EVALUASI KINERJA SIMPANG TIGA BERSINYAL DAN PREDIKSI KERUGIAN BIAYA OPERASIONAL KENDARAAN (BOK) AKIBAT KEMACETAN LALU LINTAS

(Studi Kasus Simpang : Jl. Raya Geluran-Jl. Raya Taman-Jl. Raya Kletek, Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur)

Lediani Helda[1], Ir. Eding Iskak Imananto[2], dan Annur Ma'aruf[3]

[1]Prodi Teknik Sipil, ITN Malang, Jl Sigura-Gura No.2, Malang
Email: ledianihelda27@gmail.com
[1]Prodi Teknik Sipil, ITN Malang, Jl Sigura-Gura No.2, Malang
Email: edingiskak@yahoo.com
[1]Prodi Teknik Sipil, ITN Malang, Jl Sigura-Gura No.2, Malang
Email: annur2017@lecture.itn.ac.id

ABSTRACT

Roads are transportation infrastructure that plays a vital role in supporting mobility. An increase in vehicle volume that is not matched by road capacity can lead to traffic congestion, as is the case at the signalized intersection of Jl. Raya Geluran, Jl. Raya Taman, and Jl. Raya Kletek in Sidoarjo Regency. This study aims to evaluate the intersection's performance under existing conditions based on the 2023 Indonesian Road Capacity Guidelines (PKJI), formulate alternative improvement solutions, analyze the relationship between travel delay and fuel consumption under both existing and alternative conditions, and predict the intersection's performance over the next five years. Performance analysis was conducted using the 2023 Indonesian Road Capacity Guidelines (PKJI) and Vissim 25 PTV modeling. The results show that the intersection's current conditions have an F level of service with an average delay of 219.396 seconds per SMP, indicating that the intersection is unable to accommodate the existing traffic volume. The proposed alternatives—optimizing the three-phase signal timing, widening the road geometry by 0.4 meters, and implementing a straight-through lane on the eastern approach—result in an average delay of 22.66 seconds per SMP with a service level of C. The cost of losses due to traffic congestion for the accumulated time period amounts to Rp. 3,431,181.68 per hour, Rp. 27,449,453.42 per day, Rp. 548,989,068.43 per month, and Rp. 6,587,868,821.20 per year. Linear regression analysis shows a very strong relationship between delay and fuel consumption costs, with a correlation coefficient of r = 0.806 under the existing conditions: Y = 155,127.651 + 14,954,136. 0X and r = 0.852 under the alternative conditions Y = 114,774.24 + 15,142,766.6 X. The five-year forecast indicates a Level D level of service with an average delay of 29.76 seconds per SMP.

Keywords: *Signalized Intersection Performance, PKJI 2023, PTV Vissim 25, Delay, Fuel Consumption Costs, Level of Service.*

ABSTRAK

Jalan merupakan prasarana tranportasi yang berperan penting dalam mendukung mobilitas. Peningkatan volume kendaraan yang tidak diimbangi kapasitas jalan dapat menyebabkan kemacetan, seperti yang terjadi pada simpang bersinyal Jl. Raya Geluran- Jl. Raya Taman- Jl. Raya Kletek, Kabupaten Sidoarjo. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja simpang pada kondisi eksisting berdasarkan PKJI 2023, merumuskan solusi alternatif perbaikan, menganalisis model hubungan waktu tundaan dengan kerugian bahan bakar minyak pada kondisi eksisting maupun alternatif, serta memprediksi kinerja simpang lima tahun mendatang. Analisis kinerja dilakukan menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan Pemodelan PTV Vissim 25. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi eksisting simpang memiliki tingkat pelayanan F dengan tundaan rata-rata 219,396 detik/SMP, dimana simpang tidak mampu melayani volume lalu lintas yang ada. Alternatif penanganan berupa pengoptimalan waktu sinyal tiga fase, pelebaran geometrik jalan sebesar 0,4 meter, serta penerapan lurus jalan terus pada pendekat Timur menghasilkan tundaan rata-rata 22,66 detik/SMP dengan tingkat pelayanan C. Besar biaya kerugian akibat kemacetan lalu lintas untuk periode akumulasi waktu, Per Jam Biaya kerugian sebesar Rp. 3.431.181,68, Per Hari Rp. 27.449.453,42, Per Bulan Rp. 548.989.068,43, dan untuk Per Tahun 6.587.868.821,20 Per Tahun. Analisis regresi linear menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar minyak dengan nilai koefisien relasi r = 0,806 pada kondisi eksisting Y = 155127,651 + 14954136,0X dan r = 0,852 pada kondisi alternatif Y= 114774,24 + 15142766,6 X. Prediksi lima tahun mendatang menunjukkan tingkat pelayanan D dengan tundaan rata-rata 29,76 detik/SMP.

Kata kunci: *Kinerja simpang bersinyal, PKJI 2023, PTV Vissim 25, Tundaan, Biaya Konsumsi Bahan Bakar, Tingkat Pelayanan.*

1. PENDAHULUAN

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang menghubungkan suatu wilayah dengan wilayah lainnya. Pembangunan infrastruktur jalan saat ini berlangsung dengan sangat cepat, sejalan dengan pertumbuhan pesat disektor konstruksi. Semakin cepat laju pertumbuhan disuatu wilayah, semakin besar pula volume kendaraan yang melintas di jalan di wilayah tersebut. Situasi ini berpotensi menimbulkan kemacetan jika tidak ditangani dengan cepat dan efektif. Permasalahan kemacetan lalu lintas sampai saat ini masih menjadi isu utama yang sering terjadi diberbagai kota di Indonesia, Kabupaten Sidoarjo merupakan salah satu wilayah yang memiliki permasalahan tersebut.

Simpang Jl Raya Geluran-Jl Raya Taman-Jl Raya Kletek merupakan simpang tiga bersinyal yang terletak di kabupaten sidoarjo yang berada pada kawasan permukiman dan pusat aktivitas masyarakat sekitar. Simpang ini berada di tengah kawasan komersial yang aktif dan beragam. Sehingga dengan kondisi seperti ini menimbulkan kemacetan, tundaan, antrian serta kecelakaan lalu lintas. Karena kemacetan menyebabkan pemborosan bahan bakar dan waktu serta meningkatkan biaya konsumsi bahan bakar akibat tundaan kendaraan.

Evaluasi kinerja simpang perlu dilakukan sebagai upaya dalam merumuskan solusi permasalahan kemacetan, dengan fokus pada parameter kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, serta panjang antrian. Analisis dilaksanakan berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan didukung pemodelan melalui Vissim 25 yang mampu merepresentasikan kondisi lalu lintas secara dinamis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan penghubung, bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, diatas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah, dan/atau air, serta diatas permukaan air, kecuali jalan rel, jalan lori, dan jalan kabel (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022)

Persimpangan

Persimpangan jalan merupakan titik pertemuan dua tau lebih jalan yang memainkan peran penting dalam menjaga kelancaran arus lalu lintas. Dalam sistem jaringan jalan, persimpangan memilik peran penting yang tak tergantikan. Kelancaran mobilitas diseluruh jaringan sangat bergantung pada pengelolan pergerakan persimpang

Kinerja Simpang

Kinerja sebuah simpang dapat diukur melalui Tingkat pelayanannya. Sesuai dengan (Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 96 Tahun 2015).

Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal merupakan salah satu bentuk persimpangan yang mempertemukan dua atau lebih ruas jalan sebidang yang dilengkapi alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL) Sebagai sistem pengendali lalu lintas

Waktu Siklus

Waktu siklus adalah waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu putaran lengkap urutan sinyal lalu lintas pada suatu simpang bersinyal, dimulai dari awal fase tertentu hingga awal fase yang sama pada siklus berikutnya.

Panjang Antrian

Panjang antrian adalah panjang barisan kendaraan yang mengantre pada suatu pendekat simpang dan dinyatakan dalam satuan meter.

Derajat Kejenuhan

Derajat Kejenuhan adalah rasio perbandingan antara arus lalu lintas rill dengan kapasitas jalan pada suatu pendekat. Deraja Kejenuhan menggunakan persaaman berikut:

$$DJ = \frac{q}{C}$$

dimana :

Dj : Derajat Kejenuhan
C : Kapasitas Jalan, dalam SMP/Jam
q : Volume lalu lintas, dalam satuan SMP/Jam

Tundaan

Tundaan pada suatu simpang APILL terjadi karena 2 (dua) hal, yaitu :

1. Tundaan Lalu Lintas (TLL)
2. Tundaan Geometrik (T)
3.

Vissim

Menurut PTV-AG Vissim 2025 merupakan versi terbaru yang diluncurkan pada akhri tahun 2024. Vissim mendukung simulasi multi-media yang mengsimulasikan berbagai jenis moda transportasi dalam bentuk 2D dan 3D termasuk dalam pemodelan semua jenis kendaraan, pohon, bangunan, *traffic ligh*t, fasilitas jalan raya dan lainnya. Simulasi jenis moda transportasi antara lain *Vehicles* (mobil, bus, truk), *public transport* (tram, bus), *cycles* (sepeda, sepeda motor), pejalan kaki dan *rickshaw* secara bersamaan dalam satu lingkungan simulasi.

Tingkat Pelayanan

Menurut PM No. 96 Tahun 2015, Tingkat pelayanan adalah ukuran kuantitatif dan kualitatitf yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas.

Hubungan tundaan dengan tingkat pelayanan sebagai acuan penilaian simpang.

Tabel 1. Tingkat Pelayanan Berdasarkan Tundaan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (detik/kend)
A	≤ 5
B	5,1- 15
C	15,1- 25
D	25,1- 40
E	40,1- 60
F	> 60

Biaya Operasional Kendaraan

Menurut Pedoman Perhitungan Biaya operasional Kendaraan Pd T-15-2005-B (Departemen Bina Marga, 2005), Biaya Operasional Kendaraan adalah biaya total yang dibutuhkan untuk mengoperasikan kendaraan pada suatu kondisi lalu lintas dan jalan untuk suatu jenis kendaraan perkilometer jarak tempuh dengan satuannya Rupian per kilometer. Perhitungan Biaya Operasional hanya difokuskan pada konsumsi Bahan Bakar dan Biaya konsumsi Bahan Bakar.

1. Konsumsi Bahan Bakar menggunakan formulasi yang diajukan oleh LAPI-ITB
2. Biaya Konsumsi Bahan Bakar
   Perhitungan biaya konsumsi bahan bakar minyak dilakukan dengan menerapkan rumus pendekatan berdasarkan Pd T-15-2005-B

3. METODELOGI STUDI

Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian terletak di Kabupaten Sidoarjo lebih tepatnya di simpang tiga bersinyal Jl Raya Geluran – Jl Raya Taman – Jl Raya Kletek.



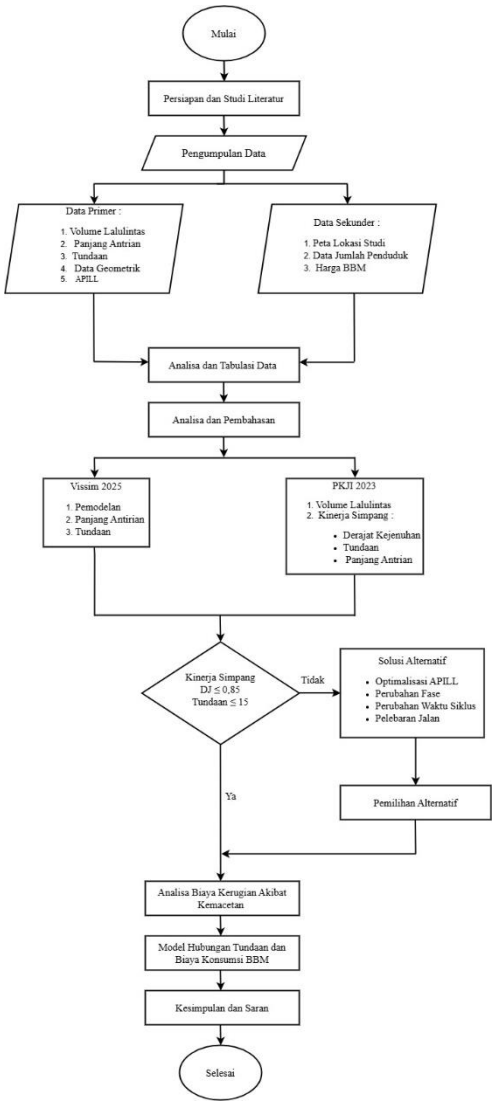
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Metode Pengumpulan Data

Dalam proses pengumpulan data, digunakan dua jenis data yaitu :

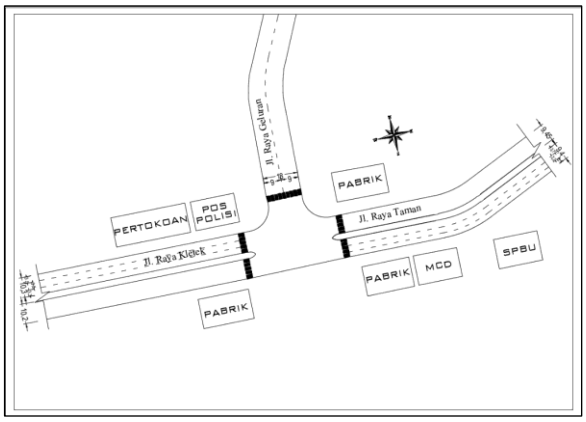
1. Data Primer
   Data yang diperoleh dengan cara melakukan survei langsung dilapangan, seperti data volume lalu lintas, data Antrian dan Tundaan, data Geometrik Jalan, dan Waktu siklus eksisting.
2. Data Sekunder
   Data yang diperoleh atau dikumpulkan dari peneliti terdahulu atau yang diterbitkan oleh instansi terkait, seperti data Jumlah Penduduk berdasarlan BPS , Peta lokasi studi, daftar Harga BBM.

