpang ini dapat diklasifikasikan pada tingkat pelayanan F. Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja simpang belum memenuhi standar pelayanan yang ditetapkan, sehingga diperlukan upaya perbaikan untuk meningkatkan kelancaran arus lalu lintas. Rekapitulasi kinerja eksisting simpang APILL Blok O Ringroad Timur dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Kinerja Eksisting Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

Pendekat	**Derajat Kejenuhan (D_J)**	**Panjang Antrean (P_A)**	**Tundaan Setiap Pendekat (T_i)**	**Tingkat Pelayanan Setiap Pendekat (L_{OS})**	**Tundaan Simpang Rata-rata**	**Tingkat Pelayanan Simpang (L_{OS})**
		(m)	(det/SMP)		(det/SMP)	
Utara	1,087	160	121,469	F	250,524	F
Timur	0,997	127	123,062	F		
Selatan	0,788	113	86,385	F		
Barat	1,575	440	671,178	F		

5.4 Pemodelan Simpang Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM

Berdasarkan data primer yang telah dikumpulkan serta hasil analisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 pada Simpang Empat APILL Blok O Ringroad Timur, tahap selanjutnya adalah melakukan pemodelan dengan perangkat lunak PTV VISSIM. Pemodelan ini berfungsi untuk

merepresentasikan kondisi lalu lintas di lapangan secara visual maupun kuantitatif. Output yang dihasilkan meliputi volume lalu lintas, panjang antrean, kecepatan rata-rata kendaraan, serta nilai tundaan pada setiap pendekat simpang. Untuk memastikan keandalan hasil pemodelan, evaluasi dilakukan melalui perhitungan tingkat kesesuaian menggunakan metode GEH dan MAPE. Apabila hasil awal (default) belum memenuhi standar akurasi yang ditetapkan, maka proses kalibrasi perlu dilaksanakan agar model dapat lebih sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

5.4.1 Hasil Simulasi Pemodelan Sebelum Kalibrasi

Berikut disajikan hasil perhitungan pemodelan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM pada kondisi awal (default), yaitu sebelum dilakukan proses kalibrasi. Hasil tersebut diperoleh dengan mengacu pada tahapan perhitungan yang telah dijelaskan sebelumnya dan digunakan sebagai dasar untuk menilai tingkat kesesuaian awal model terhadap kondisi aktual di lapangan.

1. Perhitungan Volume Kendaraan

   a. Pendekat Utara (Jl. Majapahit)

   $$\text{GEH} = \sqrt{\frac{(Qsimulasi - Qeksisting)^2}{0{,}5\ x\ (Qeksisting + Q\ simulasi)}}$$

   $$= \sqrt{\frac{(2421-3387)^2}{0{,}5\ x\ (3387+2421)}}$$

   $$= 17{,}926$$

   b. Pendekat Timur (Jl. Maguwo)

   $$\text{GEH} = \sqrt{\frac{(Qsimulasi - Qeksisting)^2}{0{,}5\ x\ (Qeksisting + Q\ simulasi)}}$$

   $$= \sqrt{\frac{(1049-1031)^2}{0{,}5\ x\ (1031+1049)}}$$

   $$= 0{,}558$$

   c. Pendekat Selatan (Jl. Majapahit)

   $$\text{GEH} = \sqrt{\frac{(Qsimulasi - Qeksisting)^2}{0{,}5\ x\ (Qeksisting + Q\ simulasi)}}$$

   $$= \sqrt{\frac{(1888-2412)^2}{0{,}5\ x\ (2412+1888)}}$$

   $$= 11{,}301$$

d. Pendekat Barat (Jl. Gedong Kuning-Wonocatur)

$$\text{GEH} = \sqrt{\frac{(Qsimulasi - Qeksisting)^2}{0{,}5\ x\ (Qeksisting + Q\ simulasi)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(1862 - 2917)^2}{0{,}5\ x\ (2917 + 1862)}}$$

$$= 21{,}582$$

2. Perhitungan Panjang Antrean

a. Pendekat Utara (Jl. Majapahit)

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

$$= \left| \frac{600 - 70}{70} \right| \times 100\%$$

$$= 88\ \%$$

b. Pendekat Timur (Jl. Maguwo)

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

$$= \left| \frac{155 - 350}{350} \right| \times 100\%$$

$$= 56\ \%$$

c. Pendekat Selatan (Jl. Majapahit)

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

$$= \left| \frac{44 - 535}{535} \right| \times 100\%$$

$$= 92\ \%$$

d. Pendekat Barat (Jl. Gedong Kuning-Wonocatur)

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

$$= \left| \frac{374 - 220}{220} \right| \times 100\%$$

$$= 70\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, Tabel 5.17 menyajikan rincian hasil pemodelan volume lalu lintas beserta uji validasinya menggunakan metode GEH pada kondisi awal (default). Penyajian ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai tingkat kesesuaian awal model terhadap kondisi aktual sebelum dilakukan proses kalibrasi lebih lanjut.

Tabel 5. 17 Hasil Pemodelan Volume Lalu Lintas Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM Sebelum Kalibrasi

Pendekat	Volume Lalu Lintas Eksisting	Volume Lalu Lintas Pemodelan PTV VISSIM	Nilai GEH	Keterangan
	(kend/jam)	(kend/jam)		
Utara	3387	2421	23,09	Hasil Ditolak
Timur	1031	1049	38,25	Hasil Diterima
Selatan	2412	1888	19,41	Hasil Ditolak
Barat	2917	1862	34,78	Hasil Ditolak

Merujuk pada Tabel 5.18, hasil pemodelan volume kendaraan menggunakan PTV VISSIM pada kondisi awal (default) menunjukkan bahwa seluruh nilai GEH yang dihasilkan berada di atas 19 (GEH > 19). Nilai tersebut menandakan bahwa model awal belum memenuhi standar validasi GEH, di mana kriteria yang dipersyaratkan adalah nilai GEH kurang dari 5 (GEH < 5). Dengan demikian, diperlukan proses kalibrasi untuk meningkatkan tingkat kesesuaian model terhadap kondisi lalu lintas aktual.

Tabel 5.18 berikut menyajikan hasil pemodelan panjang antrean dan kecepatan kendaraan pada kondisi awal (*default*), yang kemudian divalidasi menggunakan metode Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Penyajian ini memberikan gambaran mengenai tingkat akurasi model sebelum dilakukan proses kalibrasi, sehingga dapat diidentifikasi sejauh mana hasil pemodelan mendekati kondisi aktual di lapangan.

Tabel 5. 18 Hasil Pemodelan Panjang Antrean Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM Sebelum Kalibrasi

Pendekat	Panjang Antrean (P_A) Eksisting	Panjang Antrean (P_A) Pemodelan PTV VISSIM	Nilai MAPE	Keterangan
	(m)	(m)	(%)	
Utara	600	70	88	Hasil tidak akurat
Timur	350	155	56	Hasil tidak akurat
Selatan	535	44	92	Hasil tidak akurat
Barat	220	374	70	Hasil tidak akurat

Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada Tabel 5.23, pemodelan panjang antrean dan kecepatan kendaraan menggunakan PTV VISSIM pada kondisi awal (default) menghasilkan nilai MAPE yang melebihi batas toleransi, yaitu lebih dari 50%

(MAPE > 50%). Kondisi ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi pemodelan masih belum memenuhi kriteria yang ditetapkan, mengingat nilai MAPE yang dapat diterima harus berada di bawah 50% (MAPE < 50%). Dengan demikian, diperlukan langkah kalibrasi atau penyesuaian model agar hasil pemodelan lebih representatif dan sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

5.4.2 Hasil Pemodelan Setelah Kalibrasi

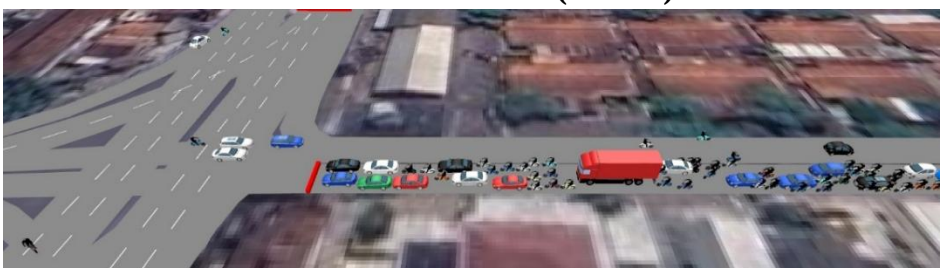
Dalam rangka memperoleh hasil kalibrasi yang sesuai dengan ambang batas toleransi nilai GEH dan MAPE sebagaimana disyaratkan dalam validasi pemodelan lalu lintas, sehingga perlu dilakukan penyesuaian terhadap sejumlah parameter perilaku berkendara (*driving behaviour*) pada perangkat lunak PTV VISSIM. Penyesuaian ini dilakukan agar dapat merepresentasikan kondisi lalu lintas di lapangan. Perubahan parameter tersebut disajikan pada Tabel 5.19.

Tabel 5. 19 Perubahan Komponen Perilaku Berkendara (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	0,40
	Multipliative part of safety distance		3,00	0,50
Car Following	*Look ahead distance* (m)	*Minimum*	0	0
		maximum	250	250
		Observed Vehicles	3	6
	Look back distance (m)	*Minimum*	0	0
		maximum	150	150
Lane change	*Waiting time before diffusion* (s)		60	40
	Min. Headway (front/rear) (m)		0,5	0,1
Lateral	*Desired position at free flow*		*Middle of lane*	*Any*
	Minimum distance standing (m)		0,2	0,2
	Minimum distance driving (m)		1,0	0,3
	Overtake on same lane		*None*	*Left*
				Right
Signal Controller	*Behavior at red/amber signal*		*Stop (same as red)*	*Go (same as green)*

Berdasarkan Tabel 5.19 yang memuat perubahan komponen perilaku berkendara (*driving behaviour*), hasil dari proses kalibrasi dapat ditinjau melalui perbandingan secara visual pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.13, yang masing-masing merepresentasikan model sebelum dan setelah proses kalibrasi dilakukan.

Gambar 5. 13 Pemodelan Kondisi Awal (default) Sebelum Kalibrasi



Gambar 5. 14 Pemodelan Kondisi Setelah Proses Kalibrasi

disajikan hasil perhitungan uji validasi menggunakan metode GEH dan MAPE terhadap hasil pemodelan setelah dilakukan kalibrasi.

1. Perhitungan Volume Kendaraan

   a. Pendekat Utara (Jl. Majapahit)

$$GEH = \sqrt{\frac{(Qsimulasi - Qeksisting)^2}{0{,}5\ x\ (Qeksisting + Q\ simulasi)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(3007-3051)^2}{0{,}5\ x\ (3051+3007)}}$$

$$= 0{,}79$$

   b. Pendekat Timur (Jl. Maguwo)

$$GEH = \sqrt{\frac{(Qsimulasi - Qeksisting)^2}{0{,}5\ x\ (Qeksisting + Q\ simulasi)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(1163-1199)^2}{0{,}5\ x\ (1199+1163)}}$$

$$= 1{,}04$$

c. Pendekat Selatan (Jl. Majapahit)

$$\text{GEH} = \sqrt{\frac{(Qsimulasi - Qeksisting)^2}{0{,}5\ x\ (Qeksisting + Q\ simulasi)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(2285-2295)^2}{0{,}5\ x\ (2295+2285)}}$$

$$= 0{,}21$$

d. Pendekat Barat (Jl. Gedong Kuning-Wonocatur)

$$\text{GEH} = \sqrt{\frac{(Qsimulasi - Qeksisting)^2}{0{,}5\ x\ (Qeksisting + Q\ simulasi)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(1762 - 1955)^2}{0{,}5\ x\ (1955 + 1762)}}$$

$$= 4{,}48$$

2. Perhitungan Panjang Antrean

a. Pendekat Utara (Jl. Majapahit)

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

$$= \left| \frac{600-511}{600} \right| \times 100\%$$

$$= 15\%$$

b. Pendekat Selatan (Jl. Majapahit)

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

$$= \left| \frac{350 - 433}{350} \right| \times 100\%$$

$$= 24\ \%$$

c. Pendekat Barat (Jl. Selokan Mataram)

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

$$= \left| \frac{535 - 333}{535} \right| \times 100\%$$

$$= 38\%$$

d. Pendekat Barat (Jl. Gedong Kuning-Wonocatur)

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

$$= \left| \frac{220 - 268}{220} \right| \times 100\%$$

$$= 22\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, Tabel 5.20 menyajikan rincian pemodelan volume lalu lintas beserta hasil uji validasi menggunakan metode GEH pada kondisi setelah proses kalibrasi. Penyajian ini bertujuan untuk menunjukkan tingkat kesesuaian antara hasil pemodelan yang telah disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan, sehingga dapat dinilai apakah model telah memenuhi kriteria akurasi yang ditetapkan.

Tabel 5. 20 Hasil Pemodelan Volume Lalu Lintas Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM Setelah Kalibrasi

Pendekat	**Volume Lalu Lintas Eksisting**	**Volume Lalu Lintas Pemodelan PTV VISSIM**	**Nilai GEH**	**Keterangan**
	(kend/jam)	(kend/jam)		
Utara	3028	3007	0,79	Hasil Terpenuhi dan Layak Diterima
Timur	1173	1163	1,04	Hasil Terpenuhi dan Layak Diterima
Selatan	2291	2285	0,21	Hasil Terpenuhi dan Layak Diterima
Barat	1883	1762	4,48	Hasil Terpenuhi dan Layak Diterima

Berdasarkan Tabel 5.20, hasil pemodelan volume kendaraan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM pada kondisi setelah dilakukan kalibrasi menunjukkan bahwa nilai GEH berada di bawah 1 (GEH < 1). Pencapaian tersebut menegaskan bahwa model telah memenuhi kriteria validasi GEH, di mana batas maksimum yang diperbolehkan adalah kurang dari 5 (GEH < 5). Dengan demikian, akurasi pemodelan volume lalu lintas dapat dinyatakan baik dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Selanjutnya, Tabel 5.21 menyajikan hasil pemodelan panjang antrean dan kecepatan kendaraan setelah melalui proses kalibrasi, yang dilengkapi dengan uji validasi menggunakan metode MAPE (mean absolute percentage error). Penyajian ini bertujuan untuk menunjukkan tingkat akurasi hasil pemodelan pascakalibrasi

serta memastikan bahwa nilai yang dihasilkan telah sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

Tabel 5. 21 Hasil Pemodelan Panjang Antrean Menggunakan Perangkat Lunak PTV VISSIM Setelah Kalibrasi

Pendekat	Panjang Antrean (P_A) Eksisting	Panjang Antrean (P_A) Pemodelan PTV VISSIM	Nilai MAPE	Keterangan
	(m)	(m)	(%)	
Utara	600	511	15%	Hasil Akurat
Timur	350	433	24%	Hasil Akurat
Selatan	535	333	38%	Hasil Akurat
Barat	220	268	22%	Hasil Akurat

Berdasarkan Tabel 5.21, hasil pemodelan panjang antrean dan kecepatan kendaraan setelah proses kalibrasi menunjukkan bahwa nilai MAPE berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan, yaitu ≤ 50%. Hal ini mengindikasikan bahwa model telah memenuhi kriteria validasi MAPE sehingga tingkat akurasinya dapat diterima. Dengan demikian, hasil keluaran model dianggap mampu merepresentasikan kondisi nyata di lapangan secara memadai. Rekapitulasi hasil analisis dan simulasi dari skenario dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM

No	Parameter	Satuan	Kode Pendekat			
			U	T	S	B
1	Derajat Kejenuhan	-	1,087	0,997	0,778	1,575
2	Rata-rata Derajat kejenuhan simpang	-	1,112			
3	Panjang Antrean	m	511	433	333	268
4	Tundaan	det/Kend	950	615	230	536
5	Tundaan Simpang	det/Kend	510,730			
6	Tingkat Pelayanan Simpang	-	F			

Berdasarkan Berdasarkan Tabel 5.22, nilai tundaan rata-rata pada simpang tercatat sebesar 503,17 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan berada pada kategori F. Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja simpang masih sangat rendah.

5.5 Analisis Konsumsi BBM

5.5.1 Konsumsi BBM pada Simpang

Berdasarkan data yang digunakan dalam perhitungan konsumsi bahan bakar pada kondisi *idle*, nilai konsumsi BBM pada saat idle (F3b,c) diketahui sebesar 40 × 10^{-2} liter/smp-jam, dengan volume lalu lintas (Qb,c) mencapai 8.217 kendaraan/jam, serta tundaan rata-rata (D) sebesar 510,730 detik. Dengan menggunakan parameter tersebut, perhitungan nilai konsumsi BBM (Mb,c) pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dapat dilakukan sesuai Persamaan 3.35. Perhitungan ini memberikan estimasi kebutuhan bahan bakar kendaraan selama periode *idle* akibat tundaan di simpang.

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

$$= \frac{140 \times 10^{-2} \times 8217 \times 510{,}730}{3600}$$

$$= 1632{,}037 \text{ liter/jam}$$

Perhitungan konsumsi bahan bakar pada simpang APILL Blok O Ringroad Timur dilakukan dengan menerapkan Persamaan 3.35. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai konsumsi bahan bakar pada area simpang (Mb,c) sebesar 1.632,037 liter/jam. Nilai ini mencerminkan total penggunaan bahan bakar kendaraan yang mengalami tundaan atau kondisi *idle* saat melintasi simpang

5.5.2 Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM

Analisis biaya kerugian yang timbul akibat konsumsi bahan bakar pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dihitung menggunakan Persamaan 3.36. Perhitungan tersebut memberikan gambaran mengenai besarnya kerugian ekonomi yang disebabkan oleh penggunaan BBM selama kendaraan mengalami tundaan di simpang. Hasil analisis biaya kerugian tersebut disajikan pada Tabel 5.23 dan contoh perhitungan $M_{b,c}$ dapat dilihat di bawah ini.

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

$$= \frac{1{,}4 \times 8217 \times 510{,}730}{3600}$$

$$= 1632{,}037 \text{ liter/jam}$$

Tabel 5. 23Rekapitulasi Hasil Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur

Lokasi	Jenis Kendaraan	Perbandingan Jumlah Suatu Jenis Kendaraan Terhadap Jumlah Total kendaraan	$M_{b,c}$ (liter/smp)	Harga BBM (Rp)	Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM (Rp/Jam)
Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur	SM	0,690	1632,037	10.000	11.261.057
	MP	0,300		10.000	4.896.112
	KS	0,010		6.800	110.979
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur (Rp/Jam)					16.268.147
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur (Rp/Hari)					390.435.533
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur (Rp/Tahun)					5.937.873.739

5.6 Analisis Beban Emisi Gas Buang Kendaraan

5.6.1 Perhitungan beban emisi gas buang kendaraan

Perhitungan beban emisi gas buang untuk polutan CO, NO_2, HC, SO_2, PM_{10}, dan CO_2 dilakukan dengan mengacu pada Persamaan 3.39. Sebelum melakukan analisis tersebut, langkah awal yang diperlukan adalah menentukan nilai faktor emisi untuk setiap kategori kendaraan, yaitu sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), dan kendaraan sedang (KS). Penentuan faktor emisi untuk polutan CO, NO_2, HC, SO_2, dan PM_{10} merujuk pada Tabel 3.10. Nilai faktor emisi ini menjadi dasar dalam menghitung total beban emisi gas buang pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur.di bawahini Adalah nilai factor emisi untuk setiap jenis ruas pada table 5.24.

Tabel 5.24 Nilai Faktor Emisi untuk Setiap Jenis Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur

Kategori Kendaraan	Jenis Polutan				
	CO (g/km)	HC (g/km)	NO_X (g/km)	PM_{10} (g/km)	SO_2 (g/km)
SM	14	5,9	0,29	0,24	0,008
MP	40	4	2	0,01	0,026
KS	11	1,3	11,9	1,4	0,93

Nilai beban emisi karbon monoksida (CO) pada kondisi *idle* dapat dihitung dengan mengacu pada data operasional lalu lintas di Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur. Pada lokasi tersebut, konsumsi BBM saat idle (F3b,c) tercatat sebesar 40 × 10^{-2} liter/smp-jam, dengan volume lalu lintas (Qb,c) mencapai 8.217 kendaraan/jam. Sebagai contoh, perhitungan beban emisi total untuk polutan CO pada kondisi idle dilakukan untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dengan menggunakan parameter tersebut sesuai formulasi pada Persamaan 3.41.

$$Ei_{CO} = \sum \frac{IT_{b,d} x F_{3b,c} x Q_{b,c} x EF_{b,c} x FE_{a,b,c}}{60} \times 10^{-3}$$

$$= \frac{1632{,}037 x 14 x 28}{60} \times 10^{-3}$$

$$= 10{,}663 \text{ kg/jam}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, maka akan didapatkan rekapitulasi nilai beban emisi total untuk polutan saat kendaraan *idle* (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur dapat dilihat pada Timur Tabel 5.25.

Tabel 5. 25 Nilai Beban Emisi Total untuk polutan saat kendaraan *idle* (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad

Kategori Kendaraan	Jenis Polutan				
	CO (g/km)	HC (g/km)	NO_X (g/km)	PM_{10} (g/km)	SO_2 (g/km)
SM	10,663	4,494	0,221	0,183	0,006
MP	10,663	3,046	1,523	0,008	0,007
KS	1,317	0,990	9,063	1,066	0,111

5.6.2 Analisis Biaya Kerugian Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan

Analisis biaya kerugian akibat emisi gas buang kendaraan pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.41. Melalui perhitungan tersebut, nilai beban emisi yang dihasilkan kendaraan kemudian dikonversikan ke dalam satuan biaya kerugian. Hasil lengkap dari proses konversi dan analisis biaya kerugian akibat emisi gas buang dapat dilihat pada Tabel 5.26.

