

**EVALUASI KINERJA SIMPANG
BERSINYAL
(Studi Kasus: Simpang Tohpati, Kota
Denpasar, Bali)**

I Made Kariyana^{1*}

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains
dan Teknologi Universitas Ngurah Rai,
made.kariyana@unr.ac.id

ABSTRAK

Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui evaluasi simpang bersinyal yang berlokasi di simpang Tohpati Denpasar. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kompleksitas permasalahan pada titik persimpangan jalan yang mana menjadi pusat pertemuan arus kendaraan dari berbagai arah. Salah satu simpang dengan penggunaan APILL adalah simpang Tohpati. Tujuan pemasangan APILL untuk memberikan kesempatan pada masing-masing pengguna jalan untuk bergantian agar dapat melewati simpang secara tertib. Namun masih terjadi antrian panjang dan tingginya tundaan yang terjadi menyebabkan kemacetan pada setiap lengan simpang, ini membuat keberadaan APILL pada simpang tersebut dinilai belum efektif serta kinerja simpang tidak efektif lagi. Penelitian ini menggunakan metode jenis kuantitatif dengan pendekatan studi lapangan. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa hasil analisis menunjukkan nilai tundaan tertinggi pada jam puncak pagi ada pada Jl. Bypass Ngurah Rai senilai 120.5 detik/smp untuk volume lalu lintas sebanyak 831 kend/jam dan panjang antrian sebesar 116 m. Selanjutnya untuk jam puncak siang, tundaan tertinggi ada pada Jl. Gatot Subroto Timur dengan nilai 75.04 detik/smp yang terjadi akibat arus 940 smp/jam yang melalui pendekat tersebut dengan antrian sepanjang 116.67 m. Kemudian tundaan

tertinggi untuk jam puncak sore terdapat pada Jl. Bypass Ngurah Rai dengan nilai 308.92 detik/smp yang diakibatkan arus sebesar 1,293 smp/jam dengan panjang antrian 140 m. Hasil analisa menunjukkan bahwa penelitian pada tahun ini dan penelitian pada tahun sebelumnya mempunyai hasil yang sama di mana tingkat pelayanan simpang Tohpati adalah F.

Kata Kunci : Lalu Lintas, Simpang bersinyal, APILL, Tundaan

ABSTRACT

This paper aims to determine the evaluation of a signalized intersection located at the Tohpati Denpasar intersection. This research is motivated by the difficulty of problems at the intersection point which is the center of meeting of vehicle flows from various directions. One of the intersections using APILL is the Tohpati intersection. The purpose of installing APILL is to provide an opportunity for each road user to take turns in order to pass the intersection in an orderly manner. However, there are still long queues and high delays that occur causing congestion on each arm of the intersection, this makes the presence of APILL at the intersection considered ineffective and the performance of the intersection is no longer effective. This research uses a quantitative type method with a field study approach. This research concludes that the results of the analysis show that the highest value of the delay at morning peak hours is on Jl. The Ngurah Rai bypass is worth 120.5 seconds/pcu for a traffic volume of 831 vehicles/hour and a queue length of 116 m. Furthermore, for peak hours during the day, the highest delay is on Jl. Gatot Subroto Timur with a value of 75.04 sec/smp which occurred due to a current of 940 pcu/hour passing through the approach with a queue of 116.67 m. Then the highest delay for afternoon peak hours is on Jl. Bypass Ngurah Rai with a value of 308.92

seconds/pcu which resulted in a current of 1,293 pcu/hour with a queue length of 140 m. The results of the analysis show that this year's research and the previous year's research had the same results where the level of service at the Tohpati intersection was F.

Keyword : Traffic, Intersection, Vehicle Conflict, Delay

1. PENDAHULUAN

Sinyal lalu lintas umumnya digunakan untuk mengatasi kemacetan simpang yang diakibatkan oleh konflik dari pergerakan kendaraan. Hampir keseluruhan fasilitas jalan, kemampuan untuk dapat menampung arus kendaraan dan perilaku kendaraan adalah fungsi dari tata letak geometrik dan syarat daripada lalu lintas (Hasanuddin, Halim, Maulidiyah, & Trisnawathy, 2021). Karena itu, langkah awal dalam menganalisis kemampuan untuk dapat menampung arus kendaraan dan perilaku kendaraan, yaitu ditentukannya sesi dan waktu sinyal yang harus menyesuaikan pada kondisi tinjauan (Sa'dillah & Primasworo, 2020). Diperlukanya metode khusus dalam menganalisa simpang bersinyal yang merupakan bentuk dari pengendalian ketetapan waktu yang diatur sedemikian rupa menggunakan lampu lalu lintas (APILL) sebagai pengatur dan pengendali arus lalu lintas (Menteri Perhubungan RI, 2015).

APILL merupakan sarana untuk mengatur waktu berhenti dan berjalannya kendaraan-kendaraan di jalan yang dioperasikan secara mekanis atau elektrik. Adapun pemasangan APILL bertujuan menghindari adanya konflik dari pergerakan kendaraan yang berlawanan dan mencegah meningkatnya kapasitas selama keadaan lalu lintas puncak sehingga tidak mengakibatkan kemacetan simpang. Kemudian APILL juga diharapkan bisa menurunkan tingkat frekuensi kecelakaan (Santoso, Puspita, & Amin, 2021). Dengan adanya pengaturan

ini, tentu dapat berkontribusi untuk memisahkan pergerakan kendaraan pada waktu yang berbeda sehingga dapat mengurangi titik-titik konflik yang ada pada simpang (Kendek, Rachman, & Radjawane, 2020).

Persimpangan sendiri merupakan titik bertemunya kendaraan dari berbagai arah. Akibat pertemuan *on the spot* ini dapat menyebabkan terjadinya tundaan pada masing-masing kendaraan dan antrian panjang yang berujung kemacetan serta dapat menjadi penyebab kecelakaan yang terjadi pada persimpangan (Makrus, Gibran, & Firmansyah, 2022). Karena masalah tersebut, kinerja simpang perlu dievaluasi untuk mengetahui kelayakan suatu simpang mengingat pentingnya simpang ini sebagai akses bagi arus kendaraan (Suryaningsih, Hermansyah, & Kurniati, 2020).

Salah satu simpang dengan penggunaan APILL adalah simpang Tohpati, dimana tujuan pemasangan APILL yang kita ketahui adalah untuk memberikan kesempatan pada masing-masing pengguna jalan pada setiap lengan simpang agar dapat melewati simpang secara bergantian. Namun keadaan di lapangan mengatakan berbeda dikarenakan masih terjadi antrian panjang dan tingginya tundaan yang terjadi, karena itu APILL pada simpang tersebut dinilai belum efektif.

