

ANALISIS SENSITIVITAS PARAMETER HAMBATAN SAMPING TERHADAP KINERJA SIMPANG TAK BERSINYAL (STUDI KASUS: SIMPANG JL. TUKAD PAKERISAN – JL. TUKAD SANGHYANG, DENPASAR)

Ni Putu Delima Yogeswari Saraswati¹, Dewa Made Priyantha Wedagama², dan Alharany Rambu Edda Hawur¹

¹*Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jimbaran, Bali, Indonesia*

²*Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar, Bali, Indonesia*

Email: delimayogeswari@unud.ac.id

ABSTRAK

Simpang tak bersinyal merupakan bagian penting dari jaringan jalan perkotaan yang kinerjanya dipengaruhi oleh hambatan samping seperti pejalan kaki, kendaraan parkir, kendaraan keluar-masuk, dan kendaraan lambat. Tingginya hambatan samping dapat menurunkan kapasitas simpang serta meningkatkan tundaan kendaraan sehingga menyebabkan kemacetan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi hambatan samping, mengevaluasi kinerja simpang berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, serta menganalisis pengaruh dan sensitivitas hambatan samping terhadap tundaan pada Simpang Jl. Tukad Pakerisan – Jl. Tukad Sanghyang. Metode penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Penelitian dilakukan melalui survei lapangan pada hari kerja dan akhir pekan, pada periode jam sibuk pagi (07.00-09.00), siang (12.00-14.00), dan sore (16.00-18.00). Data yang dikumpulkan meliputi volume lalu lintas, kondisi geometrik simpang, frekuensi hambatan samping dan tundaan lapangan. Analisis dilakukan menggunakan PKJI 2023, regresi polinomial, dan analisis sensitivitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hambatan samping pada simpang termasuk kategori sangat tinggi pada hari kerja dengan frekuensi tertinggi sebesar 2725, yang didominasi oleh kendaraan keluar-masuk sebesar 2569. Hasil analisis PKJI 2023 diperoleh arus lalu lintas tertinggi sebesar 2159 smp/jam, kapasitas simpang 2267,280 smp/jam, derajat kejenuhan 0,952 yang melebihi batas ideal 0,85, dan tundaan simpang 17,164 detik/smp dengan tingkat pelayanan kategori C. Analisis regresi menunjukkan parameter kendaraan keluar-masuk memiliki pengaruh paling signifikan terhadap tundaan dengan nilai R^2 sebesar 0,9926. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan periode 07.00–08.00 memiliki sensitivitas tertinggi sebesar 0,00414, sehingga perubahan kecil aktivitas kendaraan keluar-masuk dapat meningkatkan tundaan simpang secara signifikan. Oleh karena itu, pengendalian kendaraan keluar-masuk menjadi prioritas dalam meningkatkan kinerja simpang tak bersinyal.

Kata kunci: *analisis sensitivitas, hambatan samping, PKJI 2023, simpang tak bersinyal, tundaan simpang*

SENSITIVITY ANALYSIS OF SIDE FRICTION PARAMETERS ON THE PERFORMANCE OF AN UNSIGNALIZED INTERSECTION (CASE STUDY: STREET INTERSECTION OF JL. TUKAD PAKERISAN – JL. TUKAD SANGHYANG, SOUTH DENPASAR)

ABSTRACT

Unsignalized intersections are a crucial component of urban road networks; their performance is influenced by side friction elements such as pedestrians, parked vehicles, entering and exiting vehicles, and slow-moving vehicles. High levels of side friction can reduce intersection capacity and increase vehicle delays, leading to congestion. This study aims to analyze side friction conditions, evaluate intersection performance based on the 2023 Indonesian Road Capacity Manual (PKJI 2023), and analyze the influence and sensitivity of side friction regarding delays at the intersection of Jl. Tukad Pakerisan and Jl. Tukad Sanghyang. The research methodology utilizes both primary and secondary data. Field surveys were conducted on weekdays and weekends during morning (07:00–09:00), midday (12:00–14:00), and afternoon (16:00–18:00) peak hours. Data collected included traffic volume, intersection geometry, side friction frequency, and observed field delays. Analysis was performed using PKJI 2023 standards, polynomial regression, and sensitivity analysis. The results indicate that side friction at the intersection falls into the "very high" category on weekdays, with a peak frequency of 2.725, predominantly driven by entering

and exiting vehicles 2.569. PKJI 2023 analysis yielded a peak traffic flow of 2.159 pcu/hour, an intersection capacity of 2.267.280 pcu/hour, and a degree of saturation of 0.952 (exceeding the ideal limit of 0.85); the intersection delay was calculated at 17.164 seconds/pcu, corresponding to a Level of Service (LOS) category C. Regression analysis revealed that entering and exiting vehicles had the most significant impact on delay, with an R^2 value of 0.9926. Sensitivity analysis results indicate that the 07:00–08:00 period exhibits the highest sensitivity (0.00414); consequently, even minor changes in entering and exiting vehicle activity can significantly increase intersection delay. Therefore, managing entering and exiting vehicles is a priority for improving the performance of unsignalized intersections.

