

**OPTIMALISASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL DENGAN
KOORDINASI SIMPANG STUDI KASUS SIMPANG GUNUNG
LATIMOJONG DAN SIMPANG VETERAN UTARA**

KERTAS KERJA WAJIB



DISUSUN OLEH :

NI PUTU RIKA ANGGAYENI

2103046

POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI

PROGRAM STUDI D-III MANAJEMEN TRANSPORTASI JALAN

2024

**OPTIMALISASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL DENGAN
KOORDINASI SIMPANG STUDI KASUS SIMPANG GUNUNG
LATIMOJONG DAN SIMPANG VETERAN UTARA**

KERTAS KERJA WAJIB

Diajukan Dalam Rangka Penyelesaian
Program Studi Diploma III Manajemen Transportasi Jalan
Guna Memperoleh Sebutan Ahli Madya Transportasi



DISUSUN OLEH :

NI PUTU RIKA ANGGAYENI

2103046

**POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI
PROGRAM STUDI D-III MANAJEMEN TRANSPORTASI JALAN**

2024

**HALAMAN PERSETUJUAN
KERTAS KERJA WAJIB**

**OPTIMALISASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL DENGAN
KOORDINASI SIMPANG STUDI KASUS SIMPANG GUNUNG
LATIMOJONG DAN SIMPANG VETERAN UTARA**

Disusun Oleh:

NI PUTU RIKA ANGGAYENI

2103046

Disetujui untuk diajukan pada

Sidang Akhir Kertas Kerja Wajib

Program Studi Diploma III Manajemen Transportasi Jalan

Menyetujui

DOSEN PEMBIMBING I

DOSEN PEMBIMBING II


Ir. Putu Eka Suartawan, S.T., M.T.

NIP. 19820530 200912 1 003

Tanggal: 6 Agustus 2024


Ir. Dwi Wahyu Hidayat, S.T., M.T.

NIP. 19840229 201902 1 001

Tanggal : 6 Agustus 2024

Ditetapkan: Tabanan

HALAMAN PENGESAHAN
KERTAS KERJA WAJIB

OPTIMALISASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL DENGAN
KOORDINASI SIMPANG STUDI KASUS SIMPANG GUNUNG
LATIMOJONG DAN SIMPANG VETERAN UTARA

Telah dipersiapkan dan disusun Oleh :

NI PUTU RIKA ANGGAYENI

2103046

TELAH DIPERTAHANKAN DI DEPAN DEWAN PENGUJI

PADA TANGGAL 29 JULI 2024

DAN DINYATAKAN TELAH LULUS DAN MEMENUHI SYARAT

Tim Penguji

 Aswin Badarudin Atmaja, S.S.T. (TD), M.A.P NIP. 19900513 201012 1 004	 Ir. Putu Eka Suartawan S.T., M.T. NIP. 19820530 200912 1 003
 A.A Bagus Oka Khrisna Surya, S.T., M.T NIP. 19900519 201902 1 002	 Ir. Dwi Wahyu Hidayat, S.T., M.T. NIP. 19840229 201902 1 001

Mengetahui,

KETUA PROGRAM STUDI

DIPLOMA III MANAJEMEN TRANSPORTASI JALAN

Ir. Putu Eka Suartawan, S.T., M.T.

NIP. 19820530 200912 1 003

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya, Ni Putu Rika Anggayeni, Notar 2103046, menyatakan bahwa Kertas Kerja Wajib/Tugas Akhir dengan Judul "Optimalisasi Kinerja Simpang Bersinyal Dengan Koordinasi Simpang Bersinyal Dengan Koordinasi Simpang Studi Kasus Simpang Gunung Latimojong dan Simpang Veteran Utara" merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam Kertas Kerja Wajib/Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian yang saya susun sendiri dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini serta disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, tidak ada bagian dari Kertas Kerja Wajib/Tugas Akhir ini yang telah digunakan sebelumnya untuk memperoleh gelar Ahli Madya atau kesarjanaan maupun sertifikat Akademik di suatu Perguruan Tinggi.

Jika pernyataan di atas terbukti sebaliknya, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Transportasi Darat Bali.

Tabanan, 22 Juli 2024

Penulis,



Ni Putu Rika Anggayeni

Notar. 2103046

KATA PENGANTAR

Segala Puji Syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa Ida Sang Hyang Widhi Wasa yang telah melimpahkan rahmat dan anugerah-NYA, sehingga Kertas Kerja Wajib yang berjudul "Optimalisasi Kinerja Simpang Bersinyal dengan Koordinasi Simpang Bersinyal Studi Kasus Simpang Gunung Latimojong Dan Simpang Veteran Utara" dapat diselesaikan. Dengan segala kerendahan hati, pada kesempatan yang sangat baik ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. I Made Suraharta, S.T., S.Si.T., M.T., IPM selaku Direktur Politeknik Transportasi Darat Bali.
2. Ir. Putu Eka Suartawan S.T.M.T, dan Ir. Dwi Wahyu Hidayat sebagai dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan dan arahan langsung terhadap penulisan kertas kerja wajib/tugas akhir ini.
3. Dosen-dosen Program Studi Manajemen Transportasi Jalan yang telah memberikan bimbingan selama pendidikan.
4. Orang tua dan Keluarga yang selalu ada untuk mendukung.
5. Rekan Taruna Politeknik Transportasi Darat Bali Angkatan II.

Penulis menyadari kertas kerja wajib/tugas akhir ini banyak kekurangan, saran dan masukan sangat diharapkan bagi kesempurnaan penulisan. Semoga bermanfaat bagi kita semua, khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan bidang Transportasi Darat dan dapat diterapkan untuk membantu pembangunan transportasi di Indonesia pada umumnya serta Kota Makassar.

Tabanan, 29 Juli 2024


Ni Putu Rika Anggayeni

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
LAMPIRAN	xiii
INTISARI	xiv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II GAMBARAN UMUM	6
2.1 Kondisi Wilayah.....	6
2.1.1 Geografis.....	6
2.1.2 Administrasi.....	6
2.1.3 Transportasi.....	7
2.2 Kondisi Objek.....	8
2.2.1 Simpang Gunung Latimojong.....	8
2.2.2 Simpang Veteran Utara	10
BAB III TINJAUAN PUSTAKA	12
3.1 Persimpangan	12
3.2 Tingkat Pelayanan	12

3.3	Koordinasi Sinyal Pada Persimpangan.....	13
3.4	Syarat Kordinasi Simpang.....	13
3.5	Bandwith dan Offset.....	14
3.6	Perhitungan Pedoman Kapasitas jalan Indonesia 2023	15
3.6.1	Teori Perhitungan Simpang Bersinyal	15
3.6.2	Optimasi Waktu Siklus.....	21
3.7	Simulasi Lalu Lintas.....	22
3.7.1	Membangun Pemodelan Vissim.....	22
3.7.2	Kalibrasi Vissim	23
3.7.3	Validasi Model Simulasi	23
3.8	Indeks Pencemaran Udara	24
3.9	Penelitian Terdahulu.....	26
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....		29
4.1	Sumber dan Teknik Pengumpulan Data	29
4.1.1	Data Sekunder	29
4.1.2	Data Primer	29
4.2	Metode Analisis data	31
4.2.1	Analisis Kinerja Simpang Eksisting dengan PKJI 2023	31
4.2.2	Pembangunan Model.....	32
4.2.3	Kalibrasi Vissim.....	32
4.2.4	Validasi Vissim dengan metode GEH	32
4.2.5	Simulasi Kinerja Eksisting Vissim.....	33
4.2.6	Penentuan Nilai ISPU pada kondisi Eksisting	33
4.2.7	Pembuatan Diagram Koordinasi	33
4.2.8	Pembuatan Siklus Baru Koordinasi Simpang	34