Saat panjang antrian sudah terlampaui jauh maka dapat dipastikan jika persimpangan tersebut mempunyai kinerja yang tidak efisien serta pengaturan APILL yang kurang baik, maka dari itu kelancaran lalu lintas akan terganggu dan menyebabkan adanya penumpukan kendaraan pada suatu lengan simpang (Mamu dkk., 2021)

Penelitian sejenis pernah di lakukan pada tahun 2021 di simpang ini dimana pada tahun tersebut diketahui adanya pandemi Covid-19 yang menyebabkan Pemerintah Republik Indonesia menerapkan pembatasan kegiatan masyarakat (PKM) pada 11 Januari 2021 ((Menkominfo, 2021), yang dilanjutkan dengan kebijakan

Gubernur Bali berupa Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) yang dimulai tanggal 2 Juli 2021 sesuai Surat Edaran Gubernur Bali Nomor 9 Tahun 2021, ini mengakibatkan banyak area pariwisata dan akses jalan ditutup sampai waktu yang ditentukan dan hal ini juga sebagai tanggapan terhadap tingginya kasus kematian yang diakibatkan oleh virus ini.

Dari hasil penelitian pada tahun tersebut didapatkan tingkat pelayanan simpang Tohpati adalah F dengan tundaan sebesar 373 det/smp untuk jam puncak pagi, untuk jam puncak siang memiliki tundaan sebesar 308 det/smp dengan tingkat pelayanan F dan pada jam puncak sore mempunyai tundaan sebesar 364 det/smp dengan tingkat pelayanan F (Yogeswari, Suthayana, & Ariawan, 2021).

Berdasarkan pemaparan tersebut, penulis tertarik untuk meneliti tentang nilai tundaan rata-rata pada masing-masing lengan simpang sesuai Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 yang difokuskan pada simpang Tohpati di tahun 2023. Hal ini menjadi menarik untuk diteliti karena persimpangan jalan merupakan titik pertemuan lalu lintas kendaraan yang dapat memunculkan berbagai potensi konflik kendaraan, seperti kecelakaan, kemacetan dan penumpukan kendaraan. Alasan penelitian ini diadakan juga karena keadaan akibat pandemi Covid-19 telah berangsur membaik serta masyarakat sudah bisa beraktivitas kembali secara normal yang mengakibatkan ruas-ruas jalan dan persimpangan sudah kembali dipadati oleh kendaraan.

1.1 Rumusan Masalah

Dalam Penelitian ini, rumusan masalah yang diangkat adalah “bagaimana tingkat pelayanan di masing-masing lengan simpang Tohpati berdasarkan nilai tundaan rata-rata yang di analisis”.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui tingkat pelayanan di masing-masing lengan simpang Tohpati berdasarkan nilai tundaan rata-rata yang di analisis.

1.3 Urgensi Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang bisa dijadikan acuan dalam pengembangan tingkat pelayanan di masing – masing lengan simpang Tohpati, mengingat saat ini keadaan Bali telah berangsur pulih dari pandemi Covid-19 sehingga aktivitas masyarakat sudah kembali normal.

Bagi instansi pemerintahan, nilai tundaan pada masing – masing lengan simpang yang dihasilkan dalam penelitian ini diharapkan dapat menjadi konteks yang baik untuk mengembangkan infrastruktur pembangunan dalam memperbaiki arus lalu lintas yang ada pada persimpangan – persimpangan di Bali khususnya daerah simpang Tohpati yang sudah mulai dipadati kendaraan dan menjadi salah satu titik yang rawan akan kemacetan serta kecelakaan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yaitu penelitian yang dalam memecahkan permasalahannya digunakan kajian-kajian teoriti. Data primer didapatkan melalui survei yang dilakukan langsung di lokasi penelitian sebanyak tiga periode untuk mendapatkan jam puncak pada setiap periode yang dilakukan pukul 07.00 – 09.00 WITA untuk periode pagi, 12.00 – 14.00 WITA untuk periode siang dan 16.00 – 18.00 WITA untuk periode sore.

Proses survei dibantu dengan laptop, pita pengukur, formulir hitung pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dan kamera untuk merekam data observasi penelitian. Data Primer yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data geometrik dari simpang berupa W_A (lebar pendekat), W_{MASUK} (lebar masuk), W_{KELUAR} (lebar keluar) dan $W_{L TOR}$ (lebar belok kiri langsung).

2. Data pergerakan kendaraan yang dibagi dalam tiga arus pada masing-masing pendekat, yaitu:
 - A. Kendaraan yang bergerak lurus (ST).
 - B. Kendaraan yang berbelok ke kanan (RT).
 - C. Kendaraan yang pada saat sinyal merah diijinkan belok ke kiri (LTOR).
3. Data kendaraan yang melewati ruas persimpangan, yaitu :
 - A. Sepeda motor (MC).
 - B. Kendaraan ringan (LV).
 - C. Kendaraan berat (HV).
 - D. Kendaraan tidak bermotor (UM).

Selain data primer, data sekunder juga diperlukan dalam menunjang penelitian ini. Data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini adalah peta lokasi dan jumlah penduduk pada lokasi penelitian. Proses perhitungan mengikuti tahapan pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, pada bab simpang bersinyal yang menggunakan bantuan formulir SIG I sampai SIG V, dimana masing-masing formulir mempunyai peranan sebagai berikut:

1. SIG I : geometrik, pengaturan lalu lintas dan keadaan lingkungan simpang.
2. SIG II : pergerakan kendaraan yang terjadi pada simpang.
3. SIG IV : penyesuaian waktu sinyal, kapasitas simpang, derajat kejenuhan yang terjadi.
4. SIG V : tundaan, antrian dan banyaknya kendaraan yang terhenti disetiap pendekat.

Dalam proses analisisnya diperlukan pemahaman terkait jenis arus, penentuan jam puncak, waktu sinyal dan rumus-rumus apa saja yang akan digunakan dalam proses analisa. Berikut adalah rumus-rumus yang akan digunakan saat proses analisa dalam penelitian ini :

1. Arus Lalu Lintas

Perhitungan arus lalu lintas ialah proses konversi banyaknya kendaraan untuk disetarakan ke dalam SMP (satuan mobil penumpang) dalam satuan jam pada satu periode atau lebih menggunakan nilai-nilai ekuivalen (Sinambela dkk., 2021). Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, nilai ekivalensi mobil penumpang (emp) adalah sebagai berikut:

Tabel 1.
Ekivalensi Mobil Penumpang

Tipe Kendaraan	Emp	
	Pendekat Terlindung	Pendekati Terlawan
LV	1.0	1.0
HV	1.3	1.3
MC	0.2	0.4

2. Arus Jenuh (S)

Analisa arus jenuh dilakukan dengan mengalikan nilai batas kendaraan maksimum yang mampu dilewatkan pada saat sinyal hijau dengan faktor-faktor penyesuaian simpang (Soehandoko, 2023).

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \dots (1)$$

Dimana :

- S = Arus jenuh;
- S₀ = Arus jenuh dasar.
- F_{CS} = Faktor untuk menyesuaikan ukuran kota.

- F_{SF} = Faktor untuk menyesuaikan hambatan samping.
- F_G = Faktor untuk menyesuaikan kemiringan jalan.
- F_P = Faktor untuk menyesuaikan pengaruh kendaraan yang parkir dan lajur kiri yang pendek.
- F_{RT} = Faktor untuk menyesuaikan rasio kendaraan belok kanan.
- F_{LT} = Faktor untuk menyesuaikan rasio kendaraan belok kiri.

