



Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Tukad Pakerisan–Tukad Barito Berdasarkan PKJI 2023

Septianto Ade Putra, Decky Cipta Indrashwara, Dewa Ayu Putu Adhiya Garini Putri, Dewa Ayu Trisna Adhiswari Wedagama

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional Denpasar
septiantoadeputra@gmail.com

Abstrak

Pertumbuhan aktivitas perkotaan dan peningkatan mobilitas kendaraan dapat meningkatkan beban lalu lintas pada persimpangan, terutama pada periode jam puncak. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran kinerja Simpang Bersinyal Jalan Tukad Pakerisan–Jalan Tukad Barito, Kota Denpasar, berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan survei lapangan dan data pendukung berupa rekaman kamera Area Traffic Control System (ATCS), data pengaturan sinyal, data geometrik simpang, serta data panjang antrean. Data volume kendaraan dikonversi ke satuan mobil penumpang (SMP) menggunakan faktor ekuivalensi kendaraan menurut PKJI 2023. Hasil analisis kinerja eksisting menunjukkan bahwa periode pagi 07.15–08.15 memiliki nilai kapasitas pendekat masing-masing 935,6; 1.091,5; dan 779,6 smp/jam dengan derajat kejenuhan tertinggi 0,399. Periode siang 11.30–12.30 memiliki kapasitas 871,5; 1.016,7; dan 907,8 smp/jam dengan derajat kejenuhan tertinggi 0,476. Pada periode sore 17.15–18.15, kapasitas pendekat sebesar 917,6; 1.070,5; dan 849,6 smp/jam, sedangkan derajat kejenuhan tertinggi mencapai 0,564 pada pendekat Selatan. Jumlah kendaraan terhenti rata-rata pada periode pagi, siang, dan sore masing-masing sebesar 0,528; 0,571; dan 0,603, dengan tundaan rata-rata masing-masing 13, 16, dan 18 detik/SMP. Seluruh periode memiliki tingkat pelayanan B. Berdasarkan hasil tersebut, kondisi eksisting simpang masih berada pada tingkat pelayanan yang tergolong arus stabil, tetapi periode sore menunjukkan kondisi paling kritis dibandingkan periode lainnya.

Kata kunci: Simpang Bersinyal, Kinerja Simpang, PKJI 2023, Derajat Kejenuhan, Tundaan, Tingkat Pelayanan

Abstract

The growth of urban activities and increasing vehicle mobility can increase traffic loads at intersections, particularly during peak hours. This study aims to provide an overview of the performance of the signalized intersection of Jalan Tukad Pakerisan–Jalan Tukad Barito, Denpasar City, based on the Indonesian Road Capacity Guidelines (PKJI) 2023. The study employed a quantitative approach through field surveys and supporting data, including Area Traffic Control System (ATCS) camera recordings, signal timing data, intersection geometric data, and queue length data. Vehicle volume data were converted into passenger car units (PCU) using vehicle equivalency factors according to PKJI 2023. The existing performance analysis showed that during the morning period of 07:15–08:15, the approach capacities were 935.6, 1,091.5, and 779.6 PCU/hour, with the highest degree of saturation reaching 0.399. During the midday period of 11:30–12:30, the capacities were 871.5, 1,016.7, and 907.8 PCU/hour, with the highest degree of saturation of 0.476. In the afternoon period of 17:15–18:15, the approach capacities were 917.6, 1,070.5, and 849.6 PCU/hour, while the highest degree of saturation reached 0.564 on the southern approach. The average proportions of stopped vehicles were 0.528, 0.571, and 0.603, with average delays of 13, 16, and 18 seconds/PCU, respectively. All periods had a Level of Service B. Overall, the intersection remained stable, although the afternoon period was the most critical.

Keywords: Signalized Intersection, Intersection Performance, PKJI 2023, Degree of Saturation, Delay, Level of Service

1. Pendahuluan

Pertumbuhan kawasan perkotaan diikuti oleh peningkatan aktivitas ekonomi, penambahan penduduk, serta kebutuhan mobilitas masyarakat. Kondisi tersebut mendorong meningkatnya jumlah perjalanan dan penggunaan kendaraan bermotor. Pertambahan pergerakan kendaraan yang tidak selalu diimbangi dengan peningkatan kapasitas dan pengelolaan jaringan transportasi dapat menimbulkan permasalahan operasional lalu lintas, seperti meningkatnya tundaan, panjang antrean, dan penurunan tingkat pelayanan, terutama pada periode dengan intensitas pergerakan yang tinggi.