Tabel 5.26 Rekapitulasi Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur

Kategori Kendaraan	BBM (liter/jam)	CO (kg/jam)	HC (kg/jam)	NOx (kg/jam)	PM_{10} (kg/jam)	SO_2 (kg/jam)
SM	1632,037	10,663	4,494	0,221	0,183	0,006
MP	1632,037	10,663	3,046	1,523	0,008	0,007
KS	1632,037	1,317	0,990	9,063	1,066	0,111

Selanjutnya, nilai beban emisi yang diperoleh dalam satuan kg/jam dikonversikan ke dalam satuan ton/tahun. Proses konversi dilakukan dengan mengalikan nilai emisi per jam dengan faktor 8,766, yang merepresentasikan jumlah jam dalam satu tahun. Hasil perhitungan lengkap dari proses konversi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.27.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Konversi Satuan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur

Kategori Kendaraan	CO (ton/tahun)	HC (ton/tahun)	NOx (ton/tahun)	PM_{10} (ton/tahun)	SO_2 (ton/tahun)
SM	93,469	39,390	1,936	1,602	0,053
MP	93,469	26,705	13,353	0,067	0,061
KS	11,541	8,679	79,448	9,347	0,976

Selanjutnya, dilakukan perhitungan biaya kerugian akibat emisi gas buang kendaraan, dengan menggunakan contoh perhitungan untuk polutan karbon monoksida (CO) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur. Perhitungan ini dilakukan untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dengan menggunakan data sebagai berikut.

1. E_{CO} = 93,469 ton/tahun (nilai berikut dapat dilihat pada Tabel 5.31)
2. Biaya polutan CO = Rp3.326.771 (nilai dapat dilihat pada Tabel 3.12)

Dengan demikian, berdasarkan data yang telah dipaparkan sebelumnya, perhitungan biaya kerugian akibat emisi gas buang jenis karbon monoksida (CO) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dapat dilakukan Proses perhitungan ini mencakup penggunaan nilai faktor emisi, volume lalu lintas, serta biaya polutan yang telah ditetapkan, sehingga

diperoleh estimasi nilai kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat emisi CO pada lokasi tersebut adalah sebagai berikut.

Biaya kerugian emisi$_{CO}$ = E$_{CO}$ x biaya polutan$_{CO}$

= 93,469 x Rp3.326.771

= Rp 319.951.879 ton/tahun

Berdasarkan contoh perhitungan di atas, dapat dinyatakan bahwa biaya kerugian akibat emisi gas buang jenis CO pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur untuk jenis kendaraan sepeda motor (SM) adalah 319.951.879 ton/tahun. Rekapitulasi hasil analisis biaya kerugian akibat emisi gas buang kendaraan dapat dilihat pada pada Tabel 5.28.

Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Kerugian Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur

Kategori Kendaraan	CO (ton/tahun)	HC (ton/tahun)	NOx (ton/tahun)	PM_{10} (ton/tahun)	SO_2 (ton/tahun)
SM	Rp 319.951.879	Rp 28.940.595	Rp 30.195.877	Rp 84.815	Rp 891.852
MP	Rp 319.951.879	Rp 19.620.742	Rp 208.247.425	Rp 3.534	Rp 1.014.482
KS	Rp 39.504.263	Rp 6.376.741	Rp1.239.072.181	Rp 494.755	Rp 16.292.224
Total	Rp 679.408.021	Rp 54.938.079	Rp 1.477.515.483	Rp 583.104	Rp18.198.557
Total/tahun	Rp 2.230.643.244				

Berdasarkan rekapitulasi hasil kerugian beban emisi pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur, dapat disimpulkan bahwa total nilai kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat emisi gas buang kendaraan mencapai Rp 2.230.643.244. Nilai tersebut mencerminkan besarnya dampak negatif dari aktivitas lalu lintas terhadap kualitas udara dan lingkungan, sekaligus menjadi indikator penting dalam menilai tingkat efisiensi operasional simpang serta urgensi penerapan perbaikan manajemen lalu lintas pada lokasi tersebut.

5.7 Alternatif Solusi

Upaya peningkatan kinerja lalu lintas pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur dilakukan melalui penerapan beberapa alternatif perbaikan yang dianalisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 serta disimulasikan secara mikroskopis melalui perangkat lunak PTV VISSIM. Dalam penelitian ini, disusun empat skenario perbaikan untuk mengevaluasi efektivitas

pengaturan simpang. Alternatif pertama mencakup penyesuaian waktu hijau pada setiap pendekat berdasarkan metode perhitungan dalam PKJI 2023. Alternatif kedua difokuskan pada penentuan ulang waktu siklus dengan mengacu pada nilai waktu siklus ideal yang direkomendasikan. Sementara itu, alternatif ketiga dan keempat melibatkan pengaturan ulang konfigurasi fase yang dipadukan dengan perubahan waktu siklus guna memperoleh kinerja simpang yang lebih optimal.

5.5.1 Alternatif solusi 1

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

1. Menentukan waktu isyarat hijau (W_{Hi})

   Tahapan awal dilakukan dengan menghitung kembali komposisi waktu isyarat hijau berdasarkan kondisi siklus eksisting, yaitu dengan durasi waktu siklus sebesar 128 detik. Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan pembagian waktu hijau yang proporsional pada setiap fase, sehingga dapat mendukung peningkatan kinerja simpang secara keseluruhan.

   a. Pendekat Utara

   $W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J\ Kritis}}{\sum_i (R_{q/J\ Kritis}) i}$

   $= (128 - 26) \times \frac{0{,}314}{0{,}867}$

   =37 detik

   b. Pendekat Timur

   $W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J\ Kritis}}{\sum_i (R_{q/J\ Kritis}) i}$

   $= (128 - 26) \times \frac{0{,}140}{0{,}867}$

   = 16 detik

   c. Pendekat Selatan

   $W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J\ Kritis}}{\sum_i (R_{q/J\ Kritis}) i}$

   $= (132 - 26) \times \frac{0{,}224}{0{,}869}$

   = 27 detik

d. Pendekat Bara

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J\ Kritis}}{\sum_i (R_{q/J\ Kritis})i}$$

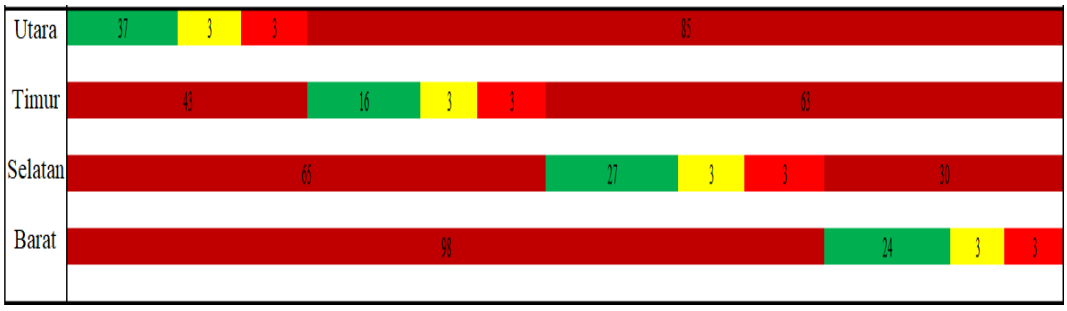
$$= (132 - 26) \times \frac{0{,}198}{0{,}867}$$

= 24 detik

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, Tabel 5.29 menampilkan detail penyesuaian waktu isyarat hijau (WHi) yang diterapkan pada setiap fase. Penyesuaian ini dilakukan untuk mengoptimalkan distribusi waktu hijau pada masing-masing pendekat, sehingga kinerja lalu lintas pada simpang dapat meningkat. Langkah ini juga disesuaikan dengan metode dan ketentuan yang direkomendasikan dalam PKJI 2023 agar proses pengaturan isyarat lebih efektif dan sesuai standar.

Tabel 5. 29 Rekapitulasi Penyesuaian Waktu Isyarat Hijau (W_{Hi})

Pendekat	Fase ke-	Waktu Isyarat				Waktu siklus (detik)
		Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah semua (detik)	Merah (detik)	
Utara	1	37	3	3	85	128
Timur	2	16	3	3	106	
Selatan	3	27	3	3	95	
Barat	4	24	3	3	98	



Gambar 5. 15 Diagram Waktu Siklus 128 detik untuk Alternatif 1 Simpang APILL Blok O ringroad Timur

Penyesuaian waktu isyarat hijau tersebut memberikan pengaruh langsung terhadap perubahan kapasitas dan nilai derajat kejenuhan pada masing-masing pendekat di Simpang APILL. Analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi sejauh

mana penyesuaian yang diterapkan mampu memperbaiki kondisi pelayanan simpang.

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

Rincian hasil perhitungan kapasitas serta derajat kejenuhan untuk setiap pendekat pada skenario Alternatif Solusi 1 disajikan pada uraian berikutnya.

a. Pendekat Utara

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

$= 3913 \times \frac{37}{128}$

$= 1131$

2) $D_J = \frac{q}{C}$

$= \frac{1229}{1131}$

$= 1{,}087$

b. Pendekat Timur

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

$= 3383 \times \frac{16}{128}$

$= 423$

2) $D_J = \frac{q}{C}$

$= \frac{474}{423}$

$= 1{,}121$

c. Pendekat Selatan

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

$= 3882 \times \frac{27}{128}$

$= 819$

2) $D_J = \frac{q}{C}$

$= \frac{741}{819}$

$= 0{,}905$

d. Pendekat Barat

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

$= 1710 \times \frac{24}{128}$

$= 331$

2) D_J $= \frac{q}{C}$

$= \frac{379}{331}$

$= 1{,}181$

Sebagai bagian dari evaluasi kinerja lalu lintas, Tabel 5.30 menyajikan ringkasan hasil analisis kapasitas (C) serta derajat kejenuhan (DJ) pada Simpang Empat APILL Blok O Ringroad Timur. Rekapitulasi tersebut memberikan gambaran menyeluruh mengenai perubahan kinerja pendekat setelah dilakukan penyesuaian terhadap waktu isyarat hijau pada skenario alternatif Solusi 1.

Tabel 5. 30 Rekapitulasi Analisis Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J) Alternatif Solusi 1 Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

Pendekat	**Ruas Jalan**	**Kapasitas** (SMP/Jam)	**Derajat Kejenuhan**	**Keterangan**
Utara	Jl. Majapahit	1131	1,087	Terjadi Kemacetan
Timur	Jl. Maguwo	423	1,121	Terjadi Kemacetan
Selatan	Jl. Majapahit	819	0,905	Terjadi Kemacetan
Barat	Jl. Gedung Kuning-Wonocatur	321	1,074	Terjadi Kemacetan

3. Pemodelan perangkat lunak PTV VISSIM

tahapan selanjutnya adalah melakukan simulasi pemodelan kinerja lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Simulasi ini diterapkan berdasarkan skema alternatif solusi 1, yang mencakup perubahan pada pengaturan waktu sinyal (signal control). Hasil analisis dan simulasi kinerja lalu lintas yang diperoleh dari tahapan ini disajikan pada uraian berikutnya sebagai dasar evaluasi efektivitas penerapan alternatif tersebut.

Tabel 5. 31 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM Alternatif Solusi 1

No	Parameter	Satuan	Kode Pendekat			
			U	T	S	B
1	Derajat Kejenuhan	-	1,087	1,121	0,905	1,074
2	Rata-rata Derajat kejenuhan simpang	-	1,074			
3	Panjang Antrean	m	504	442	243	210
4	Tundaan	det/Kend	807	352	176	334
5	Tundaan Simpang	det/Kend	506,23			
6	Tingkat Pelayanan Simpang	-	F			

Berdasarkan Tabel 5.31, tundaan rata-rata pada simpang tercatat sebesar 506,23 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan berada pada kategori F. Penyesuaian komposisi waktu isyarat hijau (WHi) memberikan pengaruh berupa penurunan panjang antrean pada Pendekat Utara dan Selatan. Namun demikian, nilai derajat kejenuhan rata-rata masih berada pada angka 1,074, yang menunjukkan bahwa kapasitas simpang belum mampu mengimbangi volume lalu lintas yang ada. Meskipun alternatif perbaikan melalui penyesuaian waktu hijau (WHi) telah diterapkan dengan mempertahankan waktu siklus eksisting, hasil evaluasi kinerja memperlihatkan bahwa simpang tetap berada pada tingkat pelayanan F dengan nilai DJ > 0,85. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa upaya penyesuaian waktu sinyal belum cukup efektif untuk meningkatkan kinerja operasional simpang secara signifikan. Dengan demikian, diperlukan strategi penanganan tambahan atau alternatif desain manajemen lalu lintas lainnya agar tingkat pelayanan simpang dapat ditingkatkan menuju kondisi operasi yang lebih optimal.

4. Perhitungan Kerugian Akibat Konsumsi BBM

   Analisis Perhitungan Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Alternatif 1 dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.36. Perhitungan ini bertujuan untuk mengestimasi besarnya kerugian ekonomi yang muncul akibat penggunaan bahan bakar selama kendaraan mengalami tundaan di kawasan simpang. Melalui analisis tersebut, diperoleh gambaran mengenai tingkat efisiensi operasional simpang setelah penerapan skenario alternatif. Hasil lengkap perhitungan biaya kerugian akibat konsumsi BBM ditampilkan pada

Tabel 5.32, sedangkan contoh perhitungan nilai Mb,c disajikan pada bagian berikutnya.

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

$$= \frac{1{,}4 \times 8209 \times 506{,}230}{3600}$$

= 1616,083 liter/jam

Tabel 5. 32 Rekapitulasi Hasil Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1

Lokasi	Jenis Kendaraan	Perbandingan Jumlah Suatu Jenis Kendaraan Terhadap Jumlah Total kendaraan	$M_{b,c}$ (liter/smp)	Harga BBM (Rp)	Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM (Rp/Jam)
Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur	SM	0,690	1616,083	10.000	11.150.973
	MP	0,300		10.000	4.848.249
	KS	0,010		6.800	109.894
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1 (Rp/Jam)					16.109.116
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1 (Rp/Hari)					386.618.775
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1 (Rp/Tahun)					5.879.827.200

5. Perhitungan beban emisi gas buang kendaraan

Perhitungan beban emisi gas buang untuk polutan CO, NO_2, HC, SO_2, PM_{10}, dan CO_2 mengacu pada Persamaan 3.39. Tahap awal dilakukan dengan menentukan faktor emisi untuk setiap kategori kendaraan—sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), dan kendaraan sedang (KS)—yang bersumber dari Tabel 3.10 dan dirangkum pada Tabel 5.38. Selanjutnya, perhitungan beban emisi karbon monoksida (CO) pada kondisi idle dilakukan menggunakan data operasional lalu lintas, yaitu konsumsi BBM saat idle (F3b,c) sebesar 40×10^{-2} liter/smp-jam dan volume lalu lintas (Qb,c) sebesar 8.209 kendaraan/jam. Sebagai contoh, beban emisi CO untuk kategori sepeda motor (SM) dihitung berdasarkan parameter

tersebut sesuai dengan formulasi pada Persamaan 3.41. Contoh perhitungan untuk kondisi alternatif solusi 1 disajikan dibawah ini.

$$Ei_{CO} = \sum \frac{IT_{b,d} x F_{3b,c} x Q_{b,c} x EF_{b,c} x FE_{a,b,c}}{60} x 10^{-3}$$

$$= \frac{1616{,}083 x 14 x 28}{60} x 10^{-3}$$

$$= 10{,}558 \text{ kg/jam}$$

Perbandingan nilai beban emisi total CO antara kondisi eksisting dan skenario alternatif solusi 1 dalam satuan gram per hari (g/hari) disajikan pada Tabel 5.33. Tabel tersebut memberikan gambaran mengenai perubahan besaran emisi yang terjadi setelah penerapan skenario alternatif, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas upaya perbaikan yang dilakukan terhadap kondisi lalu lintas di Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur.

Tabel 5. 33 Perbandingan Nilai Beban Emesi Total untuk polutan saat kendaraan idle (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	Jenis Polutan				
		CO (kg/km)	HC (kg/km)	NO_X (kg/km)	PM_{10} (kg/km)	SO_2 (kg/km)
Existing	SM	10,663	4,494	0,221	0,183	0,006
	MP	10,663	3,046	1,523	0,008	0,007
	KS	1,317	0,990	9,063	1,066	0,111
Alternatif Solusi 1	SM	10,558	4,450	0,219	0,181	0,006
	MP	10,558	3,017	1,508	0,008	0,007
	KS	1,304	0,980	8,975	1,056	0,110

Analisis biaya kerugian akibat emisi gas buang pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur dilakukan dengan mengacu pada Persamaan 3.41. Melalui perhitungan tersebut, nilai beban emisi yang dihasilkan kendaraan dikonversikan ke dalam satuan biaya kerugian. Hasil lengkap mengenai perbandingan antara kondisi eksisting dan alternatif solusi 1, yang diperoleh dari proses konversi serta analisis biaya kerugian emisi gas buang, disajikan pada Tabel 5.34.

Tabel 5.34 Perbandingan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 1

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	BBM (liter/jam)	Jenis Polutan				
			CO (kg/km)	HC (kg/km)	NO_X (kg/km)	PM_{10} (kg/km)	SO_2 k(g/km)
Existing	SM	1632,037	10,663	4,494	0,221	0,183	0,006
	MP	1632,037	10,663	3,046	1,523	0,008	0,007
	KS	1632,037	1,317	0,990	9,063	1,066	0,111
Alternatif Solusi 1	SM	1616,083	10,558	4,450	0,219	0,181	0,006
	MP	1616,083	10,558	3,017	1,508	0,008	0,007
	KS	1616,083	1,304	0,980	8,975	1,056	0,110

Setelah itu, nilai beban emisi yang diperoleh dalam satuan kg/jam dikonversikan ke dalam satuan ton/tahun. Konversi dilakukan dengan mengalikan nilai emisi per jam dengan faktor 8,766, yang merepresentasikan jumlah jam dalam satu tahun. Hasil lengkap dari proses konversi tersebut disajikan pada Tabel 5.35.

Tabel 5. 35 Perbandingan Hasil Konversi Satuan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	Jenis Polutan				
		CO (ton/tahun)	HC (ton/tahun)	NO_X (ton/tahun)	PM_{10} (ton/tahun)	SO_2 (ton/tahun)
Existing	SM	93,469	39,390	1,936	1,602	0,053
	MP	93,469	26,705	13,353	0,067	0,061
	KS	11,541	8,679	79,448	9,347	0,976
Alternatif Solusi 1	SM	92,555	39,005	1,917	1,587	0,053
	MP	92,555	26,444	13,222	0,066	0,060
	KS	11,428	8,594	78,672	9,256	0,966

Selanjutnya, dilakukan perhitungan biaya kerugian akibat emisi gas buang kendaraan pada Alternatif solusi 1, dengan menggunakan contoh perhitungan untuk polutan karbon monoksida (CO) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur. Perhitungan ini dilakukan untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dengan menggunakan data sebagai berikut.

1. E_{CO} = 92,555 ton/tahun (nilai berikut dapat dilihat pada Tabel 5.39)
2. Biaya polutan CO = Rp3.326.771 (nilai dapat dilihat pada Tabel 3.12)

Dengan demikian, berdasarkan data yang telah dipaparkan sebelumnya, perhitungan biaya kerugian akibat emisi gas buang jenis karbon monoksida (CO)

pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dapat dilakukan Proses perhitungan ini mencakup penggunaan nilai faktor emisi, volume lalu lintas, serta biaya polutan yang telah ditetapkan, sehingga diperoleh estimasi nilai kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat emisi CO pada lokasi tersebut adalah sebagai berikut.

Biaya kerugian emisi$_{CO}$ = E$_{CO}$ x biaya polutan$_{CO}$

= 92,555 x Rp3.326.771

= Rp 316.824.144 ton/tahun

Berdasarkan contoh perhitungan pada Alternatif Solusi 1, diperoleh bahwa nilai biaya kerugian akibat emisi gas buang polutan CO pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) mencapai 316.824.144 ton/tahun. Rekapitulasi lengkap mengenai hasil analisis biaya kerugian emisi gas buang pada kondisi eksisting dan pada penerapan Alternatif Solusi 1 dapat dilihat pada Tabel 5.36.

Tabel 5. 36Perbandingan Rekapitulasi Hasil Kerugian Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 1

Kondisi Simpang	**Existing**				
Kategori Kendaraan	**CO (ton/tahun)**	**HC (ton/tahun)**	**NOx (ton/tahun)**	**PM_{10} (ton/tahun)**	**SO_2 (ton/tahun)**
SM	Rp 319.951.879	Rp 28.940.595	Rp 30.195.877	Rp 84.815	Rp 891.852
MP	Rp 319.951.879	Rp 19.620.742	Rp 208.247.425	Rp 3.534	Rp 1.014.482
KS	Rp 39.504.263	Rp 6.376.741	Rp1.239.072.181	Rp 494.755	Rp 16.292.224
Total	Rp 679.408.021	Rp 54.938.079	Rp 1.477.515.483	Rp 583.104	Rp18.198.557
Total/tahun	**Rp 2.230.643.244**				
Kondisi Simpang	**Alternatif Solusi 1**				
Kategori Kendaraan	**CO (ton/tahun)**	**HC (ton/tahun)**	**NOx (ton/tahun)**	**PM_{10} (ton/tahun)**	**SO_2 (ton/tahun)**
SM	Rp 316.824.144	Rp 28.657.682	Rp 29.900.693	Rp 83.986	Rp 883.134
MP	Rp 316.824.144	Rp 19.428.937	Rp 206.211.673	Rp 3.499	Rp 1.004.564
KS	Rp 39.118.083	Rp 6.314.405	Rp 1.226.959.452	Rp 489.918	Rp 16.132.957
Total	Rp 672.766.371	Rp 54.401.024	Rp1.463.071.818	Rp 577.404	Rp 18.020.655
Total/tahun	**Rp 2.208.837.270**				

Berdasarkan rekapitulasi hasil kerugian beban emisi pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur, dapat disimpulkan bahwa total kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat emisi gas buang kendaraan pada Alternatif Solusi 1 mencapai Rp 2.208.837.270. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan kondisi eksisting, namun tetap menunjukkan besarnya dampak negatif aktivitas lalu lintas terhadap kualitas udara dan lingkungan.