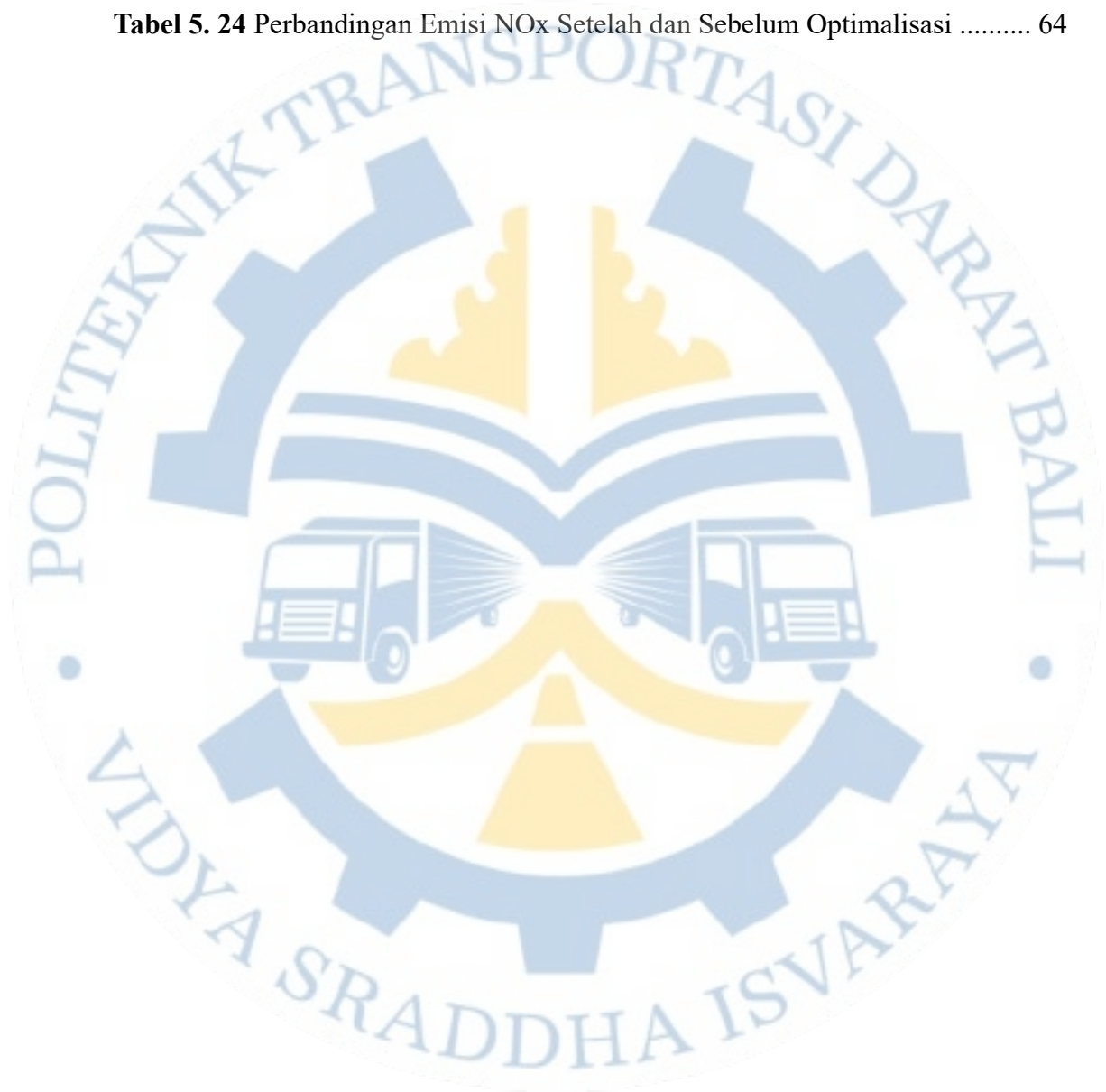
4.2.9	Simulasi Kinerja Koordinasi Vissim.....	34
4.2.10	Perbandingan Kinerja Eksisting dan Setelah Koordinasi.....	35
4.3	Diagram Alir.....	35
4.4	Time Table Kegiatan.....	36
BAB V PEMBAHASAN		37
5.1	Kondisi Geometri Simpang	37
5.1.1	Kondisi Geometri Simpang Veteran Utara.....	37
5.1.2	Kondisi Geometri Simpang Gunung Latimojong	38
5.2	Data Siklus APILL	38
5.3	Data Lalu Lintas Simpang.....	39
5.4	Kinerja Eksisting Simpang.....	43
5.4.1	Kinerja Simpang Veteran Utara Kondisi Eksisting.....	45
5.4.2	Kinerja Simpang Gunung Latimojong Kondisi Eksisting	46
5.5	Pembangunan Model Simulasi Vissim Pada Kondisi Eksisting.....	46
5.5.1	Pembangunan.....	47
5.5.2	Data Masukan Kendaraan	47
5.5.3	Pengaturan Komposisi Lalu Lintas	48
5.5.4	Pengaturan Perilaku Pengemudi	48
5.5.5	Pengaturan fase dan Waktu Siklus APILL	49
5.5.6	Pengaturan Proses Running dan Keluaran Simulasi	49
5.6	Kalibrasi dan Validasi Model Vissim Pada Kondisi Sebelum Optimalisasi 50	
5.6.1	Proses Kalibrasi.....	50
5.6.2	Proses Validasi	52
5.7	Kinerja Simpang Hasil Output Vissim Kondisi Eksisting.....	53

5.7.1	Panjang Antrian Kondisi Sebelum Optimalisasi Pada Vissim	53
5.7.2	Panjang Antean dan Tundaan Sebelum Optimalisasi.....	54
5.7.3	Emisi Gas Buang Sebelum Optimalisasi.....	54
5.8	Analisis Alternatif pengaturan Koordinais Sinyal.....	56
5.9	Kinerja Simpang hasil Output Vissim Setelah Koordinasi Sinyal APILL 59	
5.9.1	Panjang Antrian Setelah Optimalisasi Pada Vissim	60
5.9.2	Panjang Antrian dan Waktu Tundaan Setelah Optimalisasi.....	60
5.9.3	Emisi gas buang setelah optimalisasi.....	61
5.10	Perbandingan hasil Simulais Vissim Pada Kondisi Sebelum dan Sesudah Koordinasi Sinyal	62
BAB VI PENUTUP		66
6.1	Kesimpulan.....	66
6.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN.....		72

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel Faktor Koreksi Ukuran Kota.....	15
Tabel 3. 2 Tabel Faktor Koreksi Ukuran Kota.....	16
Tabel 3. 3 Tabel Penentuan Waktu Hijau Hilang.....	21
Tabel 3. 4 Tabel Konversi ISPU	24
Tabel 3. 5 Tabel Rentang Kategori ISPU.....	26
Tabel 3. 6 Penelitian Terdahulu	26
Tabel 4. 1 Time Table Kegiatan.....	36
Tabel 5. 1 Kondisi Geometri Simpang Veteran Utara	37
Tabel 5. 2 Kondisi Geometri Simpang Gunung Latimojong.....	38
Tabel 5. 3 Diagram Fase Simpang Veteran Utara.....	39
Tabel 5. 4 Diagram Fase Simpang Gunung Latimojong	39
Tabel 5. 5 Data Lalu Lintas Simpang Veteran Utara	39
Tabel 5. 6 Data Lalu Lintas Simpang Gunung Latimojong.....	41
Tabel 5. 7 Kinerja Simpang Veteran Utara	45
Tabel 5. 8 Kinerja Simpang Gunung Latimojong.....	46
Tabel 5. 9 Proses Kalibrasi	50
Tabel 5. 10 Total Volume Hasil Validasi.....	52
Tabel 5. 11 Uji GEH dan MAPE	53
Tabel 5. 12 Waktu Tundaan Sebelum Optimalisasi	54
Tabel 5. 13 Uji Emisi Gas Buang Sebelum Optimalisasi	54
Tabel 5. 14 Konversi ISPU pada kondisi Eksisting.....	55
Tabel 5. 15 Waktu Siklus Layak.....	56
Tabel 5. 16 Rata – Rata Waktu Perjalanan Antar Simpang	57
Tabel 5. 18 Diagram Fase Optimalisasi Simpang Gunung Latimojong	58
Tabel 5. 19 Diagram Fase Optimalisasi Simpang Veteran Utara.....	58
Tabel 5. 20 Diagram Ruang Waktu Optimalisasi	59
Tabel 5. 21 Waktu Tundaan Setelah Optimalisasi	60
Tabel 5. 19 Emisi Gas Buang Setelah Optimalisasi	61

Tabel 5. 23 Konversi ISPU Kondisi Setelah Optimalisasi	61
Tabel 5. 24 Perbandingan Panjang Antrian dan Tundaan Setelah dan Sebelum Optimalisasi.....	62
Tabel 5. 24 Perbandingan Emisi CO Setelah dan Sebelum Optimalisasi.....	64
Tabel 5. 24 Perbandingan Emisi NOx Setelah dan Sebelum Optimalisasi	64