Bagan Alir



Gambar 2. Bagan Alir

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

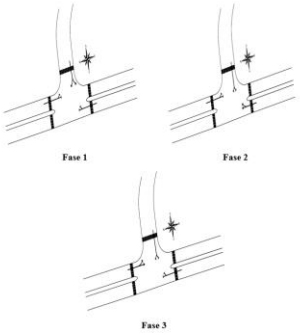


Gambar 3. Geometrik Simpang

Tabel 2. Data Geometrik Simpang

Kode Pendekat	Tipe Lingkungan Jalan KIM, KOM, AT	Kelas Hambatan Samping T(tinggi), R(rendah)	Median Y (ada) atau T (tidak)	Kelandaian Pendekat : + (nanjak) atau - (turun) %	BKIJT Y (ada) atau T(tidak)	Jarak ke kendaraan parkir pertama m	Lebar Pendekat (m)			
							Pada awal lajur L m	Pada garis henti LM m	Pada lajur belok kiri LBKIJT m	Pada lajur keluar LK m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
U	KOM	R	T	0	T	0	9	9	0	9
T	KOM	R	Y	0	T	0	9,4	9,4	0	9,45
B	KOM	R	Y	0	T	0	10,3	10,3	0	10,2

Fase dan Konfigurasi Simpang



Gambar 4. Fase Sinyal Simpang Geluran

Tabel 3. Konfigurasi Waktu Sinyal Simpang Geluran

Nama Jalan	Pendekat	Fase	Waktu Sinyal (detik)				Waktu Siklus (detik)
			Merah	Kuning	Hijau	All Red	
Jl. Raya Geluran	U	1	148	2	18	2	170
Jl. Raya Taman	T	2	116	2	50	2	
Jl. Raya Kletek	B	3	76	2	90	2	



Gambar 5. Diagram Waktu Sinyal Simpang Geluran

Volume Arus Lalu Lintas

Data Volume lalu lintas yang diperoleh dari hasil survei lapangan secara langsung untuk digunakan dalam menganalisis pengaruh arus simpang bersinyal yang terletak pada Simpang tiga bersinyal Jl Raya Geluran- Jl Raya Taman- Jl Raya Kletek. Survei yang dilakukan pada Senin, 8 Desember 2025, Rabu, 10 Desember 2025 dan Sabtu, 13 Desember 2025, dimana dalam sehari pengamatan dilakukan dari jam 06:00 - 18:00 WIB.

Berikut rekaptulasi Total Jam Puncak arus lalu lintas untuk semua Pendekat simpang selama 3 hari survei.

Tabel 4. Rekaptulasi Jam Puncak

No	Hari/Tanggal	Jam	Volume (Smp/Jam)
1	Senin, 8 Desember 2025	17.00-18.00	5564,7
2	Rabu, 10 Desember 2025	17.00-18.00	5399,2
3	Sabtu, 13 Desember 2025	17.00-18.00	4435,55

Analisis Jam Puncak

Tabel 5. Jam Puncak Pagi Senin, 8 Desember 2025

Kode Pendekat	Arah	KENDARAAN BERMOTOR												KEND. TAK BERMOTOR			
		Mobil Pemumpang (MP)			Kendaraan Berat (KB)			Sepeda Motor (SM)			Total Kendaraan Bermotor			Rasio Belok ke Kiri	Rasio Belok ke kanan	KTB	RKTB
		EMP Terlindung = 1,00 EMP Terlawan = 1,00			EMP Terlindung = 1,30 EMP Terlawan = 1,30			EMP Terlindung = 0,15 EMP Terlawan = 0,40									Rasio arus KTB terhadap arus Total
		Kend/Jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	Kend/Jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	Kend/Jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	kend/jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	RBKi	RBKa	Kend/jam	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
U	Bki/BKIJT	70	70		8	10,4		316	47,4		394	127,8		0,181		25	
	Bka	263	263		1	1,3		2103	315,45		2367	579,75			0,819	7	
	Total	333	333		9	11,7		2419	362,85		2761	707,55				32	0,012
T	Lurus	804	804		85	110,5		1959	293,85		2848	1208,35				23	
	Bka	620	620		80	104		2039	305,85		2739	1029,85			0,460	11	
	Total	1424	1424		165	214,5		3998	599,7		5587	2238,2				34	0,006
B	Bki/BKIJT	169	169		6	7,8		2210	331,5		2385	508,3		0,214		16	
	Lurus	848	848		158	205,4		5448	817,2		6454	1870,6				3	
	Total	1017	1017		164	213,2		7658	1148,7		8839	2378,9				19	0,002

Tabel 6. Jam Puncak Siang Senin, 8 Desember 2025

Kode Pendekat	Arah	KENDARAAN BERMOTOR												KEND. TAK BERMOTOR			
		Mobil Pemumpang (MP)			Kendaraan Berat (KB)			Sepeda Motor (SM)			Total Kendaraan Bermotor			Rasio Belok ke Kiri	Rasio Belok ke kanan	KTB	RKTB
		EMP Terlindung = 1,00 EMP Terlawan = 1,00			EMP Terlindung = 1,30 EMP Terlawan = 1,30			EMP Terlindung = 0,15 EMP Terlawan = 0,40									Rasio arus KTB terhadap arus Total
		Kend/Jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	Kend/Jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	Kend/Jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	kend/jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	RBKi	RBKa	Kend/jam	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
U	Bki/BKIJT	337	337		33	42,9		473	70,95		843	450,85		0,575		0	
	Bka	179	179		6	7,8		980	147		1165	333,8			0,425	11	
	Total	516	516		39	50,7		1453	217,95		2008	784,65				11	0,005
T	Lurus	966	966		130	169		1645	246,75		2741	1381,75				16	
	Bka	273	273		56	72,8		710	106,5		1039	452,3			0,247	2	
	Total	1239	1239		186	241,8		2355	353,25		3780	1834,05				18	0,005
B	Bki/BKIJT	177	177		22	28,6		712	106,8		911	312,4		0,177		4	
	Lurus	897	897		251	326,3		1513	226,95		2661	1450,25				1	
	Total	1074	1074		273	354,9		2225	333,75		3572	1762,65				5	0,001

