

Evaluation of Saturation Flow During Green Time Interval Using the Time-Slice Method Based on PTV VISSIM Microscopic Simulation

Mutiara Purba¹, Putri Nabila², and Eka Suartawan³

¹Manajemen Transportasi Jalan Politeknik Transportasi Darat Bali

²Program Studi Manajemen Transportasi Jalan, Politeknik Transportasi Darat Bali

Abstract

Traffic congestion in urban areas poses a serious challenge to the operation of an effective and efficient transportation system. One of the main problem areas is at signalized intersections, such as the Tohpati Intersection in Denpasar, which experiences high levels of congestion due to green light timing that is disproportionate to the actual vehicle volume. This study aims to evaluate the impact of changes in phase and green time on saturation flow and intersection capacity using the time-slice method and microscopic simulation with the assistance of PTV VISSIM software. The time-slice method was used to divide the green time interval into short 5-second segments, which were then analyzed to obtain key parameters such as start-up lost time, peak flow, and decay flow. Simulation data were validated using the GEH test to ensure the model's consistency with real-world field conditions. The results show that an optimal green-phase timing scenario can reduce queue length by more than 85% and decrease vehicle delay by more than 90% compared to existing conditions. The integration of the time-slice method and VISSIM modeling proved effective in representing traffic characteristics and provided a strong foundation for technical recommendations aimed at the sustainable optimization of intersection performance.

Keyword: Saturated Flow, PTV VISSIM, Time Slice, Green Time Optimization.

Abstrak

efektif dan efisien. Salah satu titik permasalahan utama terdapat pada simpang bersinyal, seperti Simpang Tohpati di Kota Denpasar, yang menunjukkan tingkat kemacetan tinggi akibat distribusi waktu hijau yang tidak proporsional terhadap volume kendaraan aktual. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan fase dan waktu hijau terhadap arus jenuh dan kapasitas simpang menggunakan metode *time slice* dan simulasi mikroskopik dengan bantuan perangkat lunak PTV VISSIM. Metode *time slice* digunakan untuk membagi interval waktu hijau menjadi segmen pendek berdurasi 5 detik, yang kemudian dianalisis untuk memperoleh parameter penting seperti start-up lost time, peak flow, dan decay flow. Data simulasi divalidasi menggunakan uji GEH untuk memastikan kesesuaian model dengan kondisi riil di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario pengaturan waktu hijau optimal mampu menurunkan panjang antrian hingga lebih dari 85% dan mengurangi tundaan kendaraan lebih dari 90% dibandingkan kondisi eksisting. Integrasi metode *time slice* dan pemodelan VISSIM terbukti efektif dalam merepresentasikan karakteristik lalu lintas dan menjadi dasar yang kuat untuk rekomendasi teknis dalam optimalisasi kinerja simpang secara berkelanjutan.

Kata kunci: Arus Jenuh, PTV VISSIM, Time Slice, Optimalisasi Waktu Hijau

1. Pendahuluan

Kemacetan di kawasan perkotaan menjadi tantangan utama dalam mewujudkan sistem transportasi yang efektif dan berkelanjutan. Kemacetan lalu lintas adalah masalah yang sudah sangat sering dihadapi oleh kota-kota besar di seluruh dunia, termasuk di Indonesia [1]. Kondisi ini akan terus terjadi seiring pertumbuhan penduduk dan penggunaan kendaraan yang tidak diiringi dengan penyediaan fasilitas memadai. Semakin tinggi pertumbuhan penduduk tentu saja disertai dengan peningkatan mobilitas, karena setiap warga negara memerlukan akses transportasi untuk menghemat waktu dan efektivitas dalam bekerja. Kebutuhan akan transportasi merupakan bagian penting dalam meningkatkan arus perekonomian untuk mengoptimalkan potensi daerah yang ada [2]. Kemacetan berdampak pada waktu tunggu dan antrean pada suatu simpang, tidak hanya itu kemacetan akan mengakibatkan pemborosan bahan bakar dan polusi

udara akan semakin tinggi. Simpang merupakan pertemuan dua jalan atau lebih [3]. Denpasar yang merupakan ibu Kota Provinsi Bali adalah pusat dari kegiatan masyarakat seperti kegiatan pada bidang pemerintahan, pendidikan, ekonomi, maupun hiburan [4]. Salah satu simpang yang ada di Kota Denpasar adalah Simpang Tohpati yang menghubungkan berbagai rute yang padat dengan arus lalu lintas yang tinggi, terutama pada jam-jam sibuk. Sehingga kepadatan dengan arus lalu lintas yang tinggi ini menyebabkan kemacetan dan panjang antrian yang tinggi.