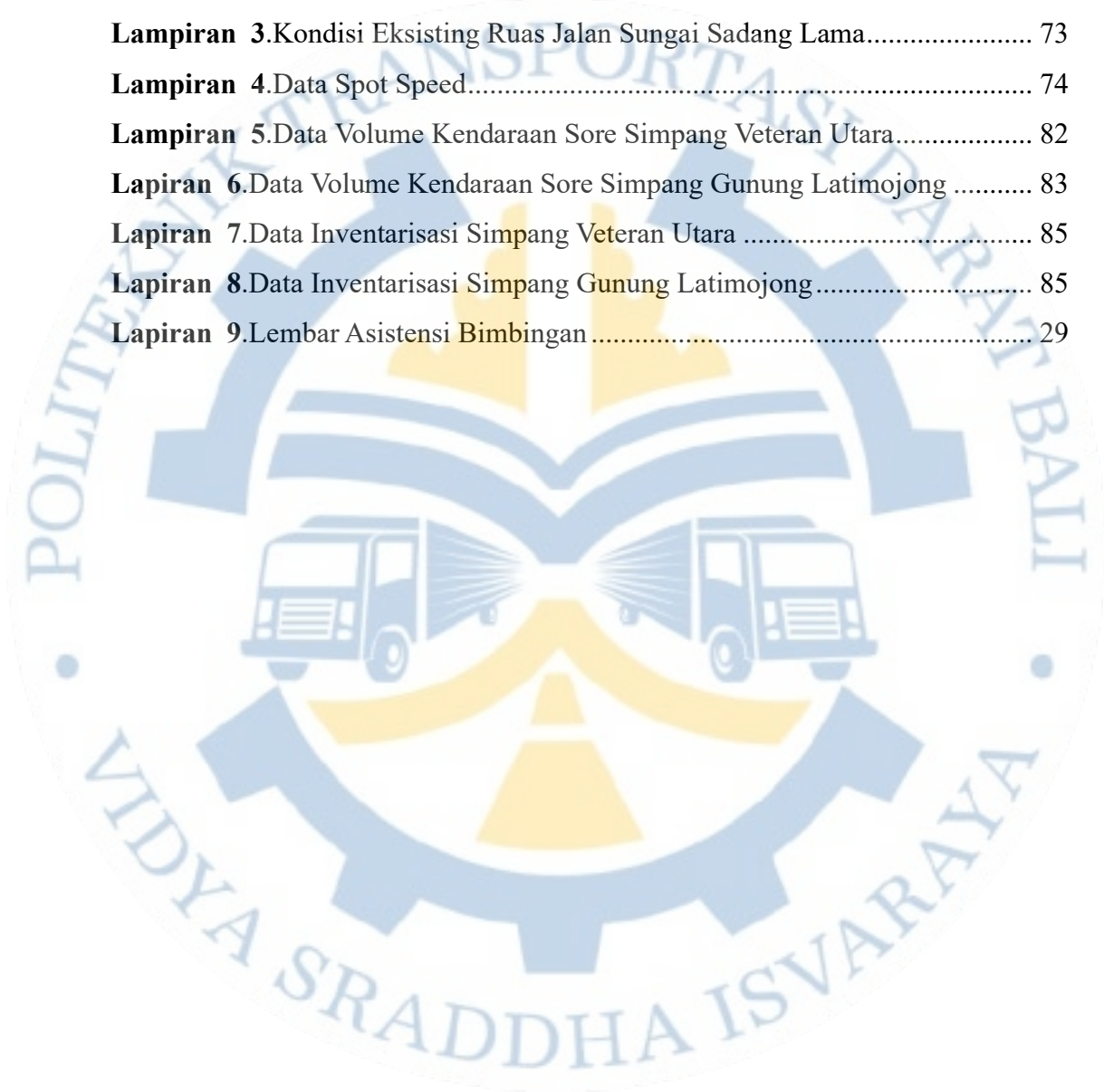


DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta Tata Guna Lahan Kota Makassar Tahun 2024	7
Gambar 2 Tampak Atas Simpang Veteran Utara Dan Simpang Gunung Latimojong	8
Gambar 3 Tampak Atas Simpang Gunung Latimojong.....	8
Gambar 4 Waktu Siklus Simpang Gunung Latimojong	9
Gambar 5 Visualisasi Simpang Gunung Latimojong	9
Gambar 6 Tampak Atas Simpang Veteran Utara	10
Gambar 7 Waktu Siklus Simpang Veteran Utara.....	10
Gambar 8 Visualisasi Simpang Veteran Utara.....	11
Gambar 9 Gambar Prinsip Koordinasi Simpang Greenwave.....	13
Gambar 10 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 11 Gravik Fluktuasi Lalu Lintas Gerakan Membelok Simpang Veteran Utara.....	40
Gambar 12 Flow Diagram Simpang Veteran Utara.....	41
Gambar 13 Gravik Fluktuasi Lalu Lintas Gerakan Membelok Simpang Gunung Latimojong.....	42
gambar 14 Flow Diagram Simpang Gunung Latimojong	43
Gambar 15 Pengaturan Fase dan Waktu Siklus pada Vissim	49
Gambar 16 Panjang Antrean Kondisi Sebelum Optimalisasi.....	53
Gambar 17 Panjang Antrian Kondisi Setelah Optimalisasi.....	60

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pelaksanaan Survey CTMC	72
Lampiran 2. Pelaksanaan Survey CTMC	72
Lampiran 3. Kondisi Eksisting Ruas Jalan Sungai Sadang Lama.....	73
Lampiran 4. Data Spot Speed.....	74
Lampiran 5. Data Volume Kendaraan Sore Simpang Veteran Utara.....	82
Lapiran 6. Data Volume Kendaraan Sore Simpang Gunung Latimojong	83
Lapiran 7. Data Inventarisasi Simpang Veteran Utara	85
Lapiran 8. Data Inventarisasi Simpang Gunung Latimojong.....	85
Lapiran 9. Lembar Asistensi Bimbingan.....	29



INTISARI

Optimalisasi Kinerja Simpang Bersinyal Dengan Koordinasi Simpang Bersinyal Dengan Koordinasi Simpang Studi Kasus Simpang Gunung Latimojong Dan Simpang Veteran Utara

Oleh

Ni Putu Rika Anggayeni

2103046

Simpang Veteran Utara dan Simpang Gunung Latimojong merupakan dua simpang yang berdekatan dengan jarak antar simpangnya yaitu 400 meter, pada tingkat pelayanan simpang ini mendapat nilai F pada Indeks Tingkat Pelayanan Simpang, dikarenakan oleh jarak antar simpangnya yang dekat dengan volume lalu lintas yang tinggi. Salah satu solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan koordinasi sinyal pada kedua simpang tersebut. Tujuan dalam penelitian ini difokuskan untuk mengurangi tundaan, panjang antrean yang tinggi, dan emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan pada ruas yang menghubungkan antar kedua simpang. koordinasi sinyal dapat dilakukan dengan beberapa metode survei yaitu survei *CTMC*, Panjang Antrean, inventaris simpang dan MCO kemudian dilakukan perhitungan kinerja dengan metode PKJI tahun 2023, kemudian akan dilanjutkan dengan analisis kinerja eksisting hingga koordinasi sinyal dengan aplikasi *Vissim*. Agar model dan volume yang dihasilkan sama dengan yang ada dilapangan dilakukan proses kalibrasi dan validasi dengan uji statistik menggunakan GEH. Jika hasil yang dikeluarkan valid maka akan dilanjutkan perhitungan kinerja hingga analisis koordinasi sinyal dengan aplikasi *Vissim*. Dari hasil analisis setelah dilakukan koordinasi telah terjadi penurunan panjang antrian pada pendekat Barat Simpang Veteran Utara sebanyak 69,44% dan penurunan tundaan sebanyak 77,77%, dan terjadi penurunan panjang antrian pada pendekat timur Simpang Gunung Latimojong sebanyak 30,13% dan waktu tundaan sebanyak 49,04%. Untuk pendekat Barat Simpang Veteran Utara terjadi penurunan ISPU CO sebanyak

82,98% dan ISPU NOx yaitu 53,67%. Untuk pendekat Timur Simpang Gunung Latimojong terjadi penurunan ISPU CO sebanyak 63,%% dan ISPU NOx yaitu 36,22%.

Kata Kunci: Koordinasi Sinyal, Kinerja Simpang, Indeks Standar Pencemaran Udara, Perbandingan Kinerja.



ABSTRACT

Optimizing The Performance Of Signalized Interchange With Coordination Of Signalized Interchange With Intersection Coordination Case Study Of The Gunung Latimojong Interchange And The North Veteran Interchange

Oleh

Ni Putu Rika Anggayeni

2103046

The North Veteran Intersection and the Gunung Latimojong Intersection are two adjacent intersections with a distance between the intersections of 400 meters. At the level of service, this intersection received an F value on the Intersection Service Level Index, due to the distance between the intersections being close to the high traffic volume. One possible solution is to coordinate signals at the two intersections. The aim of this research is focused on reducing delays, high queue lengths and exhaust emissions produced by vehicles on the section connecting the two intersections. The signal coordination method is carried out using CTMC survey data, Spot Speed, Queue Length, MCO and performance calculations are carried out using PKJI 2023, then it will be continued with existing performance analysis and signal coordination with the Vissim application. So that the resulting model and volume are the same as those in the field, a calibration and validation process is carried out with statistical tests using GEH and MAPE. If the results issued are valid, it will continue with performance calculations and signal coordination analysis with the Vissim application. From the results of the analysis after coordination, there has been a decrease in queue length on the west approach of Simpang Veteran Utara by 69.44% and a decrease in delays by 77.77%, and there has been a decrease in queue length on the east approach of Simpang Gunung Latimojong by 30.13% and time delays as much as 49.04%. For the West approach of Simpang Veteran Utara, there was a decrease in ISPU CO by 82.98% and ISPU

NO_x, namely 53.67%. For the East approach to Simpang Gunung Latimojong, there was a decrease in ISPU CO by 63.%% and ISPU NO_x, namely 36.22%.