Salah satu bagian jaringan transportasi perkotaan yang memiliki peran penting adalah persimpangan. Persimpangan menjadi titik pertemuan beberapa arus kendaraan dari arah yang berbeda sehingga memiliki potensi konflik pergerakan yang lebih tinggi dibandingkan ruas jalan (Irawati et al., 2024). Untuk mengendalikan pergerakan tersebut, persimpangan pada kawasan perkotaan umumnya dilengkapi Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL). Pengaturan melalui APILL dilakukan dengan membagi waktu pergerakan kendaraan ke dalam beberapa fase dan periode sinyal (Putranto & Mayaut, 2025). Efektivitas pengaturan sangat dipengaruhi oleh kesesuaian alokasi waktu sinyal dengan karakteristik arus lalu lintas. Pengaturan waktu siklus atau pembagian waktu hijau yang tidak seimbang dengan kebutuhan arus dapat meningkatkan tundaan dan antrean kendaraan (Rahman & Rita, 2025).

Pengelolaan lalu lintas di Indonesia diatur antara lain melalui Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan yang menegaskan penyelenggaraan lalu lintas untuk mewujudkan pelayanan yang aman, tertib, lancar, dan efisien (Undang-Undang RI, 2009). Evaluasi teknis kinerja simpang dalam penelitian ini mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dengan parameter kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, panjang antrean, dan tingkat pelayanan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Provinsi Bali memiliki aktivitas pemerintahan, perdagangan, pendidikan, pariwisata, dan ekonomi yang menghasilkan pergerakan kendaraan antarwilayah. Kota Denpasar sebagai salah satu pusat aktivitas perkotaan harus melayani pergerakan kendaraan dengan karakteristik dan volume yang beragam. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Provinsi Bali, jumlah kendaraan bermotor di Kota Denpasar pada 2024 mencapai 1.781.862 unit, terdiri atas 236.970 mobil penumpang, 3.761 bus, 55.776 truk, dan 1.285.355 sepeda motor (BPS Statistik, 2026).

Salah satu lokasi yang menjadi perhatian adalah Simpang Bersinyal Jalan Tukad Pakerisan–Jalan Tukad Barito. Simpang ini berada di kawasan yang dikelilingi permukiman, fasilitas pendidikan, dan aktivitas perdagangan serta melayani beberapa pendekatan dengan karakteristik arus yang berbeda. Berdasarkan data lalu lintas dari rekaman kamera ATCS, dilakukan identifikasi periode volume lalu lintas tertinggi sebagai dasar analisis kinerja simpang.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja Simpang Bersinyal Jalan Tukad Pakerisan–Jalan Tukad Barito pada jam puncak berdasarkan parameter evaluasi PKJI 2023.

2. Landasan Teori

Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal merupakan persimpangan jalan yang pergerakan lalu lintasnya dikendalikan menggunakan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL). Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) adalah perangkat yang digunakan dalam mengatur atau mengendalikan lalu lintas di ruas jalan maupun di persimpangan jalan. Fungsi utama pada APILL ini dapat memastikan kelancaran dan keselamatan dengan isyarat yang jelas, seperti isyarat merah untuk berhenti, kuning untuk bersiap-siap, dan hijau untuk jalan (Abror & Haratama, 2024)

Parameter Kinerja Simpang

Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang melewati suatu titik atau segmen jalan dalam satuan waktu tertentu yang dinyatakan dalam kendaraan per jam atau satuan mobil penumpang per jam (smp/jam). Dalam penelitian ini, volume lalu lintas digunakan sebagai parameter dasar untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal pada jam puncak.

Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara volume lalu lintas terhadap kapasitas simpang yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kejenuhan arus lalu lintas pada suatu simpang. Nilai derajat kejenuhan digunakan sebagai indikator untuk mengetahui apakah suatu simpang masih mampu melayani arus kendaraan secara optimal atau telah mendekati kondisi jenuh.

