

EVALUASI KINERJA SIMPANG TIGA TAK BERSINYAL MENGGUNAKAN METODE PEDOMAN KAPASITAS JALAN INDONESIA (PKJI) 2023 DAN SOFTWARE VISSIM

(Studi Kasus: Simpang Jalan Raya Wandanpuro –
Jalan Raya Sempalwadak, Kabupaten Malang)

Muhammad Thoriq Aziz¹, Anang Bakhtiar², Warsito³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

e-mail: (22101051077@unisma.ac.id)

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

e-mail: (anang.bakhtiar@unisma.ac.id)

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

e-mail: (warsito@unisma.ac.id)

ABSTRACT

Intersections are important elements in the transportation system that have the potential to cause conflicts and congestion due to the convergence of traffic flows from various directions. Therefore, intersection performance evaluation is necessary to determine the level of service and improvement efforts that can be made. This study was conducted at the Wandanpuro Highway – Sempalwadak Highway intersection in Bululawang District, Malang Regency, which is an unsignalized intersection with high traffic volume during peak hours due to residential, economic, and goods distribution activities. The purpose of this study was to evaluate the performance of the intersection under existing conditions and analyze the effect of implementing a Traffic Signal Device (APILL) on the operational performance of the intersection. Performance analysis was conducted using the 2023 Indonesian Road Capacity Guidelines (PKJI) method with parameters of capacity, degree of saturation, delay, and level of service (LOS). In addition, traffic modeling and simulation were conducted using PTV VISSIM software based on geometric data and vehicle volume. The analysis results show that under existing conditions, the peak hour traffic volume is 3,498.8 vehicles per hour with a degree of saturation of 1.28, an average delay of 94.912 seconds, and a service level of LOS F. The implementation of APILL during peak hours has proven effective in reducing traffic congestion and significantly improving intersection operational performance.

Keywords: *unsignalized intersections, PKJI 2023, PTV VISSIM, intersection performance.*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan perpindahan orang atau barang menggunakan kendaraan bertenaga manusia atau mesin melalui darat, laut, maupun udara.[6] Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia dapat menyebabkan beban lalu-lintas meningkat.[1] Ketika jumlah kendaraan melebihi kapasitas jalan, maka kinerja lalu-lintas akan menurun yang ditandai dengan terhambatnya pergerakan kendaraan hingga pada kondisi

tertentu menyebabkan kinerja lalu-lintas berhenti total. Kondisi ini dikenal dengan istilah kemacetan.[4] Persimpangan merupakan titik konflik arus lalu-lintas yang berpotensi menimbulkan permasalahan.[1] Salah satu simpang dengan aktivitas tinggi adalah Simpang Jalan Raya Wandanpuro – Jalan Raya Sempalwadak, Kecamatan Bululawang, Kabupaten Malang. Yang berperan penting sebagai jalur penghubung ekonomi dan distribusi. Kondisi tak bersinyal di simpang ini kerap menimbulkan konflik dan tundaan pada

jam sibuk. Untuk mengevaluasi kinerja simpang secara komprehensif, digunakan metode PKJI 2023 sebagai pedoman nasional terbaru di Indonesia.[7] Sebagai pelengkap analisis, penelitian ini juga menggunakan *software* PTV VISSIM yang merupakan simulasi mikroskopik yang mampu memodelkan pergerakan kendaraan tanpa perlu melakukan perubahan langsung di lapangan.[2] Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi teknis dalam meningkatkan efisiensi dan keselamatan lalu- lintas di simpang tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa nilai arus, kapasitas, derajat kejenuhan, dan waktu tundaan simpang yang terjadi pada jam puncak?
2. Berapa nilai tingkat pelayanan jalan (*level of service*) pada simpang Jalan Raya Wandanpuro – Jalan Raya Sempalwadak?
3. Bagaimana hasil evaluasi kinerja simpang berdasarkan metode PKJI 2023?
4. Bagaimana hasil simulasi kinerja simpang menggunakan *software* PTV VISSIM dengan input data lalu lintas eksisting?
5. Bagaimana rekomendasi teknis yang dapat diberikan untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan lalu-lintas di simpang Jalan Raya Wandanpuro – Jalan Raya Sempalwadak?

1.3 Tujuan

1. Menghitung nilai arus, kapasitas, derajat kejenuhan, dan waktu tundaan simpang pada jam puncak di Simpang Jalan Raya Wandanpuro – Jalan Raya Sempalwadak.
2. Mengetahui nilai tingkat pelayanan jalan (*level of service/LOS*) dari simpang Jalan Raya Wandanpuro – Jalan Raya Sempalwadak berdasarkan data lalu lintas aktual.
3. Mengetahui hasil evaluasi kinerja simpang yang diperoleh dari analisis metode PKJI 2023.
4. Mensimulasikan kondisi eksisting simpang menggunakan *software* PTV VISSIM untuk memperoleh gambaran kinerja lalu lintas secara mikroskopik.
5. Merumuskan rekomendasi teknis yang dapat meningkatkan efisiensi dan

keselamatan lalu lintas pada simpang Jalan Raya Wandanpuro – Jalan Raya Sempalwadak.

1.4 Lingkup Pembahasan

1. Penelitian ini difokuskan pada simpang tiga tak bersinyal, tepatnya di Simpang Jalan Raya Wandanpuro – Jalan Raya Sempalwadak, yang berada di wilayah Kecamatan Bululawang, Kabupaten Malang.
2. Penelitian menggunakan data primer yang diperoleh melalui observasi langsung pada jam puncak pagi, siang, sore dan malam selama dua hari kerja (*weekday*) dan satu hari akhir pekan (*weekend*).
3. Evaluasi mencakup parameter kinerja utama:
 - Kapasitas pendekat (*approach capacity*)
 - Derajat kejenuhan (*degree of saturation/DS*)
 - Waktu tundaan rata-rata (*average delay*)
 - Panjang antrean (*queue length*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Simpang

Simpang adalah titik temu antara dua atau lebih ruas jalan yang memungkinkan terjadinya perubahan arah kendaraan. Persimpangan memiliki peran penting dalam pengaturan lalu lintas karena di sinilah terjadi interaksi antara kendaraan yang datang dari berbagai arah.[5]

2.2 Karakteristik Simpang

Berdasarkan geometri, simpang dibedakan menjadi simpang tiga, empat, atau lebih.[3] Karakteristik simpang dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu:

1. Jumlah Lengan Simpang
2. Jenis Pengendalian
3. Kapasitas dan Kinerja
4. Lingkungan Sekitar Simpang

2.3 Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat pelayanan jalan (*level of service/LOS*) diklasifikasikan dalam enam tingkat pelayanan.