Menurut survei lapangan yang dilakukan oleh Mahasiswa Politeknik Transportasi Darat Bali di Simpang Tohpati menunjukkan bahwa kemacetan di simpang ini salah satunya disebabkan oleh pengaturan siklus waktu sinyal yang belum optimal, di mana waktu hijau pada beberapa fase tidak sesuai dengan volume kendaraan aktual. Observasi menunjukkan bahwa permasalahan utama di Simpang Tohpati adalah memanjangnya antrean kendaraan pada beberapa lengan yang padat pada jam tertentu. Hal ini terjadi karena durasi waktu hijau pada lengan yang tidak padat cenderung panjang, menyebabkan pemborosan waktu hijau yang tidak termanfaatkan secara optimal [5]. Pada simpang ini menunjukkan terdapat memanjangnya antrian kendaraan pada beberapa lengan yang padat pada jam tertentu karena durasi waktu hijau pada lengan yang tidak padat panjang. Hasil yang diperoleh dari survei tersebut yaitu kondisi simpang ini menunjukan LOS simpang F.

PKJI tetap menjadi metode utama dalam menganalisis kinerja persimpangan di Indonesia. Untuk analisis PKJI 2023, perlu adanya data volume lalu lintas yang dikumpulkan dari survei lapangan [6]. Berdasarkan permasalahan diatas, diperlukan suatu analisis yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan waktu hijau terhadap nilai arus jenuh dan kapasitas simpang. Dalam hal ini, metode *time slice* dirasa tepat karena diterapkan dengan cara membagi periode waktu hijau ke dalam beberapa segmen, yang kemudian masing-masing segmen tersebut dianalisis volumenya. Proses analisis ini dilakukan dengan bantuan perangkat VISSIM, yang digunakan untuk melakukan pemodelan dan simulasi kinerja simpang apabila diberlakukan skenario empat fase, sehingga dapat diperoleh gambaran kuantitatif atas dampak pengaturan sinyal terhadap performa lalu lintas di simpang tersebut. Studi-studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa simulasi Vissim efektif dalam mengurangi antrean, meminimalkan waktu tunda, dan meningkatkan waktu tempuh secara keseluruhan, sehingga dapat meningkatkan kinerja simpang [7]. Dengan demikian, kombinasi antara metode *time slice* dan pemodelan simulasi VISSIM memberikan pendekatan yang komprehensif dalam mengevaluasi kinerja simpang dan merumuskan strategi optimalisasi sinyal yang lebih adaptif terhadap kondisi lalu lintas aktual.

2. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Simpang Tohpati yang terletak pada Jalan Wr.Supratman 309, Tohpati, Kesiman Kertalangu, Denpasar Timur, Bali. Simpang Tohpati di Kota Denpasar merupakan simpang empat bersinyal yang menghubungkan empat ruas jalan utama: Jalan Bypass Ngurah Rai (barat), Jalan Gatot Subroto Timur (utara), Jalan WR Supratman (selatan), dan jalan menuju Gianyar (timur). Secara fisik, simpang ini memiliki empat lengan pendekat dengan geometri standar, termasuk lajur belok, median, dan fasilitas penyeberangan. Sistem sinyal yang digunakan adalah APILL dengan empat fase, di mana setiap fase melayani satu arah pendekat secara bergantian.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan adalah pengumpulan data primer dan data sekunder. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi terkait. Contoh data sekunder yang dibutuhkan disini yaitu data jumlah penduduk yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Denpasar. Sementara data primer merupakan data yang diperoleh melalui survei secara langsung di lapangan. Adapun data yang dimaksud yaitu data geometrik meliputi jumlah lengan pendekat, jumlah lajur pada tiap pendekat, panjang efektif lajur, keberadaan median, serta fasilitas penyeberangan. Pengukuran dilakukan dengan bantuan alat ukur manual dan pengamatan langsung. Volume lalu lintas dikumpulkan melalui survei simpang yang berasal dari survei CTMC, serta survei kecepatan sesaat (*spot speed*) dilakukan pada masing-masing pendekat untuk mengetahui kecepatan aktual kendaraan yang melintas, yang nantinya digunakan sebagai input parameter kalibrasi dalam simulasi VISSIM.