2.2.2 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara volume lalu lintas terhadap kapasitas simpang yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kejenuhan arus lalu lintas pada suatu simpang. Nilai derajat kejenuhan digunakan sebagai indikator untuk mengetahui apakah suatu simpang masih mampu melayani arus kendaraan secara optimal atau telah mendekati kondisi jenuh.

$$D_f = \frac{q}{c}$$

Keterangan

Keterangan
 D_f : Derajat Kejenuhan
 c : Kapasitas Jalan
 q : Volume Lalu Lintas

Kapasitas Simpang

Kapasitas simpang merupakan kemampuan maksimum suatu simpang dalam melayani arus kendaraan per satuan waktu pada kondisi geometrik, pengaturan lalu lintas, dan lingkungan tertentu. Kapasitas simpang dinyatakan dalam satuan mobil penumpang per jam (smp/jam) dan digunakan sebagai parameter utama dalam analisis kinerja simpang.

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

Keterangan
 C : Kapasitas Simpang APILL (smp/jam)
 J : Arus Jenuh
 W_H : Waktu Hijau Dalam Satu Siklus (detik)
 S : Waktu Siklus (detik)

Panjang Antrean

Panjang antrean merupakan panjang deretan kendaraan yang menunggu untuk melewati simpang akibat adanya hambatan lalu lintas atau pengaturan sinyal. Panjang antrean digunakan untuk mengetahui tingkat kepadatan kendaraan pada pendekat simpang serta mengevaluasi kinerja operasional simpang.

$$N_q = N_1 + N_2$$

Keterangan
 N_q : Jumlah kendaraan antri (smp)
 N_1 : Jumlah kendaraan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (smp)
 N_2 : Jumlah kendaraan yang datang dan berhenti selama fase merah (smp)

Tundaan (delay)

Tundaan merupakan waktu tambahan yang dialami kendaraan akibat adanya hambatan dalam pergerakan lalu lintas, seperti pengaturan sinyal, antrean kendaraan, maupun konflik arus lalu lintas pada simpang. Tundaan digunakan sebagai salah satu parameter untuk menilai tingkat kinerja dan kenyamanan operasional simpang.

$$T_i = T_{LLi} + T_{Gi}$$

Keterangan
 T_i : Tundaan
 T_{LLi} : Tundaan Lalu Lintas
 T_{Gi} : Tundaan Geometri

Arus Jenuh

Arus jenuh merupakan laju maksimum kendaraan yang dapat melewati suatu pendekat simpang bersinyal selama fase hijau efektif dalam kondisi ideal. Arus jenuh menunjukkan kapasitas potensial suatu lajur atau pendekat simpang untuk melayani arus lalu lintas dan dinyatakan dalam satuan mobil penumpang per jam (smp/jam).

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKl} \times F_{BKk}$$

Keterangan

- J : Arus jenuh, dalam SMP/jam
 J_0 : Arus jenuh dasar, dalam SMP/jam
 F_{HS} : Faktor koreksi arus jenuh dasar akibat hambatan samping lingkungan jalan
 F_{UK} : Faktor koreksi arus jenuh dasar terkait ukuran kota
 F_G : Faktor koreksi arus jenuh dasar akibat kelandaian memanjang pendekat
 F_P : Faktor koreksi arus jenuh dasar akibat adanya jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama
 F_{BKl} : Faktor koreksi arus jenuh dasar akibat arus lalu lintas yang membelok ke kiri
 F_{BKk} : Faktor koreksi arus jenuh dasar akibat arus lalu lintas yang membelok ke kanan

Tingkat Pelayanan (Level of Service / LOS)

Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023) tingkat pelayanan (level of service) merupakan ukuran kualitatif yang digunakan untuk menggambarkan kondisi operasional lalu lintas berdasarkan beberapa parameter seperti tundaan, kecepatan, dan kepadatan. tingkat pelayanan pada simpang bersinyal diklasifikasikan menjadi enam tingkat, yaitu:

Tingkat Pelayanan	Tundaan Rata – rata (Detik)	Deskripsi
A	≤ 10	Arus Sangat Lancar
B	$> 10 \sim 20$	Arus Stabil
C	$> 20 \sim 35$	Arus Cukup Stabil
D	$> 35 \sim 55$	Mendekati Tidak Stabil
E	$> 55 \sim 85$	Kapasitas Hampir Tercapai
F	> 85	Kemacetan

3. Metode Penelitian

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Simpang Bersinyal Jalan Tukad Pakerisan–Jalan Tukad Barito, Kota Denpasar, Provinsi Bali. Lokasi berada pada kawasan permukiman, fasilitas pendidikan, dan aktivitas perdagangan. Koordinat lokasi yang tercantum dalam dokumen adalah -8.684503784116002, 115.22625995196576.