Keyword : Signal Coordination, interchange Performance, Air Pollution Standard Index, Performance Comparison



BAB I

PENDHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Makassar menjadi kota terbesar terbesar nomor 4 di Indonesia dengan jumlah penduduk Kota Makassar pada tahun 2023 yaitu sebanyak 1.464.401 jiwa dengan luas Kota Makassar yaitu 175,78 Km² (Badan Pusat Statistik Kota Makassar, 2024). Dengan tingginya tingkat pertumbuhan penduduk maka akan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah kepemilikan kendaraan pribadi yang digunakan dalam melakukan perpindahan, hal ini akan berdampak terjadinya permasalahan transportasi berupa kemacetan. Menurut Aly (2015) sektor transportasi menjadi penyebab yang paling berpengaruh terhadap kerusakan lingkungan, terutama yang ada di Kota Makassar, salah satunya yaitu yang diakibatkan oleh asap kendaraan yang akan menjadi penyebab dari timbulnya polusi udara di Kota Makassar.

Menurut Asian Development Bank (2003) menyatakan bahwa emisi gas buang kendaraan berupa Karbon Monoksida (Co), Hidrokarbon (Hc), Nitrogen Oksida (NOx) asap dan partikel (PM) dari kendaraan bermotor mengakibatkan dampak yang serius terhadap kerusakan lingkungan dan kesehatan. Berdasarkan penilaian yang telah dilakukan oleh Sasmita (2022) diketahui bahwa hubungan antara jumlah kendaraan, kecepatan kendaraan, dan emisi gas buang yang dikeluarkan kendaraan itu berbanding lurus, yang mana ketika semakin banyak jumlah kendaraan dalam suatu titik maka kecepatan kendaraan akan semakin rendah sehingga emisi gas buang kendaraan yang dikeluarkan juga akan semakin tinggi. Hal ini yang menjadi penyebab mengapa ketika kemacetan dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan berupa polusi udara.

Salah satu titik yang kerap terjadinya kemacetan yaitu yang terjadi di antara ruas yang menghubungkan antar Simpang Gunung Latimojong dan Simpang Veteran Utara, yang mana simpang ini merupakan simpang yang berdekatan dengan jarak antar simpangnya yaitu sepanjang 400 meter. Kerap terjadinya

kemacetan pada ruas yang menghubungkan antar simpang ini selain diakibatkan oleh jarak antar simpang yang berdekatan dan volume lalu lintas yang tinggi, hal ini pula diakibatkan oleh APILL antar simpang yang tidak saling terkoordinasi. Berdasarkan hasil analisis dari Tim PKL Kota Makassar tahun 2024, berdasarkan dari kondisi perhitungan kinerja lalu lintas simpang Gunung Latimojong Simpang Veteran Utara memiliki 3 fase tiap simpang yang belum optimal, sehingga perlu dilakukan optimalisasi kinerja terlebih dahulu sebelum dilakukannya koordinasi antar kedua simpang bersinyal ini.

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil analisis Tim PKL Poltrada Bali tahun 2024 di Kota Makassar berdasarkan perhitungan dengan menggunakan perhitungan PKJI tahun 2023, berdasarkan siklus puncak di waktu sore diperoleh derajat kejenuhan pada Simpang Gunung Latimojong yaitu sebesar 1, dengan rata – rata panjang antrean yaitu 98 meter dan tundaan 105,86 detik, sedangkan pada Simpang Veteran Utara memiliki derajat kejenuhan yaitu sebesar 0,99, dengan rata – rata panjang antrean yaitu 146 meter dan tundaan 118,92 detik. Namun saat pada pelaksanaan survei pengukuran panjang antrean pada kondisi eksisting diperoleh panjang antrean dari arah barat ke timur diperoleh panjang antrean sepanjang 300 meter dan dari arah timur ke barat sepanjang 165 meter. Pengukuran di laksanakan secara bersamaan dengan waktu dilaksanakannya survei penghitungan gerakan membelok. Berdasarkan dari buku pemodelan transportasi oleh Tamin (2000) pada indeks (ITP) penilaian kinerja suatu persimpangan didasarkan dari tundaan, kinerja yang diperoleh pada kedua simpang, tergolong sangat buruk karena ada pada nilai terakhir yaitu nilai F, yang mana memiliki tundaan lebih dari 60 detik.

Hal yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan yang ada di atas yaitu dengan melakukan koordinasi simpang bersinyal untuk dapat mengurangi panjang antrean yang sampai menyentuh bibir simpang berikutnya yang berdampak terjadinya kemacetan dan terjadinya peningkatan polusi udara yang diakibatkan oleh kemacetan. Koordinasi simpang merupakan metode agar sinyal antar simpang pada pendekat tertentu dapat terhubung sehingga diharapkan kendaraan yang melintas mendapat sinyal hijau pada simpang selanjutnya

(Cahyaningrum & Munawar, 2014). Namun sebelumnya akan dilakukan perhitungan kinerja eksisting ulang dengan berdasarkan pada Pedoman Kapasitas jalan Indonesia 2023 terlebih dahulu, dengan hasil keluaran berupa panjang antrean, tundaan, dan derajat kejenuhan pada simpang APILL. Setelah dilakukan perhitungan kinerja selanjutnya akan di lakukan pemodelan pada aplikasi Vissim untuk mengetahui emisi gas buang yang di keluarkan oleh kendaraan pada kondisi eksisting (Suartawan et al., 2022), yang nantinya akan di lakukan konversi nilai ke dalam nilai Indeks Standar pencemaran Udara (ISPU) yang di keluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan.

Berdasarkan poin tersebut metode penelitian yang di gunakan yaitu berupa PKJI 2023 untuk mengetahui kinerja pada simpang dan aplikasi PTV Vissim untuk mengetahui emisi gas buang yang di keluarkan oleh kendaraan. Berdasarkan data dan permasalahan yang ada, untuk dapat meningkatkan kinerja Simpang Gunung Latimojong dan Simpang Veteran Utara dan mengurangi emisi gas buang yang di keluarkan oleh kendaraan, maka perlu dilakukan penelitian mengenai koordinasi sinyal dengan judul “Optimalisasi Simpang Bersinyal Dengan Koordinasi Simpang Studi kasus Simpang Veteran Utara dan Simpang Gunung Latimojong”. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi penyelenggara yang berwenang menangani lalu lintas agar dapat memperbaiki simpang tersebut menjadi lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang di atas, maka dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana kinerja eksisting Simpang Gunung Latimojong dan Simpang Veteran Utara pada jam puncak ?
- b. Bagaimana kondisi Simpang Gunung Latimojong dan Gunung Veteran Utara setelah dilakukannya optimalisasi?
- c. Bagaimana perbandingan kualitas udara sebelum dan sesudah dilakukan simpang koordinasi berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari penulisan kertas kerja wajib ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui kinerja eksisting Simpang Gunung Latimojong dan Simpang Veteran Utara pada jam puncak
- b. Mengetahui kondisi Simpang Gunung Latimojong dan Gunung Veteran Utara setelah di lakukannya optimalisasi
- c. Perbandingan kualitas udara sebelum dan sesudah di lakukan simpang koordinasi berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara

1.4 Manfaat Penelitian

- a. Bagi Instansi

Sebagai bahan pertimbangan kepada pihak Dinas Perhubungan Kota Makassar untuk dapat meningkatkan efektifitas kinerja Simpang Latimojong dan Simpang Veteran Utara.

- b. Manfaat bagi peneliti

Dapat menambah ilmu pengetahuan dan pengalaman dengan mengaplikasikan ilmu yang telah di peroleh selama mengenyam pendidikan di Kampus POLTRADA Bali.

- c. Bagi masyarakat

Dapat memberikan kenyamanan dan kelancaran dalam berlalu lintas bagi parapengguna jalan, apabila rekomendasi berupa simpang koordinasi ini di terapkan.

1.5 Batasan Masalah

Agar tidak terjadi penyimpangan dalam pelulisan KKW dari judul yang diangkat dan untuk memaksimalkan hasil yang diperoleh dari penulisan KKW ini maka penulis membatasi ruang lingkup kajian sebagai berikut :

- a. Wilayah yang dikaji hanya 2 simpang bersinyal yang berdekatan yaitu Simpang Gunung Latimojong dan Simpang Veteran Utara.
- b. Analisis yang digunakan yaitu metode PKJI 2023 dan di modelkan dengan aplikasi Vissim 2023

- c. Emisi gas buang kendaraan diperoleh berdasarkan keluran dari pemodelan PTV Vissim.
- d. Kendaraan yang di Input ke dalam aplikasi pemodelan PTV Vissim berupa jenis kendaraan yaitu sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), kendaraan berat (KB).
- e. Penelitian yang dilakukan tidak mengkaji pengaruh dari konflik yang terjadi pada persimpangan.
- f. Analisis ini menggunakan volume dari survei gerakan membelok pada jam puncak dengan jumlah volume kendaraan tertinggi selama 1 jam.
- g. Parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja adalah tundaan, panjang antrian dan emisi gas buang kendaraan (Co dan Nox)
- h. Validasi Output Vissim dilakukan dengan menggunakan uji statistik GEH dengan melakukan pengaturan Driving Behaviour hingga volume keluaran dari pemodelan mendekati volume kondisi eksisting.