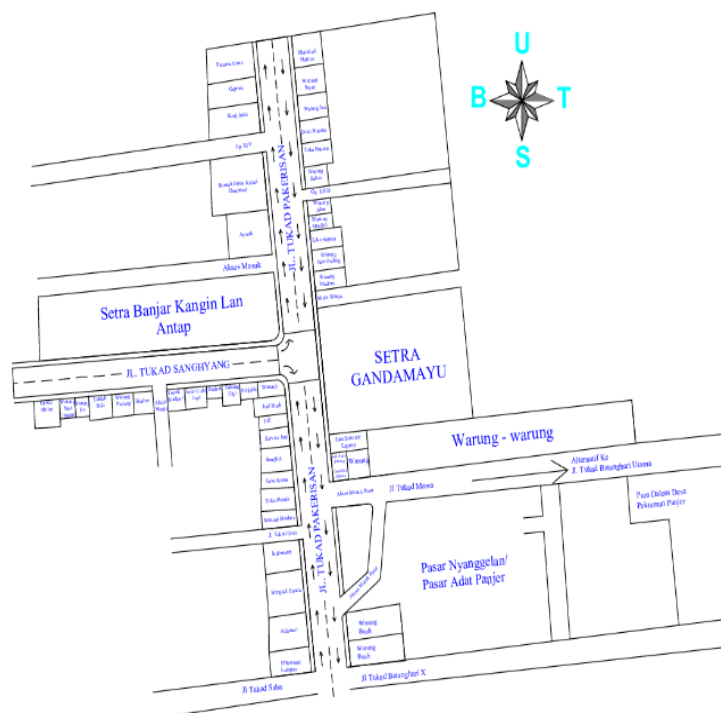
Keywords: *delay, PKJI 2023, sensitivity analysis, side friction, unsignalized intersection.*

1 PENDAHULUAN

Perkembangan aktivitas ekonomi dan mobilitas penduduk di wilayah perkotaan seperti Denpasar meningkatkan kebutuhan pergerakan lalu lintas dari tahun ke tahun. Badan Pusat Statistik Kota Denpasar (2025) menunjukkan bahwa jumlah penduduk Kota Denpasar terus mengalami peningkatan yang berdampak pada meningkatnya kepemilikan kendaraan bermotor dan kebutuhan perjalanan masyarakat. Kondisi tersebut menyebabkan meningkatnya potensi kemacetan terutama pada titik-titik pertemuan arus lalu lintas seperti persimpangan.

Persimpangan merupakan titik pertemuan arus lalu lintas dari berbagai arah, baik simpang yang dilengkapi dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) maupun simpang tak bersinyal (Bina Marga, 2023). Pada kondisi lalu lintas padat, simpang tak bersinyal rentan mengalami tundaan, antrean, dan konflik lalu lintas akibat interaksi kendaraan dari berbagai pendekatan. Penelitian oleh Hidayat et al. (2024) menegaskan bahwa simpang tak bersinyal sangat rentan terhadap perubahan perilaku pengguna jalan dan hambatan samping, sehingga memerlukan analisis kinerja yang detail untuk menentukan solusi penanganan yang efektif.