Tabel 1. Tingkat Pelayanan Jalan (LOS)

LOS	Tundaan (det/smp)	Keterangan
A	< 5	Baik sekali
B	5 – 15	Baik
C	15 - 25	Sedang
D	25 – 40	Kurang
E	40 – 60	Buruk
F	> 60	Buruk sekali

Sumber : PKJI 2023

2.4 Klasifikasi Kendaraan

Kendaraan pada arus lalu-lintas untuk PKJI diklasifikasikan menjadi 5 (lima) yaitu Sepeda Motor (SM), Mobil Penumpang (MP), Kendaraan Sedang (KS), Bus Besar (BB), dan Truk Berat (TB). Dalam PKJI, jenis Kendaraan Tidak Bermotor (KTB) tidak dikonversikan dalam arus lalu lintas karena dianggap sebagai hambatan samping yang pengaruhnya diperhitungkan terhadap kapasitas dalam faktor koreksi kapasitas akibat hambatan samping (FHS).

2.5 Kinerja Lalu-Lintas

Kinerja lalu-lintas menyatakan kualitas pelayanan suatu segmen jalan terhadap arus yang dilayaninya dinyatakan oleh nilai-nilai derajat kejenuhan (DJ) dan kecepatan tempuh (VT). Nilai DJ mencerminkan kuantitas pelayanan jalan berkaitan dengan kemampuan jalan mengalirkan arus lalu-lintas, Nilai VT merupakan ukuran kinerja kualitas pelayanan yang dapat dikonversi untuk menyatakan waktu tempuh (WT).

Nilai derajat kejenuhan (DJ) 0,85 digunakan sebagai batas kinerja menurut Permen PUPR (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat) No. 5 Tahun 2023 dan MKJI 1997. Nilai $DJ \leq 0,85$ menunjukkan kinerja masih baik, sedangkan nilai $DJ > 0,85$ menandakan perlunya peningkatan kapasitas atau manajemen lalu-lintas.

2.6 Kinerja Simpang Tak Bersinyal

Evaluasi kinerja simpang dilakukan untuk menilai efisiensi dan keselamatan berdasarkan kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, dan tingkat pelayanan (LOS).

1. Kapasitas (C)
2. Derajat Kejenuhan (DJ)
3. Tundaan (T)
4. Peluang antrian (Pa)

2.7 Kinerja Simpang Bersinyal

1. Kapasitas (C)
2. Arus jenuh (J)
3. Arus jenuh dasar (Jo)
4. Derajat kejenuhan (DJ)
5. Waktu siklus (WH)
6. Waktu hijau (WHi)
7. Panjang antrian (Pa)
8. Rasio kendaraan henti (RKH)
9. Tundaan (T)

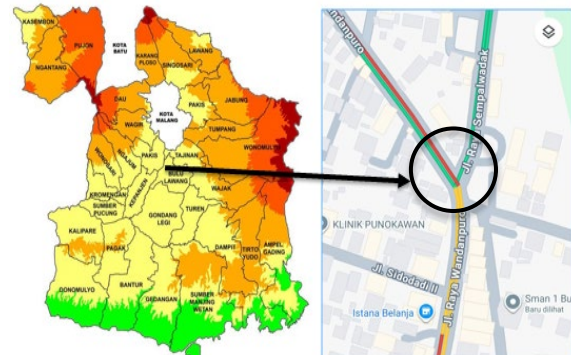
2.8 Vissim

Software PTV VISSIM merupakan perangkat lunak simulasi mikroskopik lalu lintas yang dikembangkan oleh PTV Group dan digunakan secara luas untuk menganalisis serta memvisualisasikan pergerakan kendaraan dan pejalan kaki. PTV VISSIM mampu mensimulasikan pergerakan lalu-lintas campuran berbagai kendaraan secara dinamis dan realistis, termasuk berbagai jenis kendaraan dan interaksi kompleks pada simpang, berdasarkan data lapangan.[8]

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Simpang Jalan Raya Wandanpuro – Jalan Raya Sempalwadak, Kecamatan Bululawang, Kabupaten Malang.



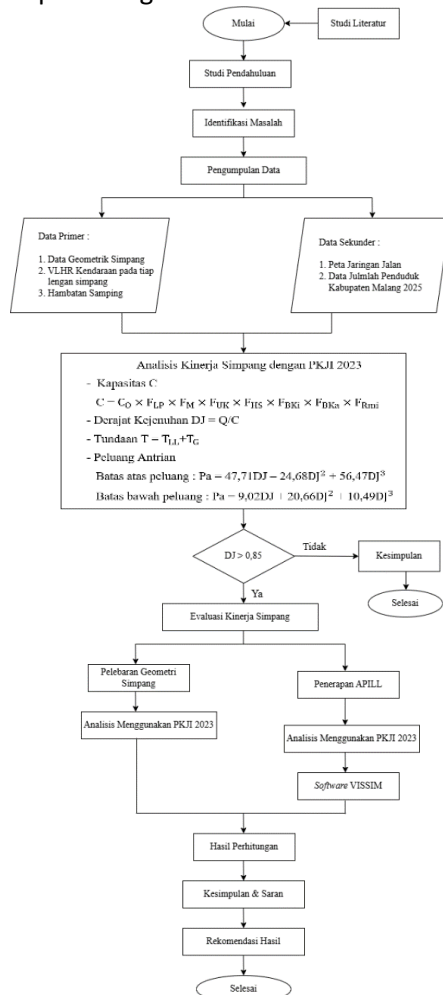
Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian

Lokasi ini dipilih karena merupakan simpang tak bersinyal yang menghubungkan jalur lalu lintas penting antar desa dan jalur distribusi lokal, serta adanya indikasi

permasalahan operasional lalu lintas yang terlihat dari panjang antrian dan keterlambatan kendaraan, terutama pada jam-jam sibuk.

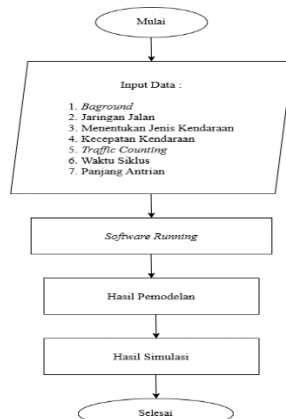
3.2 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian ditunjukkan seperti pada diagram alir dibawah ini:



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

3.3 Diagram Alir Vissim



Gambar 3 Diagram Alir Vissim

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan observasi langsung di lapangan untuk memperoleh data yang akurat dan relevan dalam menganalisis kinerja simpang. Pengumpulan data sebagai berikut :

1. Survei VLHR dilakukan selama dua hari kerja dan satu akhir pekan pada waktu pagi, siang, sore dan malam untuk mengetahui jam puncak. Volume kendaraan dicatat secara dengan form tabulasi untuk dianalisis kemudian. Volume kendaraan akan dikonversi ke satuan mobil penumpang (smp) sesuai pedoman.
2. Survei geometrik simpang dilakukan melalui pengukuran lebar tiap lengan, panjang antrean, jenis pendekat (utama/minor), serta kondisi visibilitas dan hambatan samping.
3. Dokumentasi lapangan dilakukan melalui pengambilan foto dan video untuk mendukung analisis visual kondisi eksisting.