Sedangkan arus jenuh dasar untuk tipe arus terlindung (P) ditentukan berdasarkan :

$$S_0 = 600 \times W_e \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :
 S_0 = Arus jenuh dasar.
 W_e = Lebar efektif.

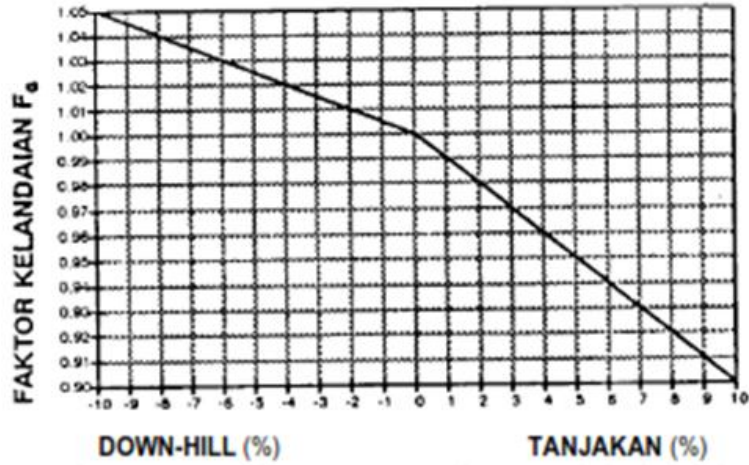
Diperlukan faktor penyesuaian dalam analisis arus jenuh (S) sesuai ketentuan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 yang ditunjukkan dalam tabel dan gambar berikut :

Tabel 2.
 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})

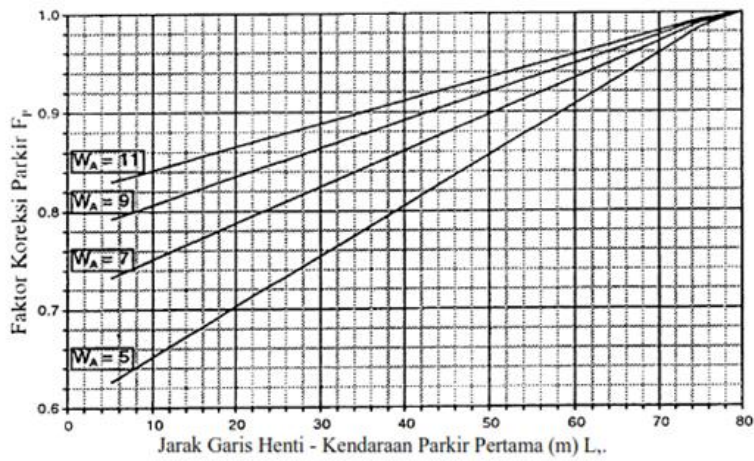
Penduduk Kota (Dalam Juta Jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})
> 3.0	1.05
1.0 – 3.0	1.00
0.5 – 1.0	0.94
0.1 – 0.5	0.83
< 0.1	0.82

Tabel 3.
 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (F_{SF})

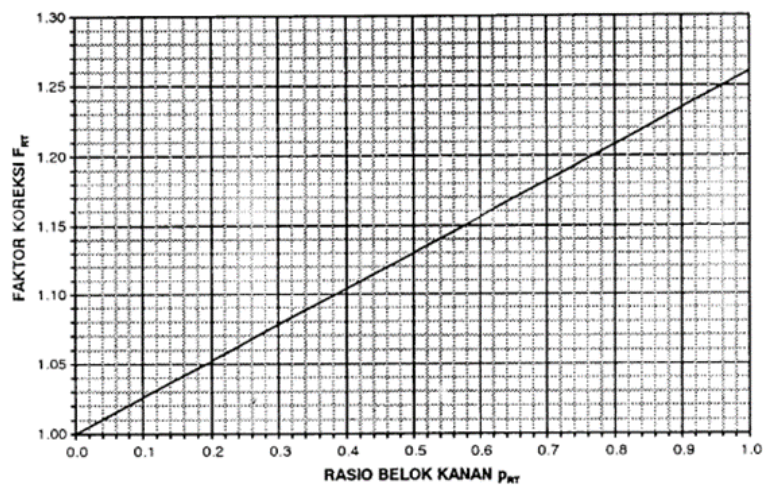
Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	> 0.25
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0.93	0.88	0.84	0.79	0.74	0.70
		Terlindung	0.93	0.91	0.88	0.87	0.85	0.81
	Rendah	Terlawan	0.94	0.89	0.85	0.80	0.75	0.71
		Terlindung	0.94	0.92	0.89	0.88	0.86	0.82
	Sedang	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
	Rendah	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
	Sedang	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



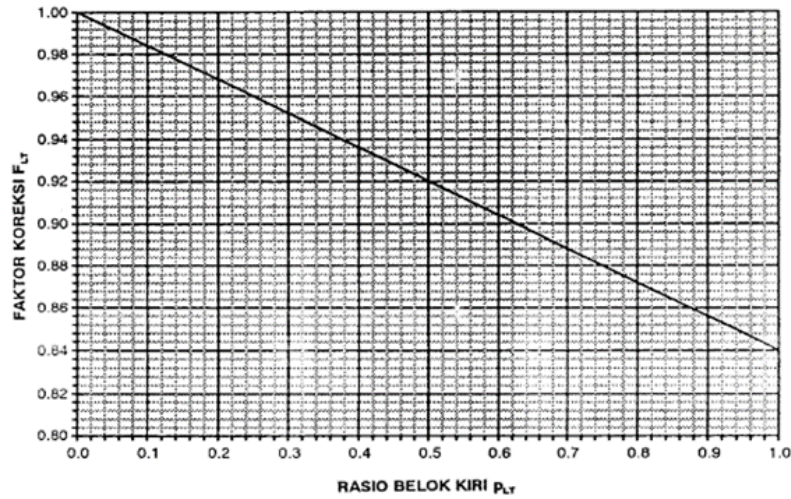
Gambar 1.
Grafik Penyesuaian Faktor Kelandaian (F_G)



Gambar 2.
Grafik Penyesuaian Faktor Pengaruh Kendaraan Parkir dan Lajur Kiri yang Pendek (F_P)



Gambar 3.
Grafik Penyesuaian Faktor Kendaraan Belok Kanan (F_{RT})



Gambar 4.