5.5.2 Alternatif solusi 2

Alternatif kedua dalam peningkatan kinerja simpang dilakukan melalui penyesuaian dan perubahan waktu siklus berdasarkan rentang waktu siklus ideal yang direkomendasikan dalam PKJI 2023, yaitu antara 80 hingga 130 detik untuk sistem pengendalian sinyal lalu lintas di simpang. Proses penentuan waktu siklus diawali dengan serangkaian uji coba berulang guna memperoleh nilai waktu siklus yang paling optimal, dengan mempertimbangkan perubahan nilai tundaan yang dihasilkan dari pemodelan menggunakan PTV VISSIM. Pada tahap ini, konfigurasi urutan fase, waktu merah semua (WMS), waktu kuning (WK), serta waktu hijau hilang total (WHH) tetap mengacu pada kondisi eksisting. Berikut tahapan tahapan dapat dilihat dibawah ini.

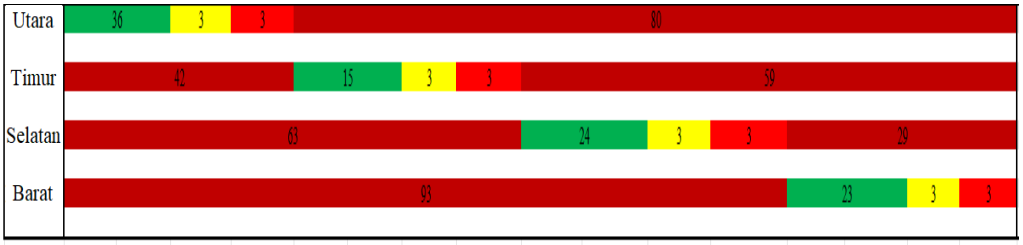
1. Penentuan waktu siklus menggunakan PTV VISSIM.
   Rekapitulasi hasil uji coba perubahan waktu siklus dan penyesuaian komposisi waktu hijau (WHi) ditampilkan pada Tabel 5.37 dan Gambar 5.17.

Tabel 5. 37 Penentuan Waktu Siklus (s) dan Waktu Hijau (W_{Hi}) pada Alternatif Solusi 2

Pengujian Ke-	Pendekat	Waktu Isyarat (det)			Waktu Siklus (det)	Urutan Fase ke-	Tundaan (det/Kend)
		W_{Hi}	W_K	W_{MS}			
1	Utara	36	3	3	130	1	506,06
	Timur	17	3	3	130	2	
	Selatan	29	3	3	130	3	
	Barat	24	3	3	130	4	
2	Utara	36	3	3	126	1	508,31
	Timur	16	3	3	126	2	
	Selatan	26	3	3	126	3	
	Barat	24	3	3	126	4	
3	Utara	36	3	3	124	1	507,91
	Timur	15	3	3	124	2	
	Selatan	25	3	3	124	3	
	Barat	24	3	3	124	4	

Tabel 5. 38 Penentuan Waktu Siklus (s) dan Waktu Hijau (W_{Hi}) pada Alternatif Solusi 2

Pengujian Ke-	Pendekat	Waktu Isyarat (det)			Waktu Siklus (det)	Urutan Fase ke-	Tundaan (det/Kend)
		W_{Hi}	W_K	W_{MS}			
4	Utara	36	3	3	122	1	503,87
	Timur	15	3	3	122	2	
	Selatan	24	3	3	122	3	
	Barat	23	3	3	122	4	
5	Utara	35	3	3	120	1	506,17
	Timur	14	3	3	120	2	
	Selatan	24	3	3	120	3	
	Barat	23	3	3	120	4	



Gambar 5. 16 Diagram Waktu Siklus 122 detik untuk Alternatif 2 Simpang APILL Blok O ringroad Timur

Berdasarkan hasil pengujian yang tercantum pada Tabel 5.39, diperoleh bahwa pengujian ke-4 merupakan kondisi dengan waktu siklus paling optimal, karena memberikan nilai tundaan yang lebih rendah dibandingkan dengan skenario pengujian lainnya. Oleh karena itu, pada alternatif solusi kedua ditetapkan waktu siklus sebesar 122 detik (s = 122 detik). Penyesuaian waktu siklus ini diharapkan dapat meningkatkan kinerja simpang melalui perubahan kapasitas dan derajat kejenuhan pada setiap pendekat.

2. Perhitungan Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (DJ)

   Rincian perhitungan kapasitas serta derajat kejenuhan untuk skenario alternatif kedua disajikan pada uraian berikutnya

   a. Pendekat Utara

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

      $= 3913 \times \frac{36}{122}$

      $= 1155$

      2) D_J $= \frac{q}{C}$

$= \frac{1229}{1155}$

= 1,065

b. Pendekat Timur

1) C = J × $\frac{WH}{s}$

= 3383 × $\frac{15}{122}$

= 416

2) D_J = $\frac{q}{C}$

= $\frac{474}{416}$

= 1,14

c. Pendekat Selatan

1) C = J × $\frac{WH}{s}$

= 3882 × $\frac{24}{122}$

= 764

2) D_J = $\frac{q}{C}$

= $\frac{741}{764}$

= 0,970

d. Pendekat Barat

1) C = J × $\frac{WH}{s}$

= 1818 × $\frac{23}{122}$

= 343

2) D_J = $\frac{q}{C}$

= $\frac{379}{343}$

= 1,105

Sebagai bagian dari evaluasi kinerja lalu lintas, Tabel 5.40 menyajikan ringkasan hasil analisis kapasitas (C) dan derajat kejenuhan (DJ) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur. Rekapitulasi tersebut digunakan untuk menilai apakah kondisi operasional simpang telah memenuhi standar kinerja yang dipersyaratkan, serta untuk mengidentifikasi kebutuhan penyesuaian lebih lanjut guna meningkatkan efisiensi pergerakan lalu lintas pada lokasi tersebut.

Tabel 5. 39 Rekapitulasi Analisis Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J) Alternatif Solusi 2 Simpang APILL Blok O Ringroad Timur.

Pendekat	Ruas Jalan	Kapasitas (SMP/Jam)	Derajat Kejenuhan	Keterangan
Utara	Jl. Majapahit	1155	1,065	Terjadi Kemacetan
Timur	Jl. Maguwo	416	1,140	Terjadi Kemacetan
Selatan	Jl. Majapahit	764	0,970	Terjadi Kemacetan
Barat	Jl. Gedung Kuning-Wonocatur	343	1,105	Terjadi Kemacetan

3. Pemodelan perangkat lunak PTV VISSIM

Tahap selanjutnya adalah menjalankan simulasi kinerja lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Simulasi ini menerapkan konfigurasi pada alternatif solusi 2, yang mencakup perubahan pengaturan waktu siklus sinyal (signal control). Hasil analisis dan simulasi yang diperoleh dari penerapan skenario tersebut kemudian direkapitulasi dan disajikan pada uraian berikutnya.

Tabel 5. 40 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM Alternatif Solusi 2

No	Parameter	Satuan	Kode Pendekat			
			U	T	S	B
1	Derajat Kejenuhan	-	1,065	1,140	0,970	1,105
2	Rata-rata Derajat kejenuhan simpang	-	1,07			
3	Panjang Antrean	m	504	431	369	196
4	Tundaan	det/Kend	937	613	472	178
5	Tundaan Simpang	det/Kend	503,87			
6	Tingkat Pelayanan Simpang	-	F			

Berdasarkan Tabel 5.40, nilai tundaan rata-rata simpang tercatat sebesar 503,87 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan F. Penyesuaian waktu siklus (s) dan waktu isyarat hijau (WHi) memberikan dampak berupa penurunan panjang antrean pada Pendekat Utara dan Barat, sementara derajat kejenuhan rata-rata mengalami penurunan hingga mencapai 1,07 dari kondisi eksisting. Meskipun demikian, penerapan alternatif berupa penyesuaian waktu siklus dan waktu hijau belum mampu meningkatkan kinerja simpang secara signifikan. Hal ini ditunjukkan

oleh tingkat pelayanan yang masih berada pada kategori F, dengan nilai DJ > 0,85, sehingga dapat disimpulkan bahwa kinerja operasional simpang masih belum optimal.

4. Perhitungan Kerugian Akibat Konsumsi BBM

Analisis Perhitungan Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Alternatif 2 dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.36. Perhitungan ini bertujuan untuk mengestimasi besarnya kerugian ekonomi yang muncul akibat penggunaan bahan bakar selama kendaraan mengalami tundaan di kawasan simpang. Melalui analisis tersebut, diperoleh gambaran mengenai tingkat efisiensi operasional simpang setelah penerapan skenario alternatif. Hasil lengkap perhitungan biaya kerugian akibat konsumsi BBM ditampilkan pada Tabel 5.41, sedangkan contoh perhitungan nilai Mb,c disajikan pada bagian berikutnya.

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

$$= \frac{1{,}4 \times 805 \times 503{,}870}{3600}$$

= 1568,575 liter/jam

Tabel 5. 41Rekapitulasi Hasil Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 2

Lokasi	**Jenis Kendaraan**	**Perbandingan Jumlah Suatu Jenis Kendaraan Terhadap Jumlah Total kendaraan**	**$M_{b,c}$ (liter/smp)**	**Harga BBM (Rp)**	**Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM (Rp/Jam)**
Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur	SM	0,690	1568,575	10.000	10.823.170
	MP	0,300		10.000	4.705.726
	KS	0,010		6.800	106.663
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 2 (Rp/Jam)					15.635.559
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 2 (Rp/Hari)					375.253.407
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 2 (Rp/Tahun)					5.796.978.896

5. Perhitungan beban emisi gas buang kendaraan

Perhitungan beban emisi gas buang untuk polutan CO, NO_2, HC, SO_2, PM_{10}, dan CO_2 mengacu pada Persamaan 3.39. Tahap awal dilakukan dengan menentukan `faktor emisi untuk setiap kategori kendaraan—sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), dan kendaraan sedang (KS)—yang bersumber dari Tabel 3.10 dan dirangkum pada Tabel 5.42. Selanjutnya, perhitungan beban emisi karbon monoksida (CO) pada kondisi idle dilakukan menggunakan data operasional lalu lintas, yaitu konsumsi BBM saat idle (F3b,c) sebesar 40×10^{-2} liter/smp-jam dan volume lalu lintas (Qb,c) sebesar 8.005 kendaraan/jam. Sebagai contoh, beban emisi CO untuk kategori sepeda motor (SM) dihitung berdasarkan parameter tersebut sesuai dengan formulasi pada Persamaan 3.41. Contoh perhitungan untuk kondisi alternatif solusi 2 disajikan dibawah ini.

$$Ei_{CO} = \sum \frac{IT_{b,d} x F_{3b,c} x Q_{b,c} x EF_{b,c} x FE_{a,b,c}}{60} \times 10^{-3}$$

$$= \frac{1568{,}575 \times 14 \times 28}{60} \times 10^{-3}$$

$$= 10{,}248 \text{ kg/jam}$$

Perbandingan nilai beban emisi total CO antara kondisi eksisting dan skenario alternatif solusi 2 dalam satuan gram per hari (g/hari) disajikan pada Tabel 5.42. Tabel tersebut memberikan gambaran mengenai perubahan besaran emisi yang terjadi setelah penerapan skenario alternatif, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas upaya perbaikan yang dilakukan terhadap kondisi lalu lintas di Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur.

Tabel 5. 42 Perbandingan Nilai Beban Emesi Total untuk polutan saat kendaraan idle (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	Jenis Polutan				
		CO (kg/km)	HC (kg/km)	NO_X (kg/km)	PM_{10} (kg/km)	SO_2 (kg/km)
Existing	SM	10,663	4,494	0,221	0,183	0,006
	MP	10,663	3,046	1,523	0,008	0,007
	KS	1,317	0,990	9,063	1,066	0,111
Alternatif Solusi 2	SM	10,248	4,319	0,212	0,176	0,006
	MP	10,248	2,928	1,464	0,007	0,007
	KS	1,265	0,952	8,711	1,025	0,107

Analisis biaya kerugian akibat emisi gas buang pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur dilakukan dengan mengacu pada Persamaan 3.41. Melalui perhitungan tersebut, nilai beban emisi yang dihasilkan kendaraan dikonversikan ke dalam satuan biaya kerugian. Hasil lengkap mengenai perbandingan antara kondisi eksisting dan alternatif solusi 2, yang diperoleh dari proses konversi serta analisis biaya kerugian emisi gas buang, disajikan pada Tabel 5.43.

Tabel 5. 43 Perbandingan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 2

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	BBM (liter/jam)	Jenis Polutan				
			CO (kg/km)	HC (kg/km)	NO_X (kg/km)	PM_{10} (kg/km)	SO_2 k(g/km)
Existing	SM	1632,037	10,663	4,494	0,221	0,183	0,006
	MP	1632,037	10,663	3,046	1,523	0,008	0,007
	KS	1632,037	1,317	0,990	9,063	1,066	0,111
Alternatif Solusi 2	SM	1568,575	10,248	4,319	0,212	0,176	0,006
	MP	1568,575	10,248	2,928	1,464	0,007	0,007
	KS	1568,575	1,265	0,952	8,711	1,025	0,107

Setelah itu, nilai beban emisi yang diperoleh dalam satuan kg/jam dikonversikan ke dalam satuan ton/tahun. Konversi dilakukan dengan mengalikan nilai emisi per jam dengan faktor 8,766, yang merepresentasikan jumlah jam dalam satu tahun. Hasil lengkap dari proses konversi tersebut disajikan pada Tabel 5.44.

Tabel 5. 44 Perbandingan Hasil Konversi Satuan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 2

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	Jenis Polutan				
		CO (ton/tahun)	HC (ton/tahun)	NO_X (ton/tahun)	PM_{10} (ton/tahun)	SO_2 (ton/tahun)
Existing	SM	89,834	37,859	1,861	1,540	0,051
	MP	89,834	25,667	12,833	0,064	0,058
	KS	11,092	8,342	76,359	8,983	0,938
Alternatif Solusi 2	SM	89,834	37,859	1,861	1,540	0,051
	MP	89,834	25,667	12,833	0,064	0,058
	KS	11,092	8,342	76,359	8,983	0,938

Selanjutnya, dilakukan perhitungan biaya kerugian akibat emisi gas buang kendaraan pada Alternatif solusi 2, dengan menggunakan contoh perhitungan untuk polutan karbon monoksida (CO) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur.

Perhitungan ini dilakukan untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dengan menggunakan data sebagai berikut.

1. E_{CO} = 89,834 ton/tahun (nilai berikut dapat dilihat pada Tabel 5.47)
2. Biaya polutan CO = Rp3.326.771 (nilai dapat dilihat pada Tabel 3.12)

Dengan demikian, berdasarkan data yang telah dipaparkan sebelumnya, perhitungan biaya kerugian akibat emisi gas buang jenis karbon monoksida (CO) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dapat dilakukan Proses perhitungan ini mencakup penggunaan nilai faktor emisi, volume lalu lintas, serta biaya polutan yang telah ditetapkan, sehingga diperoleh estimasi nilai kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat emisi CO pada lokasi tersebut adalah sebagai berikut.

Biaya kerugian $emisi_{CO}$ = E_{CO} x biaya $polutan_{CO}$

= 89,834 x Rp3.326.771

= Rp 307.510.517 ton/tahun

Berdasarkan contoh perhitungan pada Alternatif Solusi 2, diperoleh bahwa nilai biaya kerugian akibat emisi gas buang polutan CO pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) mencapai Rp 280.441.917 ton/tahun. Rekapitulasi lengkap mengenai hasil analisis biaya kerugian emisi gas buang pada kondisi eksisting dan pada penerapan Alternatif Solusi 2 dapat dilihat pada Tabel 5.45.

Tabel 5. 45 Perbandingan Rekapitulasi Hasil Kerugian Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 2

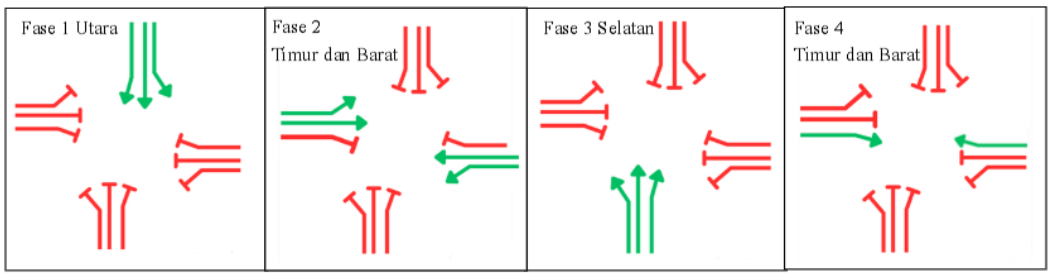
Kondisi Simpang	**Alternatif Solusi 2**				
Kategori Kendaraan	**CO (ton/tahun)**	**HC (ton/tahun)**	**NOx (ton/tahun)**	**PM_{10} (ton/tahun)**	**SO_2 (ton/tahun)**
SM	Rp307.510.517	Rp27.815.237	Rp29.021.707	Rp81.517	Rp857.172
MP	Rp307.510.517	Rp18.857.788	Rp200.149.702	Rp3.397	Rp975.033
KS	Rp37.968.135	Rp6.128.781	Rp1.190.890.729	Rp475.516	Rp15.658.699
Total	Rp652.989.169	Rp52.801.806	Rp1.420.062.138	Rp560.430	Rp17.490.904
Total/tahun	**Rp2.143.904.448**				

Berdasarkan rekapitulasi hasil kerugian beban emisi pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur, dapat disimpulkan bahwa total kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat emisi gas buang kendaraan pada Alternatif Solusi 2 mencapai Rp 2.143.904.448 Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan kondisi eksisting, namun tetap menunjukkan besarnya dampak negatif aktivitas lalu lintas terhadap kualitas udara dan lingkungan.

5.5.3 Alternatif solusi 3

Alternatif ketiga dalam upaya meningkatkan kinerja simpang dilakukan melalui perubahan fase lampu APILL. Berdasarkan ketentuan PKJI 2023, nilai faktor belok kanan yang diperbolehkan adalah 250 smp/jam. Tahapan perubahan fase APILL diawali dengan serangkaian uji coba berulang untuk menentukan konfigurasi fase yang paling optimal, dengan mempertimbangkan perubahan nilai tundaan yang dihasilkan melalui simulasi menggunakan PTV VISSIM. Pada pengaturan fase yang diusulkan, fase pertama memberikan pelayanan bagi pendekat Utara dengan pergerakan belok kiri jalan terus, lurus, dan belok kanan yang mengikuti waktu isyarat APILL. Fase kedua mengakomodasi pendekat Barat dan Timur secara bersamaan untuk pergerakan belok kiri dan lurus mengikuti waktu APILL. Selanjutnya, fase ketiga diarahkan untuk pendekat Selatan dengan pola yang sama, yaitu belok kiri jalan terus, lurus, dan belok kanan mengikuti waktu isyarat APILL. Fase keempat kemudian memberikan pelayanan untuk pergerakan belok kanan pada pendekat Barat dan Timur secara bersamaan. Berikut tahapan tahapan dapat dilihat dibawah ini.

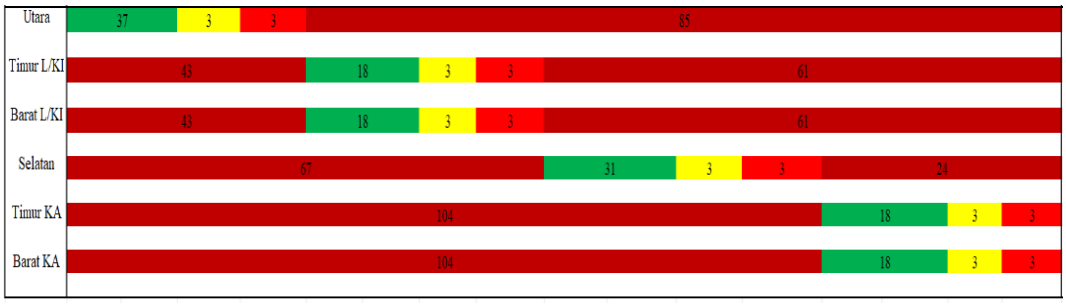
1. Penentuan Fase APILL dan waktu siklus.
2. Ilustrasi lengkap mengenai perubahan fase APILL, tabel penentuan waktu siklus dan gambar diagram waktu siklus pada Simpang Blok O Ringroad Timur ditampilkan pada Gambar 5.18, Tabel 5.46 dan Gambar 5.19 dibawah ini.