Tabel 7. Jam Puncak Sore Senin, 8 Desember 2025

Kode Pendekat	Arah	KENDARAAN BERMOTOR												KEND. TAK BERMOTOR			
		Mobil Pemumpang (MP)			Kendaraan Berat (KB)			Sepeda Motor (SM)			Total Kendaraan Bermotor			Rasio Belok ke Kiri	Rasio Belok ke kanan	KTB	RKTB
		EMP Terlindung = 1,00 EMP Terlawan = 1,00			EMP Terlindung = 1,30 EMP Terlawan = 1,30			EMP Terlindung = 0,15 EMP Terlawan = 0,40									Rasio arus KTB terhadap arus Total
		Kend/Jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	Kend/Jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	Kend/Jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	kend/jam	Terlindung SMP/jam	Terlawan SMP/jam	RBKi	RBKa	Kend/jam	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
U	Bki/BKIJT	81	81		3	3,9		273	40,95		357	125,85		0,092		2	
	Bka	560	560		3	3,9		4477	671,55		5040	1235,45			0,908	0	
	Total	641	641		6	7,8		4750	712,5		5397	1361,3				2	0,000
T	Lurus	1140	1140		270	351		2745	411,75		4155	1902,75				1	
	Bka	228	228		12	15,6		834	125,1		1074	368,7			0,162	1	
	Total	1368	1368		282	366,6		3579	536,85		5229	2271,45				2	0,000
B	Bki/BKIJT	236	236		18	23,4		1272	190,8		1526	450,2		0,230		1	
	Lurus	876	876		237	308,1		2127	319,05		3240	1503,15				5	
	Total	1112	1112		255	331,5		3399	509,85		4766	1953,35				6	0,001

Kinerja Simpang Bersinyal

Kinerja simpang pada kondisi eksisting dianalisis menggunakan PKJI 2023. Evaluasi berdasarakan parameter kapasitas, Derajat kejenuhan, Panjang Antrian, tundaan dan tingkat pelayanan.

Kapasitas dan Derajat Kejenuhan

Tabel 8. Kapasitas dan Derajat Kejenuhan

Senin 8 Desember 2025			
Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas q (SMP/Jam)	Kapasitas C (SMP/Jam)	Derajat Kejenuhan, Dj
Jam Puncak Pagi			
U	707,550	634,012	1,116
T	2238,200	1772,078	1,263
B	2378,900	3001,138	0,793
Jam Puncak Siang			
U	784,650	520,076	1,509
T	1834,050	1684,216	1,089
B	1762,650	3019,253	0,584
Jam Puncak Sore			
U	1361,300	655,380	2,077
T	2271,450	1649,529	1,377
B	1953,350	2992,782	0,653

Tabel 9. Kapasitas dan Derajat Kejenuhan

Rabu 10 Desember 2025			
Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas q (SMP/Jam)	Kapasitas C (SMP/Jam)	Derajat Kejenuhan, Dj
Jam Puncak Pagi			
U	718,650	640,788	1,122
T	2101,300	1747,333	1,203
B	2518,900	3027,856	0,832
Jam Puncak Siang			
U	654,850	618,646	1,059
T	1833,150	1698,981	1,079
B	1633,150	3017,472	0,541
Jam Puncak Sore			
U	1180,000	644,203	1,832
T	2322,450	1663,858	1,396
B	1896,750	3030,031	0,626

Tabel 10. Kapasitas dan Derajat Kejenuhan

Sabtu 13 Desember 2025			
Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas q (SMP/Jam)	Kapasitas C (SMP/Jam)	Derajat Kejenuhan, Dj
Jam Puncak Pagi			
U	755,700	636,080	1,188
T	1700,650	1729,307	0,983
B	2009,700	3007,907	0,668
Jam Puncak Siang			
U	886,900	649,153	1,366
T	1661,850	1706,915	0,974
B	1825,950	3025,058	0,604
Jam Puncak Sore			
U	1038,300	649,051	1,600
T	1794,550	1714,059	1,047
B	1709,000	3009,985	0,568

Panjang Antrian dan Tingkat Pelayanan

Tabel 11. Panjang Antrian dan Tingkat Pelayanan

Hasil Pengelolaan Data Kondisi Eksisting Pada Hari Senin 8 Desember									
Keterangan	Pendekat	Arus q	Kapasitas C	Dj	Panjang Antrian	WHi	Tundaan Rata-rata TL + TG = T	Tundaan Rata-rata seluruh simpang detik/SMP	Tingkat Pelayanan
PAGI	U	707,550	634,012	1,116	105,929	18	158,921	89,461	F
	T	2238,200	1772,078	1,263	306,597	50	123,192		
	B	2378,900	3001,138	0,793	179,883	90	37,065		
SIANG	U	784,650	520,076	1,509	188,330	18	399,843	122,144	F
	T	1834,050	1684,216	1,089	217,046	50	91,871		
	B	1762,650	3019,253	0,584	110,763	90	30,024		
SORE	U	1361,300	655,380	2,077	371,064	18	601,445	219,396	F
	T	2271,450	1649,529	1,377	344,728	50	151,606		
	B	1953,350	2992,782	0,653	129,970	90	31,973		

Tabel 12. Panjang Antrian dan Tingkat Pelayanan

Hasil Pengelolaan Data Kondisi Eksisting Pada Hari Rabu 10 Desember									
Keterangan	Pendekat	Arus q	Kapasitas C	Dj	Panjang Antrian	WHi	Tundaan Rata-rata TL + TG = T	Tundaan Rata-rata seluruh simpang detik/SMP	Tingkat Pelayanan
PAGI	U	718,650	640,788	1,122	108,044	18	160,322	83,996	F
	T	2101,300	1747,333	1,203	274,316	50	111,942		
	B	2518,900	3027,856	0,832	198,151	90	38,907		
SIANG	U	654,850	618,646	1,059	91,207	18	137,892	73,377	F
	T	1833,150	1698,981	1,079	214,690	50	89,913		
	B	1633,150	3017,472	0,541	99,210	90	28,947		
SORE	U	1180,000	644,203	1,832	298,517	18	491,954	185,169	F
	T	2322,450	1663,858	1,396	356,755	50	155,058		
	B	1896,750	3030,031	0,626	123,384	90	31,180		

Tabel 13. Panjang Antrian dan Tingkat Pelayanan

Hasil Pengelolaan Data Kondisi Eksisting Pada Hari Sabtu, 13 Desember 2025									
Keterangan	Pendekat	Arus q	Kapasitas C	Dj	Panjang Antrian	WHi	Tundaan Rata-rata TL + TG = T	Tundaan Rata-rata seluruh simpang detik/SMP	Tingkat Pelayanan
PAGI	U	755,700	636,080	1,188	123,724	18	189,674	75,419	F
	T	1700,650	1729,307	0,983	182,347	50	75,430		
	B	2009,700	3007,907	0,668	135,501	90	32,448		
SIANG	U	886,900	649,153	1,366	171,745	18	268,162	95,390	F
	T	1661,850	1706,915	0,974	176,886	50	74,421		
	B	1825,950	3025,058	0,604	116,603	90	30,555		
SORE	U	1038,300	649,051	1,832	234,987	18	378,105	130,945	F
	T	1794,550	1714,059	1,396	203,774	50	84,448		
	B	1709,000	3009,985	0,626	106,020	90	29,609		