BAB II

GAMBARAN UMUM

2.1 Kondisi Wilayah

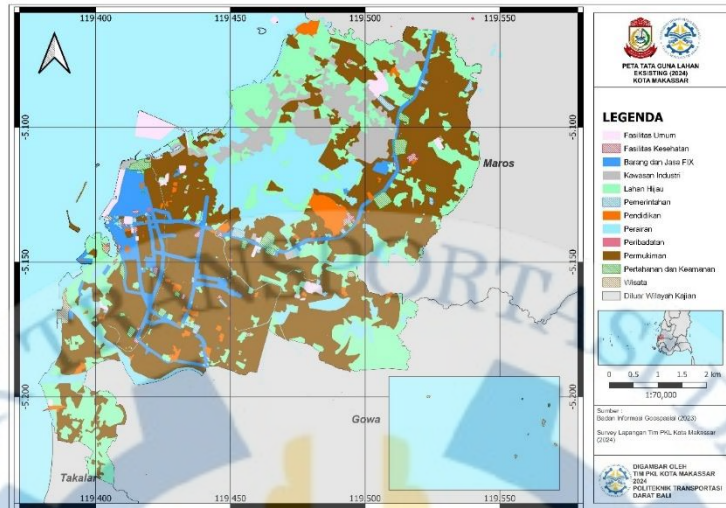
Kondisi wilayah pada Kota Makassar dapat dibagi menjadi geografis wilayah administrasi, kependudukan, dan kondisi transportasinya, berikut merupakan penjelasan lebih jelasnya :

2.1.1 Geografis

Simpang Veteran Utara dan Simpang Gunung Latimojong merupakan dua simpang yang saling berdekatan yang terletak pada Kelurahan Maradekaya Utara, Kecamatan Makassar, Kota Makassar.

2.1.2 Administrasi

Administrasi pada suatu kota merupakan dasar dari menilai karakteristik lalu lintasnya. Adapun administrasi yang dimaksud yaitu tata guna lahan yang terdapat pada suatu wilayah tersebut. Tata guna lahan suatu kota akan menjadi dasar Masyarakat dalam melakukan perjalanan. Perjalanan ini yang akan berdampak pada lalu lintas yang ada di sekitar wilayah tersebut. Pada tata guna lahan yang diperoleh melalui digitasi langsung oleh Tim PKL Kota Makassar tahun 2024 dan sudah di validasi langsung ke lapangan. Kota Makassar terdiri dari 15 kecamatan dengan 153 kelurahan di dalamnya. Kota Makassar di dominasi oleh pemukiman dengan persentase wilayah 43,44% dari keseluruhan wilayah Kota Makassar. Dilihat dari tata guna lahan yang ada di Kelurahan Maradekaya Utara di dominasi oleh perdagangan dan pemukiman, oleh karena itu mengakibatkan bangkitan dan tarikan di wilayah ini tinggi. berikut merupakan peta tata guna lahan Kota Makassar tahun 2024.



Gambar 1 Peta Tata Guna Lahan Kota Makassar Tahun 2024

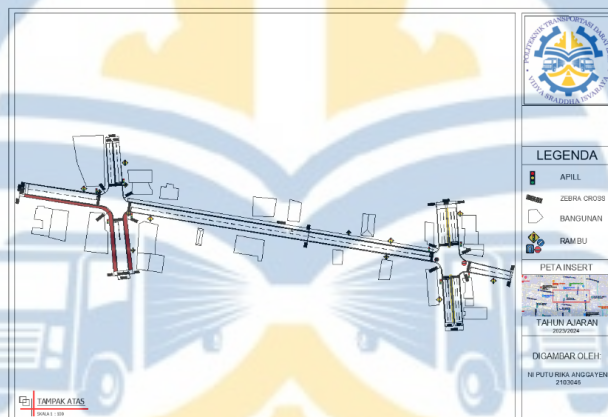
Sumber; Tim PKL Kota Makassar 2024

2.1.3 Transportasi

Berdasarkan statusnya, jaringan jalan eksisting di kota Makassar terdiri dari 12 ruas jalan nasional, 12 ruas jalan provinsi, dan 538 ruas jalan kota Kondisi Objek. Adapun berdasarkan fungsinya, jaringan jalan kota Makassar terdiri dari 30 ruas jalan arteri, 57 ruas jalan kolektor, dan 473 ruas jalan lokal. Hal ini diperoleh berdasarkan data dari Surat Keputusan Gubernur Sulawesi Selatan Nomor 677/III/Tahun 2023 tentang Penetapan Status Jalan, Peraturan Walikota Makassar Nomor 43 Tahun 2012 tentang Penetapan Status Ruas - Ruas Jalan Kota Makassar, serta dari hasil Rekap Survei Inventarisasi Jalan (SIJ/RNI) Nasional yang dikeluarkan oleh Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Sulawesi Selatan. Kota Makassar memiliki 40 simpang bersinyal.

2.2 Kondisi Objek

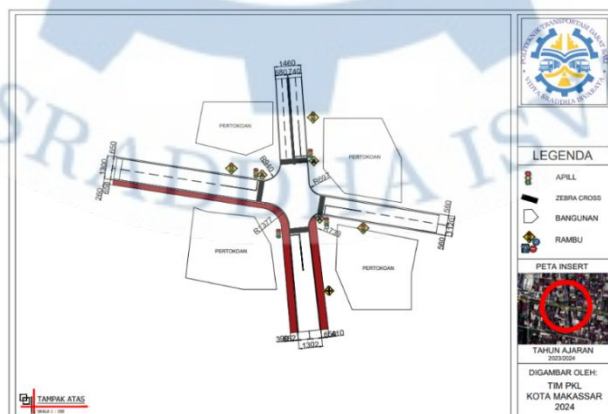
Lokasi kajian terletak pada Ruas Jalan Sungai Sadang Lama, tepatnya terletak pada Simpang Empat Gunung Latimojong dan Simpang Empat Veteran Utara dengan jarak antar kedua simpang tersebut yaitu sepanjang 400 meter. Selain jaraknya yang sangat dekat hal yang menjadi penyebab tingginya perjalanan pada jalan tersebut juga diakibatkan oleh tata guna lahan berupa pertokoan yang ada di sekitar ruas jalan tersebut. selain itu, pada ruas jalan ini juga digunakan sebagai jalur Bus Trans Mamminasata. Hal inilah yang nantinya akan berdampak bagi kinerja pada kedua simpang ini, sehingga perlu adanya penanganan berupa koordinasi sinyal.



Gambar 2 Tampak Atas Simpang Veteran Utara Dan Simpang Gunung Latimojong

Sumber; Tim PKL Kota Makassar 2024

2.2.1 Simpang Gunung Latimojong



Gambar 3 Tampak Atas Simpang Gunung Latimojong

Sumber; Tim PKL Kota Makassar 2024

Simpang Gunung Latimojong merupakan salah satu simpang bersinyal yang terletak di Jalan Gunung Latimojong, dengan tipe simpang 411 yang artinya 4 kaki simpang dengan 1 lajur pendekat minor dengan 1 pendekat minor dan 1 pendekat mayor. Tata guna lahan pada Simpang Gunung Latimojong yaitu berupa pertokoan yang akan mengakibatkan tarikan perjalanan yang tinggi pada simpang tersebut. simpang ini memiliki pengaturan fase sinyal 3 fase sinyal, yang mana fase 1 yaitu mengatur simpang Barat, fase simpang 2 mengatur kaki simpang Timur dan fase 3 mengatur kaki simpang bagian Utara dan Selatan. Dengan *circle time* pada simpang ini yaitu 89 detik.

Fase 1	B	27	3	2	57	
Fase 2	T	32	19	3	2	33
Fase 3	U	56	28	3	2	
	S	56	28	3	2	

Gambar 4 Waktu Siklus Simpang Gunung Latimojong

Sumber; Tim PKL Kota Makassar 2024

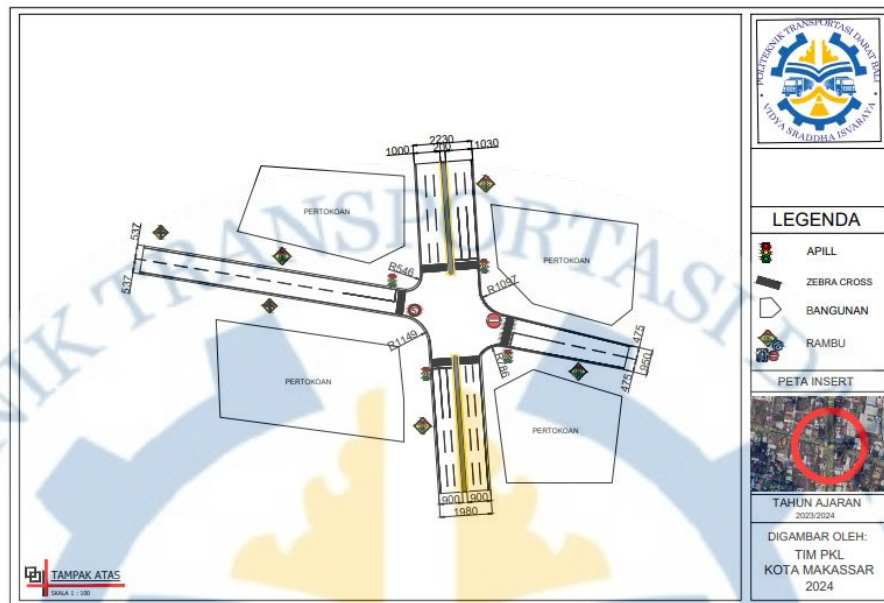
Berikut merupakan visualisasi Simpang Gunung Latimojong yang diambil pada pagi hari saat pelaksanaan survei inventarisasi simpang.