3.5 Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Volume lalu lintas dikonversi ke satuan mobil penumpang (smp) sesuai PKJI 2023 untuk menyeragamkan jenis kendaraan.
2. Analisis kinerja simpang dilakukan dengan metode PKJI 2023 untuk menentukan kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, dan peluang antrian.
3. Pemodelan kinerja simpang dilakukan dengan memasukkan data geometrik, volume lalu-lintas, dan kondisi lapangan ke dalam *software* PTV VISSIM untuk simulasi mikroskopik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Geometri Simpang

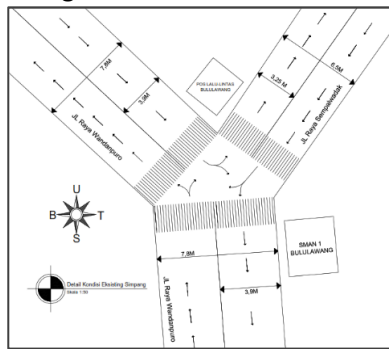
Data kondisi geometrik didapatkan bahwa Simpang Jalan Raya Wandanpuro–Jalan Raya Sempalwadak di Kecamatan Bululawang, Kabupaten Malang merupakan simpang tiga dengan lengan selatan dan barat berada pada Jalan Raya Wandanpuro serta lengan timur pada Jalan Raya Sempalwadak, dengan lebar pendekat masing-masing sebesar 7,8 m (selatan), 7,8 m (barat), dan 6,5 m (timur).

Tabel 2 Formulir Usig 1

No	Komposisi Lalu-Lintas		MP		KS		SM		Qkb Total		Rbki	Rbka	Kend. Tak Bermotor	
	Faktor SMP	MP, EMP =	1	KS, EMP =	1,8	SM, EMP =	0,2	QKtb					Rasio KTB	
									Kend/jam	Smp/jam				Kend/jam
Arus Lalu-Lintas		[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]
1	Jalan Mayor (Pendekat A) Jl. Raya Wandanpuro (Selatan)	qBka	227	227	77	138.6	827	165.4	1131	531		0.41798	2	
2		qLRS												
3		qBki	348	348	105	189	1012	202.4	1465	739.4	0.58202		3	
4		qTotal	575	575	182	327.6	1839	367.8	2596	1270.4			5	0.001926
5	Jalan Mayor (Pendekat B) Jl. Raya Wandanpuro (Barat)	qBka	436	436	162	291.6	1318	263.6	1916	991.2		0.8453	3	
6		qLRS												
7		qBki	78	78	31	55.8	238	47.6	347	181.4	0.1547		1	
8		qTotal	514	514	193	347.4	1556	311.2	2263	1172.6			4	0.0017676
9	Total Jalan Mayor		1089	1089	375	675	3395	679	4859	2443				
10	Jalan Minor (Pendekat C) Jl. Raya Sempalwadak	qBka	131	131	49	88.2	556	111.2	736	330.4		0.31413	1	
11		qLRS												
12		qBki	294	294	116	208.8	1093	218.6	1503	721.4	0.68587		1	
13		qTotal	425	425	165	297	1649	329.8	2239	1051.8			2	0.0008933
14	Total Jalan Minor		425	425	165	297	1649	329.8	2239	1051.8				
15	Total dari Jalan Raya Mayor dan Minor		qkB	1514	1514	540	972	5044	1008.8	7098	3494.8			
16	Rasio Arus Jalan Mayor		Rma	0.71929	0.71929	0.694444	0.69444	0.673077	0.67308	0.68456	0.69904			
17	Rasio Arus Jalan Minor		Rmi	0.280713	0.28071	0.305556	0.30556	0.326923	0.32692	0.315441	0.300961			
18	Rasio Belok Kanan Rata-Rata											0.4258		
19	Rasio Belok Kiri Rata-Rata										0.4742			

Sumber : Analisis Data 2026

Adapun gambar eksisting lokasi penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 4 Kondisi Eksisting Simpang

4.2 Perhitungan Volume Lalu-Lintas

Setiap nilai arus lalu-lintas yang masuk ke simpang dan masih dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam (kend/jam) perlu dikonversi menjadi satuan mobil penumpang/ jam (smp/jam) menggunakan nilai ekuivalensi mobil penumpang (emp). Perhitungan dari kendaraan/jam menjadi smp/jam dihitung dengan jumlah interval 30 menit menjadi 1 jam sesuai ekuivalen kendaraan ringan yang terdapat pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023.

Tabel 3 Rekapitulasi Arus Kendaraan Pada Jam Puncak (kend/jam)

Lengan	Arah	Hari	Waktu	SM	MP	KS	KTb
JL Raya Wandanpuro (Selatan)	Belok kanan	Senin	07.00–08.00	827	227	77	2
	Belok kiri	Sabtu	16.00–17.00	1012	348	105	3
JL Raya Wandanpuro (Barat)	Belok kanan	Sabtu	16.00–17.00	1318	436	162	3
	Belok kiri	Senin	15.00–16.00	238	78	31	1
JL Raya Sempalwadak	Belok kanan	Senin	16.00–17.00	556	131	49	1
	Belok kiri	Sabtu	16.00–17.00	1093	294	116	1

Sumber : Analisis Data 2026

Data hasil analisis kendaraan pada jam puncak digunakan dalam perhitungan komposisi lalu-lintas sebagai berikut:

1. Kapasitas (C)

Menurut PKJI 2023 Kapasitas Simpang(C) dihitung untuk total arus yang masuk dari seluruh lengan simpang. Berikut adalah rumus untuk menghitung Kapasitas simpang tak bersinyal

$$C = C_0 \times F_{LP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{BKi} \times F_{BKa} \times F_{Rmi}$$

$$C = 2.700 \times 0,996 \times 1,00 \times 1,00 \times 0,93 \times 1,603 \times 0,721 \times 0,939$$

$$C = 2.714,191 \text{ Smp/jam}$$

2. Derajat Kejenuhan (DJ)

Nilai Derajat kejenuhan (DJ) dihitung dengan membagi arus lalu-lintas (Q) terhadap kapasitas (C). derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Dj = \frac{Q}{C} = \frac{3498,8}{2.714,191} = 1,28$$