Salah satu faktor yang memengaruhi kinerja simpang tak bersinyal adalah hambatan samping. Hambatan samping merupakan aktivitas di sisi jalan yang dapat mengganggu kelancaran arus lalu lintas, seperti kendaraan parkir, kendaraan keluar-masuk lahan, pejalan kaki, dan kendaraan lambat. Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, peningkatan hambatan samping dapat menyebabkan penurunan kapasitas jalan dan meningkatkan tundaan kendaraan. Kondisi tersebut terjadi pada Simpang Jl. Tukad Pakerisan – Jl. Tukad Sanghyang, Denpasar Selatan, yang didominasi oleh aktivitas pertokoan, warung, bengkel, dan akses permukiman sehingga menimbulkan tingginya aktivitas kendaraan keluar-masuk serta kendaraan berhenti di tepi jalan. Kondisi tersebut menyebabkan berkurangnya lebar efektif jalan dan peningkatan konflik lalu lintas terutama pada jam sibuk.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa hambatan samping berpengaruh terhadap kinerja lalu lintas. Simanjuntak et al. (2022) menemukan bahwa aktivitas samping jalan seperti parkir dan kendaraan keluar-masuk menyebabkan penurunan kecepatan dan peningkatan derajat kejenuhan pada ruas Jalan Flamboyan Raya, Medan. Penelitian oleh Kristianto & Widyarningsih (2023) menemukan bahwa aktivitas parkir dan pejalan kaki menjadi faktor dominan yang menurunkan tingkat pelayanan jalan di kawasan perkotaan Bekasi. Selain itu penelitian oleh Devera & Rahmat, (2023) menemukan bahwa hambatan samping tinggi dapat menurunkan kapasitas jalan hingga 25% akibat aktivitas kendaraan berhenti dan parkir tidak teratur. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih membahas pengaruh hambatan samping secara umum dan belum mengkaji sensitivitas masing-masing parameter hambatan samping terhadap kinerja simpang, sehingga, diperlukan analisis sensitivitas untuk mengetahui seberapa besar perubahan tundaan yang terjadi akibat perubahan kecil pada parameter hambatan samping. Dari hasil analisis sensitivitas, dapat diidentifikasi parameter yang akan menjadi prioritas dalam penanganan lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi hambatan samping, kinerja simpang berdasarkan PKJI 2023, pengaruh parameter hambatan samping terhadap tundaan simpang, serta sensitivitas parameter hambatan samping terhadap kinerja simpang tak bersinyal pada Simpang Jl. Tukad Pakerisan – Jl. Tukad Sanghyang, Denpasar Selatan.

2 KINERJA SIMPANG

2.1 Kinerja Simpang tak Bersinyal PKJI 2023

Analisis kinerja simpang tak bersinyal yang dilakukan berdasarkan PKJI 2023 yaitu sebagai berikut:

1. Menghitung arus lalu lintas (Q)
Arus lalu lintas dihitung dengan menggunakan nilai ekuivalensi mobil penumpang (EMP) pada PKJI 2023 berdasarkan q total kendaraan/jam yang diperoleh
2. Menghitung kapasitas (C)

$$C = C_0 \times F_{LP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{BKi} \times F_{BKa} \times F_{RMi} \quad (1)$$

Keterangan :

C = kapasitas Simpang (smp/jam)
 C_0 = kapasitas dasar simpang (smp/jam)
 F_{LP} = faktor koreksi lebar rata-rata pendekat
 F_M = faktor koreksi tipe median
 F_{UK} = faktor koreksi ukuran kota
 F_{HS} = faktor koreksi hambatan samping
 F_{BKi} = faktor koreksi rasio belok kiri
 F_{BKa} = faktor koreksi rasio belok kanan
 F_{RMi} = faktor koreksi rasio arus dari jalan minor

3. Menghitung Derajat Kejenuhan (D_j)
Derajat kejenuhan dihitung menggunakan persamaan 2 berikut.

$$D_j = \frac{q}{c} \quad (2)$$

Keterangan:

D_j = Derajat kejenuhan
 C = Kapasitas simpang (smp/jam)
 q = Semua arus lalu lintas kendaraan bermotor

4. Menghitung Tundaan (T)
Tundaan simpang dihitung menggunakan Persamaan 3 berikut.

$$T = T_{LL} + T_G \quad (3)$$

Keterangan:

T_{LL} = Tundaan Lalu Lintas (det/smp)
 T_G = Tundaan Geometrik (det/smp)

2.2 Validasi Hasil Perhitungan Tundaan

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan PKJI 2023 dengan kondisi tundaan aktual di lapangan dengan menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Menurut Haftram et al. (2023),

MAPE merupakan metrik yang umum digunakan untuk mengukur akurasi model dalam rekayasa lalu lintas guna memastikan hasil perhitungan representatif terhadap kondisi lapangan. Secara matematis, MAPE dapat dinyatakan sebagai:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100\% \quad (4)$$

F_t merupakan nilai formula hasil tundaan PKJI 2023 sedangkan A_t merupakan tundaan simpang lapangan/aktual yang diperoleh dengan merata-ratakan tundaan aktual tiap pendekat terhadap arus lalu lintas per pendekat seperti ditampilkan pada Persamaan 5 berikut.

$$T_{Lapangan} = \frac{q_1 \times T_1 + q_2 \times T_2 + q_3 \times T_3}{q_1 + q_2 + q_3} \quad (5)$$

Keterangan:

$T_{lapangan}$ = tundaan rata-rata hasil pengamatan lapangan (detik/smp).

q_1 = volume lalu lintas pada pendekat/lajur atau gerakan ke-1 (smp/jam).

q_2 = volume lalu lintas pada pendekat/lajur atau gerakan ke-2 (smp/jam).

q_3 = volume lalu lintas pada pendekat/lajur atau gerakan ke-3 (smp/jam).

