EVALUASI KINERJA SIMPANG TIGA BERSINYAL DAN PENGARUH TERHADAP BIAYA BAHAN BAKAR MINYAK

Hesti Dwida Austin Kudji[1], Nusa Sebayang[2], dan Annur Ma'aruf[3]

[1]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bend. Sigura-gura Nomor 2 Kota Malang
Email: hestikudji2004@gmail.com
[2] Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bend. Sigura-gura Nomor 2 Kota Malang
Email: nusasebayang@lecturer.itn.ac.id
[3] Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bend. Sigura-gura Nomor 2 Kota Malang
Email: annur2017@lecture.itn.ac.id

ABSTRACT

The increase in traffic volume that is not matched by intersection capacity has resulted in increased delay, queue length, and fuel consumption of Diponegoro Street-Hayam Wuruk Street-Gondanglegi, Malang Refency. The study aimed to evaluate the intersection performance using the 2023 Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI 2023) and PTV Vissim 25 simulation, analyse the effect of delay on fuel consumption cost (BiBBM) using the LAPI-ITB method, evaluate the effectiveness of improvement alternatives, and predict the intersection performance over the next five years. The data used consisted of primary data obtained from field surveys, including traffic volume, intersection geometry, queue length, and signal cycle time, as well as secondary data collected from supporting literature. The analysis was conducted based on capacity, degree of saturation, queue length, delay, and level of service in accordance with PKJI 2023 and Minister of Transportation Regulation No. 96 of 2015. The analysis of the existing condition dhowed a peak-hour traffic volume of 2,069.5 PCU/h, a degree of saturation of 1.04, and an average delay of 58,64 s/PCU based on PKJI 2023 and 59.14 s/PCU based on PTV Vissim 25, indicating Level of Service (LOS) E. Simple linear regression analysis for motorcycles produced the equation $Y = -168390.0471 + 23390741.7X$ with correlation coefficient of $r = 0.944$, indicating a very strong relationship between delay and fuel consumption cost. The implementation of improvement Alternative II resulted in a degree of saturation <0.85, with an average delay of 23,676 s/PCU based on PKJI 2023 and 33s/PCU based on PTV Vissim 25 (LOS C). The five-year prediction after the implementation of the improvement alternative showed an average delay of 31.50 s/PCU with Level of Service (LOS) D.

Keywords: Sognalized Intersection, PKJI 2023, PTV Vissim 25, Level of Service, Fuel Consmption Cost

ABSTRAK

Peningkatan volume lalu lintas yang tidak diimbangi kapasitas simpang menyebabkan meningkatnya tundaan, panjang antrian, dan konsumsi bahan bakar minyak. Penelitian ini dilakukan pada Penelitian ini dilakukan pada Simpang Tiga Bersinyal Jl. Diponegoro-Jl. Hayam Wuruk-Gondanglegi, Kabupaten Malang. Penelitian bertujuan mengevaluasi kinerja simpang menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan pemodelan PTV Vissim 25, menganalisis pengaruh tundaan terhadap biaya konsumsi bahan bakar minyak (BiBBM) menggunakan metode LAPI-ITB, serta mengevaluasi efektivitas alternatif perbaikan dan memprediksi kinerja simpang lima tahun mendatang. Data yang digunakan berupa data primer hasil survei lapangan berupa volume lalu lintas, geometri simpang, panjang antrian, dan waktu siklus hasil survei lapangan serta data sekunder dari literatur pendukung. Analisis dilakukan berdasarkan kapasitas, derajat kejenuhan, panjang antrian, tundaan, dan tingkat pelayanan sesuai PKJI 2023 dan PM No. 96 Tahun 2015. Hasil analisis kondisi eksisting menunjukkan volume lalu lintas jam puncak sebesar 2.069,5 SMP/jam, derajat kejenuhan 1,04, serta tundaan rata-rata sebesar 58,64 det/SMP berdasarkan PKJI 2023 dan 59,14 det/SMP berdasarkan Vissim 25 dengan tingkat pelayanan (LOS) E. Analisis regresi linear sederhana pada sepeda motor menghasilkan persamaan $Y = -168390{,}0471 + 23390741{,}7X$ dengan koefisien korelasi $r = 0{,}944$, yang menunjukkan hubungan sangat kuat antara tundaan dan biaya konsumsi bahan bakar minyak. Penerapan alternatif perbaikan II menghasilkan derajat kejenuhan <0,85 dengan tundaan rata-rata sebesar 23,676 det/SMP berdasarkan PKJI 2023 dan 33 det/SMP berdasarkan Vissim 25 (LOS C). Hasil prediksi lima tahun mendatang setelah penerapan alternatif perbaikan menunjukkan tundaan rata-rata sebesar 31,50 det/SMP dengan tingkat pelayanan (LOS) D.