Gambar 5. 17 Ilustrasi Perubahan Fase APILL Solusi 3

Tabel 5. 46 Penentuan Waktu Siklus (s) dan Waktu Hijau (W_{Hi}) pada Alternatif Solusi 3

Pendekat	Fase ke-	Waktu Isyarat				BKIJT	Waktu siklus (detik)
		Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah semua (detik)	Merah (detik)		
Utara	1	37	3	3	85	Ada	128
Timur (L/KI)	2	18	3	3	104	Tidak	
Barat (L/KI)		18	3	3	104	Tidak	
Selatan	3	31	3	3	91	Ada	
Timur KA	4	18	3	3	104	Tidak	
Barat KA		18	3	3	104	Tidak	



Gambar 5. 18 Diagram Waktu Siklus 128 detik untuk Alternatif 3 Simpang APILL Blok O ringroad Timur

3. Perhitungan kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (DJ)

Rincian perhitungan kapasitas (C) dan derajat kejenuhan (DJ) untuk skenario Alternatif 3 disajikan pada bagian berikut.

a. Pendekat Utara

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

$= 3940 \times \frac{37}{128}$

$= 1139$

2) D_J $= \frac{q}{C}$

$= \frac{1229}{1139}$

$= 1{,}079$

b. Pendekat Timur (L/KI) dan Pendekat Timu (KA)

1) C $= J \times \frac{WH1+WH2}{s}$

$= 2696 \times \frac{18+18}{128}$

= 758

2) D_J = $\frac{q}{C}$

= $\frac{256}{758}$

= 0,337

c. Pendekat Barat (L/KI) dan Pendekat Barat (KA)

1) C = J × $\frac{WH1+WH2}{s}$

= 2573 × $\frac{18+18}{128}$

= 724

2) D_J = $\frac{q}{C}$

= $\frac{614}{724}$

= 0,848

d. Pendekat Selatan

1) C = J × $\frac{WH}{s}$

= 3885 × $\frac{31}{128}$

= 941

2) D_J = $\frac{q}{C}$

= $\frac{794}{941}$

= 0,844

Sebagai bagian dari evaluasi kinerja lalu lintas, Tabel 5.47 menyajikan ringkasan hasil analisis kapasitas (C) dan derajat kejenuhan (DJ) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur. Rekapitulasi tersebut digunakan untuk menilai apakah kondisi operasional simpang telah memenuhi standar kinerja yang dipersyaratkan, serta untuk mengidentifikasi kebutuhan penyesuaian lebih lanjut guna meningkatkan efisiensi pergerakan lalu lintas pada lokasi tersebut.

Tabel 5. 47 Rekapitulasi Analisis Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J) Alternatif Solusi 3 Simpang APILL Blok O Ringroad Timur.

Pendekat	Ruas Jalan	Kapasitas (SMP/Jam)	Derajat Kejenuhan	Keterangan
Utara	Jl. Majapahit	1139	1,079	Terjadi Kemacetan
Timur (Ki/Lu) dan (Ka)	Jl. Maguwo	379	0,337	Tidak terjadi kemacetan
Barat (Ki/Lu) dan(Ka)	Jl. Gedung Kuning-Wonocatur	362	0,848	Tidak terjadi kemacetan
Selatan	Jl. Majapahit	941	0,844	Tidak terjadi kemacetan

4. Pemodelan perangkat lunak PTV VISSIM

   Tahap berikutnya adalah melaksanakan simulasi kinerja lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Simulasi ini menerapkan pengaturan pada Alternatif 3, yang mencakup perubahan konfigurasi waktu fase pada signal control. Hasil analisis serta keluaran simulasi dari penerapan skenario tersebut kemudian direkapitulasi dan disajikan pada uraian berikut.

Tabel 5. 48 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM Alternatif Solusi 3

No	Parameter	Satuan	Kode Pendekat			
			U	T	S	B
1	Derajat Kejenuhan	-	1,079	0,337	0,844	0,848
2	Rata-rata Derajat kejenuhan simpang	-	0,777			
3	Panjang Antrean	m	507	430	270	265
4	Tundaan	det/Kend	971	691	160	738
5	Tundaan Simpang	det/Kend	507,37			
6	Tingkat Pelayanan Simpang	-	F			

Berdasarkan Tabel 5.48, nilai tundaan rata-rata simpang tercatat sebesar 507,37 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan F. Penyesuaian waktu siklus (s) dan waktu isyarat hijau (WHi) memberikan dampak berupa penurunan panjang antrean pada Pendekat Utara dan Barat, sementara derajat kejenuhan rata-rata mengalami penurunan hingga mencapai 0,881 dari kondisi eksisting. Meskipun demikian, penerapan alternatif berupa penyesuaian waktu siklus dan waktu hijau belum mampu meningkatkan kinerja simpang secara signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh tingkat pelayanan yang masih berada pada kategori F, dengan nilai DJ > 0,85,

sehingga dapat disimpulkan bahwa kinerja operasional simpang masih belum optimal.

5. Perhitungan Kerugian Akibat Konsumsi BBM

   Analisis Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Alternatif 3 dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.36. Perhitungan ini bertujuan untuk mengestimasi besarnya kerugian ekonomi yang muncul akibat penggunaan bahan bakar selama kendaraan mengalami tundaan di kawasan simpang. Melalui analisis tersebut, diperoleh gambaran mengenai tingkat efisiensi operasional simpang setelah penerapan skenario alternatif. Hasil lengkap perhitungan biaya kerugian akibat konsumsi BBM ditampilkan pada Tabel 5.49, sedangkan contoh perhitungan nilai Mb,c disajikan pada bagian berikutnya.

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

$$= \frac{1{,}4 \times 7250 \times 507{,}370}{3600}$$

$$= 1430{,}502 \text{ liter/jam}$$

Tabel 5. 49Rekapitulasi Hasil Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 3

Lokasi	Jenis Kendaraan	Perbandingan Jumlah Suatu Jenis Kendaraan Terhadap Jumlah Total kendaraan	$M_{b,c}$ (liter/smp)	Harga BBM (Rp)	Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM (Rp/Jam)
Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur	SM	0,690	1430,502	10.000	9.870.461
	MP	0,300		10.000	4.291.505
	KS	0,010		6.800	97.274
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1 (Rp/Jam)					14.259.239
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1 (Rp/Hari)					342.221.741
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1 (Rp/Tahun)					5.204.622.319

6. Perhitungan beban emisi gas buang kendaraan

   Perhitungan beban emisi gas buang untuk polutan CO, NO_2, HC, SO_2, PM_{10}, dan CO_2 mengacu pada Persamaan 3.39. Tahap awal dilakukan dengan

menentukan faktor emisi untuk setiap kategori kendaraan—sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), dan kendaraan sedang (KS)—yang bersumber dari Tabel 3.10 dan dirangkum pada Tabel 5.52. Selanjutnya, perhitungan beban emisi karbon monoksida (CO) pada kondisi idle dilakukan menggunakan data operasional lalu lintas, yaitu konsumsi BBM saat idle (F3b,c) sebesar 40×10^{-2} liter/smp-jam dan volume lalu lintas (Qb,c) sebesar 7.250 kendaraan/jam. Sebagai contoh, beban emisi CO untuk kategori sepeda motor (SM) dihitung berdasarkan parameter tersebut sesuai dengan formulasi pada Persamaan 3.41. Contoh perhitungan untuk kondisi alternatif solusi 3 disajikan dibawah ini.

$$Ei_{CO} = \sum \frac{IT_{b,d} x F_{3b,c} x Q_{b,c} x EF_{b,c} x FE_{a,b,c}}{60} \times 10^{-3}$$

$$= \frac{1430{,}502 \times 14 \times 28}{60} \times 10^{-3}$$

$$= 9{,}346 \text{ kg/jam}$$

Perbandingan nilai beban emisi total CO antara kondisi eksisting dan skenario alternatif solusi 3 dalam satuan gram per hari (g/hari) disajikan pada Tabel 5.50. Tabel tersebut memberikan gambaran mengenai perubahan besaran emisi yang terjadi setelah penerapan skenario alternatif, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas upaya perbaikan yang dilakukan terhadap kondisi lalu lintas di Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur.

Tabel 5. 50 Perbandingan Nilai Beban Emesi Total untuk polutan saat kendaraan idle (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	Jenis Polutan				
		CO (kg/km)	HC (kg/km)	NO_X (kg/km)	PM_{10} (kg/km)	SO_2 (kg/km)
Existing	SM	10,663	4,494	0,221	0,183	0,006
	MP	10,663	3,046	1,523	0,008	0,007
	KS	1,317	0,990	9,063	1,066	0,111
Alternatif Solusi 3	SM	9,346	3,939	0,194	0,160	0,005
	MP	9,346	2,670	1,335	0,007	0,006
	KS	1,154	0,868	7,944	0,935	0,098

Analisis biaya kerugian akibat emisi gas buang pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur dilakukan dengan mengacu pada Persamaan 3.41. Melalui

perhitungan tersebut, nilai beban emisi yang dihasilkan kendaraan dikonversikan ke dalam satuan biaya kerugian. Hasil lengkap mengenai perbandingan antara kondisi eksisting dan alternatif solusi 3, yang diperoleh dari proses konversi serta analisis biaya kerugian emisi gas buang, disajikan pada Tabel 5.51.

Tabel 5. 51 Perbandingan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 3

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	BBM (liter/jam)	Jenis Polutan				
			CO (kg/km)	HC (kg/km)	NO_X (kg/km)	PM_{10} (kg/km)	SO_2 k(g/km)
Existing	SM	1632,037	10,663	4,494	0,221	0,183	0,006
	MP	1632,037	10,663	3,046	1,523	0,008	0,007
	KS	1632,037	1,317	0,990	9,063	1,066	0,111
Alternatif Solusi 3	SM	1430,502	9,346	3,939	0,194	0,160	0,005
	MP	1430,502	9,346	2,670	1,335	0,007	0,006
	KS	1430,502	1,154	0,868	7,944	0,935	0,098

Setelah itu, nilai beban emisi yang diperoleh dalam satuan kg/jam dikonversikan ke dalam satuan ton/tahun. Konversi dilakukan dengan mengalikan nilai emisi per jam dengan faktor 8,766, yang merepresentasikan jumlah jam dalam satu tahun. Hasil lengkap dari proses konversi tersebut disajikan pada Tabel 5.52.

Tabel 5. 52 Perbandingan Hasil Konversi Satuan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 3

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	Jenis Polutan				
		CO (ton/tahun)	HC (ton/tahun)	NO_X (ton/tahun)	PM_{10} (ton/tahun)	SO_2 (ton/tahun)
Existing	SM	93,469	39,390	1,936	1,602	0,053
	MP	93,469	26,705	13,353	0,067	0,061
	KS	11,541	8,679	79,448	9,347	0,976
Alternatif Solusi 3	SM	81,927	34,526	1,697	1,404	0,047
	MP	81,927	23,408	11,704	0,059	0,053
	KS	10,115	7,607	69,638	8,193	0,855

Selanjutnya, dilakukan perhitungan biaya kerugian akibat emisi gas buang kendaraan pada Alternatif solusi 3, dengan menggunakan contoh perhitungan untuk polutan karbon monoksida (CO) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur. Perhitungan ini dilakukan untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dengan menggunakan data sebagai berikut.

1. E_{CO} = 81,927 ton/tahun (nilai berikut dapat dilihat pada Tabel 5.55)
2. Biaya polutan CO = Rp3.326.771 (nilai dapat dilihat pada Tabel 3.12)

Dengan demikian, berdasarkan data yang telah dipaparkan sebelumnya, perhitungan biaya kerugian akibat emisi gas buang jenis karbon monoksida (CO) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dapat dilakukan Proses perhitungan ini mencakup penggunaan nilai faktor emisi, volume lalu lintas, serta biaya polutan yang telah ditetapkan, sehingga diperoleh estimasi nilai kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat emisi CO pada lokasi tersebut adalah sebagai berikut.

Biaya kerugian emisi$_{CO}$ = E$_{CO}$ x biaya polutan$_{CO}$

= 81,927 x Rp3.326.771

= Rp 280.441.917 ton/tahun

Berdasarkan contoh perhitungan pada Alternatif Solusi 3, diperoleh bahwa nilai biaya kerugian akibat emisi gas buang polutan CO pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) mencapai Rp 280.441.917 ton/tahun. Rekapitulasi lengkap mengenai hasil analisis biaya kerugian emisi gas buang pada kondisi eksisting dan pada penerapan Alternatif Solusi 3 dapat dilihat pada Tabel 5.53.

Tabel 5. 53 Perbandingan Rekapitulasi Hasil Kerugian Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 3

Kondisi Simpang	**Alternatif Solusi 3**				
Kategori Kendaraan	**CO (ton/tahun)**	**HC (ton/tahun)**	**NOx (ton/tahun)**	**PM_{10} (ton/tahun)**	**SO_2 (ton/tahun)**
SM	Rp280.441.917	Rp25.366.802	Rp26.467.072	Rp74.342	Rp781.720
MP	Rp280.441.917	Rp17.197.832	Rp182.531.533	Rp3.098	Rp889.206
KS	Rp34.625.992	Rp5.589.295	Rp1.086.062.623	Rp433.659	Rp14.280.342
Total	Rp595.509.825	Rp48.153.929	Rp1.295.061.228	Rp511.098	Rp15.951.268
Total/tahun	**Rp1.955.187.349**				

Berdasarkan rekapitulasi hasil kerugian beban emisi pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur, dapat disimpulkan bahwa total kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat emisi gas buang kendaraan pada Alternatif Solusi 3 mencapai Rp1.955.187.349 Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan kondisi eksisting, namun tetap menunjukkan besarnya dampak negatif aktivitas lalu lintas terhadap kualitas udara dan lingkungan.

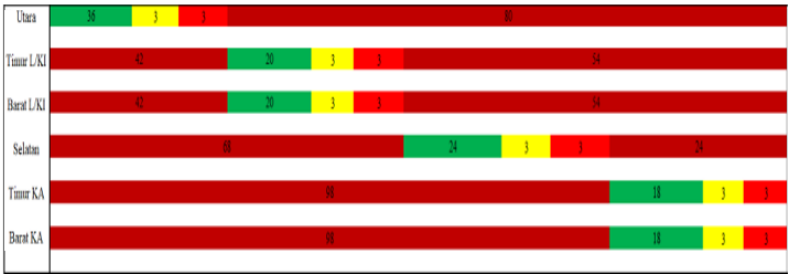
5.5.4 Alternatif solusi 4

Alternatif keempat dalam peningkatan kinerja simpang dilakukan melalui pengaturan ulang konfigurasi fase yang dipadukan dengan perubahan waktu siklus, dengan tetap mengacu pada rentang waktu siklus ideal yang direkomendasikan PKJI 2023, yaitu 80 hingga 130 detik untuk sistem pengendalian sinyal lalu lintas. Penetapan waktu siklus dilakukan melalui serangkaian uji coba berulang guna memperoleh nilai yang paling optimal, dengan mempertimbangkan perubahan tundaan yang dihasilkan melalui pemodelan menggunakan PTV VISSIM. Pada tahapan ini, konfigurasi urutan fase, waktu merah semua (WMS), waktu kuning (WK), serta waktu hijau hilang total (WHH) tetap dipertahankan sebagaimana kondisi eksisting. Berikut tahapan tahapan dapat dilihat dibawah ini.

1. Penentuan waktu siklus menggunakan PTV VISSIM.
   Hasil rekapitulasi uji coba penyesuaian waktu siklus dan alokasi waktu hijau (WHi) kemudian disajikan pada Tabel 5.54 dan Gambar 5.20 sebagai dasar evaluasi penerapan alternatif ini terhadap kinerja simpang.

Tabel 5. 54 Penentuan Waktu Siklus (s) dan Waktu Hijau (W_{Hi}) pada Alternatif Solusi 4

Pengujian Ke-	Pendekat	Waktu Isyarat (det)			Waktu Siklus (det)	Urutan Fase ke-	Tundaan (det/Kend)
		W_{Hi}	W_K	W_{MS}			
1	U	37	3	3	130	1	505,55
	T/B (Ki/Lu)	19	3	3	130	2	
	S	31	3	3	130	3	
	T/B (Ka)	19	3	3	130	4	
2	U	36	3	3	126	1	508,31
	T/B (Ki/Lu)	22	3	3	126	2	
	S	24	3	3	126	3	
	T/B (Ka)	20	3	3	126	4	
3	U	36	3	3	124	1	507,91
	T/B (Ki/Lu)	21	3	3	124	2	
	S	24	3	3	124	3	
	T/B (Ka)	19	3	3	124	4	
4	U	36	3	3	122	1	503,64
	T/B (Ki/Lu)	20	3	3	122	2	
	S	24	3	3	122	3	
	T/B (Ka)	18	3	3	122	4	
5	U	36	3	3	120	1	507,77
	T/B (Ki/Lu)	18	3	3	120	2	
	S	24	3	3	120	3	
	T/B (Ka)	18	3	3	120	4	



Gambar 5. 19 Diagram Waktu Siklus 122 detik untuk Alternatif 4 Simpang APILL Blok O ringroad Timur

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 5.54, diperoleh bahwa pengujian ke-4 merupakan kondisi dengan waktu siklus paling optimal karena menghasilkan nilai tundaan yang lebih rendah dibandingkan dengan skenario lainnya. Oleh sebab itu, pada Alternatif Solusi 2 ditetapkan waktu siklus sebesar 122 detik (s = 122 detik). Penyesuaian waktu siklus ini diharapkan mampu meningkatkan kinerja simpang melalui perubahan nilai kapasitas dan derajat kejenuhan (DJ) pada setiap pendekat.

2. Perhitungan kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (DJ)
   Rincian perhitungan kapasitas dan derajat kejenuhan untuk skenario Alternatif 4 disajikan pada uraian berikutnya.

   a. Pendekat Utara

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

      $= 3940 \times \frac{36}{122}$

      $= 1163$

      2) D_J $= \frac{q}{C}$

      $= \frac{1229}{1163}$

      $= 1{,}057$

   b. Pendekat Timur (L/KI) dan Pendekat Timu (LA)

      1) C $= J \times \frac{WH1+WH2}{s}$

      $= 2696 \times \frac{20+18}{122}$

      $= 840$

      2) D_J $= \frac{q}{C}$

$= \frac{256}{840}$

$= 0{,}304$

c. Pendekat Barat (L/KI) dan Pendekat Barat (LA)

1) C $= J \times \frac{WH1+WH2}{s}$

$= 2573 \times \frac{20+18}{122}$

$= 801$

2) D_J $= \frac{q}{C}$

$= \frac{614}{801}$

$= 0{,}766$

d. Pendekat Selatan

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

$= 3885 \times \frac{24}{122}$

$= 764$

2) D_J $= \frac{q}{C}$

$= \frac{794}{764}$

$= 1{,}039$

Sebagai bagian dari evaluasi kinerja lalu lintas, Tabel 5.55 menyajikan ringkasan hasil analisis kapasitas (C) dan derajat kejenuhan (DJ) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur. Rekapitulasi tersebut digunakan untuk menilai apakah kondisi operasional simpang telah memenuhi standar kinerja yang dipersyaratkan serta untuk mengidentifikasi kebutuhan penyesuaian lebih lanjut dalam meningkatkan efisiensi pergerakan lalu lintas pada lokasi tersebut.

Tabel 5. 55 Rekapitulasi Analisis Kapasitas (C) dan Derajat Kejenuhan (D_J) Alternatif Solusi 4 Simpang APILL Blok O Ringroad Timur.

Pendekat	**Ruas Jalan**	**Kapasitas** (SMP/Jam)	**Derajat Kejenuhan**	**Keterangan**
Utara	Jl. Majapahit	1163	1,057	Terjadi Kemacetan
Timur (Ki/Lu) dan (ka)	Jl. Maguwo	442	0,304	Tidak terjadi kemacetan
Barat (Ki/Lu) dan (ka)	Jl. Gedung Kuning-Wonocatur	422	0,766	Tidak terjadi kemacetan
Selatan	Jl. Majapahit	764	1,039	Terjadi Kemacetan

3. Pemodelan perangkat lunak PTV VISSIM

   Tahapan selanjutnya adalah melaksanakan proses simulasi kinerja lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Simulasi ini dijalankan dengan menerapkan konfigurasi pada Alternatif Solusi 4, yang mencakup perubahan pada pengaturan waktu siklus sinyal (signal control). Hasil analisis dan keluaran simulasi kemudian direkapitulasi secara sistematis dan disajikan pada bagian berikutnya sebagai dasar evaluasi efektivitas skenario yang diterapkan.

Tabel 5. 56 Rekapitulasi Hasil Pemodelan VISSIM Alternatif Solusi 4

No	Parameter	Satuan	Kode Pendekat			
			U	T	S	B
1	Derajat Kejenuhan	-	1,057	0,304	1,039	0,766
2	Rata-rata Derajat kejenuhan simpang	-	0,792			
3	Panjang Antrean	m	504	408	364	263
4	Tundaan	det/Kend	937	545	463	618
5	Tundaan Simpang	det/Kend	503,64			
6	Tingkat Pelayanan Simpang	-	F			

Berdasarkan Tabel 5.56, tundaan rata-rata pada simpang tercatat sebesar 503,87 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan berada pada kategori F. Penyesuaian waktu siklus (s) dan alokasi waktu isyarat hijau (WHi) memberikan pengaruh berupa penurunan panjang antrean pada Pendekat Utara dan Barat, serta menurunkan nilai derajat kejenuhan rata-rata hingga mencapai 0,846 dari kondisi eksisting. Namun demikian, penerapan alternatif melalui penyesuaian waktu siklus dan waktu hijau tersebut belum mampu menghasilkan peningkatan kinerja simpang yang signifikan. Hal ini terlihat dari tingkat pelayanan yang masih berada pada kategori F dengan nilai DJ yang tetap melebihi 0,85. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kondisi operasional simpang masih belum mencapai tingkat kinerja yang optimal.