Analisis Data

Analisis data yang digunakan untuk mendukung penelitian ini yaitu dengan mencari kapasitas dan waktu siklus yang menggunakan PKJI 2023. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Waktu Siklus

Dalam PKJI 2023, rumus waktu siklus digunakan untuk mencari waktu siklus saat kondisi perencanaan 2 fase dan 4 fase. Untuk rumus yang digunakan adalah :

$$s = (1,5 \times WHH + 5) / (1 - \frac{Rq}{J_{kritis}}) \quad (1)$$

2. Kapasitas

Menurut PKJI 2023, kapasitas adalah jumlah maksimum arus kendaraan yang dapat melewati persimpangan. Untuk rumus yang digunakan adalah :

$$C = J \times Wh/s \quad (2)$$

3. Waktu Hijau

Menurut PKJI 2023, Kinerja suatu simpang APILL pada umumnya lebih peka terhadap kesalahan-kesalahan alam pembagian waktu hijau daripada terhadap terlalu panjangnya waktu siklus. Penyimpangan kecil dari rasio hijau dapat berakibat bertambah tingginya tundaan rata-rata pada simpang APILL tersebut.

$$WHi = (s - WHH) \times \frac{\frac{Rq_{kritis}}{J}}{\sum (\frac{Rq_{kritis}}{J})_i} \quad (3)$$

Simulasi Lalu Lintas

Penggunaan aplikasi VISSIM mempermudah dalam proses simulasi lalu lintas, karena mampu memodelkan perilaku kendaraan secara mikroskopik serta menggambarkan kondisi lalu lintas secara visual dan dinamis, sehingga mendukung analisis yang lebih akurat dan mendalam dalam suatu penelitian. Penggunaan simulasi lalu lintas adalah salah satu pendekatan yang paling banyak digunakan untuk mengukur keakuratan dari sebuah simulasi dengan kondisi nyata pada lalu lintas. VISSIM merupakan software simulasi yang digunakan oleh profesional untuk membuat simulasi dari skenario lalu lintas yang dinamis sebelum membuat perencanaan dalam bentuk nyata [8]. Proses simulasi dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut :

1. Pembuatan jaringan jalan yang menggunakan peta dari Google Maps. Pada penelitian ini simpang yang dimodelkan adalah Simpang Tohpati
2. Masukan data kendaraan, mulai dari model kendaraan, jenis atau tipe kendaraan, dan kelas kendaraan
3. Melakukan komposisi kendaraan, penyesuaian komposisi jenis kendaraan dan kecepatan sangat penting dalam menampilkan karakteristik lalu lintas pada wilayah studi. Pengaturan ini diterapkan pada setiap lengan pendekat, dengan tambahan pengaturan distribusi kecepatan untuk tiap jenis kendaraan. Nilai distribusi kecepatan tersebut diperoleh dari hasil survei kecepatan titik (spot speed) yang telah dilakukan sebelumnya
4. Menetapkan rute asal dan tujuan pada jaringan jalan
5. Memasukan data volume kendaraan berdasarkan hasil survei dan komposisi kendaraan yang telah dimasukan sebelumnya
6. Pengaturan fase dan waktu siklus APILL sesuai dengan yang ada di lapangan
7. Hasil yang didapatkan divalidasi dengan uji statistik terhadap standar volume dan kecepatan lalu lintas hasil survei, apabila dinyatakan valid maka model siap digunakan untuk selanjutnya.

Kalibrasi Perilaku Pengemudi

Kalibrasi pada perilaku pengemudi di aplikasi Vissim dilakukan untuk dapat menggambarkan perilaku yang sesuai dengan yang ada di lapangan dengan mengubah nilai pada parameter-parameter yang terdapat pada *driving behavior*. Parameter yang disesuaikan antara lain *Following*, *Lateral*, dan *Signal Control*. Data hasil survei kecepatan sesaat dan volume kendaraan digunakan sebagai acuan awal dalam menentukan nilai-nilai parameter tersebut. Proses kalibrasi dilakukan secara iteratif dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data lapangan, khususnya panjang antrean, tundaan, dan kecepatan rata-rata kendaraan. Penyesuaian terus dilakukan hingga deviasi antara simulasi dan kondisi aktual berada dalam

batas toleransi. Setelah itu, model divalidasi untuk memastikan konsistensinya dalam merepresentasikan perilaku lalu lintas di simpang Tohpati.

Uji Validasi

Validasi merupakan proses pembuktian yang dilakukan untuk memastikan kebenaran dan keandalan suatu data atau model, yang diperoleh melalui penerapan metode tertentu sebagai dasar pembuktian terhadap hasil yang dihasilkan. Uji GEH (Geoffrey E. Havers) adalah salah satu kriteria yang direkomendasikan oleh berbagai administrasi jalan dan digunakan dalam pemodelan lalu lintas untuk membandingkan dua set volume lalu lintas. Menurut [9] Dalam proses kalibrasi model, persamaan Geoffrey E. Haver dapat digunakan. Rumus GEH merupakan rumus statistik modifikasi dari Chi-squared dengan menggabungkan perbedaan antara nilai relatif dan mutlak. Indeks GEH (Geoffrey E. Havers) rata-rata dari setiap model pilihan rute kemudian ditabulasi dengan membandingkan aliran simulasi persimpangan dengan aliran yang diamati yang dikumpulkan di lapangan[10]. Adapun perhitungan rumus GEH adalah :

$$GEH : \frac{\sqrt{(q_{simulated} - q_{observed})^2}}{\sqrt{0,5 \times (q_{simulated} + q_{observed})}} \quad (3)$$

Data yang diperoleh akan dinyatakan valid atau diterima apabila memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

Table 1 Syarat Nilai GEH

Nilai GEH	Kategori
GEH < 5	Diterima
5 ≤ GEH ≤ 10	Peringatan : model <i>error</i> atau data buruk
GEH > 10	Ditolak

Setelah uji GEH dinyatakan valid, maka model simulasi pada vissim dapat digunakan untuk mewakili atau mempresentasikan model eksisting di lapangan.