Grafik Penyesuaian Faktor Kendaraan Belok Kiri (F_{LT})

3. Kapasitas

Kapasitas (C) dalam perhitungan kinerja simpang bersinyal sangat diperlukan, di mana kapasitas ialah besarnya pergerakan kendaraan maksimum yang dapat dilalui pada lengan simpang (Prasetyo dkk., 2022). Arus lalu lintas yang dimaksudkan di sini adalah volume setiap datangnya kendaraan, distribusi kendaraan (LTOR (kendaraan belok kiri saat sinyal merah), ST (kendaraan bergerak lurus saat sinyal hijau) dan RT (kendaraan belok ke kanan saat sinyal hijau)) serta pergerakan parkir yang ada di sekitar lengan simpang yang ditinjau. Analisa kapasitas pada setiap pendekatan dihitung dengan :

$$C = S \times g / c \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- C = Kapasitas.
- S = Arus jenuh.
- g = Waktu hijau.
- c = waktu siklus

4. Penentuan Waktu Sinyal

Menentukan lamanya sinyal keseluruhan yang belum disesuaikan (c_{ua}) dihitung berdasarkan metode Webster untuk mengetahui nilai minimum dari total

tundaan pada suatu simpang dengan formula berikut :

$$c_{ua} = \frac{(1,5 \times LTI + 5)}{(1 - IFR)} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- c_{ua} = Waktu siklus yang belum disesuaikan.
- LTI = Total waktu antar hijau.
- IFR = Jumlah rasio arus kritis.

Waktu hijau (g) untuk setiap pendekatan dihitung menggunakan rumus:

$$g_i = (c_{ua} - LTI) \times \frac{FR_{crit}}{\sum FR_{crit}} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- g = Waktu hijau.
- c_{ua} = Waktu siklus yang belum disesuaikan.
- LTI = Total waktu antar hijau.
- FR_{crit} = Rasio arus kritis.

Lamanya sinyal keseluruhan yang sudah disesuaikan (c) adalah urutan lengkap dalam satu periode indikator lampus sinyal yang didapat dari menjumlahkan lamanya sinyal hijau ke hijau yang telah dibulatkan

dengan total waktu antar hijau (Mendjoyo dkk., 2023).

$$c = \sum g + LTI \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

- c = Waktu siklus yang telah disesuaikan.
- g = Waktu dari sinyal hijau.
- LTI = Total waktu antar hijau.

5. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan yang dimaksudkan yaitu perbandingan dari banyaknya arus lalu lintas terhadap kapasitas yang ada disetiap pendekat suatu simpang (Zulfa dkk., 2023) yang dinyatakan :

$$DS = \frac{Q}{C} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

- DS = Derajat kejenuhan.
- Q = Arus lalu lintas.
- C = Kapasitas.

6. Panjang Antrian

Jumlah antrian pada pendekat (NQ) menurut Suseno & Syahputra (2023) dinyatakan sebagai penjumlahan smp yang

tidak bisa dilewatkan saat sinyal hijau (NQ₁) dan smp baru saat sinyal merah setelahnya (NQ₂), tapi apabila nilai derajat kejenuhan < 0,5 maka NQ₁ = 0.

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots\dots\dots(8)$$

$$NQ_1 = 0,25 \times c \times \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{c}} \right] \dots\dots\dots(9)$$

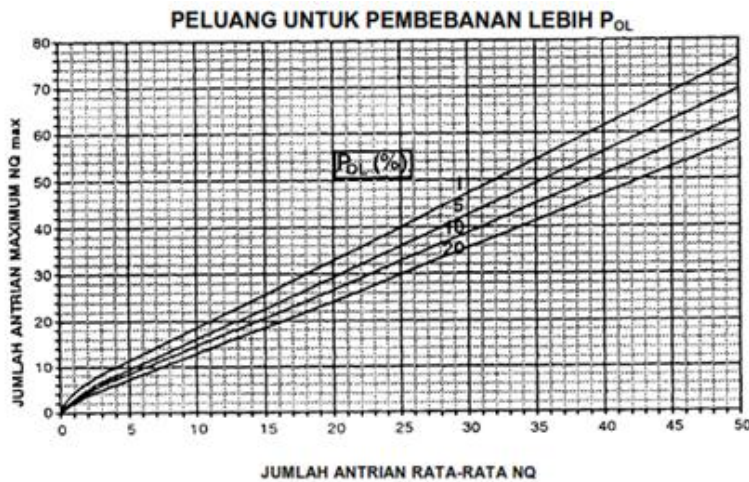
$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3,600} \dots\dots\dots(10)$$

$$QL = \frac{NQ_{MAX} \times 20}{W_{MASUK}} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana :

- NQ = Antrian kendaraan total pada suatu pendekat.
- NQ₁ = Sisa smp dari sinyal hijau.
- NQ₂ = Smp baru saat waktu merah.
- C = Kapasitas.
- DS = Derajat kejenuhan.
- c = waktu siklus yang disesuaikan.
- GR = Rasio g/c.
- Q = Arus lalu lintas.

Nilai NQ_{MAX} tersedia pada Gambar 5 untuk asumsi adanya pembebanan lebih (POL) adalah 5%.



Gambar 5. Grafik Nilai NQ_{MAX} Dengan Anggapan Adanya Pembebanan Lebih (POL)

7. Kendaraan Terhenti

Rasio berhenti (NS) yaitu jumlah rerata berhenti per smp (Dirgo Sirajaya dkk., 2023) yang dinyatakan sebagai berikut :

$$NS = 0.9 \times \frac{NQ}{Q \times C} \times 3,600 \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

- NS = Angka henti.
- NQ = Total kendaraan yang antri pada pendekat.
- Q = Arus lalu lintas.
- C = Kapasitas.

Jumlah kendaraan pada setiap pendekat yang berhenti (N_{SV}) dihitung dengan :

$$N_{SV} = Q \times NS \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

- N_{SV} = Jumlah kendaraan yang berhenti.
- Q = Arus lalu lintas.
- NS = Rasio berhenti.

Angkat henti (NS_{TOT}) didapatkan dari total kendaraan yang berhenti pada seluruh pendekat dibagi dengan keseluruhan arus lalu lintas pada simpang (Q_{TOT}) (Dirgo Sirajaya dkk., 2023).

$$NS_{TOT} = \frac{\sum N_{SV}}{Q_{TOT}} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

- NS_{TOT} = Angka henti.
- N_{SV} = Jumlah kendaraan yang berhenti.
- Q_{TOT} = Volume arus lalu lintas total.

8. Tundaan

Keterlambatan terjadi bila perjalanan melalui suatu simpang memakan waktu lebih lama dibandingkan dengan jalan yang menghindari simpang (Direktorat Pengembangan Jalan Kota (BINKOT), 1997). Untuk tundaan lalu lintas (DT) atau waktu tunggu yang diakibatkan kompetisi antara arus lalu lintas dan interaksi lalu lintas, dinyatakan :

$$DT = c \times A + \frac{NQ_1 \times 3,600}{C} \dots\dots\dots(15)$$

$$A = \frac{0,5 \times 1 - GR}{1 - GR \times DS} \dots\dots\dots(16)$$

Dimana :

- DT = Tundaan lalu lintas.
- c = Waktu siklus yang telah disesuaikan.
- A = Konstanta.
- GR = Rasio g/c.
- NQ_1 = Sisa smp dari sinyal hijau.
- DS = Derajat kejenuhan.
- C = Kapasitas.