Jenis dan Sumber Data

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif. Data primer meliputi volume lalu lintas, komposisi kendaraan, kondisi geometrik, pengaturan sinyal, dan pengamatan panjang antrean. Data yang diperoleh dari pengamatan langsung merupakan data primer (Sulung & Muspawi, 2024). Data sekunder meliputi peta lokasi, jaringan jalan, serta pedoman teknis dan literatur yang relevan (Yama P et al., 2024). Data rekaman ATCS digunakan sebagai sumber pengamatan volume lalu lintas.

Pilot Survei dan Penentuan Hari Pengamatan

Pilot survei dilakukan selama lima hari pada pukul 17.00–18.00 WITA dengan interval pencatatan 15 menit selama satu jam. Hasil konversi volume kendaraan ke SMP menunjukkan volume tertinggi terjadi pada hari Rabu sebesar 1.527,3 SMP/jam sehingga hari tersebut digunakan sebagai dasar pengamatan.

Tabel 3.1 Hasil Pilot Survei

Hari	Motor	Mobil Penumpang	Kend. Sedang	Bus Besar	Total Kend./Jam	Total SMP/Jam
Senin	2.423	234	42	2	2.701	1.503,1
Selasa	2.268	243	36	1	2.548	1.425,3
Rabu	2.464	239	41	2	2.746	1.527,3
Kamis	2.395	209	39	1	2.644	1.458,7
Jumat	2.321	185	42	2	2.550	1.403,1

Pengolahan dan Analisis Data

Data kendaraan diklasifikasikan berdasarkan jenis kendaraan dan dikonversi ke SMP menggunakan faktor ekuivalensi kendaraan sesuai PKJI 2023. Selanjutnya dilakukan perhitungan kapasitas, derajat kejenuhan, jumlah kendaraan terhenti, tundaan, dan tingkat pelayanan untuk periode jam puncak. Analisis difokuskan pada kondisi eksisting.

3. Hasil dan Pembahasan

Kondisi Geometrik Simpang

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa simpang memiliki tiga pendekat yang ditinjau, yaitu Jalan Tukad Pakerisan Utara, Jalan Tukad Pakerisan Selatan, dan Jalan Tukad Barito Timur. Masing-masing pendekat memiliki satu lajur dengan lebar pendekat dan lebar jalur yang berbeda.

Tabel Kondisi Geometrik

Pendekat	Lebar Pendekat (m)	Jumlah Lajur	Lebar Jalur (m)	Tipe Lingkungan	Hambatan Samping
Jl. Tukad Pakerisan Utara	6	1	3,00	KOM	Rendah
Jl. Tukad Pakerisan Selatan	7	1	3,50	KOM	Rendah
Jl. Tukad Barito Timur	10	1	5,00	KOM	Rendah

Volume Lalu Lintas dan Periode Jam Puncak

Analisis volume pada simpang menghasilkan tiga periode jam puncak, yaitu pagi pukul 07.15–08.15, siang pukul 11.30–12.30, dan sore pukul 17.15–18.15. Ketiga periode tersebut digunakan untuk mengevaluasi kondisi operasional simpang. Hasil pilot survei juga menunjukkan dominasi sepeda motor pada komposisi kendaraan.

Waktu	Jam	Simpang	Arah	Arus Jam Puncak SMP/Jam				Total SMP/Jam
				SM	MP	KS	BB	
Vol Puncak Pagi	7.15-8.15	Pakerisan Utara	LT	89,5				89,5
			ST	697,5				697,5
			RT					
		Pakerisan Selatan	LT					
			ST	725,5	113			838,5
			RT	74,5	82			156,5
		Barito Timur	LT	101	81			182
			ST					
			RT	102,5	97			199,5
Vol Puncak Siang	11.30-12.30	Pakerisan Utara	LT	114,5				114,5
			ST	685				685
			RT					
		Pakerisan Selatan	LT					
			ST	792	133			925
			RT	94	85			179
		Barito Timur	LT	109	104			213
			ST					
			RT	110,5	147			257,5
Vol Puncak Sore	17.15-18.15	Pakerisan Utara	LT	93				93
			ST	686,5				686,5
			RT					
		Pakerisan Selatan	LT					
			ST	923,5	172			1095,5
			RT	145	111			256
		Barito Timur	LT	117	118			235
			ST					
			RT	119	128			247