Metode Time Slice

Metode time slice adalah salah satu metode perhitungan arus jenuh berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan, metode ini adalah salah satu cara membagi waktu hijau menjadi beberapa periode yang lebih kecil[11]. Arus jenuh dinyatakan dalam satuan kendaraan per jam waktu hijau (kendaraan/jam) atau satuan mobil penumpang (smp/jam) selama waktu hijau, dan ditentukan dengan mengamati pergerakan kendaraan yang mulai berjalan dari kondisi berhenti (dalam antrean) pada awal fase hijau, dengan menggunakan periode waktu hijau yang relatif singkat. Pada penelitian ini, untuk menghasilkan analisis yang akurat, maka time slice yang ditetapkan adalah 5 detik dengan jumlah interval waktu hijau selama satu jam (jam puncak).

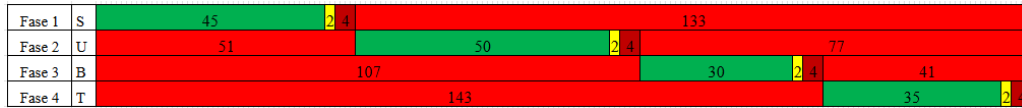
Analisis dan Pembahasan

Pembahasan selanjutnya akan difokuskan pada hasil perhitungan kapasitas dan waktu siklus berdasarkan PKJI 2023 pada Simpang Tohpati yang memiliki 4 fase. Selain itu, akan dianalisis pula arus jenuh menggunakan metode time slice 5 detik yang diperoleh melalui simulasi VISSIM. Hasil analisis ini akan membandingkan antara keluaran simulasi VISSIM dan perhitungan berdasarkan PKJI 2023. Analisis dengan metode *time slice* dilakukan dengan membagi waktu hijau tiap fase menjadi interval kecil, yaitu 5 detik, untuk menganalisis perilaku kendaraan secara lebih rinci. Hasil simulasi dari VISSIM kemudian dikonversi ke satuan Satuan Mobil Penumpang (SMP) per interval dan SMP per jam agar dapat dibandingkan dengan kapasitas teoritis. Melalui pendekatan ini, dapat diidentifikasi parameter penting seperti *start-up lost time* (waktu hilang saat awal kendaraan bergerak), *peak flow* (arus puncak maksimum dalam satu interval), dan *decay flow* (penurunan arus setelah puncak tercapai), yang sangat berguna dalam evaluasi dan optimalisasi kinerja simpang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan manual menggunakan PKJI 2023 dan simulasi vissim dengan data eksisting yang didapat pada saat survei dan waktu hijau optimal, sebagai berikut :

Gambar 1 Diagram Fase Data Eksisting



Tabel 2 Perhitungan PKJI Data Eksisting

Arus Jenuh Yang Disesuaikan	Rasio Arus	Kapasitas	Derajat Kejenuhan	Pendekat
J	Rq/J	C	DJ	
6638,8	0,19	1623,6	0,78	S
4795,5	0,23	1303,1	0,83	U
2385,7	0,26	388,9	1,59	B
3605,0	0,22	685,7	1,18	T

Simulasi VISSIM

1. Data Eksisting

Tabel 4 Hasil Simulasi Vissim Data Eksisting

Pendekat	Arus Lalu Lintas	Panjang Antrian	Tundaan Kendaraan
Selatan	76,66	130,38	94,74
Utara	66,66	186,44	385,12
Barat	47,43	308,85	533,42
Timur	71,56	288,76	769,49

Tabel 5 Hasil Time Slice Data Eksisting

Interval waktu	Arus Jenuh	
	smp/5detik	smp/jam
0-5	0	0
5-10	0,45	270
10-15	1,3	780
15-20	1,15	690
20-25	2,45	1470
	rata-rata	642

2. Data Waktu Hijau Optimal

Tabel 6 Hasil Simulasi Vissim Data Waktu Hijau Optimal

Pendekat	Arus Lalu Lintas	Panjang Antrian	Tundaan Kendaraan
Selatan	61,94	23,01	3,71
Utara	55,10	26,79	4,31
Barat	38,24	19,37	3,51
Timur	58,50	23,02	3,94