Menurut Prastio dkk. (2022), saat sinyal merah pada suatu lengan simpang menyala maka giliran untuk melewati simpang tersebut akan tertunda dan mengakibatkan rerata tundaan geometri (DG) yang dinyatakan dengan :

$$DG = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4) \dots\dots(17)$$

Dimana :

- DG = Rerata tundaan geometri.
- P_{SV} = Rasio kendaraan terhenti (=NS).
- P_T = Rasio berbeloknya kendaraan pada suatu pendekat pendekat.

Rerata tundaan adalah jumlah rata-rata tundaan lalu lintas yang terjadi pada seluruh simpang (D_1) bisa dinyatakan dengan jumlah nilai tundaan yang dibagi oleh total arus lalu lintas (Q_{TOT}) (Jannah dkk., 2023).

$$D_1 = \frac{\sum(Q \times D)}{Q_{TOT}} \dots\dots\dots(18)$$

Dimana :

- D_1 = Rerata tundaan pada seluruh simpang.
- Q = Arus lalu lintas.
- D = Tundaan rata-rata.
- Q_{TOT} = Arus lalu lintas total.

Tundaan total pada simpang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$D_{TOT} = D \times Q \dots\dots\dots(19)$$

Dimana :

D_{TOT} = Total rerata tundaan.

D = Rerata tundaan.

Q = Arus lalu lintas.

9. Tingkat pelayanan

Tingkat pelayanan simpang adalah gambaran tingkat kepadatan dan kualitas dari kondisi pada suatu simpang. Ukuran tingkat pelayanan disetiap pendekatan pada simpang dapat dilihat dari rerata tundaan, dijelaskan juga pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015 sebagai berikut :

Tabel 4.
Tingkat Pelayanan Simpang

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)
A	< 5.0
B	5.0 – 15.0
C	15.0 – 25.0
D	25.0 – 40.0
E	40.0 – 60.0
F	> 60.0

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Geometrik Simpang

Lokasi penelitian adalah simpang bersinyal Tohpati yang berlokasi di Banjar Tohpati, Desa Kesiman Kertalangu, Kecamatan Denpasar Timur, Provinsi Bali dengan jumlah penduduk Kota Denpasar sebanyak 962,900 jiwa . Kondisi di sekitar simpang ini didominasi oleh perdagangan, jasa dan pemukiman. Area lebih rinci

mengenai lokasi simpang Tohpati adalah sebagi berikut :

Pendekat Utara : Jl. Gatot Subroto Timur
 Pendekat Timur : Jl. Wage Rudolf Supratman (dari arah Gianyar)

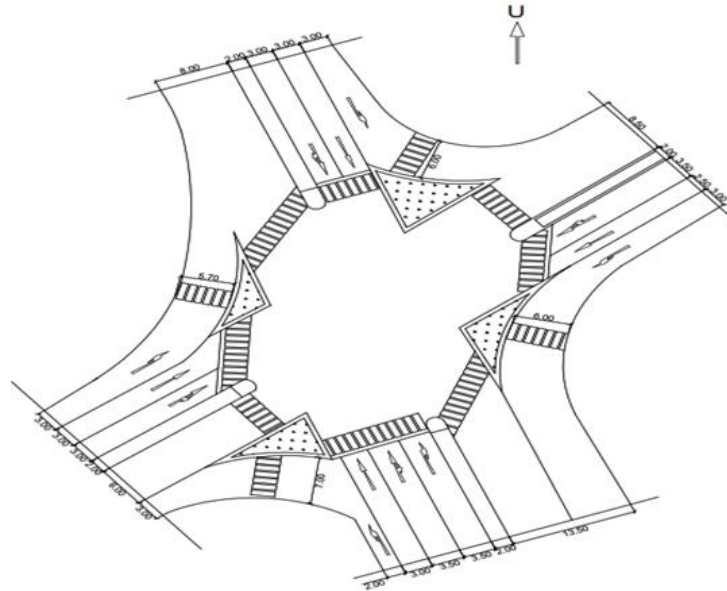
Pendekat Selatan : Jl. Bypass Ngurah Rai
 Pendekat Barat : Jl. Wage Rudolf Supratman (dari arah Denpasar)



Gambar 6.
Peta Lokasi Penelitian

Dari hasil studi lapangan didapatkan kondisi geometrik simpang, dimana simpang Tohpati menerapkan median pada masing-masing lengan simpang dengan tipe lingkungan jalan komersial dan memiliki hambatan samping yang rendah. Untuk lebih

jelasan tentang lebar pendekat, lebar masuk, lebar keluar dan lebar lajur belok kiri langsung akan dijelaskan pada Gambar 7 serta data geometrik simpang Tohpati dengan data sesuai Tabel 5.



Gambar 7.
Kondisi Geometrik Simpang

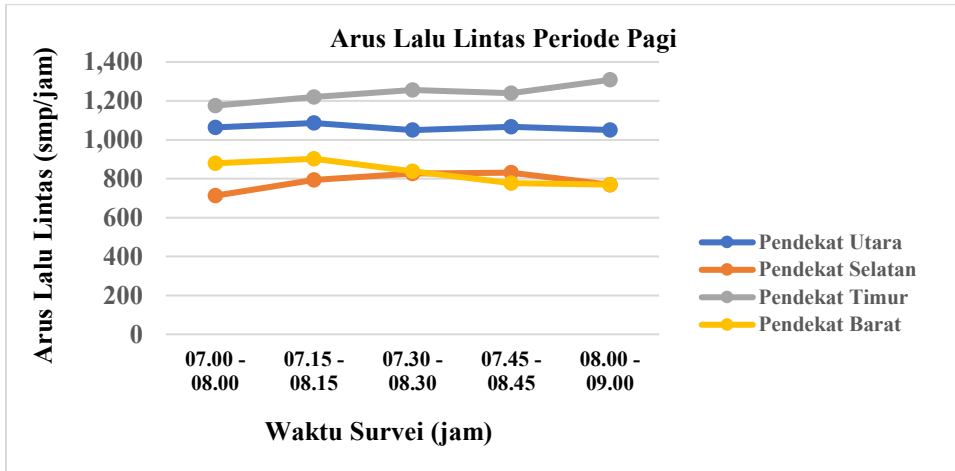
Tabel 5.
Data Geometrik Simpang

Kode Pendekat	Tipe Lingkungan	Median	Jarak ke Kendaraan Parkir (m)	Lebar Pendekat (m)			
		Ya / Tidak		W_A	W_{Masuk}	W_{LTO}	W_{Keluar}
U	COM	Y	20.0	9.0	6.0	3.0	8.6
S	COM	Y	5.0	12.0	10.0	3.0	7.1
T	COM	Y	5.0	9.0	6.0	2.0	6.8
B	COM	Y	10.0	9.0	6.0	3.0	6.0