3. Tundaan

Tundaan Lalu Lintas Simpang (T_{LL}) merupakan rata-rata waktu tundaan yang dialami seluruh kendaraan bermotor saat memasuki simpang. Yang akan dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Untuk } Dj > 0,60 : T_{LL} = \frac{1,0504}{(0,2742 - 0,2052 Dj)} - (1 - Dj)^2$$

$$T_{LL} = \frac{1,0504}{(0,2742 - 0,2052 \times 1,28)} - (1 - 1,28)^2 = 90,912$$

Tundaan geometri (T_G) merupakan nilai tundaan geometrik rata-rata dari seluruh kendaraan bermotor yang memasuki simpang. Perhitungan T_G menggunakan rumus berikut:

Untuk $Dj < 1,0$

$$T_G = (1-Dj) \times (6 \times R_B + 3 (1-R_B)) + 4 \times Dj \text{ (detik/smp)}$$

Untuk $Dj > 1,0$, $T_G = 4 \text{ detik/smp}$

Perhitungan tundaan (T) untuk setiap lengan pada Simpang Jl Raya Wandanpuro – Sempalwadak dilakukan sebagai berikut:

$$T = T_G + T_{LL}$$

$$T = 4 + 90,912$$

$$T = 94,912$$

4. Peluang Antrean (Pa)

Rentang peluang antrian (%) diperoleh dari hubungan empiris antara peluang antrian (Pa) dan derajat kejenuhan (DJ) yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

- Batas atas peluang:

$$Pa = 47,71DJ - 24,68DJ^2 + 56,47DJ^3$$

$$Pa = 47,71 \times 1,28 - 24,68 \times 1,28^2 + 56,47 \times 1,28^3$$

$$Pa = 139,059$$

- Batas bawah peluang:

$$Pa = 9,02DJ + 20,66DJ^2 + 10,49DJ^3$$

$$Pa = 9,02 \times 1,28 + 20,66 \times 1,28^2 + 10,49 \times 1,28^3$$

$$Pa = 67,394$$

Jadi Pa% untuk simpang Wandanpuro - Sempalwadak = 67,394 – 139,059

Tabel 4 Perhitungan Kinerja Lalu-Lintas

Arus Lalu - Lintas Total (simp)	Kinerja Lalu - Lintas						Peluang Antrian (m)
	Derajat Kejenuhan	Tundaan Lalu - Lintas Simpang	Tundaan Lalu - Lintas Jalan Mayor (detik)	Tundaan Lalu - Lintas Jalan Minor (detik)	Tundaan Geometri Simpang (detik)	Tundaan Simpang (detik)	
Qtotal	DJ	T _s	T _m	T _l	T _g	T	Pa
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
3498,8	1,28	90,912	33,66	302,339	4	94,912	67-139

Sumber : Hasil Perhitungan 2026

4.3 Tingkat Pelayanan Jalan

Kategori tingkat pelayanan jalan tersebut disesuaikan dengan rentang nilai pengendalian sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 5 Tingkat Pelayanan jalan Berdasarkan Derajat Kejenuhan

Tingkat Pelayanan	Keterangan	Derajat Kejenuhan
A	Kondisi arus lalu-lintas lancar, tidak ada hambatan signifikan dan kecepatan tinggi.	0,00-0,30
B	Arus stabil tetapi kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kondisi lalu-lintas.	0,30-0,50
C	Arus stabil tetapi kecepatan gerak kendaraan dikendalikan.	0,50-0,75
D	Arus mendekati stabil, kecepatan masih dikendalikan V/C masih dapat ditolelir.	0,75-0,85
E	Arus tidak stabil, kecepatan terkadang terhenti, permintaan sudah mendekati kapasitas	0,85-1,00
F	Arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, volume panjang (macet)	≥1,00

Sumber : PKJI 2023

4.4 Alternatif Solusi

Beberapa alternatif penanganan yang dapat diterapkan untuk memperbaiki kinerja

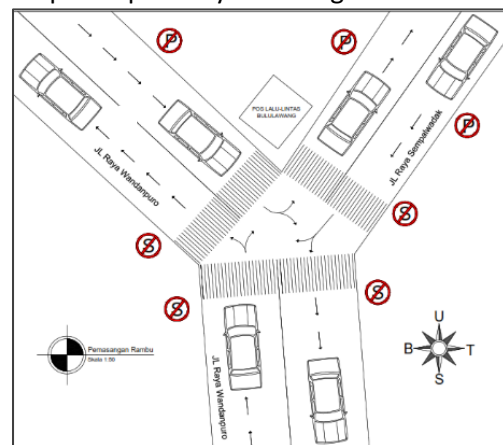
simpang tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Pembatasan Kendaraan Berat

Operasional kendaraan berat berpotensi menimbulkan konflik lalu lintas, meningkatkan panjang antrean, dan menambah waktu tundaan, terutama pada jam sibuk. Dalam penelitian ini Pembatasan kendaraan berat diusulkan pada jam puncak pagi (06.00–09.00 WIB) dan sore (15.00–18.00 WIB) dengan pengalihan ke jalur alternatif atau menunda perjalanan guna mengurangi konflik arus pada simpang, menurunkan derajat kejenuhan, serta meningkatkan kelancaran lalu lintas.

2. Pemasangan Rambu

Salah satu upaya lain untuk meningkatkan kinerja simpang adalah melalui penambahan rambu lalu lintas dan marka jalan yang ditampilkan pada layout sebagai berikut:



Gambar 5 Pemasangan Rambu

3. Penerapan Kinerja APILL

Pada lokasi simpang ini terdapat APILL yang tidak difungsikan, sehingga secara operasional dikategorikan sebagai simpang tak bersinyal. Kondisi ini dapat disebabkan oleh beberapa pertimbangan teknis, seperti volume lalu-lintas yang belum memenuhi kriteria pemasangan APILL, pertimbangan efisiensi lalu-lintas, perubahan karakteristik lalu-lintas, serta kebijakan manajemen lalu-lintas setempat, dll. Oleh karena itu, diperlukan analisis kinerja simpang untuk mengetahui tingkat pelayanan secara aktual dan menilai kelayakan sistem pengendalian lalu- lintas pada lokasi tersebut.