Tabel 7 Hasil Time Slice Data Waktu Hijau Optimal

Interval waktu	Arus Jenuh	
	smp/5detik	smp/jam
0-5	0	0
5-10	3,05	1830
10-15	3,6	2160
15-20	1,75	1050
20-25	3,2	1920
	rata-rata	1392

Dengan mengubah waktu hijau menjadi waktu hijau optimal pada setiap fase sinyal, kinerja lalu lintas di simpang dapat ditingkatkan secara signifikan. Penyesuaian ini bertujuan untuk menyesuaikan distribusi waktu hijau dengan volume kendaraan yang sebenarnya, sehingga panjang antrian dan waktu tundaan dapat diturunkan. Melalui pemodelan simulasi menggunakan aplikasi PTV VISSIM, perubahan ini dapat dianalisis secara visual, sehingga dampaknya terhadap efisiensi dan pemanfaatan kapasitas simpang dapat terlihat lebih jelas dan terukur.

Setelah dilakukan optimalisasi waktu hijau pada masing-masing fase sinyal dengan bantuan pemodelan simulasi menggunakan aplikasi PTV VISSIM, seluruh lengan simpang menunjukkan penurunan panjang antrian yang sangat signifikan. Optimalisasi ini berhasil menyesuaikan alokasi waktu hijau secara lebih proporsional terhadap volume kendaraan, sehingga pergerakan lalu lintas menjadi lebih lancar dan efisien di setiap pendekatan simpang.

Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa setelah dilakukan optimalisasi waktu hijau, terjadi penurunan waktu tundaan yang sangat drastis pada seluruh pendekatan simpang. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa optimalisasi waktu hijau sangat efektif dalam meningkatkan kinerja simpang, mengurangi waktu tunggu kendaraan, dan mempercepat pergerakan lalu lintas secara menyeluruh.

Analisis Kinerja Kondisi Eksisting

Hasil simulasi VISSIM pada kondisi eksisting menunjukkan kinerja simpang yang sangat buruk, dengan tundaan kendaraan dan panjang antrian yang sangat tinggi pada keempat pendekatan. Pendekat Selatan memiliki panjang antrian rata-rata 130,38 meter dengan tundaan 94,74 detik/kendaraan. Pendekat Utara mencatat antrian 186,44 meter dengan tundaan 385,12 detik/kendaraan. Pendekat Barat menjadi yang terburuk dengan antrian 308,85 meter dan tundaan mencapai 533,42 detik/kendaraan. Pendekat Timur memiliki tundaan tertinggi yaitu 769,49 detik/kendaraan dengan panjang antrian 288,76 meter.

Tabel 8 Perbandingan Panjang Antrian

Jalan	PANJANG ANTRIAN EKSISTING	PANJANG ANTRIAN OPTIMALISASI	%
JL.BY PASS	130,38	23,01	-70,00
JL.GATSU	186,44	26,79	-74,87
JL.WR	308,85	19,37	-88,20
JL.BT BLN	288,76	23,02	-85,23

Tabel 9 Perbandingan Tundaan Kendaraan

JALAN	TUNDAAN EKSISTING	TUNDAAN OPTIMALISASI	%
JL.BY PASS	94,74	3,71	-92,47
JL.GATSU	385,12	4,31	-97,79
JL.WR	533,42	3,51	-98,69
JL.BT BLN	769,49	3,94	-98,98

Pada skenario resetting, hasil simulasi VISSIM menunjukkan peningkatan kinerja yang signifikan. Panjang antrean turun drastis pada seluruh pendekat: Selatan menjadi 23,01 meter dengan tundaan hanya 3,71 detik/kendaraan, Utara 26,79 meter dengan tundaan 4,31 detik/kendaraan, Barat 19,37 meter dengan tundaan 3,51 detik/kendaraan, dan Timur 23,02 meter dengan tundaan 3,94 detik/kendaraan. Keberhasilan skenario optimalisasi ini dicapai melalui redistribusi waktu hijau yang lebih proporsional sesuai dengan rasio arus lalu lintas pada masing-masing lengan. Dengan membandingkan alokasi waktu hijau optimal terhadap nilai rasio arus/jalur (R/J) dari tabel PKJI, dapat dilihat bahwa lengan-lengan dengan permintaan lalu lintas tertinggi kini mendapatkan porsi waktu hijau yang lebih sesuai. Hal ini secara langsung mengurangi waktu yang terbuang pada fase-fase dengan permintaan rendah, serta meningkatkan efisiensi siklus secara keseluruhan.

Perhitungan manual menggunakan metode PKJI 2023 untuk kondisi eksisting menunjukkan tren serupa.