Gambar 5 Visualisasi Simpang Gunung Latimojong

Sumber; Tim PKL Kota Makassar 2024

2.2.2 Simpang Veteran Utara



Gambar 6 Tampak Atas Simpang Veteran Utara

Sumber; Tim PKL Kota Makassar 2024

Simpang Veteran Utara merupakan salah satu simpang bersinyal yang tertelak di Jalan Veteran utara, dengan tipe simpang 413 yang artinya 4 kaki simpang 1 lajur pendekat minor dan 3 lajur pendekat mayor ber median. Tata guna lahan pada Simpang Veteran utara yaitu berupa pertokoan. Simpang ini memiliki pengaturan dengan 3 fase sinyal, yang mana fase 1 yaitu mengatur simpang Utara dan selatan, fase simpang 2 mengatur kaki simpang Barat dan fase 3 mengatur kaki simpang bagian timur. Untuk kaki simpang timur menerapkan sistem satu arah dengan sicle time pada simpang ini yaitu 133 detik.

Fase 1	U	49	3	3	78
	S	49	3	3	78
Fase 2	B	55		34	3
	T		92	3	32

Gambar 7 Waktu Siklus Simpang Veteran Utara

Sumber; Tim PKL Kota Makassar 2024

Berikut merupakan visualisasi Simpang Veteran Utara yang diambil pada pagi hari saat pelaksanaan survei inventarisasi simpang.



Gambar 8 Visualisasi Simpang Veteran Utara

Sumber; Tim PKL Kota Makassar 2024

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Persimpangan

Persimpangan merupakan suatu simpul pada jaringan jalan yang lebih dari satu jalan bertemu dan sebagai lintasan kendaraan yang berpotongan (Paat et al., 2023). Menurut Farreill Seityawan (2021) persimpangan merupakan bagian penting dalam sistem jaringan jalan. Kelancaran perjalanan pada jaringan jalan sangat ditentukan oleh pengaturan perjalanan pada simpang. Umumnya dengan mengendalikan arus lalu lintas pada suatu sistem jaringan jalan maka kapasitas suatu persimpangan dapat dikendalikan. Adapun pengertian persimpangan menurut Undang – Undang yaitu sebagai Berikut:

- a) Menurut Undang - Undang Reipublik Indoneisia Nomor 22 Tahun 2009 Teintang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan 2009, Pasal 112 Ayat 3, menyatakan bahwa pada persimpangan yang dilengkapi alat pemberi isyarat lalu lintas, pengemudi kendaraan dilarang langsung berbelok kiri, kecuali ditentukan lain oleh rambu lalu lintas atau alat pemberi isyarat lalu lintas.

3.2 Tingkat Pelayanan

Berdasarkan buku yang berjudul Perencanaan dan Pemodelan Transportasi edisi kedua dari Tamin (2000) dijelaskan Indeks Tingkat 12 Pelayanan (ITP) pada sebuah persimpangan didasarkan pada tundaan simpangnya. Tingkat pelayanan persimpangan dibagi sebagai berikut:

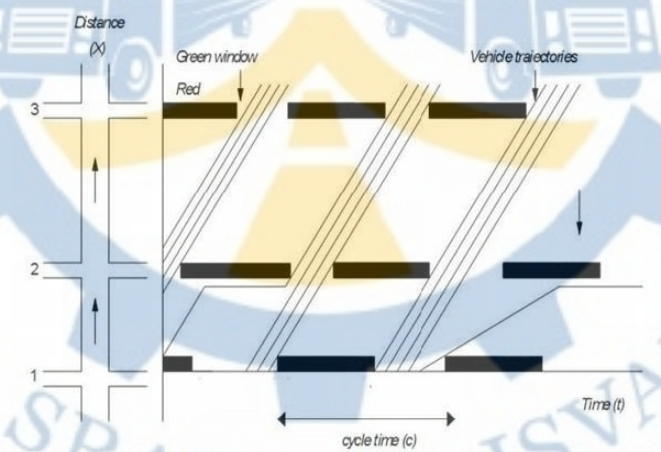
- a) Tingkat pelayanan A, dengan kondisi tundaan kurang dari 5 detik per kendaraan;
- b) Tingkat pelayanan B, dengan kondisi tundaan lebih dari 5,1 detik sampai 15 detik per kendaraan;
- c) Tingkat pelayanan C, dengan kondisi tundaan lebih dari 15,1 detik sampai 25 detik per kendaraan;
- d) Tingkat pelayanan D, dengan kondisi tundaan lebih dari 25,1 detik sampai 40 detik per kendaraan;

- e) Tingkat pelayanan E, dengan kondisi tundaan lebih dari 40,1 detik sampai 60 detik per kendaraan;
- f) Tingkat pelayanan F, dengan kondisi tundaan lebih dari 60 detik per kendaraan

3.3 Koordinasi Sinyal Pada Persimpangan

- a) Menurut Kirono et al., (2018) koordinasi sinyal antar simpang diperlukan untuk memaksimalkan kapasitas jaringan jalan karena dengan adanya koordinasi sinyal ini diharapkan tundaan yang dialami kendaraan dapat menurun dan terhindar dari antrian kendaraan yang panjang. Kendaraan yang telah bergerak meninggalkan satu simpang diusahakan tidak memperoleh sinyal merah pada simpang selanjutnya, sehingga dapat terus berjalan tanpa adanya hambatan.
- b) Koordinasi antar simpang bersinyal ialah salah satu cara untuk mengurangi lamanya waktu tundaan dan panjang antrian kendaraan (Roess et al., 2011).

3.4 Gelombang Hijau (*Green Wave*)



Gambar 9 Gambar Prinsip Koordinasi Simpang Greenwave

Sumber; Roger P. Roess, Elena S. Prassas, William R. McShine Traffic Engineering., 2011)

Green Wave merupakan konsep koordinasi sinyal lalu lintas simpang-simpang yang berdekatan yang bertujuan untuk mengupayakan kendaraan yang bergerak meninggalkan satu simpang memperoleh lampu hijau pada simpang selanjutnya. Beberapa keuntungan yang bisa didapatkan dari penerapan *green wave* yaitu berkurangnya waktu tundaan dan panjang antrean (Subagja, 2018).

Gelombang hijau terjadi ketika serangkaian lampu lalu lintas (biasanya dua atau lebih) dikoordinasikan untuk memungkinkan arus lalu lintas terus menerus melewati persimpangan dalam satu arah utama.

3.5 Syarat Kordinasi Simpang

Pada dasarnya, kendaraan yang melintas suatu simpang bersinyal akan tetap mempertahankan pletonnya hingga simpang bersinyal berikutnya. Kendaraan akan tetap pada pletonnya yaitu kurang lebih sekitar 300 m (Roess et al., 2011). Adapun beberapa syarat yang harus di penuhi untuk dapat menjadikan dua simpang bersinyal saling berkoordinasi, yaitu sebagai berikut:

- a. Jarak antar simpang satu dengan lainnya yang dikoordinasikan tidak lebih dari 800 meter. Jika lebih dari 800 meter maka kordinasi sinyal tidak adapat berjalan efektif.
- b. Semua sinyal harus memiliki panjang waktu siklus (*circle time*) yang sama.
- c. Pada umumnya digunakan pada jaringan jalan utama (arteri, kolektor) dan juga dapat digunakan untuk jaringan jalan yang berbentuk grid.
- d. Terdapat sekelompok kendaraan (*platoon*) sebagai akibat lampu lalu lintas di bagian hulu.

3.6 Bandwith dan Offset

Menurut (Romadhona & Zainuri, 2019) *Offset* merupakan perbedaan waktu antara dimulainya sinyal hijau pada simpang pertama dan awal hijau pada simpang setelahnya. Waktu *offset* dapat dihitung melalui survei MCO untuk mengetahui waktu tempuh antar waktu hijau dari simpang satu ke simpang berikutnya, selain itu waktu *offset* juga dapat di digunakan dalam pembentukan lintasan koordinasi. Sedangkan Bandwith di peroleh dari perbedaan antar waktu antara dimulainya sinyal hijau pada simpang A dan waktu awal hijau pada simpang B yang berdekatan. Waktu hijau bandwith dapat dihitung menggunakan diagram koordinasi dengan bantuan aplikasi excel

3.7 Perhitungan Pedoman Kapasitas jalan Indonesia 2023

Analisis yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia tahun 2023 yang disusun oleh Direktorat Jenderal Bina Marga. Perhitungan yang diambil yaitu perhitungan kinerja simpang bersinyal dan optimasi waktu siklus karena dasar dari koordinasi sinyal adalah dengan mengetahui terlebih dahulu kinerja eksisting simpang yang dikaji.