Kata kunci: Simpang Bersinyal, PKJI 2023, PTV Vissim 25, Tingkat Pelayanan, Biaya Bahan Bakar Minyak

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan perkembangan sarana transportasi memicu peningkatan jumlah kendaraan pribadi maupun umum, sehingga pemerintah perlu menyeimbangkan pertumbuhan kendaraan dengan kapasitas layanan jalan agar mobilitas barang, jasa, dan manusia dapat berjalan dengan lancar.Simpang Jl. Diponegoro – Jl.Hayam Wuruk – Gondanglegi-Turen merupakan jalan Provinsi. Ruas jalan ini termasuk ruas jalan kelas I dengan fungsi jalan arteri primer yang berfungsi melayani angkutan umum dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, serta menjadi penghubung antar pusat kegiatan nasional dan pusat kegiatan wilayah. Jl. Diponegoro ini menghubungkan Kabupaten Malang dengan Kabupaten Blitar dan Kabupaten Lumajang, sedangkan Jl. Hayam Wuruk berfungsi sebagai jalur alternatif menuju Kota Malang. Selain itu situasi lingkungan yang padat akibat adanya beberapa pusat kegiatan masyarakat seperti pasar, sekolah, kantor dan sebagainya sehingga menyebabkan tingginya volume lalu lintas di kawasan simpang tersebut.

Volume lalu lintas yang padat pada simpang tiga ini mengakibatkan panjang antrian serta tundaan yang tinggi sehingga terjadi kemacetan mengakibatkan tertundanya aktivitas warga sekitar. Meskipun dilengkapi alat pemberi isyarat lalu lintas (APILL) kemacetan masih terjadi, terutama pada jam puncak, diperburuk oleh pelanggaran rambu lalu lintas dan parkir sembarangan pada bahu jalan oleh kendaraan kecil maupun besar. Dengan kondisi seperti ini, kendaraan yang sudah melewati simpang sering kali tertahan konflik, sehingga pada fase hijau selanjutnya masih terjadi antrian kendaraan.

Kemacetan dapat menimbulkan pemborosan bahan bakar dan waktu perjalanan, serta meningkatkan biaya konsumsi bahan bakar akibat tundaan kendaraan, sehingga dilakukan perhitungan estimasi biaya bahan bakar akibat tundaan. Oleh karena itu, evaluasi kinerja simpang dilakukan sebagai upaya untuk merumuskan solusi permasalahan kemacetan dan biaya akibat tundaan. Evaluasi ini berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, serta didukung oleh pemodelan lalu lintas menggunakan software Vissim 2025 yang mampu mempresentasikan kondisi lalu lintas secara dinamis dan realistis dan untuk konsumsi bahan bakar minyak menggunakan LAPI-ITB.

2. LANDASAN TEORI

Persimpangan

Persimpangan merupakan pertemuan atau percabangan jalan, baik itu sebidang maupun tidak sebidang (Pemerintah Republik Indonesia, 2015). Persimpangan juga merupakan daerah pertemuan dua atau lebih ruas bergabung, berpotongan atau bersilang. Persimpangan juga dapat disebut sebagai pertemuan antara dua jalan atau lebih, baik sebidang maupun tidak sebidang atau titik jaringan jalan dimana jalan-jalan bertemu dan lintasan jalan saling berpotongan (Morlok, 1991).