Adapun langkah-langkah dalam melakukan Perencanaan simpang bersinyal sesuai dengan metode PKJI 2023 adalah sebagai berikut:

Tabel 6 Perhitungan Komposisi Lalu-Lintas

No	Arah	Kendaraan Bermotor									QKB Total			Q KB Total	RBKi	RBKa	Kend. Tak Bermotor	
		Mobil Penumpang (MP)			Kendaraan sedang (KS)			Sepeda Motor (SM)										
		EMP Terlindung			EMP Terlindung			EMP Terlindung			0.5							
		EMP Terlawan			EMP Terlawan			EMP Terlawan			0.14							
		Kend/ Jam	Ter- Lindung Smp/ Jam	Ter- Lawan Smp/ Jam	Kend/ Jam	Ter- Lindung Smp/ Jam	Ter- Lawan Smp/ Jam	Kend/ Jam	Ter- Lindung Smp/ Jam	Ter- Lawan Smp/ Jam	Kend/ Jam	Ter- Lindung Smp/ Jam	Ter- Lawan Smp/ Jam				Smp/ Jam	Kend/ Jam
[1] Jl. Raya Wandanpuro Wandansung (A)	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]
	qBKi	348	348		105	136.5		1012	151.8		1465	636.3			0.492		3	
	qLRS																	
	qBKa	227		227	77		100.1	827		330.8	1131		657.9			0.508	2	
Jl. Raya Wandanpuro (B)	qTotal	575	348	227	182	136.5	100.1	1839	151.8	330.8	2596	636.3	657.9	1294.2			5	0.0019
	qBKi	78	78		31	40.3		238	35.7		347	154			0.116		1	
	qLRS																	
	qBKa	436		436	162		210.6	1318		527.2	1916		1173.8			0.884	3	
Jl. Raya Sempalwadak	qTotal	514	78	436	193	40.3	210.6	1556	35.7	527.2	2263	154	1173.8	1327.8			4	0.0018
	qBKi	294	294		116	150.8		1093	163.95		1503	608.75			0.593		1	
	qLRS																	
	qBKa	131		131	49		63.7	556		222.4	736		417.1			0.407	1	
	qTotal	425	294	131	165	150.8	63.7	1649	163.95	222.4	2239	608.75	417.1	1025.85			2	0.00089

Sumber : Analisis Data 2026

a. Perhitungan Komposisi Lalu-Lintas

Dari hasil perhitungan tabel didapatkan :

- Q JL Raya Wandanpuro (A)= 1294,2 smp/jam
- Q JL Raya Wandanpuro (B)= 1327,8 smp/jam
- Q JL Raya Sempalwadak = 1025,85 smp/jam

b. Arus Jenuh (J)

Ditetapkan sebagaimana dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BKi} \times F_{BKa}$$

- Lengan Selatan :

$$4.680 \times 0,93 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 0,92 \times 1,13 = 4.524,75 \text{ Smp/jam}$$

- Lengan Barat :

$$4.680 \times 0,93 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 0,98 \times 1,22 = 5.203,73 \text{ Smp/jam}$$

- Lengan Timur :

$$3.900 \times 0,93 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 0,90 \times 1,10 = 3.590,73 \text{ Smp/jam}$$

c. Rasio Arus (FR)

Volume kendaraan dan nilai arus jenuh disajikan dalam tabel :

Tabel 7 Rasio Arus Tiap Lengan

Pendekat	JL Wandanpuro (Selatan)	JL Wandanpuro (Barat)	JL Sempalwadak
Q (Smp/Jam)	1.294,2	1.327,8	1.025,85
J (Smp/Jam)	4.524,75	5.203,73	3.590,73
R = Q/J	0,28	0,25	0,28
ΣFR	0,81		

Sumber : Hasil Perhitungan 2026

d. Waktu siklus dan Waktu Hijau

$$s = \frac{(1,5 \times W_{HH} + 5)}{(1 - \Sigma Rq/J \text{ Kritis})}$$

$$s = \frac{(1,5 \times 12 + 5)}{(1 - 0,81)} = 121 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan menunjukkan waktu siklus 121 detik, namun karena terlalu besar, digunakan waktu siklus 95 detik sesuai

rekomendasi PKJI 2023 (50–100 detik), serta disimulasikan alternatif waktu siklus 85 dan 75 detik sebagai perbandingan nilai LOS.

Waktu hijau pada setiap lengan simpang atau fase :

$$\text{-Lengan Selatan: } W_{Hi} = (S - W_{HH}) \times \frac{Rq/J \text{ kritis}}{\Sigma i (Rq/J \text{ kritis})i}$$

$$= (95 - 12) \times \frac{0,28}{0,81}$$

$$= 28,69 \text{ detik} \sim 29 \text{ detik}$$

$$\text{-Lengan Barat: } W_{Hi} = (S - W_{HH}) \times \frac{Rq/J \text{ kritis}}{\Sigma i (Rq/J \text{ kritis})i}$$

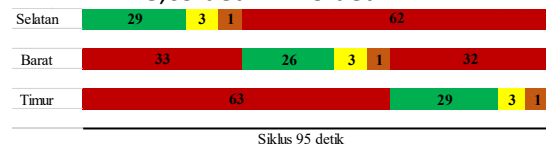
$$= (95 - 12) \times \frac{0,25}{0,81}$$

$$= 25,61 \text{ detik} \sim 26 \text{ detik}$$

$$\text{-Lengan Timur: } W_{Hi} = (S - W_{HH}) \times \frac{Rq/J \text{ kritis}}{\Sigma i (Rq/J \text{ kritis})i}$$

$$= (95 - 12) \times \frac{0,28}{0,81}$$

$$= 28,69 \text{ detik} \sim 29 \text{ detik}$$



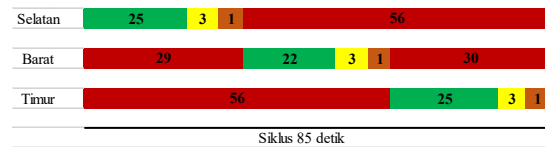
Gambar 6 Diagram APILL Siklus 95 Detik

Untuk alternatif pengaturan waktu siklus sebesar 85 detik dan 75 detik, proses penentuannya dilakukan berdasarkan hasil perhitungan. Nilai waktu siklus yang diusulkan diharapkan dapat meningkatkan kinerja simpang. Penentuan alternatif waktu siklus tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

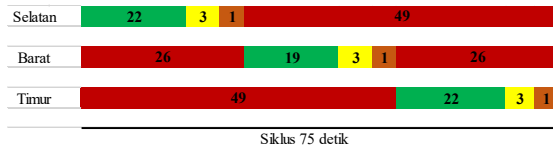
Tabel 8 Waktu Siklus Dan Hijau 75-85 Detik

Lengan	W _H 85 detik		W _H 75 detik	
	WH (detik)	WH Dibulatkan (detik)	WH (detik)	WH Dibulatkan (detik)
Selatan	25,23	25	21,7	22
Barat	22,53	22	19,4	19
Timur	25,23	25	21,7	22