T_1 = tundaan rata-rata pada pendekat/lajur atau gerakan ke-1 (detik/smp).

T_2 = tundaan rata-rata pada pendekat/lajur atau gerakan ke-2 (detik/smp).

T_3 = tundaan rata-rata pada pendekat/lajur atau gerakan ke-3 (detik/smp).

Persamaan 5 merupakan metode pendekatan sederhana antara tundaan terhadap arus lalu lintas dari semua pendekat, dimana setiap pendekat harus memberi kontribusi sesuai banyaknya kendaraan yang melintasi pendekat tersebut.

Nilai MAPE digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi hasil perhitungan terhadap kondisi aktual di lapangan, di mana nilai MAPE kurang dari 10% menunjukkan hasil Model Sangat Baik, 10–20% menunjukkan hasil model baik, 20–50% menunjukkan hasil layak, dan lebih dari 50% menunjukkan hasil model buruk (Lewis (1982) dalam Puspita, 2022).

2.3 Analisis Regresi Polinomial

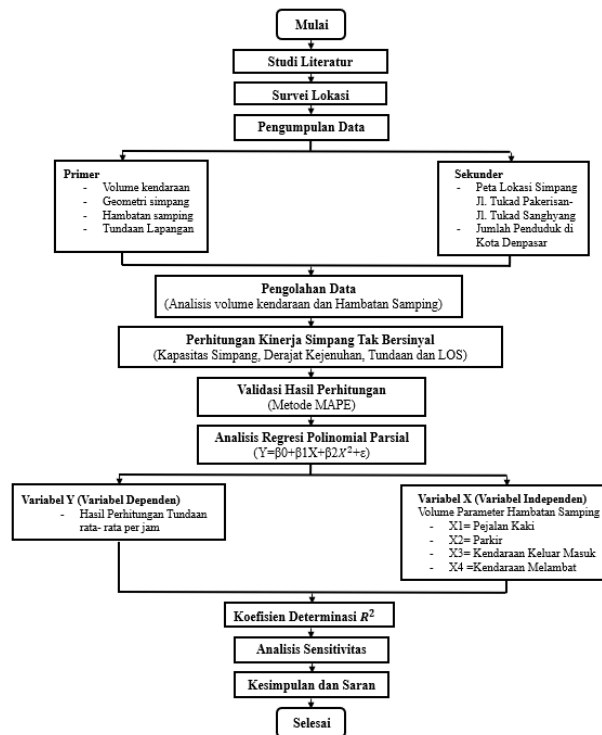
Hubungan antara hambatan sampung dan tundaan sering kali tidak bersifat linier sempurna, melainkan mengikuti pola kurva. Oleh karena itu, digunakan analisis regresi polinomial derajat kedua untuk mendapatkan model yang lebih akurat berdasarkan data. Hasil analisis berupa nilai R^2 menunjukkan proporsi variasi variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh model regresi. Semakin mendekati nilai satu, semakin baik variabel-variabel independen memiliki kemampuan untuk memberikan semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variabel dependen (Ghozali, 2016).

2.4 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas lokal bertujuan untuk mengetahui tingkat kepekaan parameter hambatan sampung terhadap kinerja simpang tak bersinyal, yakni tundaan simpang. Analisis sensitivitas merupakan pendekatan kuantitatif yang digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana perubahan suatu variabel masukan atau parameter mempengaruhi respons keluaran suatu sistem (Saltelli and Ratto, 2008). Penelitian ini menggunakan analisis sensitivitas lokal yang merupakan pendekatan yang sesuai untuk model empiris yang dibangun dari data observasi lapangan dengan pendekatan sensitivitas berbasis turunan.

3 METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif berbasis studi kasus untuk melihat seberapa sensitif kinerja simpang tak bersinyal tiga lengan terhadap perubahan parameter hambatan sampung. Penelitian dilakukan pada Simpang Jl. Tukad Pakerisan – Jl. Tukad Sanghyang, Denpasar Selatan, pada hari Sabtu (*weekend*), tanggal 28 Februari, dan Rabu, 4 Maret 2026 (*weekday*). Waktu penelitian pada periode jam sibuk pagi (07.00–09.00), siang (12.00–14.00), dan sore (16.00–18.00), dengan jarak pengamatan 50 m dari bibir simpang. Tahapan awal dimulai dengan studi pendahuluan untuk memetakan kondisi fisik lokasi dan gambaran umum aktivitas di sekitarnya. Data yang digunakan terdiri dari data sekunder dan primer. Data sekunder mencakup peta jaringan jalan serta jumlah penduduk Kota Denpasar yang bersumber dari BPS. Data primer diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan dengan parameter yang dicatat mencakup kondisi geometrik simpang, volume lalu lintas, frekuensi hambatan sampung, dan tundaan aktual lapangan.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3.1 Menetapkan data Masukan