3.7.1 Teori Perhitungan Simpang Bersinyal

a. Arus Jenuh Dasar

Untuk tipe arus terlindung didasarkan pada PKJI (2023), dapat dirumuskan :

$$J_0 = 600 \times L_e \quad (\text{III. 1})$$

Keterangan :

J_0 = Arus Jenuh Dasar (smp/jam)

L_e = Lebar Efektif (meter)

b. Faktor Penyesuaian

1) Faktor Penyesuaian untuk tipe pendekatan didasarkan PKJI (2023)

(a) Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Tabel 3. 1 Tabel Faktor Koreksi Ukuran Kota

Penduduk Kota (juta jiwa)	Faktor Penyesuaian ukuran kota (Fuk)
>3,0	1,05
1,0-3,0	1,00
0,5-1,0	0,94
0,1-0,5	0,83
<0,1	0,82

Sumber; PKJI 2023

(b) Faktor Koreksi untuk Tipe Lingkungan, Hambatan Samping, dan Kendaraan Tak Bermotor (F_{HS})

Untuk menentukan faktor koreksi hambatan samping, didasarkan pada PKJI (2023) harus memperhatikan jenis lingkungan, tingkat hambatan samping, dan rasio kendaraan tak bermotor.

Tabel 3. 2 Tabel Faktor Koreksi Ukuran Kota

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	$\geq 0,25$
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Permukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses terbatas (RA)	Tinggi/sedang/rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber; PKJI 2023

- (c) Faktor Koreksi untuk Kelandaian (F_G)
- (d) Faktor koreksi untuk pengaruh Parkir (F_P)
- 2) Faktor Penyesuaian tipe pendekat “P”
 - (a) Faktor Koreksi Belok Kanan (F_{BKa})

$$F_{BKa} = 1,0 + R_{BKa} \times 0,26 \quad (\text{III. 2})$$

Keterangan :

F_{BKa} = Faktor penyesuaian belok kanan

R_{BKa} = Rasio kendaraan belok kanan

- (b) Faktor Koreksi Belok Kiri (F_{BKl})

$$F_{BKl} = 1,0 - R_{BKl} \times 0,26 \quad (\text{III. 3})$$

Keterangan :

F_{BKl} = Faktor penyesuaian belok kiri

R_{BKl} = Rasio kendaraan belok kiri

- 3) Nilai Arus Jenuh yang Disesuaikan

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKl} \times F_{BKa} \quad (\text{III. 4})$$

Keterangan :

J_0 = Arus Jenuh Dasar

F_{UK} = Faktor Koreksi Ukuran Kota

F_{HS} = Faktor Koreksi Hambatan Samping

F_G = Faktor Koreksi Kelandaian

F_P = Faktor Koreksi Parkir

F_{BKa} = Faktor Koreksi Belok Kanan

F_{BKl} = Faktor Koreksi Belok Kiri

c. Rasio Arus

- 1) Rasio arus masing-masing pendekat

$$R_{q/j} = \frac{q}{j} \quad (\text{III. 5})$$

Keterangan:

$R_{q/j}$ = rasio arus pendekat

q = arus lalu lintas

j = arus jenuh yang disesuaikan (smp/jam)

2) Rasio Arus Simpang

$$R_{AS} = \sum i(R_{q/j \text{ kritis}})_i \quad (\text{III. 6})$$

Keterangan :

R_{AS} = Rasio arus simpang

$R_{q/j \text{ kritis}}$ = Rasio arus tertinggi masing-masing fase

3) Rasio Fase

$$R_F = \frac{R_{q/j \text{ kritis}}}{R_{AS}} \quad (\text{III. 7})$$

Keterangan :

R_F = Rasio fase

R_{AS} = Rasio arus simpang

$R_{q/j \text{ kritis}}$ = Rasio arus tertinggi masing-masing fase

d. Kapasitas

Untuk menghitung kapasitas dari masing-masing pendekat, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C = J \times \frac{W_H}{s} \quad (\text{III. 8})$$

Keterangan :

C = Kapasitas pendekat (smp/jam)

W_H = Waktu hijau (detik)

s = Waktu siklus total (detik)

Kinerja suatu persimpangan dipengaruhi oleh beberapa indikator, yaitu derajat kejenuhan, antrian, dan tundaan.

a. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan dihitung pada masing-masing pendekat. Dalam perhitungannya, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$D_j = \frac{q}{C} \quad (\text{III. 9})$$

Keterangan:

D_j = Derajat kejenuhan

q = Arus total (smp/jam)

C = Kapasitas simpang (smp/jam)

b. Antrean

1) N_{q1}

$$N_{q1} = 0,25 \times s \times \left[(D_j - 1) + \sqrt{(D_j - 1)^2 + \frac{8 \times (D_j - 0,5)}{s}} \right] \quad (\text{III. 10})$$

Keterangan :

N_{q1} = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

D_j = Derajat kejenuhan

s = waktu siklus

C = Kapasitas

2) N_{q2}

$$N_{q2} = s \times \frac{1 - R_H}{1 - R_H \times D_j} \times \frac{q}{3600} \quad (\text{III. 11})$$

Keterangan :

N_{q2} = Jumlah smp yang datang selama fase merah

D_j = Derajat kejenuhan

R_H = Rasio hijau

s = Waktu siklus (detik)

Q_{masuk} = Arus lalu-lintas pada tempat masuk di luar BkiJT
(smp/jam)

3) N_q

$$N_q = N_{q1} + N_{q2} \quad (\text{III. 12})$$

4) Panjang Antrean (P_A)

$$P_A = \frac{N_q \times 20}{L_M} \quad (\text{III. 13})$$

c. Tundaan

1) Tundaan Lalu lintas

$$T_{LL} = s \times \frac{0,5 \times (1 - R_H)^2}{(1 - R_H \times D_j)} + \frac{N_{q1} \times 3600}{C} \quad (\text{III. 14})$$

Keterangan :

T_{LL} = Tundaan lalu-lintas rata-rata (det/smp)

s = Waktu siklus yang disesuaikan (det)

* R_H = Rasio hijau (W_H/s)

* D_j = Derajat kejenuhan

N_{q1} = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

C = Kapasitas (smp/jam)

2) Tundaan Geometri

$$T_G = (1 - R_{KH}) \times P_B \times 6 + (R_{KH} \times 4) \quad (\text{III. 15})$$

Keterangan :

T_G = Tundaan geometri rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

R_{KH} = Rasio kendaraan terhenti pada pendekat

P_B = Rasio kendaraan berbelok pada pendekat

3) Tundaan Rata – Rata

$$T = T_{LL} + T_G \quad (\text{III. 16})$$

3.7.2 Optimasi Waktu Siklus

Langkah ini dilakukan untuk mengoptimalkan waktu siklus untuk memperbaiki kinerja dengan adanya perubahan pada siklus, fase, waktu hijau, pada setiap fase sehingga dapat meningkatkan kinerja dari simpang.

- a. Menghitung waktu siklus sebelum penyesuaian

$$s = \frac{(1,5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \sum R_{q/J \text{ kritis}})} \quad (\text{III. 17})$$

Keterangan :

s = Waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (detik)

W_{HH} = Waktu hilang total per siklus (detik)

$R_{q/J \text{ kritis}}$ = Rasio arus simpang ($\sum R_{q/J \text{ kritis}}$)

- b. Menentukan Waktu Hijau Hilang

Penentuan waktu hijau hilang berdasarkan PKJI 2023 berdasarkan lebar jalan rata – rata, sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Tabel Penentuan Waktu Hijau Hilang

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; PKJI 2023

- c. Menghitung waktu hijau untuk masing – masing fase

$$W_{Hi} = (s - W_{HH}) \times \frac{R_{q/J \text{ kritis}}}{\sum_i (R_{q/J \text{ kritis}})_i} \quad (\text{III. 18})$$

Keterangan :

- W_{Hi} = Tampilan waktu hijau pada fase I (detik)
- s = Waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (detik)
- W_{HH} = Waktu hilang total per siklus (detik)
- i = indeks untuk fase ke I

d. Menghitung waktu siklus yang disesuaikan

$$s = \sum W_{Hi} + W_{HH} \quad (\text{III. 19})$$

Keterangan :

- s = Waktu siklus yang disesuaikan
- $\sum W_{Hi}$ = Jumlah waktu hijau (detik)
- W_{HH} = Waktu hilang total per siklus (detik)

3.8 Simulasi Lalu Lintas

Simulasi Lalu lintas di gunakan untuk mensimulasikan kondisi yang terjadi pada kondisi eksisting kemudian di tuangkan ke dalam simulasi lalu lintas berupa aplikasi. Salah satu aplikasi pemodelan lalu lintas yaitu PTV Vissim. Langkah utama yang akan dilakukan dalam pemodelan transportasi dengan Vissim yaitu dengan membangun pemodelan Vissim, Kalibrasi Vissim, Validasi Model Simulasi, dan evaluasi hasil keluaran dari *Softwarer PTV Vissim*.