Simpang Bersinyal

Simpang dikelompokkan menjadi dua yaitu smpang jalan tak bersinyal (simpang yang tidak memkai sinyal lalu lintas) dan simpang jalan bersinyal (dapat berjalan ketika sinyal lalu lintas menunjukkan sinyal hijau pada lengan simpangnya). 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. (PKJI, 2023).

Kinerja Simpang

Tingkat pelayanan dibagi atas beberapa tingkat yaitu A, B, C, D, E dan F. Penilaian diurutkan dari yang terbaik dengan kondisi operasional yang paling optimal yaitu tingkat pelayanan A sampai terburuk yaitu tingkat pelayanan F (PM No.96, Tahun 2015).

Tabel 1. Kriteria Tingkat Pelayanan Pada Simpang Bersinyal

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

Sumber : Peraturan Menteri No. 96 Tahun 2015

Kapasitas Simpang APILL

Analisis kapasitas dilakukan secara terpisah untuk setiap pendekat. Satu lengan simpang APILL dapat terdiri dari 1 (satu) pendekat atau lebih, yang kemudian disebut sebagai dua atau lebih sub-pendekat, termasuk pengaturan fasenya. Untuk setiap pendekat atau sub-pendekat, lebar efektif (L_E) ditentukan dengan mempertimbangkan lebar pendekat pada bagian masuk dan keluar simpang APILL. Kapasitas (C) kemudian dihitung dengan persamaan berikut :

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

dengan :

C = Kapasitas simpang APILL (SMP/jam)
J = Arus jenuh (SMP/jam)
W_H = Total waktu hijau dalam satu siklus (detik)
S = Waktu siklus (detik)

Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara arus lalu lintas (q) terhadap kapasitas (C).

Panjang Antrian
Panjang antrian merupakan jumlah rata-rata antrian kendaraan pada awal isyarat lampu hijau yang dihitung sebagai jumlah kendaraan terhenti yang tersisa dari fase hijau sebelumnya ditambah jumlah kendaraan yang datang terdiri dalam antrian selama fase merah.

Rasio Kendaraan Terhenti
Rasio kendaraan henti merupakan jumlah kendaraan yang harus berhenti akibat isyarat merah sebelum melewati suatu simpang APILL terhadap jumlah arus pada fase yang sama pada pendekat yang ditinjau.

Tundaan
Tundaan merupakan waktu tempuh tambahan yang dugunakan pengemudi untuk melalui suatu simpang. Tundaan pada simpang APILL terjadi karena dua hal yaitu tundaan lalu lintas (T_{LL}) dan tundaan geometri (T_G).

Tingkat Pelayanan Simpang
Tingkat pelayanan pada simpang merupakan indikator yang menunjukkan tingkat kenyamanan simpang, yaitu perbandingan antara volume lalu lintas yang ada terhadasap kapasitas simpang tersebut. Penilaian tingkat pelayanan simpang didasarkan pada derajat kejenuhan (D_J) dan waktu tundaan (T).

Software Vissim
Vissim merupakan perangkat lunak simulasi arus lalu lintas untuk keperluan rekayasa lalu lintas, perencanaan transportasi, waktu sinyal, angkutan umum, serta perencanaan kota yang bersifat Mikroskopis dalam aliran lalu lintas multimoda yang berarti tiap kesatuan moda akan disimulasikan secara individual.

Biaya Operasional Kendaraan
Biaya operasional kendaraaan adalah jumlah biaya yang dikeluarkan untuk mengoperasikan kendaraan pada suatu kondisi lalu lintas dan jalan untuk suatu jenis kendaraan/km (Pedoman T-15-2005-B). Biaya operasional yang dihitung yaitu mencakup konsumsi bahan bakar (LAPI-ITB) dan biaya konsumsi bahan bakar (Bina Marga). perhitungan jumlah konsumsi bahan bakar kendaraan dalam kondisi *idle* yang dikonfersikan ke dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP). Kondisi *idle* merupakan kondisi dimana saat kendaraan berhenti atau bergerak sangat lambat dengan penggunaan energi yang minimal.