4. Perhitungan Kerugian Akibat Konsumsi BBM

   Analisis biaya kerugian akibat konsumsi bahan bakar pada Alternatif 4 dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.36. Perhitungan ini bertujuan untuk mengestimasi besarnya kerugian ekonomi yang muncul akibat

penggunaan bahan bakar selama kendaraan mengalami tundaan di kawasan simpang. Melalui analisis tersebut, diperoleh gambaran mengenai tingkat efisiensi operasional simpang setelah penerapan skenario alternatif. Hasil lengkap perhitungan biaya kerugian akibat konsumsi BBM ditampilkan pada Tabel 5.57, sedangkan contoh perhitungan nilai Mb,c disajikan pada bagian berikutnya.

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

$$= \frac{1{,}4 \times 7187 \times 503{,}64}{3600}$$

$$= 1407{,}646 \text{ liter/jam}$$

Tabel 5. 57 Rekapitulasi Hasil Analisis Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 4

Lokasi	**Jenis Kendaraan**	**Perbandingan Jumlah Suatu Jenis Kendaraan Terhadap Jumlah Total kendaraan**	**$M_{b,c}$ (liter/smp)**	**Harga BBM (Rp)**	**Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM (Rp/Jam)**
Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur	SM	0,690	1407,646	10.000	9.712.756
	MP	0,300		10.000	4.222.937
	KS	0,010		6.800	95.720
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1 (Rp/Jam)					14.259.239
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1 (Rp/Hari)					336.753.925
Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif 1 (Rp/Tahun)					5.121.465.940

5. Perhitungan beban emisi gas buang kendaraan

Perhitungan beban emisi gas buang untuk polutan CO, NO_2, HC, SO_2, PM_{10}, dan CO_2 dilakukan dengan mengacu pada Persamaan 3.39. Langkah pertama adalah menentukan faktor emisi untuk masing-masing kategori kendaraan—sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), dan kendaraan sedang (KS)—yang diperoleh dari Tabel 3.10 dan dirangkum dalam Tabel 5.60. Selanjutnya,

perhitungan beban emisi karbon monoksida (CO) pada kondisi idle dilakukan dengan menggunakan data operasional lalu lintas, yaitu konsumsi bahan bakar saat idle (F3b,c) sebesar 40 × 10^{-2} liter/smp-jam serta volume lalu lintas (Qb,c) sebesar 7.187 kendaraan/jam. Sebagai ilustrasi, perhitungan beban emisi CO untuk kategori sepeda motor (SM) dilakukan dengan memasukkan parameter tersebut ke dalam Persamaan 3.41. Contoh rinci perhitungan untuk kondisi Alternatif Solusi 4 disajikan pada bagian berikutnya.

$$Ei_{CO} = \sum \frac{IT_{b,d} x F_{3b,c} x Q_{b,c} x EF_{b,c} x FE_{a,b,c}}{60} \times 10^{-3}$$

$$= \frac{1407{,}646 \times 14 \times 28}{60} \times 10^{-3}$$

$$= 9{,}197 \text{ kg/jam}$$

Tabel 5.58 menyajikan perbandingan beban emisi total CO (g/hari) antara kondisi eksisting dengan skenario alternatif 3. Perbandingan ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas skenario perbaikan terhadap penurunan emisi gas buang di Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur.

Tabel 5. 58 Perbandingan Nilai Beban Emesi Total untuk polutan saat kendaraan idle (g/hari) pada pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	Jenis Polutan				
		CO (kg/km)	HC (kg/km)	NO_X (kg/km)	PM_{10} (kg/km)	SO_2 (kg/km)
Existing	SM	10,663	4,494	0,221	0,183	0,006
	MP	10,663	3,046	1,523	0,008	0,007
	KS	1,317	0,990	9,063	1,066	0,111
Alternatif Solusi 4	SM	9,197	3,876	0,191	0,158	0,005
	MP	9,197	2,628	1,314	0,007	0,006
	KS	1,136	0,854	7,817	0,920	0,096

Analisis biaya kerugian akibat emisi gas buang pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur dilakukan dengan mengacu pada Persamaan 3.41. Melalui perhitungan tersebut, nilai beban emisi yang dihasilkan kendaraan dikonversikan ke dalam satuan biaya kerugian. Hasil lengkap mengenai perbandingan antara kondisi eksisting dan alternatif solusi 4, yang diperoleh dari proses konversi serta analisis biaya kerugian emisi gas buang, disajikan pada Tabel 5.59.

Tabel 5. 59 Perbandingan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 4

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	BBM (liter/jam)	Jenis Polutan				
			CO (kg/km)	HC (kg/km)	NO_X (kg/km)	PM_{10} (kg/km)	SO_2 k(g/km)
Existing	SM	1632,037	10,663	4,494	0,221	0,183	0,006
	MP	1632,037	10,663	3,046	1,523	0,008	0,007
	KS	1632,037	1,317	0,990	9,063	1,066	0,111
Alternatif Solusi 4	SM	1407,646	9,197	3,876	0,191	0,158	0,005
	MP	1407,646	9,197	2,628	1,314	0,007	0,006
	KS	1407,646	1,136	0,854	7,817	0,920	0,096

Nilai beban emisi yang diperoleh dalam satuan kilogram per jam (kg/jam) selanjutnya dikonversi menjadi satuan ton per tahun (ton/tahun). Proses konversi tersebut dilakukan dengan mengalikan nilai emisi per jam dengan faktor 8,766, yang merepresentasikan total jumlah jam dalam satu tahun. Hasil lengkap dari konversi beban emisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.60.

Tabel 5. 60 Perbandingan Hasil Konversi Satuan Nilai Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 4

Kondisi Simpang	Kategori Kendaraan	Jenis Polutan				
		CO (ton/tahun)	HC (ton/tahun)	NO_X (ton/tahun)	PM_{10} (ton/tahun)	SO_2 (ton/tahun)
Existing	SM	93,469	39,390	1,936	1,602	0,053
	MP	93,469	26,705	13,353	0,067	0,061
	KS	11,541	8,679	79,448	9,347	0,976
Alternatif Solusi 4	SM	80,618	33,975	1,670	1,382	0,046
	MP	80,618	23,034	11,517	0,058	0,052
	KS	9,954	7,486	68,525	8,062	0,842

Selanjutnya, dilakukan perhitungan biaya kerugian akibat emisi gas buang kendaraan pada Alternatif solusi 4, dengan menggunakan contoh perhitungan untuk polutan karbon monoksida (CO) pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur. Perhitungan ini dilakukan untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dengan menggunakan data sebagai berikut.

1. E_{CO} = 80,618 ton/tahun (nilai berikut dapat dilihat pada Tabel 5.55)
2. Biaya polutan CO = Rp3.326.771 (nilai dapat dilihat pada Tabel 3.12)

Dengan demikian, berdasarkan data yang telah dipaparkan sebelumnya, perhitungan biaya kerugian akibat emisi gas buang jenis karbon monoksida (CO)

pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) dapat dilakukan Proses perhitungan ini mencakup penggunaan nilai faktor emisi, volume lalu lintas, serta biaya polutan yang telah ditetapkan, sehingga diperoleh estimasi nilai kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat emisi CO pada lokasi tersebut adalah sebagai berikut.

Biaya kerugian emisi$_{CO}$ = E$_{CO}$ x biaya polutan$_{CO}$

= 80,618 x Rp3.326.771

= Rp 275.961.182 ton/tahun

Berdasarkan contoh perhitungan pada Alternatif Solusi 4, diperoleh bahwa nilai biaya kerugian akibat emisi gas buang polutan CO pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur untuk kategori kendaraan sepeda motor (SM) mencapai Rp 275.961.182 ton/tahun. Rekapitulasi lengkap mengenai hasil analisis biaya kerugian emisi gas buang pada kondisi eksisting dan pada penerapan Alternatif Solusi 4 dapat dilihat pada Tabel 5.61.

Tabel 5. 61 Perbandingan Rekapitulasi Hasil Kerugian Beban Emisi Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur Alternatif Solusi 4

Kondisi Simpang	**Existing**				
Kategori Kendaraan	**CO (ton/tahun)**	**HC (ton/tahun)**	**NOx (ton/tahun)**	**PM$_{10}$ (ton/tahun)**	**SO$_2$ (ton/tahun)**
SM	Rp 319.951.879	Rp 28.940.595	Rp 30.195.877	Rp 84.815	Rp 891.852
MP	Rp 319.951.879	Rp 19.620.742	Rp 208.247.425	Rp 3.534	Rp 1.014.482
KS	Rp 39.504.263	Rp 6.376.741	Rp1.239.072.181	Rp 494.755	Rp 16.292.224
Total	Rp 679.408.021	Rp 54.938.079	Rp 1.477.515.483	Rp 583.104	Rp18.198.557
Total/tahun	**Rp 2.230.643.244**				
Kondisi Simpang	**Alternatif Solusi 4**				
Kategori Kendaraan	**CO (ton/tahun)**	**HC (ton/tahun)**	**NOx (ton/tahun)**	**PM$_{10}$ (ton/tahun)**	**SO$_2$ (ton/tahun)**
SM	Rp 275.961.182	Rp24.961.506	Rp 6.044.197	Rp 73.154	Rp 769.230
MP	Rp 275.961.182	Rp16.923.055	Rp179.615.152	Rp 3.048	Rp 874.999
KS	Rp 34.072.758	Rp 5.499.993	Rp1.068.710.156	Rp 426.730	Rp14.052.180
Total	Rp 585.995.121	Rp 47.384.554	Rp 1.274.369.506	Rp 502.932	Rp 15.696.408
Total/tahun	**Rp1.923.948.521**				

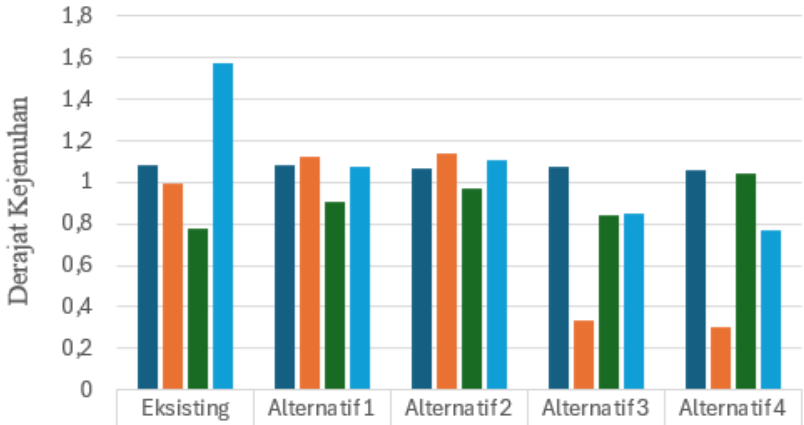
Berdasarkan hasil rekapitulasi kerugian akibat beban emisi pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur, dapat disimpulkan bahwa total kerugian ekonomi yang ditimbulkan oleh emisi gas buang kendaraan pada Alternatif Solusi 4 mencapai Rp1.923.948.521. Nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan kondisi eksisting, sehingga menunjukkan adanya perbaikan setelah penerapan skenario tersebut. Meskipun demikian, angka tersebut tetap mengindikasikan bahwa aktivitas lalu lintas masih memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap kualitas udara dan lingkungan di sekitar lokasi .

5.8 Pembahasan Kinerja Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur

Berdasarkan hasil analisis serta pemodelan simulasi menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM, diperoleh beberapa alternatif solusi dengan variasi kinerja yang berbeda. Alternatif pertama merupakan penyesuaian waktu hijau pada setiap pendekat yang dihitung berdasarkan metode dalam PKJI 2023. Alternatif kedua berfokus pada penetapan ulang waktu siklus dengan mengacu pada nilai waktu siklus ideal yang direkomendasikan. Sementara itu, alternatif ketiga dan keempat melibatkan penataan ulang konfigurasi fase yang dikombinasikan dengan penyesuaian waktu siklus untuk memperoleh kinerja simpang yang lebih optimal. Perbandingan hasil evaluasi kinerja dari masing-masing alternatif pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur disajikan pada uraian berikutnya.

5.8.1 Perbandingan Derajat Kejenuhan (D_J)

Derajat kejenuhan (DJ) merupakan indikator kinerja lalu lintas yang menyatakan perbandingan antara volume kendaraan yang melintas dengan kapasitas maksimum suatu pendekat. Nilai DJ digunakan untuk menggambarkan tingkat pelayanan dan potensi terjadinya hambatan pada suatu simpang bersinyal. Perbandingan nilai derajat kejenuhan antara kondisi eksisting dengan skenario alternatif solusi 1 hingga 4 ditampilkan pada Gambar 5.20.



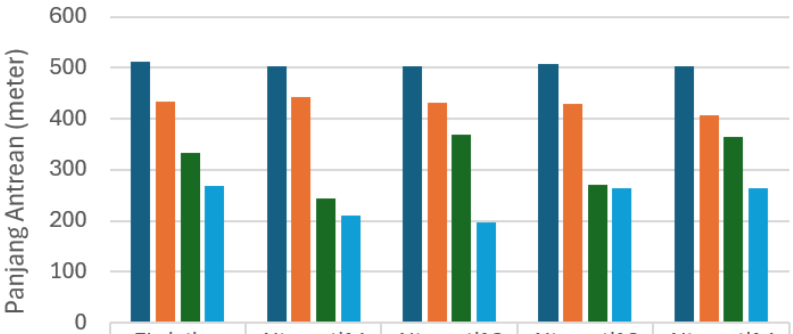
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
U Jl. Majapahit	1,087	1,087	1,065	1,079	1,057
T Jl. Maguwo	0,997	1,121	1,14	0,337	0,304
S Jl. Majapahit	0,778	0,905	0,97	0,844	1,039
B Jl. Gedung Kuning-Wonocatur	1,575	1,074	1,105	0,848	0,766

Gambar 5. 20 Perbandingan Derajat Kejenuhan Pada Setiap Pendekat Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi

Pada Gambar 5.20 ditampilkan rekapitulasi variasi nilai derajat kejenuhan untuk setiap pendekat pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur. Pada alternatif pertama, derajat kejenuhan menunjukkan penurunan pada seluruh pendekat sebagai dampak dari penyesuaian waktu hijau berdasarkan metode PKJI 2023. Sementara itu, pada alternatif kedua terjadi sedikit peningkatan nilai derajat kejenuhan. Kondisi ini disebabkan oleh berkurangnya kapasitas pendekat akibat waktu hijau dan waktu siklus yang relatif lebih kecil, meskipun pengaturannya telah disesuaikan dengan rekomendasi PKJI 2023.

5.8.2 Perbandingan Panjang Antrean

Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur, terdapat perbedaan panjang antrean antara kondisi eksisting dan beberapa alternatif solusi yang diterapkan. Rincian perbandingan panjang antrean yang didapat dari pemodelan VISSIM untuk kondisi setiap pendekat dapat dilihat pada Gambar 5.21.



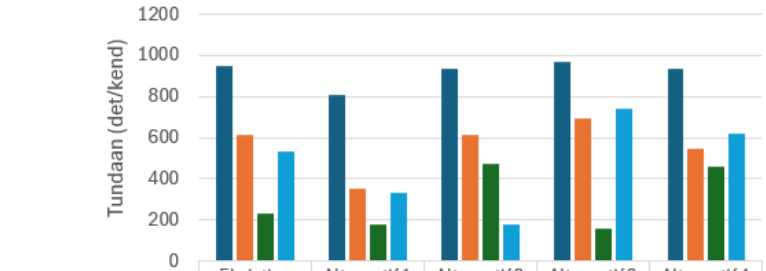
	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
U Jl. Majapahit	511	504	504	507	504
T Jl. Maguwo	433	442	431	430	408
S Jl. Majapahit	333	243	369	270	364
B Jl. Gedung Kuning-Wonocatur	268	210	196	265	263

Gambar 5. 21 Perbandingan Panjang Antrean Pada Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi

Berdasarkan Gambar 5.24, terlihat adanya perbedaan nilai panjang antrean pada setiap alternatif jika dibandingkan dengan kondisi eksisting. Pada alternatif pertama, penyesuaian waktu hijau pada masing-masing pendekat memberikan dampak positif berupa penurunan panjang antrean secara signifikan.

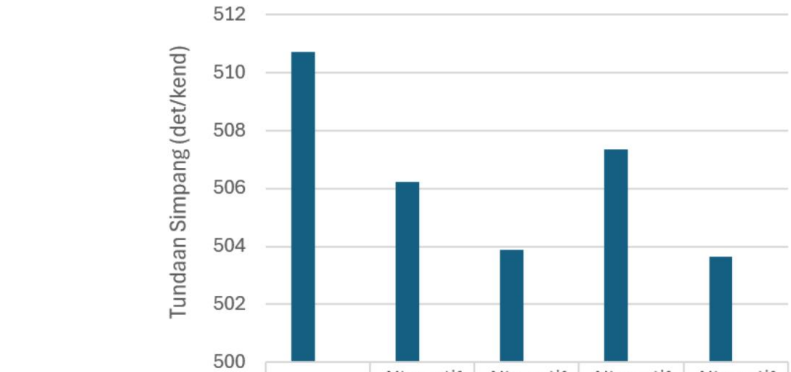
5.8.3 Perbandingan Tundaan dan Tingkat Pelayanan

Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur, terdapat perbedaan nilai tundaan antara kondisi eksisting dan berbagai alternatif solusi yang diterapkan, yang berdampak pada perubahan tingkat pelayanan simpang. Perbandingan tundaan untuk masing-masing lengan simpang serta tundaan pada tiap pendekat berdasarkan hasil pemodelan menggunakan PTV VISSIM disajikan pada Gambar 5.23. Selanjutnya, Gambar 5.22 memperlihatkan rata-rata tundaan pada tingkat simpang secara keseluruhan beserta klasifikasi tingkat pelayanannya. Penyajian ini memberikan gambaran mengenai efektivitas setiap alternatif dalam mengurangi tundaan dan meningkatkan kinerja operasional simpang.



	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
U Jl. Majapahit	950	807	937	971	937
T Jl. Maguwo	615	352	613	691	545
S Jl. Majapahit	230	176	472	160	463
B Jl. Gedung Kuning-Wonocatur	536	334	178	738	618

Gambar 5. 22 Perbandingan Tundaan Pada Setiap Pendekat Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi



	Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
Tundaan Simpang	510,73	506,23	503,87	507,37	503,64
Tingkat Pelayanan Simpang	F	F	F	F	F

Gambar 5. 23 Perbandingan Tundaan Simpang dan Tingkat Pelayanan Kondisi Eksisting Terhadap Alternatif Solusi

Berdasarkan Gambar 5.23, dapat dilihat bahwa alternatif ketiga menunjukkan penurunan tundaan, dengan nilai tundaan sebesar 503,64 Kend/detik dan tingkat pelayanan simpang berada pada kategori F.

Analisis terhadap empat alternatif perbaikan menunjukkan bahwa alternatif keempat, yang mengintegrasikan pengaturan ulang konfigurasi fase sinyal, perubahan waktu siklus menjadi 122 detik, serta pembatasan volume lalu lintas, merupakan opsi yang paling efektif dan relevan untuk diterapkan di Simpang 4 APILL Blok O. Implementasi skema ini berhasil menurunkan nilai derajat kejenuhan rata-rata secara signifikan dari 1,112 pada kondisi eksisting menjadi

0,792. Berdasarkan simulasi perangkat lunak PTV VISSIM, perbaikan kinerja juga terlihat pada reduksi panjang antrean di mayoritas pendekat, yakni Pendekat Utara (511 m menjadi 504 m), Pendekat Timur (433 m menjadi 408 m), dan Pendekat Barat (268 m menjadi 263 m), meskipun terjadi peningkatan minor pada Pendekat Selatan dari 333 m menjadi 364 m. Selain itu, nilai tundaan rata-rata simpang mengalami penurunan dari 510,73 detik/kendaraan menjadi 503,64 detik/kendaraan, walaupun berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, tingkat pelayanan simpang (LOS) secara keseluruhan masih tertahan pada kategori F. Dari aspek ekonomi dan lingkungan, Alternatif 4 terbukti paling unggul dengan mereduksi total kerugian konsumsi BBM dari Rp5.937.873.739 menjadi Rp5.121.465.940, serta menekan biaya emisi gas buang dari Rp2.230.643.244 menjadi Rp1.923.948.521 per tahun. Penurunan beban biaya operasional dan dampak lingkungan ini mengonfirmasi bahwa skenario Alternatif 4 jauh lebih efektif dalam mereduksi kemacetan serta meningkatkan efisiensi di kawasan tersebut.

5.6.4 Perbandingan Kinerja Keseluruhan

Berikut ini merupakan perbandingan kinerja keseluruhan pada kondisi eksisting dan skema alternatif solusi yang telah dilakukan pemodelan menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Hasil Perbandingan tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 5.62 berikut sebagai bagian dari evaluasi dan upaya peningkatan kinerja simpang.