Data masukan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data volume lalu lintas dan data hambatan samping. Data volume lalu lintas dikonversi dari satuan kendaraan per jam (kend/jam) menjadi satuan mobil penumpang per jam (smp/jam) menggunakan nilai ekuivalensi mobil penumpang (EMP) berdasarkan PKJI 2023. Data hambatan samping diolah menjadi frekuensi berbobot dengan mengalikan jumlah kejadian setiap jenis hambatan samping terhadap faktor bobot PKJI 2023, yaitu pejalan kaki (PED) sebesar 0,5, kendaraan berhenti atau parkir (PSV) sebesar 1,0, kendaraan keluar-masuk lahan (EEV) sebesar 0,7, dan kendaraan lambat (UMV) sebesar 0,4. Nilai frekuensi berbobot tersebut digunakan sebagai data masukan dalam analisis kinerja simpang.

3.2 Analisis Kinerja Simping Tak Bersinyal

Perhitungan dilakukan secara manual berdasarkan pedoman PKJI 2023 untuk memperoleh nilai-nilai kinerja simpang yang akan digunakan sebagai variabel dependen dalam analisis statistik. Indikator yang dihitung meliputi:

1. Menghitung arus lalu lintas (Q)
2. Menghitung kapasitas simpang tak bersinyal (C)
3. Menghitung Derajat Kejenuhan (D_j)
4. Menghitung Tundaan (T)

Hasil dari tahap ini berupa nilai tundaan rata-rata yang digunakan sebagai variabel dependen (Y) pada analisis statistik polinomial.

3.3 Validasi Hasil Perhitungan Tundaan

Validasi dilakukan dengan membandingkan tundaan hasil perhitungan menggunakan PKJI 2023 terhadap tundaan hasil survei lapangan. Tingkat kesesuaian kedua data dianalisis menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Nilai MAPE digunakan sebagai indikator akurasi model: semakin kecil nilai MAPE menunjukkan bahwa hasil perhitungan memiliki tingkat kesesuaian yang semakin baik terhadap kondisi aktual di lapangan.

3.4 Analisis Regresi Polinomial

Analisis statistik dilakukan menggunakan regresi polinomial orde dua dengan bantuan Microsoft Excel untuk mengetahui hubungan antara parameter hambatan samping dengan tundaan simpang yang lebih akurat. Variabel independen terdiri atas pejalan kaki (X_1), kendaraan parkir atau berhenti (X_2), kendaraan keluar-masuk lahan (X_3), dan kendaraan lambat (X_4), sedangkan variabel dependen berupa tundaan simpang (Y). Analisis dilakukan secara parsial pada masing-masing parameter hambatan samping. Tingkat pengaruh setiap parameter dievaluasi berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2), sehingga dapat diidentifikasi parameter yang memiliki pengaruh paling dominan terhadap tundaan simpang.

3.5 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan terhadap parameter hambatan samping yang memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi. Metode yang digunakan adalah *Local Sensitivity Analysis*, yaitu dengan menghitung turunan pertama dari persamaan regresi polinomial terhadap variabel independen. Nilai sensitivitas menunjukkan besarnya perubahan tundaan akibat perubahan kecil pada parameter hambatan samping. Parameter dengan nilai sensitivitas terbesar menunjukkan tingkat pengaruh yang paling tinggi terhadap kinerja simpang, sehingga menjadi prioritas dalam penentuan strategi penanganan lalu lintas pada lokasi penelitian.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Hambatan Samping

Berdasarkan hasil survei lapangan dan pengolahan data hambatan samping menjadi frekuensi berbobot, diperoleh hasil frekuensi hambatan samping seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Frekuensi Hambatan Samping Seluruh Pendekat *Weekday*

HAMBATAN SAMPING SELURUH PENDEKAT				
Waktu	Pejalan Kaki	Kendaraan Berhenti / Parkir	Kendaraan masuk dan keluar	Kendaraan tidak Bermotor
07.00-08.00	63	85	2569	8
08.00-09.00	56	117	1233,4	6,8
12.00-13.00	29,5	84	636,3	10,8
13.00-14.00	23	48	589,4	12,4
16.00-17.00	43	162	1046,5	16,8
17.00-18.00	66,5	146	1400,7	20