Perbandingan Hasil Analisa PKJI 2023 dan Vissim 2025

Tabel 14. Perbandingan Hasil Analisa PKJI 2023 dan Vissim 2025

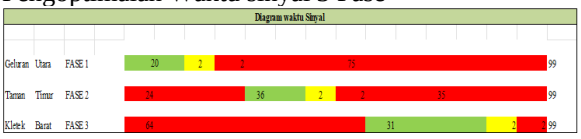
No	Pendekat	Tundaan (det/smp)		Panjang Antrian (m)	
		PKJI 2023	VISSIM	PKJI 2023	VISSIM
1	Utara	601,445	97,765	371,064	71,537
2	Timur	151,606	95,063	344,728	286,350
3	Barat	31,973	67,221	129,970	233,411

Alternatif Perbaikan Simpang

Berdasarkah hasil pengamatan dan evaluasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa kinerja Simpang Tiga Bersinyal Jl Raya Geluran-Jl Raya Taman-Jl Raya Kletek masih belum memenuhi syarat, Baik pada Derajat Kejenuhan maupun Tundaan yang berdasarkan ketentuan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan Peraturan Menteri Perhubungan No.96 Tahun 2015. Hal tersebut ditunjukkan oleh tingkat pelayanan simpang yaitu tingkat pelayanan F, sehingga kondisi simpang dinilai belum memenuhi memenuhi syarat tingkat pelayanan Karena tingkat pelayanan sekurang kurangnya B.

Alternatif Perbaikan I

Pengoptimalan Waktu sinyal 3 Fase



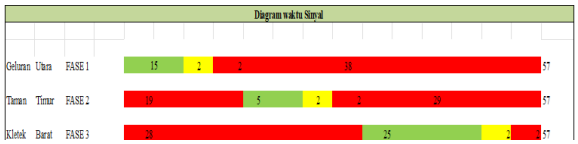
Gambar 6. Diagram Siklus Pengoptimalan 3 Fase

Tabel 15. Kinerja Simpang Geluran Menggunakan Optimasi Waktu sinyal 3 Fase

Kode Pendekat	Arus lalu lintas (q)	Kapasitas (C)	Waktu Hijau (detik)	Waktu Siklus (detik)	Panjang Antrian (PA)	Deraja Kejenuhan (DJ)	Tundaan Simpang rata-rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
U	1361,300	1233,111	20	99	104,519	1,104	58,55	E
T	2271,450	2057,556	36		159,817	1,104		
B	1953,350	1769,410	31		126,218	1,104		

Alternatif Perbaikan II

Pengoptimalan waktu sinyal 3 Fase, Pelebaran Geometrik Jalan 0,4 meter serta penerapan lurus jalan terus pendekat Timur



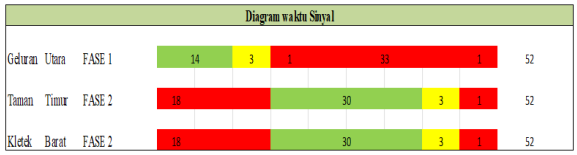
Gambar 7. Diagram Siklus Pengoptimalan 3 Fase dan Pelebaran Jalan

Tabel 16. Kinerja Simpang Geluran Menggunakan pengoptimalan Waktu sinyal 3 Fase dan Pelebaran Jalan

Kode Pendekat	Arus lalu lintas (q)	Kapasitas (C)	Waktu Hijau (detik)	Waktu Siklus (detik)	Panjang Antrian (PA)	Deraja Kejenuhan (DJ)	Tundaan Simpang Simpang detik/SMP	Tingkat Pelayanan
U	1361,300	1775,006	15	57	44,0553	0,767	22,66	C
T	368,700	480,750	5		13,6318	0,767		
B	1953,350	2546,983	25		50,6296	0,767		

Alternatif Perbaikan Simpang III

Perubahan Waktu sinyal 2 Fase



Gambar 8. Diagram Siklus Perubahan Waktu Sinyak 2 Fase

Tabel 16. Kinerja Simpang Geluran Menggunakan Perubahan Waktu Sinyal 2 Fase

Kode Pendekat	Arus lalu lintas (q)	Kapasitas (C)	Waktu Hijau (detik)	Waktu Siklus (detik)	Panjang Antrian (PA)	Deraja Kejenuhan (DJ)	Tundaan Simpang rata-rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
U	1361,3	1707,5433	14	52	43,558	0,797	917,23	F
T	2271,45	2849,1877	30		57,782	0,797		
B	1953,35	250,69691	30		340,716	7,792		

Dari Hasil Perhitungan, Alternatif yang layak digunakan adalah alternatif perbaikan II, dapat dilihat bahwa nilai derajat kejenuhan pada masing-masing pendekat ≤0,85 ,dengan tundaan rata-rata simpang 22,66 detik/SMP, dengan mempertimbangkan kondisi tersebut, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C untuk jalan arteri sekunder dikawasan perkotaan masih dapat diterima sebagai acuan dalam mengevaluasi kinerja simpang pada lokasi penelitian.

Perbandingan Hasil Analisis PKJI 2023 DAN Vissim 2025

Tabel 17. Perbandingan Hasil Analisis PKJI 2023 dan Vissim 2025

No	Pendekat	Tundaan		Panjang Antrian	
		PKJI 2023	VISSIM	PKJI 2023	VISSIM
1	UTARA	25,179	7,432	44,055	3,737
2	TIMUR	37,055	33,583	13,632	16,149
3	BARAT	18,196	70,316	50,630	230,018

Prediksi Kendaraan 5 Tahun Mendatang

Tabel 18. Pertumbuhan Lalu Lintas Prediksi 5 (2030) Tahun Berdasarkan PKJI 2023

Kode Pendekat	Arus lalu lintas (q)	Kapasitas (C)	Waktu Hijau (detik)	Waktu Siklus (detik)	Panjang Antrian (PA)	Deraja Kejenuhan (DJ)	Tundaan Simpang rata-rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
U	1721	1775,006	15	57	63,8817	0,970	29,76	D
T	466	480,750	5		21,5465	0,970		
B	2469	2546,983	25		77,0551	0,970		