Pengaturan Sinyal Eksisting

Pengaturan APILL eksisting terdiri atas tiga plan berdasarkan periode operasional. Plan 1 digunakan pada pukul 06.00–09.00 dengan waktu siklus 68 detik, Plan 2 pada pukul 09.00–15.00 dengan waktu siklus 73 detik, dan Plan 3 pada pukul 15.00–19.00 dengan waktu siklus 78 detik. Waktu hijau fase A dan B pada Plan 3 masing-masing sebesar 45 dan 25 detik.

Tabel Pengaturan Sinyal

Periode	Plan	Hijau A (dtk)	Kuning A (dtk)	Merah A (dtk)	Hijau B (dtk)	Kuning B (dtk)	Merah B (dtk)	Siklus (dtk)
06.00–09.00	1	40	2	2	20	2	2	68
09.00–15.00	2	40	2	2	25	2	2	73
15.00–19.00	3	45	2	2	25	2	2	78

Kinerja Simpang Kondisi Eksisting

Hasil perhitungan berdasarkan PKJI 2023 menunjukkan bahwa seluruh periode pengamatan masih memiliki tingkat pelayanan B. Namun, terdapat kecenderungan peningkatan derajat kejenuhan, jumlah kendaraan terhenti, dan tundaan dari pagi menuju sore. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa periode sore merupakan periode dengan beban operasional paling tinggi.

Tabel Kinerja Simpang

Periode	Pendekat	Kapasitas C (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (DJ)	NKH	Tundaan D (dtk/SMP)	LOS
Pagi 07.15–08.15	Utara	935,6	0,252	0,528	13	B
	Selatan	1.091,5	0,399			
	Timur	779,6	0,307			
Siang 11.30–12.30	Utara	871,5	0,275	0,571	16	B
	Selatan	1.016,7	0,476			
	Timur	907,8	0,349			
Sore 17.15–18.15	Utara	917,6	0,255	0,603	18	B
	Selatan	1.070,5	0,564			
	Timur	849,6	0,502			

Pembahasan

Pada periode pagi, derajat kejenuhan tertinggi terdapat pada pendekat Selatan sebesar 0,399, dengan tundaan rata-rata simpang 13 detik/SMP dan LOS B. Kondisi ini menunjukkan arus masih stabil dan tingkat pemanfaatan kapasitas belum tinggi.

Pada periode siang, derajat kejenuhan tertinggi meningkat menjadi 0,476 pada pendekat Selatan. Jumlah kendaraan terhenti meningkat menjadi 0,571 dan tundaan rata-rata menjadi 16 detik/SMP, tetapi tingkat pelayanan tetap B. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan beban lalu lintas dibandingkan periode pagi.

Periode sore menunjukkan kondisi paling kritis. Derajat kejenuhan tertinggi mencapai 0,564 pada pendekat Selatan, sedangkan pendekat Timur memiliki nilai 0,502. Jumlah kendaraan terhenti meningkat menjadi 0,603 dan tundaan rata-rata mencapai 18 detik/SMP. Meskipun demikian, berdasarkan klasifikasi tundaan pada dokumen, kondisi tersebut masih termasuk LOS B atau arus stabil. Dengan demikian, hasil kinerja eksisting belum menunjukkan kondisi jenuh, tetapi periode sore perlu menjadi perhatian karena seluruh indikator kinerja menunjukkan nilai tertinggi.