Tabel 2. Frekuensi Hambatan Samping Seluruh Pendekat *Weekend*

HAMBATAN SAMPING SELURUH PENDEKAT				
Waktu	Pejalan Kaki	Kendaraan Berhenti / Parkir	Kendaraan masuk dan keluar	Kendaraan tidak Bermotor
07.00-08.00	126	84	646,1	9,6
08.00-09.00	119,5	96	844,9	16
12.00-13.00	55	69	800,1	22,4
13.00-14.00	28,5	66	722,4	10,8
16.00-17.00	75	73	833,7	11,2
17.00-18.00	71	68	763	14,4

Tabel 3. Kategori Hambatan Samping

Hari	Waktu	Frekuensi Total Hambatan Samping	Kategori
<i>Weekday</i>	07.00-08.00	2725	Sangat tinggi
	08.00-09.00	1413,2	Sangat tinggi
	12.00-13.00	760,6	Tinggi
	13.00-14.00	672,8	Tinggi
	16.00-17.00	1268,3	Sangat tinggi
	17.00-18.00	1633,2	Sangat tinggi
<i>Weekend</i>	07.00-08.00	865,7	Tinggi
	08.00-09.00	1076,4	Sangat Tinggi
	12.00-13.00	946,5	Sangat Tinggi
	13.00-14.00	827,7	Tinggi
	16.00-17.00	992,9	Sangat Tinggi
	17.00-18.00	916,4	Sangat Tinggi

Hasil survei dan pengolahan data menunjukkan bahwa hambatan samping pada Simpang Jl. Tukad Pakerisan – Jl. Tukad Sanghyang termasuk kategori sangat tinggi. Aktivitas kendaraan keluar-masuk merupakan parameter dengan frekuensi tertinggi dibandingkan parameter hambatan samping lainnya. Frekuensi hambatan samping tertinggi terjadi pada periode pagi pada hari kerja, dengan total frekuensi berbobot sebesar 2725.

4.2 Analisis Kinerja Simpang

Berdasarkan analisis PKJI 2023 diperoleh arus lalu lintas tertinggi sebesar 2158,6 smp/jam dengan kapasitas simpang sebesar 2267,280 smp/jam. Nilai derajat kejenuhan tertinggi sebesar 0,952 menunjukkan bahwa kondisi simpang telah mendekati jenuh pada hari kerja, karena melebihi batas ideal PKJI 2023 sebesar 0,85.

Tabel 4. Nilai Kapasitas, Arus kendaraan dan Derajat Kejenuhan pada *Weekday*

Waktu	C (smp/jam)	q Arus (smp/jam)	Dj
07.00-08.00	2267,280	2158,6	0,952
08.00-09.00	2238,201	1725,0	0,771
12.00-13.00	2258,360	1600,2	0,709
13.00-14.00	2273,527	1658,6	0,730
16.00-17.00	2384,827	1843,6	0,773
17.00-18.00	2306,937	1854,4	0,804

Tabel 5. Nilai Kapasitas, Arus kendaraan dan Derajat Kejenuhan pada *Weekend*

Waktu	C (smp/jam)	q Arus (smp/jam)	Dj
07.00-08.00	2322,429	2158,6	0,543
08.00-09.00	2311,471	1725,0	0,548
12.00-13.00	2346,249	1600,2	0,594
13.00-14.00	2373,993	1658,6	0,599
16.00-17.00	2384,015	1843,6	0,597
17.00-18.00	2393,448	1854,4	0,788

Tabel 6. Tundaan Simpang *Weekday*

Waktu	TLL (det)	TG (det)	T (det)
07.00-08.00	13,163	4,001	17,164
08.00-09.00	8,939	4,007	12,946
12.00-13.00	8,026	4,052	12,077
13.00-14.00	8,315	4,009	12,323
16.00-17.00	8,977	4,035	13,012
17.00-18.00	9,506	4,034	13,540

Tabel 7. Tundaan Smpang *Weekend*

Waktu	TLL (det)	TG (det)	T (det)
07.00-08.00	6,248	3,977	10,224
08.00-09.00	6,296	4,001	10,297
12.00-13.00	6,706	3,988	10,695
13.00-14.00	6,755	4,018	10,773
16.00-17.00	6,736	4,049	10,784
17.00-18.00	9,219	4,032	13,252

Berdasarkan hasil perhitungan dengan data observasi lapangan/hasil pemodelan, sehingga dapat diketahui tingkat kesesuaian hasil analisis dengan kondisi aktual. Tundaan smpang tertinggi yang diperoleh sebesar 17,164 detik/smp pada hari kerja dengan tingkat pelayanan kategori C. Nilai tundaan tersebut menunjukkan bahwa arus lalu lintas pada simpang mulai mengalami hambatan akibat tingginya konflik kendaraan dan aktivitas di samping jalan.

4.3 Validasi Hasil Perhitungan Tundaan

Validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil perhitungan kinerja simpang merepresentasikan kondisi nyata di lokasi studi.