Analisa Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

Tabel 19. Biaya Perjalanan Senin, 8 Desember 2025

No.	Periode	Sepeda Motor (SM)		Mobil Penumpang (MP)		Kendaraan Sedang (KS)	
		BiBBM Tundaan Eksisting	BiBBM (Tundaan Alternatif)	BiBBM Tundaan Eksisting	BiBBM Tundaan Alternatif	BiBBM Tundaan Eksisting	BiBBM Tundaan Alternatif
1	06.00-07.00	Rp 818.978,90	Rp 206.294,99	Rp 936.130,45	Rp 235.804,64	Rp 145.989,49	Rp 36.773,72
2	07.00-08.00	Rp 760.088,79	Rp 218.026,52	Rp 823.594,46	Rp 236.242,71	Rp 110.761,59	Rp 31.771,24
3	08.00-09.00	Rp 449.834,25	Rp 206.613,01	Rp 674.414,11	Rp 309.764,61	Rp 119.867,84	Rp 55.056,40
4	09.00-10.00	Rp 336.043,73	Rp 131.026,70	Rp 660.889,85	Rp 257.687,34	Rp 133.838,35	Rp 52.184,87
5	10.00-11.00	Rp 335.078,47	Rp 101.052,41	Rp 735.782,29	Rp 221.896,00	Rp 161.074,76	Rp 48.576,66
6	11.00-12.00	Rp 1.280.128,65	Rp 89.263,93	Rp 4.524.513,26	Rp 315.496,27	Rp 699.962,65	Rp 48.808,70
7	12.00-13.00	Rp 293.886,83	Rp 79.352,72	Rp 782.190,25	Rp 211.200,08	Rp 187.214,74	Rp 50.550,06
8	13.00-14.00	Rp 259.760,92	Rp 86.626,79	Rp 650.578,49	Rp 216.959,22	Rp 152.166,98	Rp 50.745,65
9	14.00-15.00	Rp 222.069,36	Rp 75.110,09	Rp 537.972,88	Rp 181.957,52	Rp 121.678,40	Rp 41.155,05
10	15.00-16.00	Rp 307.368,76	Rp 94.576,14	Rp 562.350,79	Rp 173.033,09	Rp 149.105,27	Rp 45.879,09
11	16.00-17.00	Rp 858.913,56	Rp 133.408,51	Rp 1.349.044,62	Rp 209.536,84	Rp 335.117,01	Rp 52.051,18
12	17.00-18.00	Rp 1.591.966,74	Rp 178.472,87	Rp 2.417.551,57	Rp 271.027,87	Rp 549.637,21	Rp 61.618,96
Total		**Rp 7.514.118,96**	**Rp 1.599.824,66**	**Rp 14.655.013,05**	**Rp 2.840.606,18**	**Rp 2.866.414,31**	**Rp 575.171,58**

Tabel 20. Rekaptulasi Biaya Kerugian Hari Senin, 8 Desember 2025

No.	Periode	Tundaan	Biaya kerugian akibat kemacetan lalu lintas			Total
		jam	Sepeda Motor	Mobil Penumpang	Kendaraan Sedang	Rp/jam
1	06.00-07.00	0,01859	Rp 612.683,91	Rp 700.325,81	Rp 109.215,77	Rp 1.422.225,49
2	07.00-08.00	0,01715	Rp 542.062,27	Rp 587.351,75	Rp 78.990,35	Rp 1.208.404,38
3	08.00-09.00	0,01027	Rp 243.221,24	Rp 364.649,51	Rp 64.811,44	Rp 672.682,19
4	09.00-10.00	0,01098	Rp 205.017,03	Rp 403.202,51	Rp 81.653,48	Rp 689.873,02
5	10.00-11.00	0,01505	Rp 234.026,06	Rp 513.886,29	Rp 112.498,10	Rp 860.410,46
6	11.00-12.00	0,09137	Rp1.190.864,72	Rp 4.209.016,99	Rp 651.153,95	Rp 6.051.035,67
7	12.00-13.00	0,01666	Rp 214.534,12	Rp 570.990,17	Rp 136.664,67	Rp 922.188,96
8	13.00-14.00	0,01252	Rp 173.134,13	Rp 433.619,27	Rp 101.421,33	Rp 708.174,73
9	14.00-15.00	0,01098	Rp 146.959,28	Rp 356.015,37	Rp 80.523,35	Rp 583.498,00
10	15.00-16.00	0,01300	Rp 212.792,62	Rp 389.317,71	Rp 103.226,18	Rp 705.336,51
11	16.00-17.00	0,03181	Rp 725.505,05	Rp 1.139.507,78	Rp 283.065,84	Rp 2.148.078,67
12	17.00-18.00	0,05124	Rp1.413.493,87	Rp 2.146.523,70	Rp 488.018,25	Rp 4.048.035,82
Total biaya kerugian akibat kemacetan (Rp/Jam)						**Rp 20.019.943,89**
Rata-rata biaya kerugian akibat kemacetan (Rp/Jam)						**Rp 1.668.328,66**
Biaya kerugian pada kondisi termacet (Rp/Jam)						**Rp 6.051.035,67**

Tabel 21. Rekaptulasi Biaya Kerugian Hari Rabu, 10 Desember 2025

No.	Periode	Tundaan	Biaya kerugian akibat kemacetan lalu lintas			Total
		jam	Sepeda Motor	Mobil Penumpang	Kendaraan Sedang	Rp/jam
1	06.00-07.00	0,00171	Rp 215.164,00	Rp 188.109,59	Rp 18.421,99	Rp 421.695,58
2	07.00-08.00	0,00177	Rp 678.779,66	Rp 713.988,15	Rp 82.407,60	Rp 1.475.175,40
3	08.00-09.00	0,00307	Rp 268.697,11	Rp 430.312,38	Rp 52.837,55	Rp 751.847,03
4	09.00-10.00	0,00178	Rp 155.079,91	Rp 298.829,52	Rp 44.810,92	Rp 498.720,35
5	10.00-11.00	0,00163	Rp 172.877,05	Rp 373.631,32	Rp 62.313,33	Rp 608.821,70
6	11.00-12.00	0,00213	Rp 124.259,85	Rp 329.997,62	Rp 71.077,23	Rp 525.334,70
7	12.00-13.00	0,00299	Rp 128.297,44	Rp 355.466,18	Rp 73.040,90	Rp 556.804,52
8	13.00-14.00	0,00185	Rp 164.045,86	Rp 435.192,30	Rp 76.205,15	Rp 675.443,30
9	14.00-15.00	0,00200	Rp 188.228,58	Rp 487.448,28	Rp 80.469,02	Rp 756.145,89
10	15.00-16.00	0,00269	Rp 117.207,46	Rp 304.083,78	Rp 57.359,19	Rp 478.650,43
11	16.00-17.00	0,00450	Rp 397.753,78	Rp 121.477,24	Rp 112.509,26	Rp 631.740,28
12	17.00-18.00	0,00401	Rp 1.315.762,52	Rp 1.715.281,49	Rp 401.289,87	Rp 3.432.333,88
Total biaya kerugian akibat kemacetan (Rp/Jam)						**Rp 10.812.713,06**
Rata-rata biaya kerugian akibat kemacetan (Rp/Jam)						**Rp 901.059,42**
Biaya kerugian pada kondisi termacet (Rp/Jam)						**Rp 3.432.333,88**