Tabel 10 Antrian dan Tundaan Data Eksisting

Panjang Antrian (m)	Tundaan smp.det	Kode Pendekat
102,00	121082	SELATAN
119,68	103946	UTARA
398,71	381157	BARAT
179,76	155975	TIMUR

Pendekat Selatan memiliki antrean 102 meter dengan tundaan 95,27 detik/kendaraan, Utara 119,68 meter dan 95,83 detik/kendaraan, Barat 398,71 meter dengan tundaan 614,97 detik/kendaraan, serta Timur 179,76 meter dengan tundaan 193,27 detik/kendaraan.

Tabel 11 Antrian dan Tundaan Data Waktu Hijau Optimal

Panjang Antrian (m)	Tundaan smp.det	Kode Pendekat
81,03	98103	SELATAN
99,78	92328	UTARA
286,42	255589	BARAT
125,69	98100	TIMUR

Hasil perhitungan manual PKJI 2023 untuk skenario yang sama juga menunjukkan perbaikan, walaupun nilainya lebih tinggi dibanding simulasi menggunakan VISSIM: Selatan 81,03 meter dengan tundaan 77,19 detik/kendaraan, Utara 99,78 meter dan 85,12 detik/kendaraan, Barat 286,42 meter dengan tundaan 412,37 detik/kendaraan, dan Timur 125,69 meter dengan tundaan 121,55 detik/kendaraan. Selain itu, hasil perhitungan manual menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting terdapat beberapa lengan dengan Derajat Kejenuhan (DJ) melebihi 1,0. Nilai DJ pada pendekat Barat mencapai 1,59 dan pada Timur sebesar 1,18, sementara Selatan dan Utara masih di bawah 1,0 yaitu 0,78 dan 0,83. Nilai DJ > 1,0 menandakan bahwa volume lalu lintas melebihi kapasitas layanan, sehingga antrean tidak dapat terselesaikan dalam satu siklus sinyal, memicu penumpukan antrean antar siklus dan tundaan kendaraan yang sangat tinggi. Kondisi ini selaras dengan klasifikasi Level of Service (LOS) F dalam PKJI 2023, yang mendeskripsikan

keadaan operasi gagal dengan antrean panjang tak terkendali dan tundaan yang tidak dapat diterima oleh pengguna jalan.

Validitas Model Simulasi

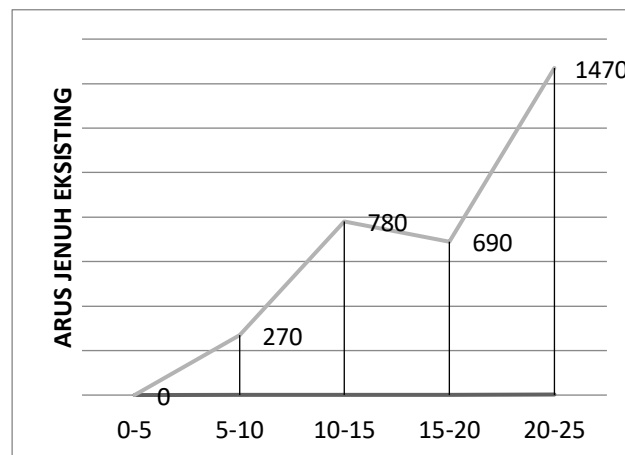
Model simulasi VISSIM yang digunakan dalam penelitian ini telah dikalibrasi dan divalidasi dengan seksama untuk memastikan kesesuaiannya dengan kondisi yang ada di lapangan. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data hasil survei di lapangan menggunakan ukuran statistik GEH. Nilai GEH yang dihasilkan berada dalam rentang yang memenuhi kriteria kelayakan internasional (umumnya <5 untuk mayoritas pengamatan), sehingga membuktikan bahwa model ini merupakan representasi yang valid dan andal dari kondisi lalu lintas sebenarnya. Dengan demikian, hasil simulasi VISSIM dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan yang kredibel dalam analisis kinerja simpang dan perumusan skenario perbaikan.

Hasil Analisis Time Slice

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, terdapat nilai kapasitas yang dihasilkan berdasarkan PKJI 2023 dan *metode time slice*. Kapasitas optimum yang dihasilkan dari PKJI 2023 dan metode time slice itu berbeda setiap fasenya.