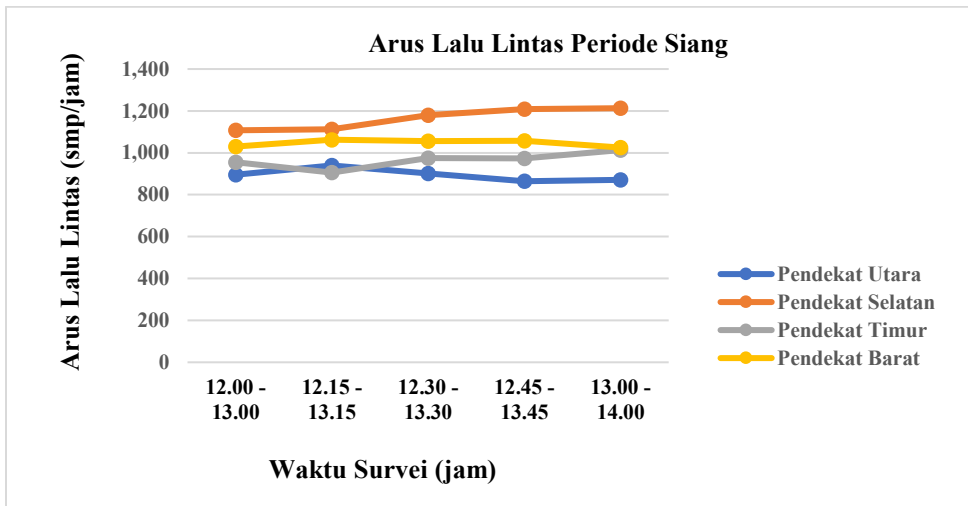
3.2 Arus Lalu Lintas

Hasil pengamatan yang dilakukan selama tiga periode pada sepeda motor, kendaraan ringan dan kendaraan berat, maka menghasilkan nilai yang menunjukkan banyaknya kendaraan yang melintasi persimpangan dengan satuan kendaraan per jam (kend/jam). Selanjutnya, nilai kend/jam untuk masing-masing jenis kendaraan akan dikonversi ke dalam satuan mobil

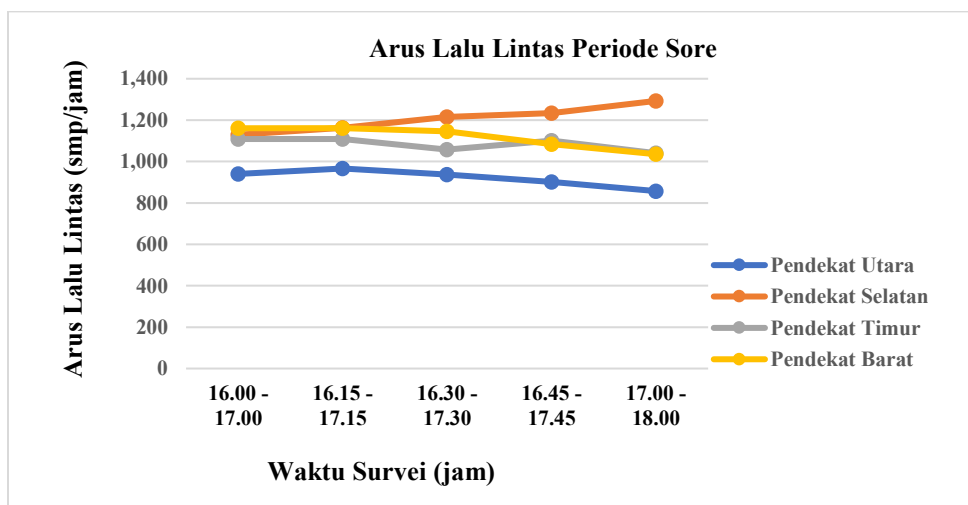
penumpang menggunakan nilai-nilai pada Tabel 1. Ekuivalensi Mobil Penumpang (emp) dimana nilai yang digunakan tergantung pada jenis pendekat simpang, maka didapatkan nilai arus lalu lintas dalam satuan mobil penumpang per jam (smp/jam). Dari hasil tersebut akan lakukan pemilihan arus lalu lintas tertinggi pada masing-masing pendekat untuk setiap periodenya.



Gambar 8.
Grafik Arus Lalu Lintas Periode Pagi



Gambar 9.
Grafik Arus Lalu Lintas Periode Siang



Gambar 10.
Grafik Arus Lalu Lintas Periode Sore

Berdasarkan gambar 8 di atas dapat diinformasikan bahwa pendekat utara mempunyai arus lalu lintas tertinggi pada pukul 07.15 – 08.15 WITA sebesar 1,086.1 smp/jam, pendekat selatan memiliki arus lalu lintas tertinggi 830.8 smp/jam pada pukul 07.45 – 08.45, pada pukul 08.00 – 09.00 pendekat timur dilalui oleh arus lalu lintas tertinggi sebesar 1,038 smp/jam dan arus lalu lintas tertinggi sebesar 902.3 smp/jam terjadi pada pukul 07.15 – 08.15 di pendekat barat.

Berikutnya Gambar 9 menjelaskan bahwa pendekat utara mempunyai arus lalu lintas tertinggi pada pukul 12.15 – 13.15 WITA sebesar 939.6 smp/jam, pendekat selatan memiliki arus lalu lintas tertinggi 1,213.1 smp/jam pada pukul 13.00 – 14.00, pada jam yang sama pendekat timur dilalui oleh arus lalu lintas tertinggi sebesar 1,013.1 smp/jam dan arus lalu lintas tertinggi sebesar 1,062.7 smp/jam terjadi pada pukul 12.15 – 13.15 di pendekat barat.

Terakhir, Gambar 10 menjelaskan arus lalu lintas yang terjadi untuk periode sore dimana pendekat utara mempunyai arus lalu lintas tertinggi pada pukul 16.15 – 17.15 WITA sebesar 996.4 smp/jam, pendekat selatan memiliki arus lalu lintas tertinggi 1,292.9 smp/jam pada pukul 17.00 – 18.00, pada pukul 16.00 – 17.00 pada pendekat timur dilalui oleh arus lalu lintas tertinggi sebesar 1,108.2 dan arus lalu lintas tertinggi sebesar 1,160.8 terjadi pada jam yang sama di pendekat barat.

Nilai-nilai yang disebutkan tadi adalah nilai yang dijadikan acuan sebagai jam puncak untuk melanjutkan analisis ke tahap berikutnya.

3.3 Arus Jenus, Kapasitas dan Derajat Kejenuhan

Analisis arus jenuh dasar dilakukan menggunakan rumus (2) dimana lebar efektif diambil berdasarkan lebar masuk dikurangi dengan lebar belok kiri langsung

dikarenakan lebar belok kiri langsung lebih besar atau sama dengan 2 m dan kenyataan di lapangan, belok kiri langsung dapat dilakukan saat sinyal merah.

Selanjutnya faktor penyesuaian ukuran kota digunakan tabel 2 dan didapatkan 0.94. faktor penyesuaian hambatan samping menggunakan table 3 untuk tipe lingkungan jalan komersial dengan hambatan samping yang rendah dan tipe fase terlindung didapatkan nilai 0.94.

Faktor kelandaian diambil berdasarkan gambar 1 dengan nilai yang didapatkan adalah 1. Jika nilai arus jenuh dasar dan nilai faktor-faktor yang diperlukan telah didapatkan, dilakukan analisis arus jenuh menggunakan rumus 1. Dilanjutkan dengan faktor pengaruh kendaraan parkir dan lajur belok kiri langsung didapatkan nilai 1 sesuai gambar 2.