Tabel 21. Rekaptulasi Biaya Kerugian Hari Sabtu, 13 Desember 2025

No.	Periode	Tundaan	Biaya kerugian akibat kemacetan lalu lintas			Total
		jam	Sepeda Motor	Mobil Penumpang	Kendaraan Sedang	Rp/jam
1	06.00-07.00	0,00268	Rp 206.174,90	Rp 177.375,98	Rp 28.521,45	Rp 412.072,34
2	07.00-08.00	0,00299	Rp 358.739,64	Rp 365.280,29	Rp 39.983,86	Rp 764.003,79
3	08.00-09.00	0,00452	Rp 196.741,51	Rp 297.110,07	Rp 39.140,34	Rp 532.991,92
4	09.00-10.00	0,00344	Rp 193.543,83	Rp 290.109,01	Rp 40.605,25	Rp 524.258,10
5	10.00-11.00	0,00465	Rp 247.907,85	Rp 526.497,61	Rp 83.856,41	Rp 858.261,87
6	11.00-12.00	0,00410	Rp 115.192,53	Rp 249.418,89	Rp 41.805,99	Rp 406.417,41
7	12.00-13.00	0,00515	Rp 99.339,35	Rp 207.417,65	Rp 32.801,39	Rp 339.558,39
8	13.00-14.00	0,00238	Rp 214.660,92	Rp 484.494,44	Rp 58.306,55	Rp 757.461,91
9	14.00-15.00	0,00576	Rp 299.410,67	Rp 647.828,92	Rp 89.956,45	Rp 1.037.196,04
10	15.00-16.00	0,01391	Rp 414.643,68	Rp 744.728,88	Rp 146.252,79	Rp 1.305.625,36
11	16.00-17.00	0,01549	Rp 573.404,34	Rp 962.471,17	Rp 163.423,93	Rp 1.699.299,44
12	17.00-18.00	0,02567	Rp 569.344,51	Rp 985.327,21	Rp 149.704,89	Rp 1.704.376,61
Total biaya kerugian akibat kemacetan (Rp/Jam)						**Rp 10.341.523,18**
Rata-rata biaya kerugian akibat kemacetan (Rp/Jam)						**Rp 861.793,60**
Biaya kerugian pada kondisi termacet (Rp/Jam)						**Rp 1.704.376,61**

Tabel 22. Rekaptulasi Biaya Kerugian Hari , Bulan, dan Tahun

Periode Akumulasi Waktu	Nilai Kerugian BOK (Rp)	
Rp/Jam	Rp	3.431.181,68
Rp/Hari	Rp	27.449.453,42
Rp/Bulan	Rp	548.989.068,43
Rp/Tahun	Rp	6.587.868.821,20

Analisis Tundaan dengan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak

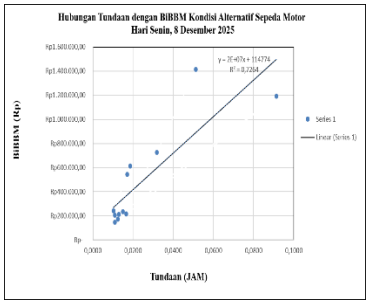
Berikut adalah analisa hubungan tundaan dengan biaya konsumsi bahan bakaar minyak pada kondisi alternatif perbaikan.

Tabel 23. Nilai Tundaan dan BiBBM Simpang Geluran

No.	Periode	Tundaan (Jam) X	BiBBM (Rp/jam) Y
1	06.00-07.00	0,0186	Rp 612.683,91
2	07.00-08.00	0,0171	Rp 542.062,27
3	08.00-09.00	0,0103	Rp 243.221,24
4	09.00-10.00	0,0110	Rp 205.017,03
5	10.00-11.00	0,0151	Rp 234.026,06
6	11.00-12.00	0,0914	Rp 1.190.864,72
7	12.00-13.00	0,0167	Rp 214.534,12
8	13.00-14.00	0,0125	Rp 173.134,13
9	14.00-15.00	0,0110	Rp 146.959,28
10	15.00-16.00	0,0130	Rp 212.792,62
11	16.00-17.00	0,0318	Rp 725.505,05
12	17.00-18.00	0,0512	Rp 1.413.493,87

Tabel 24. Hubungan Tundaan dan BiBBM

No.	Tundaan (Jam) X	BiBBM (Rp/jam) Y	XY	X^2	Y^2
1	2	3	2 x 3	2^2	3^2
1	0,0186	612683,907	11390,175	0,0003	375381569697,027
2	0,0171	542062,268	9296,139	0,0003	293831502411,632
3	0,0103	243221,242	2498,456	0,0001	59156572540,780
4	0,0110	205017,030	2250,330	0,0001	42031982434,050
5	0,0151	234026,064	3522,623	0,0002	54768198761,328
6	0,0914	1190864,721	108814,681	0,0083	1418158783692,160
7	0,0167	214534,116	3573,846	0,0003	46024886917,116
8	0,0125	173134,130	2167,960	0,0002	29975427024,514
9	0,0110	146959,276	1613,361	0,0001	21597028883,384
10	0,0130	212792,624	2765,384	0,0002	45280700696,782
11	0,0318	725505,052	23077,203	0,0010	526357579899,805
12	0,0512	1413493,870	72422,694	0,0026	1997964920952,020
Σ	**0,2996**	**5914294,300**	**243392,854**	**0,0138**	**4910529153910,600**



Gambar 9. Grafik Hubungan Tundaan dengan BiBBM

Tabel 25. Interpretasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00-0,199	Sangat rendah
0,20-0,399	Rendah
0,40-0,599	Sedang
0,60-0,799	Kuat
0,80-1,000	Sangat Kuat

Berdasarkan hasil analisis hubungan antara tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar minyak pada simpang Geluran untuk Sepeda motor, diperoleh nilai koefisien korelasi **r = 0,852**. Nilai ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel, tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar minyak **sangat kuat.** Dengan demikian, setiap perubahan besar atau kecilnya tundaan akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan biaya konsumsi bahan bakar minyak pada simpang tersebut.