Tabel 8. Hasil Validasi Tundaan

Hari	Waktu	Tundaan pkji 2023 det/smp (Y2)	Tundaan lapangan det/smp(Y1)	Error (%)
<i>Weekday</i>	07.00-08.00	17,164	15,255	12,517
	08.00-09.00	12,946	12,563	3,046
	12.00-13.00	12,077	12,642	4,466
	13.00-14.00	12,323	11,,454	7,590
	16.00-17.00	13,012	11,912	9,234
	17.00-18.00	13,540	13,992	3,234
MAPE =				6,681
<i>Weekend</i>	07.00-08.00	10,224	9,673	5,701
	08.00-09.00	10,297	9,641	6,810
	12.00-13.00	10,695	9,562	11,842
	13.00-14.00	10,773	10,079	6,880
	16.00-17.00	10,784	9,861	9,368
	17.00-18.00	13,252	12,308	7,667
MAPE =				7,978

Nilai MAPE yang lebih rendah pada periode *weekday* dibandingkan dengan *weekend* menunjukkan bahwa hasil perhitungan tundaan pada hari kerja memiliki tingkat kesesuaian yang lebih tinggi terhadap kondisi lapangan. Sementara itu, nilai MAPE pada *weekend* yang lebih besar menunjukkan adanya variasi yang lebih tinggi antara hasil perhitungan dan kondisi aktual. Diperoleh nilai MAPE < 10 % dengan kategori nilai MAPE termasuk kompetensi model sangat baik.

4.4 Analisis Regresi Polinomial

Pada Tabel 9 berikut ini ditampilkan data variabel analisis regresi polinomial yang akan dianalisis secara parsial menggunakan Microsoft Excel.

Tabel 9. Variabel Analisis Regresi Polinomial

SEMUA PENDEKAT						
HARI	WAKTU	Pejalan Kaki X1	Kendaraan Berhenti X2	Kendaraan Masuk & Keluar X3	Kendaraan Tidak Bermotor (KTB) X4	Tundaan (det/smp) Y
Weekday	07.00-08.00	63	85	2569	8	17,164
	08.00-09.00	56	117	1233,4	6,8	12,946
	12.00-13.00	29,5	84	636,3	10,8	12,077
	13.00-14.00	23	48	589,4	12,4	12,323
	16.00-17.00	43	162	1046,5	16,8	13,012
	17.00-18.00	66,5	146	1400,7	20	13,540
Weekend	07.00-08.00	126	84	646,1	9,6	10,224
	08.00-09.00	119,5	96	844,9	16	10,297
	12.00-13.00	55	69	800,1	22,4	10,695
	13.00-14.00	28,5	66	722,4	10,8	10,773
	16.00-17.00	75	73	833,7	11,2	10,784
	17.00-18.00	71	68	763	14,4	13,252

Tabel 10. Hasil Analisis regresi Polinomial Parsial

Koefisien determinasi R ²				
Hari	Pejalan Kaki X1	Kendaraan Berhenti X2	Kendaraan Masuk & Keluar X3	Kendaraan Tidak Bermotor (KTB) X4
Weekday	0,4473	0,1223	0,9926	0,2106
Weekend	0,3701	0,2878	0,443	0,2513

Hasil analisis regresi polinomial menunjukkan bahwa parameter kendaraan keluar-masuk memiliki hubungan paling kuat terhadap tundaan simpang dibandingkan dengan parameter lainnya. Diperoleh model regresi polinomial $Y = 8E-07x^2 + 3E-05x + 11.914$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9926 menunjukkan bahwa perubahan tundaan simpang sangat dipengaruhi oleh aktivitas kendaraan keluar-masuk. Hubungan antara kendaraan keluar-masuk dan tundaan menunjukkan pola nonlinier, di mana peningkatan aktivitas kendaraan keluar-masuk menyebabkan peningkatan tundaan secara signifikan terutama pada periode jam sibuk.

4.5 Analisis Sensitivitas

Regresi polinomial yang diuji secara signifikan dipilih sebagai dasar analisis sensitivitas karena model tersebut mampu merepresentasikan pola hubungan antara variabel bebas dan tundaan dengan baik. Dalam penelitian ini digunakan data hasil plot grafik regresi polinomial yang memiliki nilai koefisien determinasi tertinggi, yaitu model regresi pada persamaan 6 yang merupakan hasil regresi hubungan kendaraan keluar-masuk dengan tundaan rata-rata kendaraan pada hari kerja. Model regresi yang telah diperoleh, diturunkan secara matematis terhadap variabel independen (X). Turunan pertama dari model regresi, yaitu pada persamaan 7, merepresentasikan laju perubahan tundaan (Y) terhadap perubahan kecil parameter hambatan samping (X).