Sumber : Hasil Perhitungan 2026



Gambar 7 Diagram APILL Siklus 85 Detik



Gambar 8 Diagram APILL Siklus 75 Detik

e. Kapasitas (C)

Adapun Hasil dalam perhitungan kapasitas simpang untuk siklus 95 detik dapat ditentukan dengan perhitungan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{JL Wandanpuro (A)} : C &= J \times \frac{W_H}{S} \\ &= 4.524,75 \times \frac{29}{95} \\ &= 1.381,23 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JL Wandanpuro (B)} : C &= J \times \frac{W_H}{S} \\ &= 5.203,73 \times \frac{26}{95} \\ &= 1.424,17 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JL Sempalwadak} : C &= J \times \frac{W_H}{S} \\ &= 3.590,73 \times \frac{29}{95} \\ &= 1.096,11 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

Tabel 9 Kapasitas Waktu Siklus 75,85 dan 95 Detik

s	Lengan	J	W _H	W _H /s	C
detik		smp/jam	detik	detik	smp/jam
75	JL Raya Wandanpuro (A)	4.524,75	22	0,29	1.327,26
	JL Raya Wandanpuro (B)	5.203,73	19	0,25	1.318,27
	JL Raya Sempalwadak	3.590,73	22	0,29	1.053,28
85	JL Raya Wandanpuro (A)	4.524,75	25	0,29	1.330,80
	JL Raya Wandanpuro (B)	5.203,73	22	0,25	1.346,84
	JL Raya Sempalwadak	3.590,73	25	0,29	1.056,09
95	JL Raya Wandanpuro (A)	4.524,75	29	0,30	1.381,23
	JL Raya Wandanpuro (B)	5.203,73	26	0,27	1.424,17
	JL Raya Sempalwadak	3.590,73	29	0,30	1.096,11

Sumber : Hasil Perhitungan 2026

f. Derajat Kejenuhan (DJ)

Nilai derajat kejenuhan dinyatakan dalam persamaan dibawah. Hasil perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{JL Wandanpuro (A)} : DJ &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{1294,2}{1.381,23} \\ &= 0,93 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JL Wandanpuro (B)} : DJ &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{1327,8}{1.424,17} \\ &= 0,93 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JL Sempalwadak} : DJ &= \frac{Q}{C} \\ &= \frac{1025,85}{1.096,11} \\ &= 0,93 \end{aligned}$$

Tabel 10 Perhitungan Nilai DJ

s	Lengan	Q	C	DJ	LOS	EKSTING	
detik		smp/jam	smp/jam			DJ	LOS
75	JL Raya Wandanpuro (A)	1.294,2	1.327,26	0,97	E	1,28	F
	JL Raya Wandanpuro (B)	1.327,8	1.318,27	0,97	E	1,28	F
	JL Raya Sempalwadak	1.025,85	1.053,28	0,97	E	1,28	F
85	JL Raya Wandanpuro (A)	1.294,2	1.330,80	0,97	E	1,28	F
	JL Raya Wandanpuro (B)	1.327,8	1.346,84	0,97	E	1,28	F
	JL Raya Sempalwadak	1.025,85	1.056,09	0,97	E	1,28	F
95	JL Raya Wandanpuro (A)	1.294,2	1.381,23	0,93	E	1,28	F
	JL Raya Wandanpuro (B)	1.327,8	1.424,17	0,93	E	1,28	F
	JL Raya Sempalwadak	1.025,85	1.096,11	0,93	E	1,28	F

Sumber : Hasil Perhitungan 2026

g. Panjang Antrean

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, perhitungan panjang antrian kendaraan untuk setiap lengan simpang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Pa} &= \frac{N_q \times 20}{L \text{ Masuk}} \\ \text{JL Wandanpuro (A)} &= \frac{34,82 \times 20}{3,9} = 178,56 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{JL Wandanpuro (B)} = \frac{35,78 \times 20}{3,9} = 183,48 \text{ m}$$

$$\text{JL Sempalwadak} = \frac{27,93 \times 20}{3,25} = 171,87 \text{ m}$$

Tabel 11 Perhitungan Nilai Pa

s (detik)	Lengan	DJ	Nq1	Nq2	Nq	Pa (m)
75	JL Raya Wandanpuro (A)	0,97	2,54	26,65	29,19	149,69
	JL Raya Wandanpuro (B)	0,97	2,54	27,38	29,92	153,43
	JL Raya Sempalwadak	0,97	2,54	21,12	23,66	145,60
85	JL Raya Wandanpuro (A)	0,97	2,14	30,20	32,34	165,84
	JL Raya Wandanpuro (B)	0,97	2,14	31,04	33,18	170,15
	JL Raya Sempalwadak	0,97	2,14	23,94	26,08	160,49
95	JL Raya Wandanpuro (A)	0,93	1,58	33,24	34,82	178,56
	JL Raya Wandanpuro (B)	0,93	1,58	34,20	35,78	183,48
	JL Raya Sempalwadak	0,93	1,58	26,35	27,93	171,87

Sumber : Hasil Perhitungan 2026

h. Rasio Kendaraan Henti (RKH)

Perhitungan nilai RKH sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{JL Wandanpuro (A)} : R_{KH} &= 0,9 \times \frac{34,82}{1.294,2 \times 95} \\ &\times 3600 = 0,91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JL Wandanpuro (B)} : R_{KH} &= 0,9 \times \frac{35,78}{1.327,8 \times 95} \\ &\times 3600 = 0,91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JL Sempalwadak} : R_{KH} &= 0,9 \times \frac{27,93}{1.025,85 \times 95} \\ &\times 3600 = 0,92 \end{aligned}$$

i. Tundaan

Tundaan adalah rata-rata waktu tunggu kendaraan pada pendekat sebelum melintas, dengan hasil perhitungan dicantumkan pada tabel.

Tabel 12 Perhitungan Nilai NKH dan Tundaan

s	Lengan	R _{KH}	N _{KH}	T _{LL}	T _G	T
detik				detik	detik	detik
75	JL Raya Wandanpuro (A)	0,97	1.255,66	33,57	3,98	37,55
	JL Raya Wandanpuro (B)	0,97	1.287,96	34,78	3,98	38,76
	JL Raya Sempalwadak	0,99	1.015,59	35,37	3,99	39,36
85	JL Raya Wandanpuro (A)	0,95	1.229,77	36,03	3,97	40,01
	JL Raya Wandanpuro (B)	0,95	1.261,41	37,27	3,97	41,24
	JL Raya Sempalwadak	0,96	984,816	37,54	3,98	41,52
95	JL Raya Wandanpuro (A)	0,91	1.177,72	37,41	3,95	41,36
	JL Raya Wandanpuro (B)	0,91	1.208,29	38,80	3,95	42,75
	JL Raya Sempalwadak	0,92	943,782	38,48	3,96	42,44

Sumber : Hasil Perhitungan 2026

Berdasarkan perhitungan, waktu siklus 95 detik ditetapkan sebagai waktu siklus terpilih karena mampu menghasilkan kapasitas lebih besar dan menghasilkan derajat kejenuhan lebih kecil, baik secara manual menggunakan *Microsoft Excel* maupun melalui simulasi menggunakan perangkat lunak VISSIM, sebagaimana digambarkan dalam langkah - langkah berikut ini.