Model Hubungan Tundaan dengan Biaya Operasional Kendaraan

Tundaan pada simpang bersinyal menyebabkan kendaraan berada lebih lama dalam kondisi *idle.* Hubungan antara tundaan dan BiBBM dianalisis menggunakan regresi linear sederhana dengan persamaan :

$$Y = a + bX$$

dengan :
Y = Biaya konsumsi bahan bakar minyak
X = Tundaan
A = Konstanta
B = Koefisien regresi

Kekuatan hubungan antarvariabel dievaluasi menggunakan koefisien korelasi (r), sedangkan besarnya pengaruh tundaan terhadap BiBBM ditunjukkan oleh koefisien determinasi (R^2).

3. METODOLOGI STUDI

Lokasi Studi

Lokasi studi berada pada simpang tiga Jl. Diponegoro – Jl. Hayam Wuruk – Gondanglegi-Turen, Kec. Gondanglegi, Kab. Malang, Jawa Timur.



Gambar 2. Lokasi Studi Simpang Tiga Jl. Diponegoro – Jl. Hayam Wuruk – Gondanglegi

Metode Pengumpulan Data
Dalam studi ini data yang digunakan yaitu data primer dan data sekunder.

Data Primer
Data primer merupakan data lapangan yang dikumpulkan secara langsung melalui survei lapangan. Data-data primer sebagai berikut :
1. Data volume lalu lintas
2. Data antrian dan tundaan
3. Data geometrik jalan
4. Data hambatan samping
5. Data waktu siklus

Data Sekunder
Data sekunder adalah data yang yang diperoleh atau dikumpulkan berdasarkan studi-studi sebelumnya atau yang diterbitkan oleh berbagai instansi lain. Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu :
1. Peta lokasi studi
2. Foto dokumentasi
3. Jumlah penduduk Kecamatan Gondalegi (BPS)
4. Daftar harga BBM

Langkah-Langkah Pengambilan Data
Tahapan pengumpulan data adalah sebagai berikut :
1. Menentukan waktu survei
2. Menentukan metode survei
3. Persiapan kebutuhan survei

4. Menentukan tenaga survei
5. Menentukan posisi penempatan surveyor
6. Menyiapkan formulir pengambilan data

Meetode Analisa Kinerja Simpang

Setelah proses pengambilan data di lokasi selesai, tahap selanjutnya adalah menganalisis volume, antrian, tundaan, hambatan samping menggunakan PKJI 2023 serta perangkat lunak Vissim 25.

Metode Solusi Alternatif

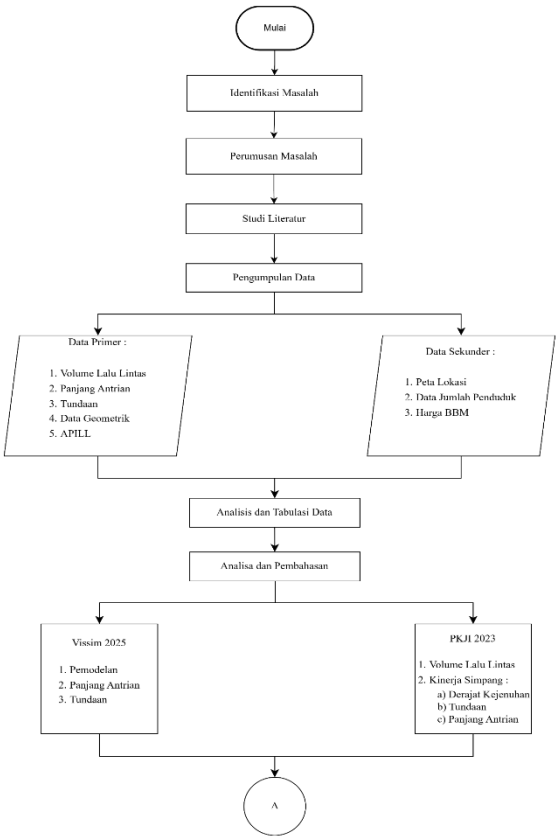
Solusi dan alernatif yang dapat diterapkan apabila persyaratan kinerja tidak terpenuhi. Beberapa solusi alternatif yang diberikan yaitu :