3.8.1 Membangun Pemodelan Vissim

Dalam membangun pemodelan Vissim terdapat beberapa variabel yang harus di masukkan ke dalam model untuk dapat menggambarkan kondisi eksisting yang nyata. Adapun beberapa parameter yang harus dienuhi yang di-input menggunakan distribusi stokastik. Adapun parameter yang di gunakan yaitu sebagai berikut:

1. *Vehicle Input*
2. *2D/3D Model*
3. *Vehicle Composition*

4. *Desired Speed Distribution*
5. *Vehicle type, class and category*
6. *Driving Behaviour*
7. *Signal Control*

3.8.2 Kalibrasi Vissim

Sebelum dilakukan validasi dalam pemodelan PTV Vissim, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi, yaitu suatu proses untuk menciptakan kondisi pemodelan yang semirip mungkin dengan kondisi eksisting. Adapun beberapa parameter yang di ubah dalam melakukan kalibrasi yaitu berupa perilaku pengemudi atau *driving behaviour* yang di buat semirip mungkin dengan kondisi nyata di lapangan. adapun beberapa parameter yang di lakukan perubahan yaitu sebagai berikut (Irawan & Putri, 2017):

- 1) *Desire position at free flow*, yaitu posisi kendaraan pada suatu jalur
- 2) *Overtake on same lane*, adalah perilaku pengendara saat menyalip
- 3) *Distance standing*, merupakan jarak antar pengemudi secara bersampingan saat berhenti
- 4) *Distance driving*, merupakan jarak antar pengemudi secara bersampingan
- 5) *Average standing distance*, merupakan parameter untuk menentukan jarak aman
- 6) *Additive part of safety distance*, merupakan penentuan jarak aman
- 7) *Multiplicative part of safety distance*, merupakan parameter untuk menentukan jarak aman.

3.8.3 Validasi Model Simulasi

Setelah melakukan proses kalibrasi selanjutnya dilakukan proses validasi, proses ini dilakukan untuk memvalidasi apakah kondisi pada model sudah menyerupai kondisi yang sebenarnya. Terdapat tiga aspek yang dapat dijadikan tolak ukur yaitu volume, panjang antrian, dan tundaan. Namun pada penelitian ini menggunakan validasi volume lalu lintas (Anggayeni et al., 2024). metode uji Geoffrey E. Havers (GEH) yang di jadikan parameter yaitu volume keluaran dari model dan volume kondisi eksisting. model di nyatakan di terima apabila nilai GEH

kurang dari 5, Berikut merupakan rumus dari uji GEH. dengan rumus sebagai berikut:

$$GEH = \sqrt{\frac{(q \text{ simulated} - q \text{ observed})^2}{0,5 \times (q \text{ simulated} + q \text{ observed})}} \quad (\text{III. 20})$$

Uji GEH merupakan uji statistik yang di gunakan untuk menguji kebenaran ataupun kepalsuan hipotesis yang menyatakan di antara dua sampel yang diperoleh tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Tujuan utama dari validasi ini agar model yang di buat sama dengan yang ada di lapangan.

3.9 Indeks Pencemaran Udara

Menurut kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Ditjen Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan lingkungan Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara, berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomo4 P.14/Menlhk/Setjen/Kum.17/2020 Tentang Standar Pencemaran Udara tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara yang merupakan mengganti dari Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 Tahun1997 Tentang Perhitungan dan Pelaporan serta informasi Indeks Standar Pencemaran Udara. Tercantum bahwa peraturan ISPU dilakukan pada 7 (tujuh) parameter yakni PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, O₃, dan HC. Terdapat penambahan 2 (dua) parameter yakni HC dan PM_{2.5} dari peraturan sebelumnya. Penambahan parameter tersebut didasari pada besarnya resiko HC dan PM_{2.5} terhadap kesehatan manusia. Namun berdasarkan keluaran dari hasil simulasi PTV Vissim hanya terdapat 2 partikel zat hasil keluaran dari pemodelan, sehingga parameter yang akan di gunakan dalam analais ini yaitu berupa Co dan NO_x. Berikut merupakan tabel konversi nilai konsentrasi parameter ISPU dan cara perhitungan sebagai berikut :

Tabel 3. 4 Tabel Konversi ISPU

ISPU	Partikulat (PM ₁₀) µg/m ³	Partikulat (PM _{2,5}) µg/m ³	Sulfur dioksida (SO ₂) µg/m ³	Karbon mokoksida (CO) µg/m ³	ozon (O ₃) µg/m ³	Nitrogen dioksida (NO ₂) µg/m ³	hidrokarbon (HC) µg/m ³
0 - 50	50	15,5	52	4000	120	80	45

ISPU	Partikulat (PM ₁₀) µg/m ³	Partikulat (PM _{2,5}) µg/m ³	Sulfur dioksida (SO ₂) µg/m ³	Karbon monoksida (CO) µg/m ³	ozon (O ₃) µg/m ³	Nitrogen dioksida (NO ₂) µg/m ³	hidrokarbon (HC) µg/m ³
51 - 100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101 - 200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201 - 300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Sumber; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Perhitungan ISPU dilakukan berdasarkan nilai ISPU batas atas, ISPU batas bawah, ambien batas atas, ambien batas bawah, dan konsentrasi ambien hasil pengukuran. Berikut merupakan persamaan matematika perhitungan ISPU sebagai berikut:

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b \quad (III. 21)$$

Keterangan :

I = ISPU terhitung

I_a = ISPU batas atas

I_b = ISPU batas bawah

X_a = Konsentrasi ambien batas atas (µg/m³)

X_b = Konsentrasi ambien batas bawah (µg/m³)

X_x = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (µg/m³)

Berikut merupakan kategori Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) berdasarkan standar yang telah dikeluarkan oleh kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Ditjen Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan lingkungan Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara

Tabel 3. 5 Tabel Rentang Kategori ISPU

Rentang	Kategori	Penjelasan
0 - 50 (Hijau)	Baik	Tingkat kualitas udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan
51 - 100 (Biru)	Sedang	Tingkat kualitas udara masih dapat diterima oleh kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.
101 - 200 (Kuning)	Tidak Sehat	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan, dan tumbuhan.
201 - 300 (Merah)	Sangat Tidak Sehat	Tingkat kualitas udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen yang terpapar.
301- Lebih (Hitam)	Berbahaya	Tingkat kualitas yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat.

Sumber; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

3.10 Penelitian Terdahulu

Tabel 3. 6 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis/ Tahun Penulisan	Perbandingan
1	Analisa Koordinasi Simpang Bersinyal Terhadap Kinerja Simpang Dan Ruas Jalan	Nasution (2017)	Penelitian dilakukan oleh Reza Yogi Syuhada mengenai simpang berdekatan yang mengalami masalah di Kota Medan, yang di lakukan penanganan berupa koordinasi sinyal dengan menggunakan metode MKJI 1997, dengan menggunakan panjang antrean dan tundaan sebagai variabel, sedangkan penulis menggunakan metode PKJI 2023, dan PTV Vissim 2023, dengan menggunakan variabel berupa panjang antrean, tundaan, dan emisi gas buang yang di hasilkan dari hasil pemodelan pada PTV Vissim.

No	Judul Penelitian	Penulis/ Tahun Penulisan	Perbandingan
2	Analisa dan Koordinasi Simpang bersinyal Gemblengan – simpang serengan – simpang jamsaren kota surakarta	Niswaturrofifah & RATNANINGSIH (2023)	Penelitian dilakukan oleh Hasna Niswaturrofifah pada tahun 2023 Simpang bersinyal Gemblengan – simpang serengan – simpang jamsaren kota surakarta. Banyaknya persimpangan yang berdekatan dengan fase sinyal yang belum optimal mengakibatkan adanya panjang antrian dan tundaan yang buruk. Metode yang digunakan yaitu menggunakan MKJI. dengan menggunakan panjang antrian dan tundaan sebagai variabel, sedangkan penulis menggunakan metode PKJI 2023, dan PTV Vissim 2023, dengan menggunakan variabel berupa panjang antrian, tundaan, dan emisi gas buang yang di hasilkan dari hasil pemodelan pada PTV Vissim
3	Analisis Koordinasi Sinyal Antar Simpang Pada Ruas Jalan Raden Panji Suroso Kota Malang	Setyawan (2021)	Penelitian yang dilakukan Nafis Farrel Setyawan pada tahun 2021 pada ruas jalan Raden Panji Suroso Kota Malang. Permasalahan yang terjadi yaitu Terdapat dua simpang yang berdekatan pada ruas Jalan Raden Panji Suroso. Yang berdampak panjangnya antrean dan tundaan. Penelitian ini menggunakan metode MKJI 1997, dengan panjang antrean dan tundaan sebagai variabelnya, sedangkan penulis menggunakan PKJI 2023 dan di modelkan ke dalam PTV Vissim, dan menggunakan panjang

No	Judul Penelitian	Penulis/ Tahun Penulisan	Perbandingan
			antrean, tundaan, dan emisi gas buang yang di hasilkan dari hasil pemodelan pada PTV Vissim. Sehingga di harapkan dapat menghasilkan data yang lebih valid.