Faktor kendaraan belok kanan dan faktor kendaraan belok kiri dipakai 1. Jika nilai arus jenuh dasar dan nilai faktor-faktor penyesuaian telah didapatkan, maka dapat dianalisis nilai arus jenuh menggunakan rumus (1).

Analisis kapasitas tergantung pada arus jenuh, waktu hijau dan waktu siklus yang dihitung menggunakan rumus (3). Waktu hijau dihitung menggunakan rumus (5) dan analisis waktu siklus yang disesuaikan menggunakan rumus (6) dengan total waktu antar hijau periode pagi adalah 17 dt, periode siang dan periode sore adalah 20 dt.

Derajat kejenuhan menunjukkan tingkat kejenuhan arus lalu lintas terhadap kapasitas pada masing-masing pendekat yang diketahui dengan rumus (7). Arus lalu lintas yang perhitungkan dalam perhitungan ini hanya arus lalu lintas yang bergerak lurus dan berbelok ke kanan saat sinyal hijau, dengan hasil untuk masing-masing periode akan ditunjukkan pada tabel-tabel di bawah.

Tabel 6.

Hasil Analisis Arus Jenuh, Kapasitas dan Derajat kejenuhan Periode Pagi

Pendekat	Arus Jenuh	Arus Lalu Lintas	Waktu Hijau	Kapasitas	Derajat kejenuhan
	smp/jam hijau	smp/jam	dt	smp/jam	
U	3,181	912	68	976	0.93
S	5,302	654	29	699	0.93
T	3,181	810	60	866	0.93
B	3,181	628	47	671	0.93

Tabel 7.

Hasil Analisis Arus Jenuh, Kapasitas dan Derajat kejenuhan Periode Siang

Pendekat	Arus Jenuh	Arus Lalu Lintas	Waktu Hijau	Kapasitas	Derajat kejenuhan
	smp/jam hijau	smp/jam	dt	smp/jam	
U	3,181	569	30	644	0.88
S	5,302	803	25	908	0.88
T	3,181	590	31	667	0.88
B	3,181	780	41	883	0.88

Tabel 8.

Hasil Analisis Arus Jenuh, Kapasitas dan Derajat kejenuhan Periode Sore

Pendekat	Arus Jenuh	Arus Lalu Lintas	Waktu Hijau	Kapasitas	Derajat kejenuhan
	smp/jam hijau	smp/jam	dt	smp/jam	
U	3,181	685	175	698	0.98
S	5,302	932	143	950	0.98
T	3,181	895	228	912	0.98
B	3,181	901	230	918	0.98

3.4 Panjang Antrian, Tundaan Rata-Rata dan Tingkat Pelayanan

Panjang antrian melibatkan nilai maksimum jumlah kendaraan antri yang didapatkan melalui gambar 5 dengan lebar masuk pendekat yang dianalisis dengan rumus (11).

Selanjutnya tundaan rata-rata untuk masing-masing pendekat dihitung berdasarkan penjumlahan antara tundaan lalu lintas rata-rata yang dianalisis menggunakan rumus (15) dan tundaan geometrik rata-rata yang dapat dihitung dengan rumus (17). Penilaian terhadap kepadatan masing-masing pendekat dapat

dilihat pada tabel 4 yang disesuaikan dengan nilai tundaan rata-rata.

Jika dalam analisa ingin mengetahui tundaan total yang terjadi pada setiap pendekat, maka dapat dihitung dengan rumus (18) dimana nilai arus lalu lintas yang digunakan sama seperti sebelumnya yaitu arus lalu lintas yang bergerak lurus dan arus lalu lintas yang berbelok ke kanan.

Tundaan rata-rata pada simpang bisa diketahui dengan analisa menggunakan rumus (14) yang hasilnya juga dapat menjadi acuan tingkat kecepatan yang terjadi pada suatu simpang.

Tabel 9.

Hasil Analisis Panjang Antrian, Tundaan Rata-Rata dan Tingkat Pelayanan Periode Pagi

Pendekat	Jumlah Kendaraan Antri	Panjang Antrian	Tundaan Lalu Lintas Rata-Rata	Tundaan Geometrik Rata-Rata	Tundaan Rata-Rata	Tingkat Pelayanan Simpang
	smp/jam	m	det/smp	det/smp	det/smp	
U	60.1	233.33	95.32	3.93	99.25	F
S	45.1	116.00	122.73	3.97	126.70	F
T	54.1	233.33	101.60	4.00	105.61	F
B	43.2	190.00	114.39	3.95	118.34	F

Tabel 10.

Hasil Analisis Panjang Antrian, Tundaan Rata-Rata dan Tingkat Pelayanan Periode Siang

Pendekat	Jumlah Kendaraan Antri	Panjang Antrian	Tundaan Lalu Lintas Rata-Rata	Tundaan Geometrik Rata-Rata	Tundaan Rata-Rata	Tingkat Pelayanan Simpang
	smp/jam	m	det/smp	det/smp	det/smp	
U	25.6	116.67	74.09	3.99	78.09	F
S	35.1	86.00	71.90	4.00	75.90	F
T	26.4	133.33	72.92	4.00	76.91	F
B	33.6	140.00	63.59	3.99	67.58	F

Tabel 10.

Hasil Analisis Panjang Antrian, Tundaan Rata-Rata dan Tingkat Pelayanan Periode Sore

Pendekat	Jumlah Kendaraan Antri	Panjang Antrian	Tundaan Lalu Lintas Rata-Rata	Tundaan Geometrik Rata-Rata	Tundaan Rata-Rata	Tingkat Pelayanan Simpang
	smp/jam	m	det/smp	det/smp	det/smp	
U	160.9	233.33	361.21	3.97	365.18	F
S	216.7	140.00	368.37	4.00	372.37	F
T	207.6	233.33	325.92	3.98	329.90	F
B	209.0	233.33	324.95	3.96	328.91	F

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada pokok pembahasan sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis yang dilakukan saat pagi hari menunjukkan nilai tundaan rata-rata tertinggi terjadi pada Jl. Bypass Ngurah Rai pada pukul 07.45 WITA - 08.45 WITA sebesar 120.5 det/smp dengan volume lalu lintas sebanyak 831 kend/jam dan panjang antrian sebesar 116 m.
2. Pada siang hari, tundaan rata-rata tertinggi terjadi pada pukul 12.15 WITA - 13.15 WITA yang ada pada Jl. Gatot

Subroto Timur dengan nilai sebesar 75.04 det/smp yang terjadi akibat arus lalu lintas yang sebesar 940 smp/jam dengan antrian sepanjang 116.67 m.

3. Tundaan rata-rata tertinggi pada sore hari terdapat pada Jl. Bypass Ngurah Rai yang terjadi pada pukul 17.00 WITA - 18.00 WITA sebesar 308.92 det/smp yang diakibatkan arus lalu lintas sebesar 1,293 smp/jam dengan antrian sepanjang 140 m.
4. Hasil analisa kali ini menunjukkan bahwa penelitian pada tahun ini dan penelitian pada tahun sebelumnya mempunyai hasil yang sama dimana tingkat pelayanan simpang Tohpati adalah F. Hal ini

menunjukkan bahwa saat pandemi Covid-19 terjadi pada tahun 2021 masih banyak pengguna jalan yang melewati persimpangan tersebut.

5. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa tundaan lalu lintas merupakan masalah yang cukup signifikan pada beberapa titik jalan di wilayah tersebut. Ditemukan bahwa pada pagi hari, Jl. Bypass Ngurah Rai memiliki tingkat tundaan tertinggi pada pukul 07.45 WITA - 08.45 WITA. Sementara itu, pada siang hari, titik dengan tundaan tertinggi terjadi di Jl. Gatot Subroto Timur pada jam 12.15 WITA - 13.15 WITA, dan pada sore hari, Jl. Bypass Ngurah Rai kembali menjadi titik dengan tundaan terbesar pada pukul 17.00 WITA - 18.00 WITA. Hal ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan kelancaran lalu lintas di wilayah tersebut, terutama pada titik-titik rawan tundaan. Selain itu, temuan bahwa tingkat pelayanan simpang Tohpati masih berada pada level F pada tahun ini, meskipun terjadi pandemi Covid-19, menunjukkan pentingnya perencanaan transportasi yang tepat guna mengatasi masalah lalu lintas di masa depan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- (Menkominfo), K. K. (2021, Januari 11). PKM di Jawa Bali Dimulai Hari Ini. Diambil kembali dari Badan Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia (Balitbangsdm): <https://balitbangsdm.kominfo.go.id/berita-pkm-di-jawa-bali-dimulai-hari-ini-19-714>
- Denpasar, B. P. (2023, Juni 14). Proyeksi Penduduk Kota Denpasar. Diambil kembali dari Badan Pusat Statistik Kota Denpasar: <https://denpasarkota.bps.go.id/indicator/12/49/1/proyeksi-penduduk-kota-denpasar.html>
- Direktorat Bina Jalan Kota (BINKOT), D. B. (1997). Manual Kapasitas Jalan

Indonesia (MKJI). Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum.

- Dirgo Sirajaya, R. S., Shofwan Donny, M. C., & Eka Rahayu, Y. (2023). EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL JL. Dr. Ir. H. SOKARNO-JL. MULYOOREJO SURABAYA. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 352–359.
- Gubernur, B. (2021). Surat Edaran Nomor 9 Tahun 2021 Tentang Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) Darurat Corona Virus Disease 2019 Dalam Tatanan Kehidupan Era Baru Di Provinsi Bali. Denpasar: Pemerintah Provinsi Bali.
- Hasanuddin, H. A., Halim, H., Maulidiyah, I., & Trisnawathy. (2021). Analisis Kapasitas dan Kinerja Simpang Bersinyal Pada Simpang Abdullah Dg. Sirua. *JACEE*, 72-77.
- Jannah, A. N., Prayogo, P. A., & Purnama, B. A. (2023). Evaluasi dan peningkatan kinerja simpang bersinyal Deggung Sleman. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 2(2), 357–368.
- Kendek, F. G., Rachman, R., & Radjawane, L. E. (2020). Kinerja Simpang Bersinyal Jalan Abdullah Daeng Sirua - Batua Raya - Taman Makam Pahlawan Kota Makassar. *Paulus Civil Engineering Journal*, 23-30.
- Makrus, M. L., Gibran, A. M., & Firmansyah, D. (2022). Studi Kasus Kinerja Simpang Bersinyal Pada Simpang Bersinyal Magelang-Tempel Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil*, 66-73.
- Mamu, I., Kadir, Y., & Indriati Patuti, dan M. (2021). Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jalan J. A. Katili-Jalan Tondano-Jalan Madura Dengan Metode PKJI. *Composite Journal*, 1, 9–16. <https://doi.org/10.22146/jcef.XXXX>
- Mendjoyo, N., Suryamiharja Mabui, D. S., & Yuniarta, A. (2023). ANALISIS

- KINERJA SIMPANG Bersinyal Entrop-Hamadi Menggunakan Metode MKJI 1997. 451–459. <http://jurnal.uniyap.ac.id/uyp/index.php/psnts/article/download/424/373>
- Prasetyo, H. E., Setiawan, A., & Pradana, D. A. (2022). Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Berdasarkan Derajat Kejenuhan Pada Jalan Raya Mabes Hankam-Jalan Raya Setu, Jakarta Timur. *Jurnal Konstruksia*, 13, 135–145.
- Prastio, D., Sari, Y. A., & Pamadi, M. (2022). Evaluasi Kinerja Simpang Panbil Terhadap Tingkat Pelayanan Lalu Lintas (Studi Kasus Simpang Panbil-Batam). *Journal of Civil Engineering and Planning*, 3(1), 60–69.
- RI, M. P. (2015). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Sa'dillah, M., & Primasworo, R. A. (2020). Kinerja Simpang Bersinyal Ruas Jalan Semeru - Kahuripan - Basuki Rahmat Setelah Pembangunan Whiz Prime Hotel Malang. *Jurnal Fondasi*, 103-113.
- Santoso, S., Puspita, E., & Amin, M. (2021). Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal di Simpang Artos Magelang dari Aspek Lalu Lintas. *Review in Civil Engineering*, 61-66.
- Sinambela, T. P., Kumaat, M., & Pandey, S. V. (2021). Analisa Hubungan Kinerja Simpang Bersinyal Dengan Konsumsi Bahan Bakar (Studi Kasus: Simpang Jl. A. A. Maramis – Jl. Ringroad II). *TEKNO*, 19, 159–170. <https://ejournal.unsrat.ac.id/>
- Soehandoko. (2023). Analisis Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Simpang Dungus Di Kabupaten Ngawi). *Jurnal Multidisiplin Indonesia (JMI)*, 2, 1785–1799. <https://jmi.rivierapublishing.id/index.php/rp>
- Suryaningsih, O. F., Hermansyah, & Kurniati, E. (2020). Analisa Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Jalan Hasanuddin-Jalan Kamboja, Sumbawa Besar). *INERSIA*, 74-78.
- Suseno, D. P., & Syahputra, M. R. (2023). Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Pada Simpang Jarak Kota Semarang. *Journal of Civil Engineering and Technology Sciences*, 02(01), 1–11. <https://doi.org/10.56444/jcets.v2i1>
- Yogeswari, N. P., Suthayana, P. A., & Ariawan, M. A. (2021). Studi Kelayakan Ekonomi Pembangunan Underpass Pada Simpang Tohpati Di Kota Denpasar. *Jurnal Spektran*, 133-140.
- Zulfa, Y., Fajar Subkhan, M., & Kurniawan, M. A. (2023). Analisis Kapasitas Dan Tingkat Kinerja Simpang Bersinyal Pada Simpang Jalan Nasional Iii Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Online Skripsi (JOS)*, 4(1), 92–98. <http://jos-mrk.polinema.ac.id/>



Copyright© by the authors. Licensee Jurnal Ilmiah MITSU, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Halaman ini sengaja dikosongkan