5. KESIMPULAN

1. Kinerja simpang Jl Raya Geluran- Jl Raya Taman- Jl Raya Kletek pada kondisi eksisting memiliki tingkat pelayanan F, dengan Derajat Kejenuhan untuk Pendekat Utara= 2,077, Pendekat Timur = 1,377, Pendekat Barat 0,653. Untuk Panjang antrian pada Pendekat utara = 371,064 m , Pendekat Timur = 344,728 m, dan Pendekat Barat = 129, 97 m, dengan tundaan rata-rata simpang Geluran sebesar 219,396 detik/SMP. Hasil analisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan Pemodelan Vissim 2025 menunjukkan bahwa simpang ini tidak mampu melayani volume lalu lintas yang ada, dengan nilai tundaan dan panjang antrian yang tinggi.
2. Dalam Evaluasi Kinerja Simpang ini, dari ketiga solusi alternatif perbaikan, didapatkan alternatif yang direkomendasikan yaitu Pengoptimalan waktu sinyal 3 Fase dan Pelebaran Geometrik Jalan 0,4 meter serta penerapan lurus jalan terus pendekat Timur, dari hasil perhitungan panjang antrian untuk Pendekat Utara = 44,055 m, Pendekat Timur = 13, 632, Pendekat Barat = 50,6296, Derajat Kejenuhan untuk Pendekat Utara= 0,767, Pendekat Timur = 0,767, Pendekat Barat 0,767 dengan Tundaan rata-rata simpang 22,66 det/smp, dengan tingkat pelayanan C, berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015, dimana tingkat pelayanan untuk jalan arteri sekunder sekurang-kurangnya C (5-25 detik). Alternatif ini masih layak dipertimbangkan karena lokasi simpang berada dikawasan perkotaan dan permukiman dengan tingkat aktivitas lalu lintas yang tinggi.
3. Besar Biaya Kerugian Akibat kemacetan Lalu Lintas untuk periode akumulasi waktu, per jam Biaya kerugian sebesar Rp. 3.431.181.68, Per Hari Rp. 27.449.453.42, Per Bulan Rp. 548.989.068.43, dan untuk per Tahun 6.587.868.821.20. Model Hubungan antara tundaan dengan biaya bahan bakar minyak berdasarkan hasil analisis regresi linear sederhana
pada kondisi eksisting diperoleh persamaanY = 155127,651+14954136,0X. Hasil Uji signifikan menunjukkan nilai F_{hitung} = 18,580 > F_{tabel} = 4,9646, serta nilai t_{hitung} = 4,310 > t_{tabel} = 2,228. Pada Kondisi alternatif, diperoleh persamaan regresi Y= 114774,24 + 15142766,6X, dengan nilai F_{hitung} = 26,545 > F_{tabel} = 4,9646 dan nilai t_{hitung} = 5,152 > t_{tabel} = 2,228. Hasil Pengujian tersebut menunjukkan bahwa H0 ditolak, artinya ada pengaruh tundaan terhadap biaya konsumsi bahan bakar minyak. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai koefisien korelasi untuk hubungan tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar minyak untuk kondisi eksisting sebesar r = 0,806 dan kondisi alternatif sebesar r = 0,852, Nilai Ini menunjukkan bahwa hubungan antara tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar minyak sangat kuat. Dengan demikian, Setiap Perubahan besar atau kecilnya tundaan akan secara signifikan memengaruhi peningkatan biaya konsumsi Bahan Bakar minyak pada simpang tersebut

4. Prediksi Kinerja simpang tiga Geluran untuk 5 tahun mendatang yang ditinjau berdasarkan PKJI 2023, perbaikan telah dianalisis, dengan alternatif yaitu Pengoptimalan waktu sinyal 3 Fase dan Pelebaran Geometrik 0,4 m serta penerapan lurus jalan terus pendekat Timur, yang dimana hasil prediksi kinerja simpang menunjukkan tundaan rata-rata 29,76 det/SMP, Tingkat Pelayanan D, berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015, dimana tingkat pelayanan untuk jalan arteri primer sekurang-kurangnya B (5-15 detik). Ini menunjukan bahwa di 5 tahun mendatang, tingkat pelayanan tidak memenuhi standar.

DAFTAR PUSTAKA

Agustiningrum, D., Subagyo, U., & Ratnaningsih, D. (2021). *Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Dan Biaya Operasional Kendaraan Pada Jalan Panglima Sudirman – Jalan Kh. Hasan Genggong – Jalan Serma Abdurrahman, Kota Probolinggo*. *2*(1), 70–77.

Asset, M. A., & Sugiyanto, S. (2021). Analisa Biaya Kerugian Karena Mengalami Kondisi Kemacetan Akibat Perbaikan Jalan Ditinjau Dari Waktu Tunda Perjalanan Dan Kenaikan Bahan Bakar Minyak (Bbm) Kendaraan. *Rang Teknik Journal*, *4*(1), 143–163. https://doi.org/10.31869/rtj.v4i1.2268

Bachri, S. (2023). *Evaluasi Kinerja Simpang Tiga Bersinyal Yang Berdekatan Menggunakan Metode PKJI 2014 dan Sofware Vissim (Studi Kasus Simpang Jl. Borobudur dan Simpang Jl. L. A. Sucipto, Kec. Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur)*. *Skripsi thesis, ITN MALANG*. http://eprints.itn.ac.id/13853/%0Ahttp://eprints.itn.ac.id/13853/4/BAGIAN AWAL.pdf

Badan Pusat Statistik. (2025). Kabupaten Sidoarjo Dalam Angka 2025. *Badan Pusat Statistik*, *42*, 470.

Bina Marga, D. J. (2023). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia. *Panduan Kapasitas Jalan Indonesia*, 68.

Departemen Bina Marga. (2005). Perhitungan Biaya Operasi Kendaraan Bagian I. *Departemen Bina Marga*, 29.

Hadi, R., Harahap, W., & Fauziah, M. (2025). *Evaluasi kinerja simpang dan biaya konsumsi bahan bakar pada Simpang Empat Ketandan Ringroad Timur berdasarkan PKJI 2023 dan pemodelan VISSIM*. *5*(1).

Hormansyah, D. S., Sugiarto, V., & Amalia, E. L. (2016). Penggunaan Vissim Model Pada Jalur Lalu Lintas Empat Ruas. *Jurnal Teknologi Informasi*, *7*, 57–67.

Khisty, C. J., & Lall, B. K. (2005). *Dasar-dasar Rekayasa Transportasi. Jakarta: Erlangga*.

Morlok, E. K. (1991). *Introduction to Transport Engineering and Planning (Pengantar teknik dan perencanaan transportasi)*. Erlangga.

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2015). PM No 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas. In *Jakarta*.

Prasetyanto, D. (2019). Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi,Jakarta. In *Erlangga. Jakarta* (Vol. 01).

PUPR. (2004). *Pedoman Survai Pencacahan Lalu Lintas Dengan Cara Manual* (pp. 1–36).

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.

Sugiyanto, G., Malkhamah, S., Sipil, J. T., Lingkungan, D., Munawar, A., & Sutomo, H. (2011). Pengembangan Model Biaya Kemacetan Bagi Pengguna Mobil Pribadi Di Daerah Pusat Perkotaan Yogyakarta. *Jurnal Transportasi*, *11*(2), 87–94.

Ulum, M. C. (2023). *Evaluasi Kinerja Simpang dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar pada Simpang Bersinyal Jalan Raya Kasri-Jalan Raya Gempol-Jalan Patimura-Jalan WR.Supratman di Kabupaten Pasuruan*. http://eprints.itn.ac.id/14005/

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022. (2022). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan. *Pemerintah Republik Indonesia*, *134229*, 77.