Perbandingan antarkondisi memperlihatkan bahwa pendekat Selatan secara konsisten menjadi pendekat dengan derajat kejenuhan tertinggi pada ketiga periode. Nilainya meningkat dari 0,399 pada pagi hari menjadi 0,476 pada siang hari dan 0,564 pada sore hari. Pola tersebut sejalan dengan peningkatan tundaan dan jumlah kendaraan terhenti, sehingga dapat digunakan sebagai dasar penentuan periode yang paling representatif untuk evaluasi lanjutan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kinerja kondisi eksisting pada Tabel 4.3 menggunakan PKJI 2023, dapat disimpulkan bahwa Simpang Bersinyal Jalan Tukad Pakerisan–Jalan Tukad Barito masih berada pada kondisi operasional yang tergolong baik dan stabil karena tingkat pelayanan pada periode pagi, siang, dan sore seluruhnya berada pada kategori B. Nilai tundaan rata-rata meningkat dari 13 detik/SMP pada pagi hari menjadi 16 detik/SMP pada siang hari dan 18 detik/SMP pada sore hari. Periode sore pukul 17.15–18.15 merupakan kondisi paling kritis dibandingkan periode lainnya. Pada periode ini, derajat kejenuhan tertinggi sebesar 0,564 terjadi pada pendekat Selatan, diikuti pendekat Timur sebesar 0,502, sedangkan pendekat Utara sebesar 0,255. Jumlah kendaraan terhenti sebesar 0,603 dan tundaan rata-rata simpang sebesar 18 detik/SMP juga merupakan nilai tertinggi selama periode pengamatan. Secara keseluruhan, nilai derajat kejenuhan tertinggi sebesar 0,564 menunjukkan bahwa kapasitas simpang belum mencapai kondisi jenuh. Namun, peningkatan derajat kejenuhan, kendaraan terhenti, dan tundaan dari pagi hingga sore menunjukkan bahwa beban lalu lintas semakin besar pada sore hari. Oleh karena itu, pendekat Selatan dan periode sore perlu menjadi perhatian utama dalam evaluasi dan pengelolaan kinerja simpang pada kondisi mendatang

Reference

1. Fadhillah, M. B. A., Anggoro, R., & Priyatno, A. M. (2020). Analisis Performa Link Stability dari Faktor Kecepatan untuk Dinamisasi Zona pada Zone Routing Protocol. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 16(3). <https://doi.org/10.17529/jre.v16i3.16502>
2. Prasetya, M. R. A., & Priyatno, A. M. (2022). Dice Similarity and TF-IDF for New Student Admissions Chatbot. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 1(1), 13–18. <https://doi.org/10.31004/riggs.v1i1.5>
3. Abror, A. H., & Haratama, R. (2024). Studi Sistem Pemeliharaan (APILL) Alat Isyarat Pemberi Lalu Lintas (Studi Kasus: Kota Surabaya). *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 2(3).
4. Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023.
5. Haryadi, W., Wahyudi, M., & Kamaruddin. (2021). Pengaruh pembangunan infrastruktur jalan raya terhadap pertumbuhan ekonomi Kabupaten Sumbawa. *Jurnal Ekonomi & Bisnis*, 9(3).
6. Irawati, I., Anggraini, L., & Wanto, S. (2024). Analisis tingkat layanan kinerja simpang bersinyal pada kawasan komersial. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 8(1), 129–137.
7. 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.
8. Putranto, L. S., & Mayaut, F. (2025). Evaluasi efektivitas pengaturan lalu lintas pada simpang bersinyal di Kota Sorong. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 8(3), 977–984.
9. Rahman, F., & Rita, E. (2025). Evaluasi kinerja simpang empat bersinyal: Studi kasus Persimpangan By Pass–Kuranji Kota Padang. *Kumpulan Artikel Publikasi Tugas Akhir Wisudawan Teknik Sipil Ke-84*, 2.
10. Undang-Undang Republik Indonesia. (2009). Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.
11. Yama P, et al. (2024). Data sekunder dalam penelitian.
12. Sulung, & Muspawi. (2024). Sumber dan pengumpulan data primer.
13. Priyatno, A. M., & Firmananda, F. I. (2022). N-Gram Feature for Comparison of Machine Learning Methods on Sentiment in Financial News Headlines. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 1(1), 01–06. <https://doi.org/10.31004/riggs.v1i1.4>
14. Priyatno, A. M., Muttaqi, M. M., Syuhada, F., & Arifin, A. Z. (2019). Deteksi bot spammer twitter berbasis time interval entropy dan global vectors for word representations tweet's hashtag. *Register: Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 5(1), 37–46. <https://doi.org/10.26594/register.v5i1.1382>
15. Sanjaya, S., Priyatno, A. M., Yanto, F., & Afrianty, I. (2018). Klasifikasi Diabetik Retinopati Menggunakan Wavelet Haar dan Backpropagation Neural Network. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi Dan Industri (SNTIKI-10)*, 77–84.