Tabel 5. 62 Perbandingan Kinerja Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur

Parameter	**Exsisting**				**Alternatif 1**				**Alternatif 2**				**Alternatif 3**				**Alternatif 4**			
Kode Pendekat	U	T	S	B	U	T	S	B	U	T	S	B	U	T	S	B	U	T	S	B
Derajat Kejenuhan (D_J)	1,087	0,997	0,778	1,575	1,087	1,121	0,905	1,074	1,065	1,14	0,97	1,105	1,079	0,337	0,844	0,848	1,057	0,304	1,039	0,766
Rata-rata D_J	1,112				1,074				1,070				0,777				0,792			
Panjang Antrean (meter)	511	433	333	268	504	442	243	210	504	431	369	196	507	430	270	265	504	408	364	263
Tundaan Setiap Pendekat (det/SMP)	950	615	230	536	807	352	176	334	937	613	472	178	971	691	160	738	937	545	463	618
Tundaan Simpang (det/SMP)	510,73				506,23				503,87				507,37				503,64			
Tingkat Pelayanan	F				F				F				F				F			
Total Kerugian BBM (RP/Tahun)	5.937.873.739				5.879.827.200				5.796.978.896				5.204.622.319				5.121.465.940			
Total kerugian Emisi Gas (RP/Tahun)	2.230.643.244				2.208.837.270				2.143.904.448				1.955.187.349				1.923.948.521			

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Berdasarkan hasil analisis kinerja pada kondisi eksisting menggunakan metode PKJI 2023, Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur telah melampaui batas kondisi jenuh dengan nilai derajat kejenuhan (DJ) rata-rata sebesar 1,112. Secara spesifik, nilai (DJ) pada masing-masing pendekat adalah 1,087 (Utara), 0,997 (Timur), 0,778 (Selatan), dan 1,575 (Barat). Kondisi ini berkolerasi dengan signifikansi panjang antrean di lapangan, di mana antrean terpanjang terjadi pada Pendekat Utara sejauh 511 m. Lebih lanjut, hasil pemodelan mikrosimulasi menggunakan *software* PTV VISSIM menunjukkan nilai tundaan rata-rata sebesar 510,73 detik/kendaraan. Akumulasi parameter tersebut menetapkan tingkat pelayanan simpang (*Level of Service*) pada kategori F, yang mengindikasikan bahwa kondisi arus lalu lintas sudah tidak stabil dengan hambatan yang sangat tinggi
2. Penerapan alternatif solusi keempat dilakukan melalui modifikasi pengaturan fase APILL pada seluruh lengan simpang guna memenuhi ketentuan PKJI 2023 terkait pembatasan volume belok kanan maksimal 250 smp/jam. Skenario ini membagi pergerakan ke dalam empat fase, di mana fase kedua dan keempat mengintegrasikan pergerakan Pendekat Barat dan Timur secara bersamaan untuk arah lurus serta belok kanan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa skenario ini efektif menurunkan nilai derajat kejenuhan (DJ) rata-rata dari 1,112 menjadi 0,792, sehingga memenuhi kriteria teknis DJ 0,85 sesuai standar PKJI 2023. Meskipun pemodelan PTV VISSIM mengonfirmasi reduksi panjang antrean pada Pendekat Utara, Timur, dan Barat serta penurunan nilai tundaan menjadi 503,64 detik/kendaraan, tingkat pelayanan simpang (*Level of Service*) berdasarkan PM Perhubungan No. 96 Tahun 2015 masih tertahan pada kategori

F. Hal ini dipicu oleh volume lalu lintas yang sangat tinggi sehingga durasi tundaan belum mampu bergeser ke tingkat pelayanan yang lebih baik.

3. Berdasarkan hasil analisis perbandingan biaya kerugian beban emisi gas buang, penerapan alternatif solusi keempat pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur terbukti mampu mereduksi dampak polutan secara signifikan. Analisis ekonomi lingkungan yang mencakup parameter emisi CO, HC, NOx, PM10, dan SO2 menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting, total biaya kerugian beban emisi adalah sebesar Rp2.230.643.244. Setelah diimplementasikannya rekayasa lalu lintas melalui alternatif solusi keempat, nilai kerugian tersebut mengalami penurunan menjadi Rp1.923.948.521. Penurunan ini mengonfirmasi bahwa optimasi kinerja simpang melalui pengaturan fase APILL tidak hanya berdampak pada kelancaran arus lalu lintas, tetapi juga efektif dalam menurunkan biaya eksternalitas lingkungan yang dihasilkan oleh emisi kendaraan

6.2 Saran

Dari hasil analisis yang dilakukan melalui pendekatan PKJI 2023 dan pemodelan dengan perangkat lunak PTV VISSIM, penulis dapat merumuskan beberapa usulan sebagai dasar pertimbangan dalam memperbaiki kinerja simpang, yaitu sebagai berikut.

1. Informasi yang dihasilkan dari proses analisis dan pemodelan ini memberikan gambaran teknis yang komprehensif dan terukur, sehingga dapat dimanfaatkan oleh Dinas Perhubungan Daerah Istimewa Yogyakarta sebagai dasar pertimbangan dalam perumusan kebijakan serta perencanaan upaya perbaikan kinerja lalu lintas pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur.
2. Penerapan Alternatif keempat yang dikaji dalam penelitian ini adalah pemisahan fase pergerakan belok kanan dari fase belok kiri dan lurus. Penerapan alternatif ini mensyaratkan adanya pelebaran pada lengan simpang. Tanpa dilakukan pelebaran, pemisahan fase justru berpotensi meningkatkan nilai derajat kejenuhan karena kapasitas pendekat menjadi terbatas. Pelebaran lengan simpang diperlukan untuk memberikan ruang yang memadai bagi

kendaraan yang bergerak lurus dan belok kiri, sehingga kinerja lalu lintas dapat tetap terlayani dengan baik dan tidak menimbulkan peningkatan kemacetan.

3. Perlunya disediakan rambu petunjuk yang informatif dan jelas pada setiap titik akses menuju kawasan Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur, khususnya untuk mendukung pengaturan fase Timur dan Barat yang beroperasi secara bersamaan. Penyediaan rambu tersebut bertujuan untuk meningkatkan pemahaman dan kepatuhan pengguna jalan terhadap pengaturan lalu lintas yang diterapkan, sehingga pelaksanaan skema alternatif solusi dapat berjalan secara efektif dan optimal.
4. Penelitian sejenis pada masa mendatang disarankan untuk menambahkan variasi hari pengamatan. Hal ini bertujuan agar hasil analisis yang diperoleh menjadi lebih komprehensif dan akurat, serta mampu merepresentasikan kondisi lalu lintas yang lebih aktual dan beragam sesuai dengan dinamika di lapangan.
5. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar periode pengamatan dilakukan dalam durasi yang lebih panjang, khususnya pada hari Sabtu di waktu siang hari. Hal ini didasari oleh temuan adanya peningkatan volume kendaraan yang signifikan pada periode tersebut. Perluasan durasi pengamatan diharapkan dapat menangkap fluktuasi data yang lebih akurat guna mengidentifikasi jam puncak secara lebih komprehensif pada kondisi akhir pekan.
6. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan analisis komprehensif mengenai kerugian ekonomi akibat emisi gas buang dengan menerapkan metode internasional seperti *Damage Cost Method* untuk mengonversi volume polutan menjadi nilai moneter standar, atau *Abatement Cost Method* untuk mengukur efektivitas biaya teknis dalam mencapai standar kualitas udara tertentu. Selain itu, penggunaan metode *Cost of Illness* dan *Hedonic Pricing Method* dapat dipertimbangkan guna mengidentifikasi dampak ekonomi riil terhadap penurunan tingkat kesehatan serta nilai properti di sekitar Simpang 4 Blok O akibat paparan polusi.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, M.I., Lefrandt, L.I. and Rompis, S.Y., 2023. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode PKJI Dan Metode PTV VISSIM (Studi Kasus: Jl. Sam Ratulangi–Jl. Babe Palar, Kota Manado). *Tekno*, *21*(83), pp.67-77.

Aladl, A.S., Yulianto, B. and Setiono, S., 2024. Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Pada Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta. *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, *1*(4), pp.12-12.

Alhafiz, M.A., 2024. *Analisis Hubungan Kinerja Simpang Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Pada Jalan Simpang Bersinyal Di Kota Banjarmasin (Studi Kasus: Simpang Jalan Perintis Kemerdekaan–Jalan Sulawesi–Jalan Di Panjaitan, Kota Banjarmasin)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang).

Amal, A.S., Saleh, C. and Darmawan, A.A., 2022. Evaluasi kinerja simpang empat bersinyal di Kota Malang. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, *22*(2), pp.1304-1308.

Andryani, F., Hamduwibawa, R.B. and Gunasti, A., 2022. Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal dan Solusi Alternatif Menggunakan Vissim pada Simpang Tiga Pakem, Kabupaten Jember. *Jurnal Smart Teknologi*, *4*(1), pp.126-138.

Dinas Perhubungan Daerah Istimewa Yogyakarta. 2022. *Studi Evaluasi Kinerja Ruas Jalan dan Simpang Daerah Istimewa Yogyakart Tahun 2022*. Yogyakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 2023. *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Penerbit Bina Marga. Jakarta.

Fontes, T., Fernandes, P., Rodrigues, H., Bandeira, J. M., Pereira, S. R., & Coelho, M. C. (2015). Spatial variability of vehicle emissions and their impact on localized air quality: A case study for a main road in a medium-sized city. *Atmospheric Environment*, *123*, 353-364

Gustavsson, F. N. 2007. *New Transportation Research Progress*. New York: Nova Science Publishers, Inc.

Hobbs, F.D. (1995). Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas, Terjemahan oleh Suprapto. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Isnaeni, M. (2003). *Hubungan Karakteristik Arus Lalu Lintas dengan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Kendaraan Ringan di Kawasan Perkotaan* (Tesis Magister). Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2010. *Peraturan Menteri Negeri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah*. Menteri Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.

Kementerian Perhubungan. 2015. *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas*. Menteri Perhubungan. Jakarta.

LAPI-ITB. (1996). *Studi Evaluasi Dampak Lalu Lintas dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak*. Bandung: Lembaga Afiliasi Penelitian dan Industri, Institut Teknologi Bandung.

Maulana, A., Sarjana, S. and Prastya, T.R., 2024. Traffic Performance Analysis in The Traditional Market Area. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 576, p. 05003). EDP Sciences.

Morlok, E.K. 1995. Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi, Erlangga, Jakarta.

Muziansyah, D., 2015. *Model Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Akibat Aktivitas Transportasi (Studi Kasus: Terminal Pasar Bawah Ramayana Kota Bandar Lampung)* (Doctoral dissertation, Fakultas Teknik).

Nadia, S., Rachmawati, A. and Rahmawati, A., 2022. Studi Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kebonagung Kota Pasuruan Dengan Menggunakan Metode Pkji 2014 Dan Software Vissim. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, *12*(1), pp.13-22.

Prayitno, E.A., Abidin, Z. and Huda, M., 2019. Analisis Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Raya Nginden-Jl. Raya Panjang Jiwo Menggunakan PKJI 2014. *Ge-STRAM J. Perenc. dan Rekayasa Sipil*, *2*(1), pp.23-28.

Putra, R.A.E., 2019. Evaluasi Pengurangan Polusi Udara Akibat Optimasi Siklus Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Aplikasi Ptv Vissim.

Purnama, B. A. (2022). *Evaluasi dan peningkatan kinerja simpang bersinyal Denggung Sleman*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Sari, D. N., Malkhamah, S., & Priyanto, S. (2019). *Penerapan kebijakan idling stop untuk pengendalian beban emisi kendaraan pada simpang bersinyal (Studi kasus: Simpang Demangan, Kota Yogyakarta).* Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana Departemen Teknik Sipil FT-UI, Depok.

Sirajaya, R.D. and Rahayu, Y.E., 2022. Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Dr. Ir. H. Soekarno-Jl. Mulyorejo Surabaya. *Jurnal Teknik Sipil*, *3*(1), pp.352-359.

Victoria Transport Policy Institute. (2011). *Transportation Cost and Benefit Analysis II – Fuel Costs*. Canada: Victoria Transport Policy Institute.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Formulir Survei Data Volume Kendaraan Sabtu

Nama Simpang :	Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur											
Dari :	Lengan Utara											
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT)				Arah : Lurus (ST)				Arah : Belok Kanan (RT)			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	5	2	0	6	68	23	2	0	33	10	0	0
06.15-06.30	9	4	0	4	72	25	4	0	37	13	1	0
06.30-06.45	11	3	0	0	78	29	9	0	42	18	0	0
06.45-07.00	23	5	0	2	90	38	10	0	65	22	0	0
07.00-07.15	27	7	0	3	158	76	7	1	102	27	2	2
07.15-07.30	48	18	0	0	202	89	11	0	119	60	5	0
07.30-07.45	45	20	0	0	207	94	14	0	127	55	3	0
07.45-08.00	22	14	0	0	148	73	5	0	88	31	0	0
08.00-08.15	57	25	0	2	203	112	13	2	158	69	8	0
08.15-08.30	53	27	0	0	189	101	9	0	143	53	0	0
08.30-08.45	35	10	0	0	164	83	7	0	110	32	1	0
08.45-09.00	54	29	0	1	199	114	11	2	148	64	3	0
11.00-11.15	62	24	0	0	220	117	16	0	155	53	6	0
11.15-11.30	58	17	0	0	207	115	11	0	143	49	4	0
11.30-11.45	63	23	0	0	210	119	18	0	159	54	9	0
11.45-12.00	67	20	0	0	215	124	10	0	150	50	7	0
12.00-12.15	73	30	0	0	227	129	21	0	165	59	11	0
12.15-12.30	75	33	0	0	243	133	19	0	167	64	13	0
12.30-12.45	77	37	0	0	247	135	17	0	179	68	17	0
12.45-13.00	83	43	0	0	250	137	23	0	184	73	19	0
15.00-15.15	55	24	0	0	209	113	17	0	155	49	6	0
15.15-15.30	57	28	0	0	213	118	12	0	158	55	10	0
15.30-15.45	60	35	0	0	217	121	15	0	163	57	7	0
15.45-16.00	54	25	0	0	211	115	11	0	157	51	9	0
16.00-16.15	47	21	0	0	205	103	13	0	144	48	4	0
16.15-16.30	40	19	0	0	160	80	10	0	123	44	2	0
16.30-16.45	43	15	0	0	148	75	7	0	98	32	1	0
16.45-17.00	45	17	0	0	157	78	4	0	115	37	5	0
17.00-17.15	48	20	0	0	164	82	9	0	117	43	6	0
17.15-17.30	42	15	0	0	145	70	7	0	104	33	2	0
17.30-17.45	41	18	0	0	150	73	6	0	108	34	5	0
17.45-18.00	55	23	0	0	214	105	14	0	143	54	3	0

Nama Simpang :	Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur											
Dari :	Lengan Timur											
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT)				Arah : Lurus (ST)				Arah : Belok Kanan (RT)			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	28	11	0	0	36	20	0	0	50	25	0	0
06.15-06.30	32	13	0	0	40	23	0	0	54	27	0	0
06.30-06.45	30	15	0	0	38	22	0	0	52	24	0	0
06.45-07.00	34	16	0	0	45	24	0	0	59	28	0	0
07.00-07.15	36	18	0	0	50	26	0	0	63	27	0	0
07.15-07.30	38	19	0	0	53	25	1	0	66	30	0	0
07.30-07.45	43	23	0	0	56	27	0	0	68	32	0	0
07.45-08.00	40	20	0	0	54	23	0	0	70	28	0	0
08.00-08.15	45	22	0	0	65	29	0	0	74	34	0	0
08.15-08.30	47	19	0	0	60	31	0	0	76	38	0	0
08.30-08.45	33	17	0	0	54	27	0	0	60	34	0	0
08.45-09.00	49	22	0	0	68	32	0	0	144	46	0	0
11.00-11.15	64	25	0	0	134	35	0	0	159	61	1	0
11.15-11.30	59	23	0	0	126	30	0	0	155	59	0	0
11.30-11.45	50	21	0	0	46	28	0	0	144	43	0	0
11.45-12.00	48	23	0	0	48	33	0	0	146	42	0	0
12.00-12.15	44	20	0	0	43	31	0	0	135	34	0	0
12.15-12.30	41	18	0	0	41	28	1	0	130	30	0	0
12.30-12.45	49	20	0	0	44	31	0	0	140	43	0	0
12.45-13.00	46	21	0	0	61	30	0	0	79	39	0	0
15.00-15.15	60	24	0	0	129	31	0	0	154	58	0	0
15.15-15.30	58	22	0	0	126	29	0	0	152	56	0	0
15.30-15.45	54	19	0	0	123	26	2	0	146	54	0	0
15.45-16.00	50	20	0	0	116	28	0	0	141	51	0	0
16.00-16.15	52	23	0	0	121	30	0	0	144	53	0	0
16.15-16.30	49	22	0	0	77	29	0	0	136	46	0	0
16.30-16.45	47	20	0	0	75	31	0	0	132	44	0	0
16.45-17.00	53	23	0	0	124	27	1	0	144	52	0	0
17.00-17.15	65	26	0	0	136	36	0	0	158	63	1	0
17.15-17.30	68	29	0	0	139	38	0	0	161	65	1	0
17.30-17.45	61	24	0	0	131	34	0	0	155	61	0	0
17.45-18.00	49	20	0	0	69	28	0	0	144	45	0	0

Lampiran 1 Formulir Survei Data Volume Kendaraan Sabtu

Nama Simpang :	Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur											
Dari :	Lengan Selatan											
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT)				Arah : Lurus (ST)				Arah : Belok Kanan (RT)			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	24	8	0	0	69	23	0	0	19	1	0	0
06.15-06.30	27	10	0	0	72	24	2	0	21	1	0	0
06.30-06.45	30	12	0	0	77	28	1	0	23	12	0	0
06.45-07.00	28	10	0	0	74	26	2	0	20	7	0	0
07.00-07.15	62	20	0	0	128	72	6	0	38	16	0	0
07.15-07.30	60	18	0	0	124	69	2	0	36	13	0	0
07.30-07.45	69	22	0	0	141	76	4	0	41	17	0	0
07.45-08.00	64	16	0	0	137	69	1	0	37	14	0	0
08.00-08.15	67	19	0	0	140	74	2	0	39	15	0	0
08.15-08.30	70	22	0	0	171	87	6	0	53	17	0	0
08.30-08.45	88	27	0	0	230	86	5	0	57	19	0	0
08.45-09.00	90	31	0	0	234	89	3	0	61	22	0	0
11.00-11.15	101	39	0	0	258	107	4	0	62	30	0	0
11.15-11.30	105	44	0	0	264	114	6	0	63	34	0	0
11.30-11.45	102	42	0	0	260	111	2	0	61	32	0	0
11.45-12.00	98	37	0	0	246	103	4	0	58	29	0	0
12.00-12.15	100	41	0	0	256	122	3	0	69	32	0	0
12.15-12.30	97	39	0	0	249	109	6	0	66	30	0	0
12.30-12.45	93	36	0	0	243	97	4	0	62	28	0	0
12.45-13.00	89	33	0	0	232	87	7	0	57	25	0	0
15.00-15.15	29	9	0	0	73	27	0	0	19	5	0	0
15.15-15.30	32	12	0	0	79	30	0	0	22	7	0	0
15.30-15.45	63	18	0	0	127	71	3	0	38	14	0	0
15.45-16.00	69	20	0	0	142	77	2	0	42	16	0	0
16.00-16.15	74	24	0	0	173	88	5	0	54	18	0	0
16.15-16.30	86	27	0	0	228	86	1	0	57	22	0	0
16.30-16.45	89	30	0	0	233	88	4	0	59	20	0	0
16.45-17.00	93	34	0	0	236	92	3	0	56	24	0	0
17.00-17.15	97	40	0	0	262	113	5	0	59	26	0	0
17.15-17.30	104	42	0	0	269	133	7	0	62	29	0	0
17.30-17.45	109	49	0	0	274	137	3	0	67	31	0	0
17.45-18.00	97	37	0	0	237	93	5	0	58	28	0	0

Nama Simpang :	Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur											
Dari :	Lengan Barat											
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT)				Arah : Lurus (ST)				Arah : Belok Kanan (RT)			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	3	2	0	0	3	1	0	0	3	4	0	0
06.15-06.30	2	4	0	0	7	3	0	0	2	6	0	0
06.30-06.45	32	8	0	0	9	4	0	0	2	7	0	0
06.45-07.00	43	2	0	0	11	8	0	0	8	8	0	0
07.00-07.15	54	4	1	0	16	10	0	0	12	10	0	0
07.15-07.30	84	20	0	0	33	13	0	0	25	12	0	0
07.30-07.45	86	23	1	0	36	15	0	0	27	14	0	0
07.45-08.00	104	46	3	0	54	16	1	0	37	16	0	0
08.00-08.15	107	52	1	0	59	18	0	0	39	18	0	0
08.15-08.30	110	54	0	0	72	22	0	0	42	20	0	0
08.30-08.45	87	29	2	0	44	14	0	0	29	13	0	0
08.45-09.00	82	21	2	0	32	12	0	0	23	11	0	0
11.00-11.15	119	69	2	0	69	17	0	0	42	22	0	0
11.15-11.30	136	74	5	0	84	19	0	0	52	25	0	0
11.30-11.45	153	79	3	0	99	21	2	0	81	32	2	0
11.45-12.00	140	66	4	0	83	25	1	0	62	27	1	0
12.00-12.15	144	77	2	0	88	23	0	0	61	29	0	0
12.15-12.30	172	91	9	0	116	33	3	0	99	42	5	0
12.30-12.45	160	87	7	0	112	31	2	0	94	37	2	0
12.45-13.00	148	82	5	0	94	28	0	0	64	31	0	0
15.00-15.15	133	72	7	0	81	17	0	0	48	23	2	0
15.15-15.30	150	79	4	0	86	22	0	0	60	28	0	0
15.30-15.45	165	87	8	0	108	26	1	0	87	37	3	0
15.45-16.00	159	82	6	0	102	24	0	0	84	32	1	0
16.00-16.15	139	74	4	0	87	19	2	0	52	26	4	0
16.15-16.30	153	84	9	0	91	25	0	0	62	29	2	0
16.30-16.45	158	79	5	0	97	22	3	0	80	31	0	0
16.45-17.00	122	67	3	0	67	16	0	0	43	21	0	0
17.00-17.15	100	42	4	0	47	12	0	0	30	15	0	0
17.15-17.30	109	53	2	0	64	18	1	0	41	19	2	0
17.30-17.45	102	32	5	0	53	14	2	0	32	20	0	0
17.45-18.00	104	46	3	0	60	17	0	0	38	17	1	0