4.5 Pemodelan *Software Vissim*

Hasil Pemodelan pada *software VISSIM* disampaikan sebagai berikut :

Tabel 13 Jumlah Kendaraan Pada Simpang

Lengan	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Total Kendaraan
JL Raya Wandanpuro (A)	SM	1839	2596
	MP	575	
	KS	182	
	KTb	5	
JL Raya Wandanpuro (B)	SM	1556	2263
	MP	514	
	KS	193	
	KTb	4	
JL Raya Sempalwadak	SM	1649	2239
	MP	425	
	KS	165	
	KTb	2	

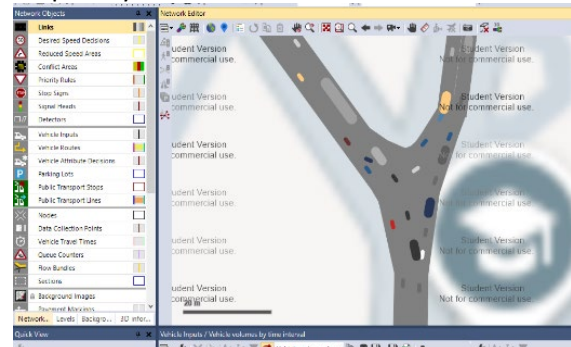
Sumber : Analisis Data 2026

Tabel 14 Nilai *Relative flow* Kendaraan Pada simpang

Lengan	Jenis Kendaraan	Komposisi Kendaraan
JL Raya Wandanpuro (A)	SM	0,708397
	MP	0,221494
	KS	0,701078
	KTb	0,001926
JL Raya Wandanpuro (B)	SM	0,687582
	MP	0,227132
	KS	0,085285
	KTb	0,0017676
JL Raya Sempalwadak	SM	0,0736489
	MP	0,1898168
	KS	0,0736936
	KTb	0,0008933

Sumber : Analisis Data 2026

Berikut pemodelan lalu-lintas simpang tak bersinyal menggunakan *software* PTV VISSIM 2026 berdasarkan data kendaraan, yang merepresentasikan kondisi eksisting dengan tiga lengan dan pengaturan berbasis prioritas tanpa sinyal.

**Gambar 9** Simulasi Lalu-Lintas Tak Bersinyal

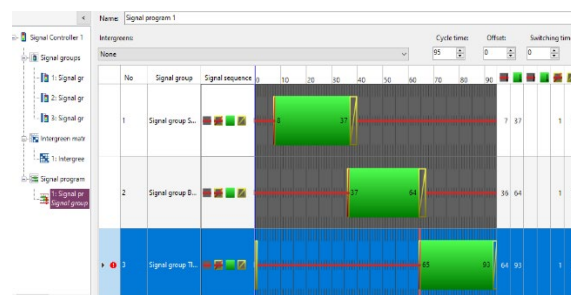
Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa kendaraan dari masing-masing pendekatan bergerak dengan kecepatan yang bervariasi sesuai dengan interaksi lalu- lintas di area konflik simpang. Berikut adalah jumlah pergerakan kendaraan yang terjadi pada tiap lengan simpang.

Tabel 15 Jumlah Pergerakan Kendaraan Pada Simpang

Lengan	Arah	Total Kendaraan (Kend/jam)	Jumlah Kendaraan (Kend/jam)	Komposisi
Selatan	Selatan - Barat	1.465	2.596	0,564329
	Selatan - Timur	1.131	2.596	0,435671
Barat	Barat - Timur	347	2.263	0,153336
	Barat - Selatan	1.916	2.263	0,846663
Timur	Timur - Selatan	1.503	2.239	0,671281
	Timur - Barat	736	2.239	0,328718

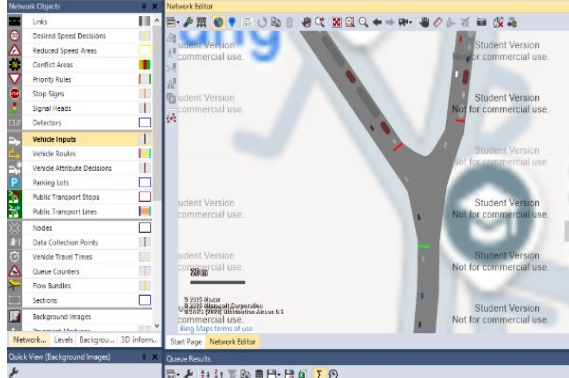
Sumber : Analisis Data 2026

Volume kendaraan yang menuju titik konflik dari arah selatan sebesar 1.131 kend/jam (0,435), dari barat 1.916 kend/jam (0,846), dan dari timur 736 kend/jam (0,328).

**Gambar 10** Pengaturan *Signal Controller*

Selanjutnya akan dilakukan penginputan pengaturan sinyal lalu-lintas pada APILL kedalam vissim sesuai dengan waktu siklus yang telah ditetapkan, yaitu sebesar 95 detik.

Selanjutnya dilakukan simulasi kinerja simpang bersinyal yang merupakan pengembangan dari kondisi sebelumnya.



Gambar 11 Simulasi Lalu-Lintas Bersinyal

Berikut hasil *delay* dan *queue counter* pada simulasi *software* PTV VISSIM.