1. Penerapan pada kondisi eksisting

Pada kondisi eksisting, kapasitas optimum yang dihasilkan oleh PKJI 2023 di lengan barat (jalan wr.supratman) adalah sebesar 388,9 smp/jam. Adapun kapasitas yang dihasilkan dengan metode time slice dapat dilihat pada grafik dibawah ini

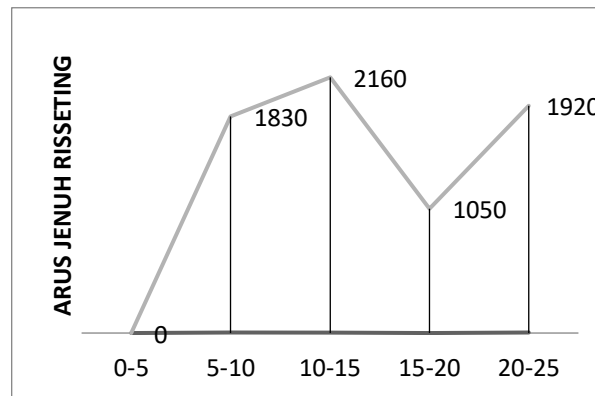


Gambar 3 Grafik Arus Jenuh Data Eksisting

Berdasarkan tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa volume kendaraan yang melintas pada potongan waktu pertama (0-5 detik) adalah sebesar 0 smp/jam atau tidak ada kendaraan yang lewat. Volume tersebut kemudian turun pada detik ke 15-20 hingga mencapai puncak lagi pada detik ke-20 sebesar 1470 smp/jam. Sehingga kapasitas menurut arus jenuh maksimum yaitu sebesar 1470 smp/jam.

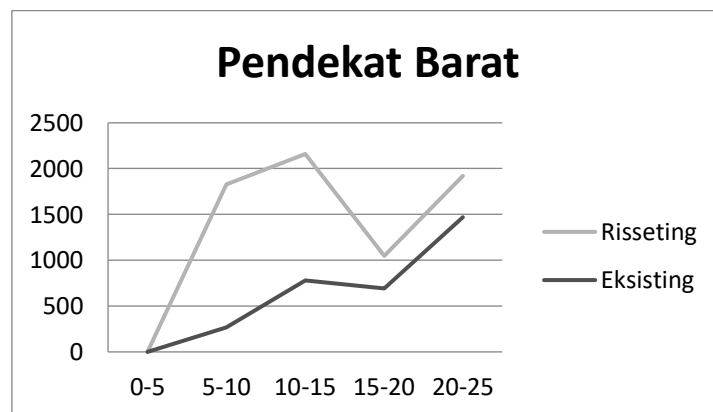
1. Penerapan pada kondisi waktu hijau optimal

Pada kondisi eksisting, kapasitas optimum yang dihasilkan oleh PKJI 2023 di lengan barat (jalan wr.supratman) adalah sebesar 411,3 smp/jam. Adapun kapasitas yang dihasilkan dengan metode time slice dapat dilihat pada grafik di bawah ini



Gambar 4 Grafik Arus Jenuh Data Waktu Hijau Optimal

Berdasarkan tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa volume kendaraan yang melintas pada potongan waktu pertama (0-5 detik) adalah sebesar 0 smp/jam atau tidak ada kendaraan yang lewat. Volume tersebut kemudian naik pada detik ke 5 hingga mencapai puncak pada detik ke-10 sebesar 1830 smp/jam. Volume tersebut kemudian naik lagi pada detik ke 10 hingga mencapai puncak pada detik ke-15 sebesar 2160 smp/jam. Volume tersebut kemudian turun pada detik ke 15-20 hingga mencapai puncak lagi pada detik ke-20 sebesar 1920 smp/jam. Sehingga kapasitas menurut arus jenuh maksimum yaitu sebesar 2160 smp/jam. Untuk melihat lebih jelas perbedaan kapasitas yang dihasilkan berdasarkan metode time slice, dapat dilihat pada grafik



Gambar 5 Grafik Perbandingan Arus Jenuh Data

Eksisting Dan Waktu Hijau Optimal

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa waktu hijau eksisting lebih sedikit melepaskan kendaraan dibandingkan dengan waktu hijau riseting.

4. KESIMPULAN

1. Ringkasan Temuan Utama, Optimalisasi alokasi waktu hijau pada setiap fase sinyal terbukti meningkatkan kinerja lalu lintas secara signifikan. Simulasi VISSIM yang telah dikalibrasi dan divalidasi dengan statistik GEH memenuhi standar internasional, memastikan bahwa model ini valid dan representatif terhadap kondisi lapangan. Pada kondisi eksisting, seluruh lengan simpang menunjukkan antrean dan tundaan kendaraan yang sangat tinggi, dengan Derajat Kejenuhan (DJ) melebihi 1,0 pada pendekat Barat (1,59) dan Timur (1,18), mengindikasikan Level of Service (LOS) F atau operasi gagal sesuai PKJI 2023. Hasil optimalisasi menunjukkan penurunan panjang antrean lebih dari 70–85% dan pengurangan tundaan hingga di bawah 5 detik/kendaraan pada seluruh lengan, sehingga kinerja simpang meningkat secara dramatis menuju LOS B atau A.
2. Validasi bahwa Pendekatan Time Slice Efektif untuk Mengevaluasi Efisiensi Tiap Fase Pendekatan *time slice* yang membagi fase hijau menjadi interval kecil (contoh 9 detik) berhasil