$$Y = 8E - 07x^2 + 3E - 05x + 11.914 \quad (6)$$

$$\frac{dY}{dX} = 0,0000016x + 0,0000 \quad (7)$$

Nilai sensitivitas dihitung dengan mensubstitusi nilai parameter hambatan samping (X) pada setiap interval waktu ke dalam persamaan turunan regresi. Berikut ini hasil perhitungan sensitivitas pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Hasil Perhitungan Sensitivitas

Hasil Perhitungan Sensitivitas Pada Hari Kerja			
Y	Waktu	Xn	dY/dX
$y = 8E-07x^2 + 3E-05x + 11.914$, $R^2 = 0.9926$	07.00-08.00	2569	0,0041404
	08.00-09.00	1233,4	0,00200344
	12.00-13.00	636,3	0,00104808
	13.00-14.00	589,4	0,00097304
	16.00-17.00	1046,5	0,0017044
	17.00-18.00	1400,7	0,00227112

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa nilai sensitivitas tundaan berbeda pada setiap periode waktu. Sensitivitas tertinggi terjadi pada periode 07.00–08.00 sebesar 0,00414, sedangkan terendah pada periode 13.00–14.00 sebesar 0,00097. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh hambatan samping terhadap tundaan simpang dipengaruhi oleh kondisi arus lalu lintas pada masing-masing periode waktu.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Hambatan samping pada Simpang Jl. Tukad Pakerisan – Jl. Tukad Sanghyang termasuk kategori sangat tinggi dengan dominasi aktivitas kendaraan keluar-masuk.
- 2) Hasil analisis PKJI 2023 menunjukkan bahwa simpang memiliki kapasitas sebesar 2267,280 smp/jam, derajat kejenuhan sebesar 0,952, dan tundaan sebesar 17,164 detik/smp dengan tingkat pelayanan kategori C.
- 3) Parameter kendaraan keluar-masuk memiliki pengaruh paling signifikan terhadap tundaan simpang dengan nilai R^2 sebesar 0,9926 atau 99,26%.
- 4) Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa periode 07.00–08.00 memiliki sensitivitas tertinggi sebesar 0,00414 dan terendah pada pukul 13.00–14.00 sebesar 0,00097. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa simpang lebih rentan terhadap gangguan hambatan samping pada jam lalu lintas padat, sehingga aktivitas kendaraan keluar-masuk menjadi prioritas utama dalam penanganan lalu lintas di simpang tak bersinyal.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kota Denpasar (2025) *Kota Denpasar dalam Angka 2025*, BPS Kota Denpasar. Denpasar.
- Devera, S.E. and Rahmat, H. (2023) “Analisis Hambatan Samping terhadap Kinerja Ruas Jalan HR Soebrantas Kota Pekanbaru,” *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin*, 3(1), pp. 16–24.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Ghozali, I. (2016) *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 23*. 8th ed. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hafram, S.M., Valery, S. and Hasim, A.H. (2023) “Calibrating and validation microscopic traffic simulation models VISSIM for enhanced highway capacity planning,” *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 36(8), pp. 1509–1519. Available at: <https://doi.org/10.5829/ije.2023.36.08b.11>.
- Hidayat, A.S., Bumulo, N. and Nento, S. (2024) “Tinjauan Kinerja Simpang Tak Bersinyal Jl. A. A. Wahab, Jl. Sun Ismail, dan Jl. Kh Hutu Badu Di Kabupaten Gorontalo,” *Jurnal Simetrik*, 14(1), pp. 806–811. Available at: <https://doi.org/10.31959/js.v14i1.2303>.
- Kristianto, D. and Widyaningsih, N. (2023) “Analisa Pengaruh Hambatan Samping terhadap Tingkat Pelayanan Jalan pada Jalan Masjid Nurul Ihsan Kecamatan Pondok Gede Kota Bekasi,” *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(2), pp. 14058–14071.
- Puspita, R.N. (2022) “Perbandingan Metode Double Exponential Smoothing dan Triple Exponential Smoothing pada Peramalan Nilai Ekspor di Indonesia,” *Jambura Journal Of Probability And Statistics*, 3(2), pp. 17–29. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.34312/jjps.v3i2.15590>.
- Saltelli, A. and Ratto, M. (2008) *Global Sensitivity Analysis. The Primer*. Available at: <http://doi.wiley.com/>

10.1002/9780470725184.%0ASobol'.

Simanjuntak, N.I.M., Saragi, T.E., Zai, E.O. and Pinem, O.B. (2022) "Studi Pengaruh Hambatan Samping terhadap Kinerja Ruas Jalan Perkotaan," *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation*, 6, 2, pp. 159–168. Available at: <http://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/7008>.