Lampiran 1 Formulir Survei Data Volume Kendaraan Senin

Nama Simpang :	Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur											
Dari :	Lengan Utara											
Waktu	Arah :	Belok Kiri (LT)			Arah :	Lurus (ST)			Arah :	Belok Kanan (RT)		
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	15	10	0	6	76	37	1	0	44	21	0	0
06.15-06.30	32	15	0	4	97	44	5	0	81	32	2	0
06.30-06.45	37	16	0	0	120	68	8	0	84	37	0	0
06.45-07.00	44	19	0	2	169	91	5	0	115	42	1	2
07.00-07.15	57	28	0	3	209	107	9	1	127	55	2	0
07.15-07.30	59	31	0	0	212	112	11	0	139	58	2	0
07.30-07.45	63	34	0	0	218	119	14	0	146	61	0	0
07.45-08.00	65	37	0	0	216	121	8	0	143	59	0	0
08.00-08.15	55	26	0	4	211	109	10	0	124	56	0	0
08.15-08.30	47	21	0	1	172	95	7	0	116	43	0	0
08.30-08.45	49	23	0	4	201	107	10	0	118	51	1	0
08.45-09.00	53	26	0	3	208	111	6	0	121	54	0	0
11.00-11.15	60	32	0	0	231	130	9	0	168	68	5	0
11.15-11.30	58	31	0	0	221	124	7	0	160	64	6	0
11.30-11.45	61	32	0	0	228	127	11	0	165	67	4	0
11.45-12.00	65	34	0	0	241	134	13	0	174	71	3	0
12.00-12.15	69	36	0	0	255	142	10	0	184	75	7	0
12.15-12.30	72	37	0	0	266	149	15	0	192	78	5	0
12.30-12.45	75	38	0	0	278	156	21	0	199	81	6	0
12.45-13.00	76	39	0	0	290	162	19	0	208	84	8	0
15.00-15.15	67	36	0	0	249	140	17	0	179	72	6	0
15.15-15.30	70	38	0	0	261	146	18	0	186	75	7	0
15.30-15.45	73	39	0	0	272	152	19	0	194	79	5	0
15.45-16.00	70	38	0	0	262	146	15	0	187	76	2	0
16.00-16.15	63	34	0	0	236	132	16	0	168	68	6	0
16.15-16.30	55	30	0	0	208	116	14	0	148	60	3	0
16.30-16.45	50	27	0	0	188	105	12	0	134	54	0	0
16.45-17.00	53	29	0	0	199	111	13	0	142	57	4	0
17.00-17.15	56	30	0	0	211	118	14	0	150	61	6	0
17.15-17.30	52	28	0	0	194	108	13	0	138	56	7	0
17.30-17.45	54	29	0	0	202	112	11	0	143	58	4	0
17.45-18.00	68	37	0	0	256	142	17	0	182	73	7	0

Nama Simpang :	Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur											
Dari :	Lengan Timur											
Waktu	Arah :	Belok Kiri (LT)			Arah :	Lurus (ST)			Arah :	Belok Kanan (RT)		
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	15	4	0	0	19	8	0	0	5	3	0	0
06.15-06.30	18	5	0	0	24	10	0	0	7	4	0	0
06.30-06.45	22	6	0	0	31	12	0	0	9	5	0	0
06.45-07.00	25	8	0	0	33	14	0	0	10	6	0	0
07.00-07.15	28	10	0	0	38	16	0	0	12	7	0	0
07.15-07.30	30	11	0	0	41	18	0	0	13	8	0	0
07.30-07.45	33	12	0	0	45	20	0	0	15	9	0	0
07.45-08.00	36	13	0	0	49	22	0	0	17	10	0	0
08.00-08.15	38	14	0	0	53	24	0	0	19	11	0	0
08.15-08.30	40	15	0	0	55	25	0	0	21	12	0	0
08.30-08.45	42	16	0	0	58	27	0	0	23	13	0	0
08.45-09.00	43	17	0	0	60	28	0	0	25	14	0	0
11.00-11.15	48	18	0	0	64	29	0	0	28	15	0	0
11.15-11.30	50	20	0	0	67	31	0	0	29	16	0	0
11.30-11.45	52	21	0	0	69	33	0	0	31	17	0	0
11.45-12.00	54	22	0	0	72	34	0	0	32	18	0	0
12.00-12.15	56	23	0	0	74	36	0	0	33	19	0	0
12.15-12.30	58	24	0	0	76	37	0	0	34	20	0	0
12.30-12.45	60	25	0	0	79	38	0	0	35	21	0	0
12.45-13.00	62	26	0	0	81	39	0	0	37	22	0	0
15.00-15.15	64	27	0	0	83	40	0	0	38	23	0	0
15.15-15.30	66	28	0	0	85	41	0	0	39	24	0	0
15.30-15.45	68	29	0	0	88	42	0	0	40	25	0	0
15.45-16.00	70	30	0	0	90	43	0	0	42	26	0	0
16.00-16.15	72	31	0	0	92	44	0	0	43	27	0	0
16.15-16.30	74	32	0	0	95	45	0	0	45	28	0	0
16.30-16.45	76	33	0	0	97	46	0	0	46	29	0	0
16.45-17.00	78	34	0	0	99	47	0	0	47	30	0	0
17.00-17.15	80	35	0	0	102	48	0	0	49	31	0	0
17.15-17.30	82	36	0	0	104	49	0	0	50	32	0	0
17.30-17.45	84	37	0	0	107	50	0	0	52	33	0	0
17.45-18.00	86	38	0	0	109	51	0	0	53	34	0	0

Lampiran 1 Formulir Survei Data Volume Kendaraan Senin

Nama Simpang :	Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur											
Dari :	Lengan Selatan											
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT)				Arah : Lurus (ST)				Arah : Belok Kanan (RT)			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	45	20	0	0	90	35	0	0	25	10	0	0
06.15-06.30	50	22	0	0	95	38	2	0	28	12	0	0
06.30-06.45	55	25	0	0	110	40	4	0	30	14	0	0
06.45-07.00	60	30	0	0	120	45	1	0	35	15	0	0
07.00-07.15	65	32	0	0	125	50	0	0	38	17	0	0
07.15-07.30	70	35	0	0	130	55	5	0	40	18	0	0
07.30-07.45	72	36	0	0	135	58	2	0	42	19	0	0
07.45-08.00	75	38	0	0	140	60	3	0	45	20	0	0
08.00-08.15	70	35	0	0	130	55	1	0	40	18	0	0
08.15-08.30	68	33	0	0	120	50	4	0	38	17	0	0
08.30-08.45	60	30	0	0	110	45	3	0	35	15	0	0
08.45-09.00	55	25	0	0	100	40	6	0	30	12	0	0
11.00-11.15	80	30	0	0	150	55	3	0	40	20	0	0
11.15-11.30	78	32	0	0	145	60	2	0	38	22	0	0
11.30-11.45	70	35	0	0	140	58	4	0	36	20	0	0
11.45-12.00	65	30	0	0	130	55	2	0	32	18	0	0
12.00-12.15	60	28	0	0	120	50	5	0	30	15	0	0
12.15-12.30	58	26	0	0	115	45	7	0	28	15	0	0
12.30-12.45	55	25	0	0	110	42	2	0	25	12	0	0
12.45-13.00	50	22	0	0	100	40	1	0	20	10	0	0
15.00-15.15	45	20	0	0	90	35	0	0	25	10	0	0
15.15-15.30	50	22	0	0	95	38	1	0	28	12	0	0
15.30-15.45	55	25	0	0	110	40	6	0	30	14	0	0
15.45-16.00	60	30	0	0	120	45	3	0	35	15	0	0
16.00-16.15	65	32	0	0	125	50	2	0	38	17	0	0
16.15-16.30	70	35	0	0	130	55	4	0	40	18	0	0
16.30-16.45	72	36	0	0	135	58	6	0	42	19	0	0
16.45-17.00	75	38	0	0	140	60	3	0	45	20	0	0
17.00-17.15	70	35	0	0	130	55	2	0	40	18	0	0
17.15-17.30	68	33	0	0	120	50	3	0	38	17	0	0
17.30-17.45	60	30	0	0	110	45	1	0	35	15	0	0
17.45-18.00	55	25	0	0	100	40	5	0	30	12	0	0

Nama Simpang :	Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur											
Dari :	Lengan Barat											
Waktu	Arah : Belok Kiri (LT)				Arah : Lurus (ST)				Arah : Belok Kanan (RT)			
	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda	Roda 2&3	Roda 4	Roda >4	Sepeda
06.00-06.15	49	17	0	0	27	10	0	0	13	5	0	0
06.15-06.30	64	23	0	0	36	13	0	0	17	6	0	0
06.30-06.45	67	24	0	0	38	13	0	0	18	6	0	0
06.45-07.00	80	29	0	0	46	17	0	0	22	8	0	0
07.00-07.15	72	26	1	0	41	15	1	0	20	7	0	0
07.15-07.30	59	21	0	0	34	12	0	0	16	6	0	0
07.30-07.45	98	35	2	0	55	20	0	0	26	9	0	0
07.45-08.00	83	30	4	0	46	17	1	0	22	8	0	0
08.00-08.15	109	39	1	0	61	22	0	0	29	10	0	0
08.15-08.30	96	34	3	0	53	19	0	0	25	9	0	0
08.30-08.45	125	45	5	0	69	25	0	0	33	12	0	0
08.45-09.00	109	39	9	0	61	22	0	0	29	10	0	0
11.00-11.15	148	53	2	0	82	30	0	0	39	14	0	0
11.15-11.30	127	46	4	0	71	26	2	0	34	12	2	0
11.30-11.45	96	35	7	0	54	19	0	0	25	9	1	0
11.45-12.00	104	37	5	0	58	21	1	0	27	10	2	0
12.00-12.15	117	42	6	0	66	24	1	0	30	11	0	0
12.15-12.30	126	45	3	0	71	25	0	0	32	11	2	0
12.30-12.45	152	54	5	0	85	30	3	0	38	13	4	0
12.45-13.00	186	66	2	0	103	37	0	0	47	16	3	0
15.00-15.15	89	32	5	0	49	18	0	0	23	8	0	0
15.15-15.30	121	43	2	0	66	24	1	0	31	11	2	0
15.30-15.45	136	49	3	0	75	27	0	0	35	12	1	0
15.45-16.00	162	58	6	0	90	33	2	0	41	15	3	0
16.00-16.15	165	59	9	0	92	33	0	0	42	15	4	0
16.15-16.30	162	58	5	0	90	33	0	0	41	15	0	0
16.30-16.45	149	54	7	0	83	30	1	0	38	13	0	0
16.45-17.00	193	70	6	0	108	39	3	0	49	17	0	0
17.00-17.15	152	54	3	0	85	30	2	0	38	13	3	0
17.15-17.30	163	58	4	0	91	33	0	0	41	14	2	0
17.30-17.45	116	41	9	0	65	23	1	0	30	10	4	0
17.45-18.00	71	25	5	0	40	14	0	0	18	7	1	0

Lampiran 2 Formulir Survei Panjang Atrean Sabtu

UTARA																	
PAGI						SIANG				SORE							
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
06.01	25	07.01	60	08.01	110	11.02	260	12.02	350	15.00	250	15.56	280	16.51	70	17.47	125
06.04	30	07.04	80	08.04	75	11.04	310	12.04	425	15.03	270	15.58	255	16.54	80	17.49	100
06.06	40	07.06	60	08.06	95	11.07	250	12.07	275	15.05	260	16.00	250	16.56	75	17.51	170
06.08	35	07.08	85	08.08	100	11.09	325	12.09	475	15.07	250	16.02	190	16.58	85	17.54	200
06.11	30	07.11	75	08.11	95	11.12	400	12.12	500	15.11	260	16.05	160	17.00	70	17.56	21
06.13	40	07.13	65	08.13	105	11.14	370	12.14	525	15.13	265	16.07	140	17.02	75	17.58	285
06.16	45	07.16	100	08.16	150	11.16	350	12.16	550	15.15	230	16.11	110	17.05	60	18.00	190
06.18	50	07.18	130	08.18	115	11.19	290	12.19	500	15.17	205	16.13	100	17.07	90		
06.20	55	07.20	110	08.20	115	11.21	280	12.21	575	15.19	260	16.15	125	17.11	100		
06.23	40	07.23	120	08.23	100	11.23	340	12.23	600	15.22	270	16.17	100	17.13	75		
06.25	35	07.25	125	08.25	100	11.26	315	12.26	550	15.24	250	16.19	120	17.15	60		
06.28	40	07.28	100	08.28	75	11.28	310	12.28	550	15.26	260	16.22	80	17.17	65		
06.30	45	07.30	80	08.30	90	11.31	340	12.31	500	15.28	350	16.24	120	17.19	65		
06.32	50	07.32	105	08.32	70	11.33	350	12.33	525	15.30	320	16.26	75	17.22	70		
06.35	55	07.35	75	08.35	80	11.36	340	12.36	550	15.32	310	16.28	70	17.24	50		
06.37	40	07.37	100	08.37	100	11.38	320	12.38	575	15.34	280	16.30	65	17.26	60		
06.40	55	07.40	115	08.40	100	11.40	320	12.40	580	15.36	285	16.32	75	17.28	55		
06.42	30	07.42	150	08.42	90	11.43	350	12.43	600	15.39	380	16.34	100	17.30	75		
06.44	40	07.44	125	08.44	95	11.45	300	12.45	590	15.41	320	16.36	60	17.32	65		
06.47	45	07.47	80	08.47	105	11.48	325	12.48	600	15.43	325	16.39	70	17.34	80		
06.49	50	07.49	95	08.49	95	11.50	320	12.50	575	15.45	280	16.41	75	17.36	65		
06.52	55	07.52	75	08.52	80	11.53	350	12.53	590	15.47	290	16.43	70	17.39	80		
06.54	50	07.54	60	08.54	90	11.55	340	12.55	540	15.49	285	16.45	75	17.41	85		
06.57	45	07.57	90	08.57	120	11.57	360	12.57	585	15.51	260	16.47	80	17.43	70		
06.59	65	07.59	50	08.59	110	12.00	340	13.00	600	15.54	250	16.49	75	17.45	75		

Lampiran 2 Formulir Survei Panjang Atrean Sabtu

Timur																	
PAGI						SIANG				SORE							
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
06.00	20	06.59	55	07.59	25	11.00	140	12.00	70	15.00	175	15.58	145	16.56	150	17.54	75
06.02	30	07.02	50	08.02	40	11.02	170	12.02	80	15.03	155	16.00	130	16.58	165	17.56	80
06.04	25	07.04	40	08.04	30	11.04	200	12.04	65	15.05	130	16.03	150	17.00	180	17.58	85
06.07	35	07.07	45	08.07	55	11.07	220	12.07	70	15.07	170	16.05	160	17.03	175	18.00	70
06.09	20	07.09	40	08.09	60	11.09	240	12.09	50	15.09	180	16.07	140	17.05	200		
06.11	20	07.11	45	08.11	85	11.11	230	12.11	75	15.12	225	16.09	110	17.07	225		
06.14	25	07.14	55	08.14	75	11.13	210	12.13	80	15.14	250	16.12	135	17.09	210		
06.16	30	07.16	45	08.16	70	11.15	300	12.15	65	15.16	200	16.14	100	17.12	340		
06.18	35	07.18	70	08.18	60	11.18	190	12.18	75	15.19	150	16.16	125	17.14	320		
06.21	30	07.21	65	08.21	50	11.20	220	12.20	80	15.21	260	16.19	130	17.16	270		
06.23	25	07.23	45	08.23	65	11.23	250	12.23	60	15.23	125	16.21	100	17.19	325		
06.26	30	07.26	30	08.26	45	11.25	180	12.25	50	15.26	175	16.23	85	17.21	330		
06.28	35	07.28	55	08.28	55	11.27	100	12.27	55	15.28	180	16.26	95	17.23	340		
06.31	30	07.31	50	08.31	40	11.30	80	12.30	50	15.31	150	16.28	100	17.26	320		
06.33	20	07.33	55	08.33	50	11.34	85	12.34	85	15.34	190	16.31	100	17.28	290		
06.36	25	07.36	70	08.36	35	11.36	75	12.36	95	15.36	125	16.34	110	17.31	350		
06.38	35	07.38	50	08.38	45	11.38	80	12.38	100	15.39	150	16.36	120	17.34	320		
06.40	30	07.40	55	08.40	40	11.41	100	12.41	70	15.41	165	16.39	75	17.36	275		
06.43	35	07.43	60	08.43	45	11.43	75	12.43	65	15.43	140	16.41	95	17.39	225		
06.45	40	07.45	55	08.45	40	11.45	70	12.45	50	15.45	125	16.43	130	17.41	170		
06.47	45	07.47	50	08.47	45	11.48	50	12.48	25	15.47	90	16.45	90	17.43	145		
06.50	40	07.50	75	08.50	35	11.51	75	12.51	50	15.49	80	16.47	100	15.45	130		
06.52	35	07.52	55	08.52	75	11.53	75	12.53	60	15.52	95	16.49	110	17.47	100		
06.54	45	07.54	65	08.54	75	11.55	110	12.55	50	15.54	125	16.52	145	17.49	70		
06.57	40	07.57	45	08.57	115	11.58	100	12.58	55	15.56	130	16.54	200	15.52	60		
				09.00	145			13.00	70								

Lampiran 2 Formulir Survei Panjang Atrean Sabtu

Selatan																	
PAGI						SIANG				SORE							
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
06.00	25	07.00	50	08.00	105	11.00	280	12.00	285	15.00	35	15.55	145	16.52	270	17.48	460
06.02	30	07.02	65	08.02	170	11.03	250	12.03	310	15.02	25	15.58	160	16.54	225	17.50	420
06.04	25	07.04	60	08.04	125	11.05	270	12.05	280	15.04	30	16.00	150	16.55	260	17.52	180
06.07	35	07.07	70	08.07	120	11.07	270	12.07	255	15.07	25	16.02	155	15.58	255	17.54	150
06.09	40	07.09	100	08.09	100	11.10	300	12.10	275	15.09	65	16.04	160	17.00	270	17.55	165
06.11	40	07.11	125	08.11	130	11.12	350	12.12	310	15.11	45	16.07	165	17.02	275	17.58	150
06.14	30	07.14	140	08.14	70	11.14	330	12.14	260	15.13	40	16.09	180	17.04	285	18.00	165
06.16	35	07.16	130	08.17	85	11.17	370	12.17	265	15.16	55	16.11	230	17.07	360		
06.19	40	07.19	90	08.18	155	11.19	350	12.19	250	15.18	35	16.13	180	17.09	370		
06.21	45	07.21	70	08.21	160	11.22	330	12.22	265	15.20	50	16.16	170	17.11	375		
06.24	35	07.24	60	08.23	150	11.24	370	12.24	270	15.23	40	16.18	225	17.13	355		
06.26	30	07.26	65	08.26	155	11.27	355	12.27	245	15.26	55	16.20	250	17.16	360		
06.28	25	07.28	60	08.28	220	11.29	360	12.29	250	15.28	35	16.23	150	17.18	370		
06.31	30	07.31	30	08.31	180	11.32	300	12.32	255	15.30	50	16.26	175	17.20	520		
06.33	35	07.33	100	08.33	225	11.34	280	12.34	235	15.33	40	16.28	170	17.23	510		
06.36	40	07.36	170	08.36	230	11.36	310	12.36	200	15.35	75	16.30	185	17.26	520		
06.38	30	07.38	110	08.38	170	11.38	320	12.38	250	15.37	45	16.33	180	17.28	510		
06.40	45	07.40	140	08.41	230	11.41	275	12.41	265	15.39	80	16.35	200	17.30	505		
06.43	50	07.43	160	08.43	175	11.43	270	12.43	270	15.41	85	16.37	185	17.33	520		
06.45	40	07.45	150	08.45	180	11.46	310	12.46	165	15.43	150	16.39	225	17.35	530		
06.48	30	07.48	135	08.48	185	11.48	280	12.48	275	15.46	100	16.41	230	17.37	525		
06.50	35	07.50	130	08.50	210	11.51	255	12.51	280	15.48	110	16.43	200	17.39	535		
06.52	30	07.52	125	08.53	250	11.53	300	12.53	220	15.50	90	16.46	175	17.41	520		
06.55	35	07.55	115	08.55	185	11.55	35	12.55	210	15.52	130	16.48	160	17.43	515		
06.57	40	07.57	90	08.57	175	11.58	280	12.58	245	15.54	85	16.50	175	17.46	490		
				09.00	200			13.00	180								