Tabel 16 Hasil Perhitungan sebelum Simulasi VISSIM

Lengan	Tundaan (detik)	Panjang Antrian (m)	LOS	DJ
Selatan	41,36	178,56	E	0,93
Barat	42,75	183,48	E	0,93
Timur	42,44	171,87	E	0,93

Sumber : Hasil Perhitungan 2026

Tabel 17 Hasil Kinerja APILL sesudah Simulasi VISSIM

Lengan	Tundaan (detik)	Panjang Antrian (m)	LOS
Selatan	47,09	295,62	E
Barat	66,76	259,25	E
Timur	46,26	300,56	E

Sumber : Hasil Simulasi Vissim 2026

Berdasarkan Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *Software* VISSIM, diperoleh nilai tundaan pada lengan Selatan sebesar 47,09 detik, lengan Barat 66,76 detik, dan lengan Timur 46,26 detik. Panjang antrean masing-masing mencapai 295,62m, 259,25m, dan 300,56m. Nilai tundaan dan antrean yang relatif besar dipengaruhi oleh pemodelan perilaku kendaraan yang membuat pengendara lebih disiplin, sehingga kendaraan harus menunggu hingga kondisi aman sebelum melintas.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan pada kondisi eksisting Simpang Tiga Wandanpuro–Sempalwadak, diperoleh volume lalu lintas pada jam puncak nilai (Q) sebesar 3.498,8 smp/jam dengan kapasitas simpang (C) sebesar 2.714,19 smp/jam. Kondisi tersebut menghasilkan derajat kejenuhan (DJ) sebesar 1,28 serta waktu tundaan rata-rata (T) sebesar 94,912 detik.
2. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja lalu lintas pada Simpang Tiga Wandanpuro - Sempalwadak simpang tersebut berada pada tingkat pelayanan jalan (*Level of Service/LOS*) F. Arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, volume panjang (macet).
3. Berdasarkan hasil evaluasi kinerja menggunakan metode PKJI 2023, penerapan pengaturan waktu siklus melalui APILL pada jam puncak mampu meningkatkan kinerja simpang, ditunjukkan dengan peningkatan tingkat pelayanan dari LOS F menjadi LOS E serta penurunan derajat kejenuhan dari 1,28 menjadi 0,93.
4. Berdasarkan hasil simulasi kinerja simpang menggunakan *software* PTV VISSIM, diperoleh nilai tundaan kendaraan (*vehicle delay*) pada lengan Selatan sebesar 47,09 detik, lengan Barat sebesar 66,76 detik, dan lengan Timur sebesar 46,26 detik. Selain itu, hasil simulasi juga menunjukkan panjang antrean (*queue length*) pada lengan Selatan sebesar 295,62 meter, lengan Barat sebesar 259,25 meter, dan lengan Timur sebesar 300,56 meter, yang mengindikasikan terjadinya antrean kendaraan yang cukup panjang pada masing-masing pendekat simpang.
5. Rekomendasi penanganan simpang dilakukan melalui penerapan manajemen dan rekayasa lalu-lintas guna meningkatkan kinerja simpang serta mengurangi kemacetan dan tundaan kendaraan, diantaranya :

- Pembatasan waktu melintas kendaraan besar diperlukan untuk mengurangi hambatan samping dan konflik lalu lintas pada jam puncak, sehingga pergerakan kendaraan pada simpang menjadi lebih lancar dan efisien.
- Pengaturan alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL) berfungsi mengatur distribusi arus kendaraan secara terkontrol, menurunkan tingkat konflik antar lengan simpang.
- Pemasangan rambu larangan parkir dan berhenti di area persimpangan bertujuan menjaga ruang gerak kendaraan tetap bebas hambatan, meningkatkan jarak pandang pengemudi, dan mendukung kelancaran arus lalu lintas di sekitar simpang.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis guna sebagai penyempurnaan kinerja simpang antara lain sebagai berikut

1. Berdasarkan hasil analisis, Simpang Jalan Raya Wandanpuro – Sempalwadak rekomendasi melalui penerapan APILL dapat dipertimbangkan, karena terbukti efektif menurunkan derajat kejenuhan (DJ) pada seluruh pendekat saat jam puncak.
2. Kesadaran masyarakat terhadap peraturan lalu lintas perlu ditingkatkan melalui pendekatan persuasif dan penegakan hukum yang tegas agar pelanggaran berkurang, serta mendorong pengguna jalan lebih waspada dan patuh demi keselamatan bersama.
3. Pemerintah diharapkan melakukan kajian kebijakan pengaturan lalu lintas, khususnya pembatasan kendaraan berat pada waktu tertentu, dengan mempertimbangkan kondisi lalu lintas, dan kualitas lingkungan.
4. Untuk memperoleh hasil analisis yang akurat menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM, diperlukan data kecepatan kendaraan yang representatif dari kondisi lapangan serta penggunaan versi perangkat lunak VISSIM berlisensi (versi berbayar).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afni, D. N., Juwita, F., Prikurnia, A. K., & Putri, I. Y. (2023). Analisis Simpang Tak Bersinyal di Jalan Ahmad Yani—Jalan Raden Intan Gadingrejo Menggunakan PKJI 2023. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 8(2), 135–142. <https://doi.org/10.24967/teksis.v8i2.2706>
- [2] Ar Rafi, Y., & Suri Widyatami, F. (2025). Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Dengan Metode PKJI 2023 Dan *Software Vissim* (Studi Kasus: Area Pertigaan Jl. Aria Putra, Ciputat). *Prosiding Tau Snars-Tek Seminar Nasional Rekayasa dan Teknologi*, 5(1), 138–146. <https://doi.org/10.47970/snarstek.v2i1.804>
- [3] Hariyanto, Suraji, A., & Cakrawala, M. (2022). Evaluasi Kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal Jl. Muharto—Jl. Mayjen Sungkono – Jl. Raya Ki Ageng Gribig Kota Malang. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 70–85. <https://doi.org/10.31849/siklus.v8i1.9339>
- [4] Nuha, M. U., & Bakhtiar, A. (2024). Studi Analisis Dan Model Kemacetan Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Panglima Sudirman Kabupaten Malang Jawa Timur.
- [5] Prasetyo, H., Yulianto, T., Nugroho, M. W., & Sundari, T. (2024). Analisis Kinerja Simpang Tiga Menggunakan Metode PKJI 2023 Pada Jl.Kh.Wahab Chasbulloh – Jl.Garuda Kabupaten Jombang. 04(02)
- [6] Putra, K. H., Ingsih, I. S., & Wahyudi, B. (2021). *Satisfaction Level Of Passengers, Service & Facility Of Kmp Dharma Bahari Sumekar III by IPA and CSI Methods. Journal Innovation Of Civil Engineering (IJCE)*, 2(1), 161. <https://doi.org/10.33474/jice.v2i1.11273>
- [7] Syaifullah, M., Kadir, Y., & Desei, F. L. (2024). Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2023 dan *Software VISSIM. Konstruksia*, 15(2), 147. <https://doi.org/10.24853/jk.15.2.147-163>
- [8] Yakob Elu Ado, A., Handayani, A. T., & Astutik, H. P. (2024). Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan *Software Ptv Vissim* (Studi Kasus: Simpang Proliman, Prambanan) Tamanmartani, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Spektrum Sipil*, 11(2), 97–108. <https://doi.org/10.29303/spektrum.v11i2.361>