mengidentifikasi *start-up lost time* yang signifikan pada detik-detik awal pelepasan antrean—terlihat dari arus jenuh awal 0 smp/jam yang kemudian meningkat tajam hingga 2480 smp/jam pada interval akhir. Analisis ini memungkinkan evaluasi lebih rinci atas distribusi pelepasan kendaraan, mengungkap inefisiensi pada alokasi waktu hijau eksisting, dan memfasilitasi perancangan distribusi waktu hijau yang lebih proporsional dan efektif terhadap permintaan nyata.

3. Saran Penelitian Lanjutan: Integrasi Logika Adaptif Berbasis Real-Time Data Ke depan, penelitian ini dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan sistem kontrol sinyal adaptif berbasis data waktu nyata (*real-time adaptive signal control*). Dengan memanfaatkan sensor lalu lintas dan pemrosesan data langsung, alokasi waktu hijau dapat diatur secara dinamis sesuai kondisi aktual di lapangan. Pendekatan ini diharapkan mampu meminimalkan tundaan, mengakomodasi fluktuasi arus lalu lintas harian, dan meningkatkan efisiensi operasi simpang secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mg. Brilliant, Roy Raja Sukmanta Meilala, and Delfia Herwanis, "Manajemen Transportasi : Kerugian Transportasi Akibat Kemacetan Lalu Lintas di Aceh," *SAMMAJIVA*, vol. 2, no. 4, pp. 42–53, Dec. 2024, doi: 10.47861/sammajiva.v2i4.1480.
- [2] M. A. W. Pusparini, B. T. T. Pamungkas, and M. H. Hasan, "Pemetaan Titik Rawan Kemacetan Lalu Lintas di Kota Kupang Menggunakan Analisis SIG Berbasis Skoring dan Overlay," vol. 6, 2025.
- [3] T. R. Putri and B. H. Susilo, "ANALISIS KINERJA SIMPANG BERSINYAL SETIA DARMA 2 – INSPEKSI KALIMALANG, BEKASI," *psia*, vol. 3, no. 1, Aug. 2021, doi: 10.25105/psia.v3i1.13101.
- [4] I Made Kariyana, Gede Sumarda, and I Gede Aryanta Putra, "ANALISIS PERBANDINGAN ARUS JENUH PADA PENDEKAT SIMPANG TERLINDUNG DAN TERLAHAN DENGAN METODE MKJI DAN METODE TIME SLICE (STUDI KASUS: SIMPANG SUBITA DAN SIMPANG WARIBANG)," *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, vol. 10, no. 2, pp. 385–397, Dec. 2021, doi: 10.22225/pd.10.2.3885.385-397.
- [5] L. Erdei and R. Skapinyecz, "Examination of a road intersection using state of the art traffic simulation software," *ALS*, vol. 15, no. 2, pp. 13–20, 2021, doi: 10.32971/als.2021.008.
- [6] M. Syaifullah, Y. Kadir, and F. L. Desei, "Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2023 dan Software VISSIM," *Konstruksia*, vol. 15, no. 2, p. 147, Nov. 2024, doi: 10.24853/jk.15.2.147-163.
- [7] K. Ghalib, Y. Yossyafra, and P. Purnawan, "Traffic Performance Optimization at Batanghari Intersection Using Microsimulation," *Reka Buana*, vol. 9, no. 1, pp. 12–27, Mar. 2024, doi: 10.33366/rekabuana.v9i1.5650.
- [8] D. S. Hormansyah, V. Sugiarto, and E. L. Amalia, "PENGUNAAN VISSIM MODEL PADA JALUR LALU LINTAS EMPAT RUAS," *JTI-TKI*, Mar. 2016, doi: 10.36382/jti-tki.v7i1.194.
- [9] M. R. Ibrahim, Y. Kadir, and F. L. Desei, "ANALISIS KINERJA SIMPANG BERSINYAL MENGGUNAKAN SOFTWARE VISSIM PADA PERPOTONGAN JALAN PROF. DR. H.B JASSIN DAN JALAN JENDERAL SUDIRMAN," vol. 2, 2022.
- [10] W. A. Chin, L. V. Leong, S. A. Mohd Shafie, H. A. Al-Jameel, and W. C. Goh, "Assessment of Route Choice Models for Dynamic Traffic Assignment using Microscopic Simulation," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 15, no. 2, pp. 20990–20997, Apr. 2025, doi: 10.48084/etasr.9854.
- [11] Z. Azwari, "JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MATARAM".