Lampiran 2 Formulir Survei Panjang Atrean Sabtu

Barat																	
PAGI						SIANG				SORE							
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
06.01	10	07.01	30	08.01	65	11.01	60	12.01	50	15.01	50	15.55	125	16.49	50	17.42	35
06.03	15	07.03	25	08.03	40	11.04	45	12.04	100	15.03	70	15.57	105	16.51	50	17.44	35
06.05	10	07.05	35	08.05	30	11.06	60	12.06	100	15.05	60	15.59	85	16.53	75	17.47	60
06.08	15	07.08	20	08.08	30	11.08	80	12.08	105	15.08	75	16.02	75	16.55	50	17.49	35
06.10	10	07.10	40	08.10	30	11.11	75	12.11	125	15.10	90	16.04	80	16.57	60	17.51	40
06.13	10	07.13	25	08.13	55	11.13	60	12.13	150	15.12	60	16.06	80	16.59	60	17.53	50
06.15	10	07.15	25	08.15	45	11.16	80	12.16	170	15.15	85	16.08	75	17.02	50	17.55	40
06.17	20	07.17	30	08.17	40	11.18	60	12.18	205	15.17	95	16.11	105	17.04	35	17.57	30
06.20	15	07.20	20	08.20	35	11.20	75	12.20	220	15.19	100	16.13	105	17.06	75	17.59	35
06.22	25	07.22	15	08.22	50	11.23	60	12.23	200	15.21	90	16.15	105	17.08	20		
06.25	20	07.25	55	08.25	45	11.25	35	12.25	180	15.23	70	16.17	105	17.11	25		
06.27	10	07.27	45	08.27	55	11.28	65	12.28	150	15.25	65	16.19	95	17.13	35		
06.30	25	07.30	20	08.30	60	11.30	125	12.30	205	15.28	150	16.21	105	17.15	35		
06.32	20	07.32	25	08.32	40	11.32	125	12.32	175	15.30	130	16.23	110	17.17	40		
06.34	15	07.34	30	08.34	55	11.35	120	12.35	200	15.32	75	16.25	155	17.19	45		
06.37	20	07.37	25	08.37	40	11.37	125	12.37	150	15.34	155	16.28	110	17.21	50		
06.39	25	07.39	50	08.39	25	11.40	130	12.40	175	15.36	160	16.30	135	17.23	60		
06.42	20	07.42	35	08.42	40	11.42	135	12.42	180	15.38	160	16.32	120	17.25	50		
06.44	35	07.44	30	08.44	25	11.44	175	12.44	140	15.40	180	16.34	175	17.28	60		
06.46	30	07.46	35	08.46	30	11.47	140	12.47	135	15.42	165	16.36	200	17.30	50		
06.49	35	07.49	30	08.49	35	11.49	105	12.49	130	15.44	145	16.38	125	17.32	40		
06.51	25	07.51	55	08.51	30	11.52	95	12.52	120	15.47	210	16.40	120	17.34	50		
06.53	20	07.53	30	08.53	30	11.54	70	12.54	105	15.49	175	16.42	135	17.36	30		
06.55	25	07.55	45	08.55	25	11.57	60	12.57	85	15.51	150	16.44	75	17.38	45		
06.58	20	07.58	50	08.58	30	11.59	90	12.59	100	15.53	145	16.47	75	17.40	40		
				09.01	35			13.01	90								

Lampiran 2 Formulir Survei Panjang Atrean Senin

UTARA																	
PAGI						SIANG				SORE							
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
06.01	10	07.01	80	08.01	125	11.02	165	12.02	245	15.00	110	15.56	145	16.51	140	17.47	130
06.04	15	07.04	75	08.04	130	11.04	210	12.04	195	15.03	130	15.58	185	16.54	175	17.49	155
06.06	15	07.06	75	08.06	100	11.07	250	12.07	185	15.05	125	16.00	155	16.56	150	17.51	95
06.08	20	07.08	85	08.08	95	11.09	250	12.09	125	15.07	125	16.02	170	16.58	140	17.54	115
06.11	25	07.11	120	08.11	115	11.12	225	12.12	135	15.11	150	16.05	85	17.00	100	17.56	120
06.13	65	07.13	125	08.13	100	11.14	240	12.14	210	15.13	120	16.07	110	17.02	110	17.58	115
06.16	45	07.16	135	08.16	95	11.16	230	12.16	140	15.15	185	16.11	155	17.05	110	18.00	95
06.18	50	07.18	100	08.18	70	11.19	225	12.19	125	15.17	120	16.13	140	17.07	95		
06.20	60	07.20	125	08.20	95	11.21	210	12.21	185	15.19	100	16.15	195	17.11	115		
06.23	45	07.23	95	08.23	80	11.23	225	12.23	160	15.22	130	16.17	185	17.13	120		
06.25	75	07.25	125	08.25	90	11.26	230	12.26	155	15.24	150	16.19	220	17.15	135		
06.28	45	07.28	150	08.28	70	11.28	175	12.28	175	15.26	75	16.22	280	17.17	140		
06.30	75	07.30	165	08.30	65	11.31	190	12.31	160	15.28	180	16.24	325	17.19	115		
06.32	55	07.32	150	08.32	50	11.33	185	12.33	155	15.30	185	16.26	180	17.22	100		
06.35	60	07.35	160	08.35	85	11.36	240	12.36	175	15.32	155	16.28	190	17.24	130		
06.37	50	07.37	150	08.37	75	11.38	225	12.38	160	15.34	170	16.30	195	17.26	155		
06.40	75	07.40	175	08.40	80	11.40	260	12.40	180	15.36	155	16.32	155	17.28	130		
06.42	60	07.42	165	08.42	165	11.43	280	12.43	185	15.39	175	16.34	160	17.30	125		
06.44	55	07.44	160	08.44	150	11.45	265	12.45	160	15.41	120	16.36	170	17.32	165		
06.47	70	07.47	175	08.47	110	11.48	340	12.48	195	15.43	105	16.39	160	17.34	130		
06.49	80	07.49	170	08.49	100	11.50	275	12.50	180	15.45	135	16.41	180	17.36	80		
06.52	65	07.52	185	08.52	125	11.53	240	12.53	185	15.47	150	16.43	85	17.39	95		
06.54	95	07.54	130	08.54	115	11.55	200	12.55	120	15.49	210	16.45	70	17.41	80		
06.57	70	07.57	165	08.57	90	11.57	245	12.57	210	15.51	180	16.47	115	17.43	95		
06.59	70	07.59	140	08.59	75	12.00	200	13.00	175	15.54	175	16.49	125	17.45	125		
				09.01	80												

Lampiran 2 Formulir Survei Panjang Atrean Senin

TIMUR																	
PAGI						SIANG				SORE							
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
06.00	25	06.59	40	07.59	65	11.00	35	12.00	35	15.00	40	15.58	30	16.56	95	17.54	50
06.02	20	07.02	70	08.02	60	11.02	40	12.02	30	15.03	45	16.00	45	16.58	135	17.56	40
06.04	15	07.04	50	08.04	70	11.04	55	12.04	40	15.05	35	16.03	55	17.00	125	17.58	30
06.07	10	07.07	40	08.07	65	11.07	45	12.07	35	15.07	40	16.05	60	17.03	150	18.00	25
06.09	25	07.09	35	08.09	75	11.09	50	12.09	20	15.09	45	16.07	70	17.05	110		
06.11	15	07.11	50	08.11	125	11.11	30	12.11	50	15.12	50	16.09	75	17.07	125		
06.14	20	07.14	40	08.14	100	11.13	25	12.13	70	15.14	60	16.12	90	17.09	150		
06.16	40	07.16	55	08.16	95	11.15	55	12.15	75	15.16	55	16.14	80	17.12	175		
06.18	30	07.18	75	08.18	90	11.18	35	12.18	65	15.19	35	16.16	70	17.14	160		
06.21	20	07.21	50	08.21	85	11.20	45	12.20	60	15.21	40	16.19	55	17.16	180		
06.23	45	07.23	60	08.23	65	11.23	35	12.23	50	15.23	45	16.21	60	17.19	170		
06.26	5	07.26	55	08.26	75	11.25	50	12.25	65	15.26	30	16.23	55	17.21	145		
06.28	35	07.28	70	08.28	55	11.27	80	12.27	75	15.28	40	16.26	75	17.23	150		
06.31	50	07.31	75	08.31	50	11.30	95	12.30	80	15.31	50	16.28	100	17.26	110		
06.33	45	07.33	65	08.33	50	11.34	75	12.34	55	15.34	60	16.31	110	17.28	95		
06.36	45	07.36	50	08.36	65	11.36	70	12.36	65	15.36	55	16.34	125	17.31	80		
06.38	50	07.38	60	08.38	70	11.38	65	12.38	50	15.39	60	16.36	150	17.34	85		
06.40	55	07.40	55	08.40	55	11.41	50	12.41	70	15.41	90	16.39	175	17.36	90		
06.43	60	07.43	60	08.43	50	11.43	70	12.43	60	15.43	75	16.41	125	17.39	75		
06.45	45	07.45	55	08.45	65	11.45	80	12.45	70	15.45	80	16.43	110	17.41	100		
06.47	55	07.47	70	08.47	70	11.48	95	12.48	65	15.47	70	16.45	160	17.43	105		
06.50	50	07.50	80	08.50	75	11.51	70	12.51	50	15.49	60	16.47	120	15.45	125		
06.52	70	07.52	75	08.52	60	11.53	60	12.53	75	15.52	50	16.49	130	17.47	130		
06.54	75	07.54	85	08.54	100	11.55	45	12.55	80	15.54	55	16.52	150	17.49	100		
06.57	60	07.57	70	08.57	95	11.58	50	12.58	60	15.56	40	16.54	110	15.52	75		
				09.00	85			13.00	65								

Lampiran 2 Formulir Survei Panjang Atrean Senin

SELATAN																	
PAGI						SIANG				SORE							
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
06.00	30	07.00	40	08.00	120	11.00	250	12.00	175	15.00	60	15.55	100	16.52	325	17.48	175
06.02	50	07.02	30	08.02	100	11.03	275	12.03	330	15.02	65	15.58	150	16.54	300	17.50	90
06.04	40	07.04	100	08.04	60	11.05	300	12.05	340	15.04	75	16.00	200	16.55	310	17.52	50
06.07	50	07.07	25	08.07	80	11.07	300	12.07	125	15.07	70	16.02	250	15.58	200	17.54	40
06.09	70	07.09	25	08.09	180	11.10	320	12.10	150	15.09	75	16.04	325	17.00	175	17.55	50
06.11	60	07.11	30	08.11	100	11.12	275	12.12	155	15.11	80	16.07	200	17.02	200	17.58	35
06.14	15	07.14	90	08.14	120	11.14	150	12.14	175	15.13	100	16.09	340	17.04	150	18.00	40
06.16	25	07.16	110	08.17	180	11.17	225	12.17	200	15.16	60	16.11	300	17.07	90		
06.19	70	07.19	40	08.18	220	11.19	120	12.19	275	15.18	50	16.13	335	17.09	175		
06.21	80	07.21	40	08.21	120	11.22	110	12.22	175	15.20	80	16.16	320	17.11	100		
06.24	30	07.24	110	08.23	140	11.24	70	12.24	120	15.23	50	16.18	340	17.13	90		
06.26	30	07.26	90	08.26	125	11.27	110	12.27	250	15.26	30	16.20	325	17.16	110		
06.28	80	07.28	25	08.28	150	11.29	60	12.29	200	15.28	60	16.23	250	17.18	200		
06.31	90	07.31	50	08.31	110	11.32	90	12.32	125	15.30	30	16.26	200	17.20	210		
06.33	40	07.33	130	08.33	100	11.34	110	12.34	90	15.33	110	16.28	150	17.23	80		
06.36	40	07.36	120	08.36	200	11.36	140	12.36	60	15.35	90	16.30	250	17.26	90		
06.38	70	07.38	80	08.38	200	11.38	150	12.38	80	15.37	50	16.33	275	17.28	120		
06.40	40	07.40	85	08.41	125	11.41	70	12.41	110	15.39	100	16.35	300	17.30	125		
06.43	20	07.43	125	08.43	160	11.43	90	12.43	150	15.41	50	16.37	200	17.33	60		
06.45	35	07.45	80	08.45	150	11.46	100	12.46	175	15.43	70	16.39	225	17.35	90		
06.48	60	07.48	80	08.48	80	11.48	120	12.48	150	15.46	150	16.41	310	17.37	100		
06.50	30	07.50	120	08.50	80	11.51	110	12.51	125	15.48	80	16.43	325	17.39	90		
06.52	25	07.52	120	08.53	110	11.53	170	12.53	200	15.50	120	16.46	340	17.41	100		
06.55	110	07.55	70	08.55	125	11.55	200	12.55	170	15.52	125	16.48	360	17.43	120		
06.57	150	07.57	75	08.57	100	11.58	210	12.58	135	15.54	105	16.50	345	17.46	150		
				09.00	120			13.00	110								

Lampiran 2 Formulir Survei Panjang Atrean Senin

BARAT																	
PAGI						SIANG				SORE							
Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)	Pukul Terjadi Antrean	Panjang Antrean (m)
06.01	20	07.01	35	08.01	55	11.01	55	12.01	35	15.01	30	15.55	65	16.49	75	17.42	45
06.03	25	07.03	20	08.03	50	11.04	60	12.04	50	15.03	35	15.57	45	16.51	80	17.44	35
06.05	15	07.05	30	08.05	35	11.06	55	12.06	60	15.05	25	15.59	50	16.53	55	17.47	30
06.08	20	07.08	35	08.08	45	11.08	50	12.08	30	15.08	35	16.02	55	16.55	85	17.49	35
06.10	30	07.10	35	08.10	20	11.11	60	12.11	50	15.10	30	16.04	65	16.57	65	17.51	35
06.13	10	07.13	25	08.13	50	11.13	60	12.13	45	15.12	60	16.06	85	16.59	75	17.53	25
06.15	15	07.15	25	08.15	40	11.16	45	12.16	50	15.15	25	16.08	55	17.02	80	17.55	20
06.17	20	07.17	20	08.17	30	11.18	55	12.18	60	15.17	50	16.11	50	17.04	45	17.57	25
06.20	15	07.20	30	08.20	40	11.20	35	12.20	50	15.19	50	16.13	55	17.06	50	17.59	20
06.22	25	07.22	25	08.22	30	11.23	50	12.23	35	15.21	55	16.15	75	17.08	60		
06.25	25	07.25	20	08.25	50	11.25	55	12.25	35	15.23	25	16.17	85	17.11	55		
06.27	30	07.27	25	08.27	40	11.28	50	12.28	50	15.25	45	16.19	60	17.13	70		
06.30	35	07.30	20	08.30	30	11.30	55	12.30	55	15.28	50	16.21	50	17.15	45		
06.32	25	07.32	35	08.32	55	11.32	55	12.32	60	15.30	50	16.23	60	17.17	50		
06.34	20	07.34	40	08.34	65	11.35	30	12.35	65	15.32	55	16.25	70	17.19	80		
06.37	25	07.37	25	08.37	30	11.37	30	12.37	40	15.34	50	16.28	55	17.21	70		
06.39	30	07.39	55	08.39	45	11.40	20	12.40	65	15.36	50	16.30	55	17.23	50		
06.42	25	07.42	40	08.42	55	11.42	55	12.42	55	15.38	45	16.32	60	17.25	60		
06.44	35	07.44	35	08.44	40	11.44	30	12.44	60	15.40	45	16.34	70	17.28	50		
06.46	25	07.46	25	08.46	45	11.47	30	12.47	70	15.42	55	16.36	65	17.30	75		
06.49	30	07.49	20	08.49	55	11.49	35	12.49	75	15.44	65	16.38	45	17.32	50		
06.51	20	07.51	25	08.51	45	11.52	25	12.52	100	15.47	70	16.40	55	17.34	40		
06.53	35	07.53	15	08.53	30	11.54	50	12.54	80	15.49	55	16.42	50	17.36	35		
06.55	35	07.55	55	08.55	45	11.57	55	12.57	60	15.51	65	16.44	55	17.38	50		
06.58	30	07.58	50	08.58	30	11.59	50	12.59	40	15.53	85	16.47	80	17.40	55		
				09.01	35			13.01	45								

Lampiran 3 Formulir Survei *Driving Behavior*

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

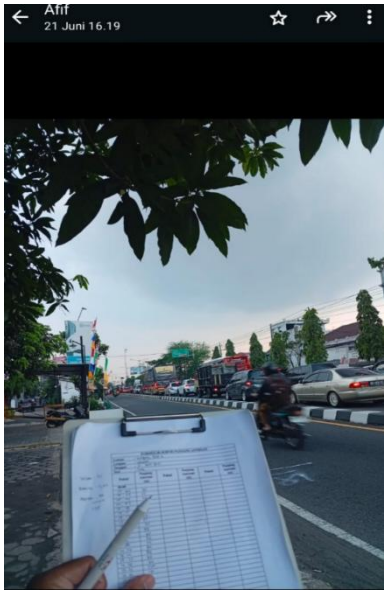
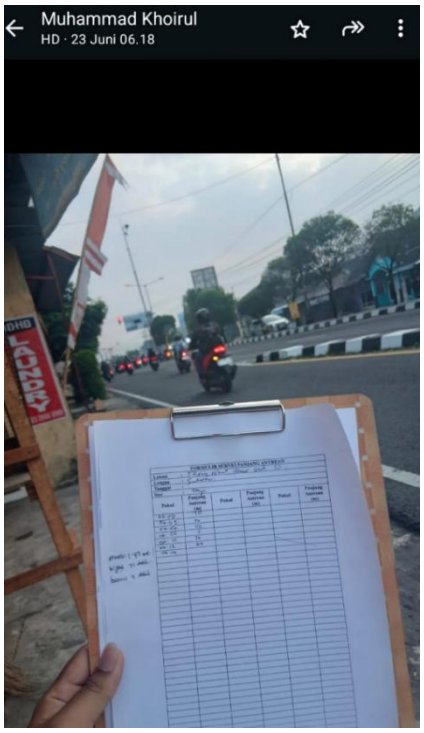
Lampiran 4 Formulir Survei Kecepatan

UTARA					
SEPEDA MOTOR (SM)		MOBIL PENUMPANG (MP)		KENDARAAN SEDANG (KS)	
NO	KECEPATAN (Km/jam)	NO	KECEPATAN (Km/jam)	NO	KECEPATAN (Km/jam)
1	36,8	1	27,8	1	23,7
2	37,2	2	28,1	2	24,2
3	37,6	3	28,4	3	24,7
4	37,9	4	28,7	4	25,1
5	38,1	5	28,9	5	25,5
6	38,3	6	29,1	6	26
7	38,5	7	29,3	7	26,4
8	38,7	8	29,5	8	25,6
9	38,9	9	29,7	9	25
10	39,1	10	29,9	10	25,3
11	39,3	11	30,1		
12	39,5	12	30,3		
13	39,7	13	30,5		
14	39,9	14	30,7		
15	40,1	15	30,9		
16	38,8	16	29,8		
17	38,4	17	29,4		
18	37,8	18	28,8		
19	37,3	19	28,3		
20	36,9	20	27,9		

TIMUR					
SEPEDA MOTOR (SM)		MOBIL PENUMPANG (MP)		KENDARAAN SEDANG (KS)	
NO	KECEPATAN (Km/jam)	NO	KECEPATAN (Km/jam)	NO	KECEPATAN (Km/jam)
1	38,6	1	28,6	1	27,9
2	39	2	28,9	2	28,4
3	39,4	3	29,2	3	28,9
4	39,8	4	29,5	4	29,3
5	40	5	29,7	5	29,8
6	40,2	6	29,9	6	30,3
7	40,4	7	30,1	7	30,8
8	40,6	8	30,3	8	29,9
9	40,8	9	30,5	9	29,3
10	41	10	30,7	10	29,5
11	41,2	11	30,9		
12	41,4	12	31,1		
13	41,6	13	31,3		
14	41,8	14	31,5		
15	42	15	31,7		
16	40,7	16	30,6		
17	40,3	17	30,2		
18	39,7	18	29,6		
19	39,2	19	29,1		
20	38,8	20	28,8		

Lampiran 4 Formulir Survei Kecepatan

SELATAN					
SEPEDA MOTOR (SM)		MOBIL PENUMPANG (MP)		KENDARAAN SEDANG (KS)	
NO	KECEPATAN (Km/jam)	NO	KECEPATAN (Km/jam)	NO	KECEPATAN (Km/jam)
1	34,4	1	27,9	1	23,7
2	34,8	2	28,2	2	24,2
3	35,2	3	28,5	3	24,7
4	35,6	4	28,8	4	25,1
5	35,8	5	29	5	25,5
6	36	6	29,2	6	26
7	36,2	7	29,4	7	26,4
8	36,4	8	29,6	8	25,6
9	36,6	9	29,8	9	25
10	36,8	10	30	10	25,3
11	37	11	30,2		
12	37,2	12	30,4		
13	37,4	13	30,6		
14	37,6	14	30,8		
15	37,8	15	31		
16	36,5	16	29,9		
17	36,1	17	29,5		
18	35,5	18	28,9		
19	35	19	28,4		
20	34,6	20	28		

BARAT					
SEPEDA MOTOR (SM)		MOBIL PENUMPANG (MP)		KENDARAAN SEDANG (KS)	
NO	KECEPATAN (Km/jam)	NO	KECEPATAN (Km/jam)	NO	KECEPATAN (Km/jam)
1	35,7	1	27,3	1	23,1
2	36,1	2	27,6	2	23,6
3	36,5	3	27,9	3	24
4	36,9	4	28,2	4	24,5
5	37,1	5	28,4	5	24,9
6	37,3	6	28,6	6	25,4
7	37,5	7	28,8	7	25,8
8	37,7	8	29	8	25
9	37,9	9	29,2	9	24,4
10	38,1	10	29,4	10	24,5
11	38,3	11	29,6		
12	38,5	12	29,8		
13	38,7	13	30		
14	38,9	14	30,2		
15	39,1	15	30,4		
16	37,8	16	29,3		
17	37,4	17	28,9		
18	36,8	18	28,3		
19	36,3	19	27,8		
20	35,9	20	27,5		

Lampiran 5 Dokumentasi Survey