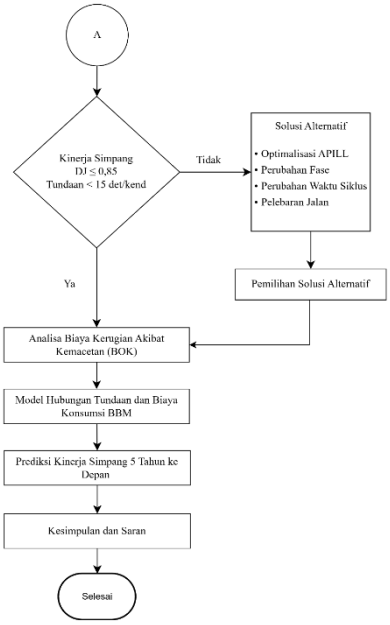
1. Optimalisasi APILL
2. Penyesuaian durasi waktu siklus
3. Perubahan pengaturan fase dan
4. Pelebaran jalan

Metode Analisa Biaya Bahan Bakar Minyak

Analisis biaya bahan bakar minyak dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu analisis konsumsi bahan bakar minyak (LAPI-ITB) dan evaluasi biaya konsumsi bahan bakar (BINA MARGA) yang melewati simpang. Selain itu, hubungan antara waktu tundaan dan biaya bahan bakar minyak akibat kemacetan di persimpangan ini dianalisis menggunakan metode regresi linear sederhana.

Diagram Alir



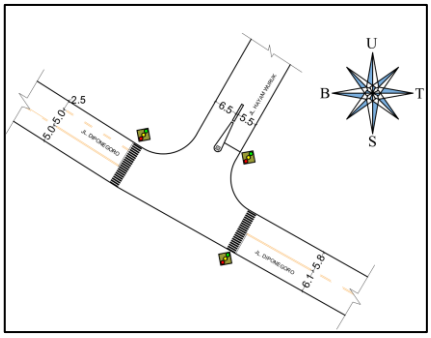


Gambar 3. Diagram Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data

1. Data Sekunder
   Jumlah penduduk Kecamatan Gondanglegi tahun 2025 sebesar 89.703 jiwa (Badan Pusat Statistik, 2025) digunakan sebagai dasar penentuan faktor ukuran kota.
2. Data Primer
   a. Data Geometrik

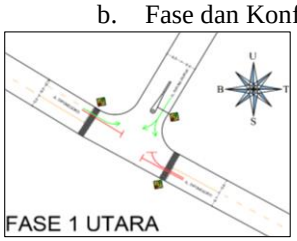


Gambar 4. Geometrik Simpang Tiga Gondanglegi

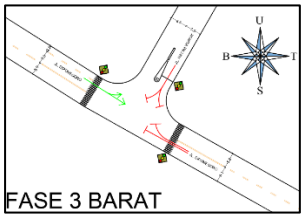
Tabel 1. Data Geometrik Pengaturan Lalu Lintas

Kode pendekat U, T, B	Tipe lingkungan jalan KIM, KOM, AT	Kelas hambatan samping T (tinggi), R (rendah)	Median Y (ada) atau T (tidak)	Kelandaian pendekat +(nanjak) atau - (turun) %	Bkjt 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 Lbkjt m	pada lajur keluar Lk m
U	KOM	R	A	1	T	0	5,5	5,5	0	6,5
T	KOM	R	T	1	T	0	6,1	6,1	0	5,8
B	KOM	R	T	1	Y	0	7,5	5	2,5	5

   b. Fase dan Konfigurasi Waktu Sinyal





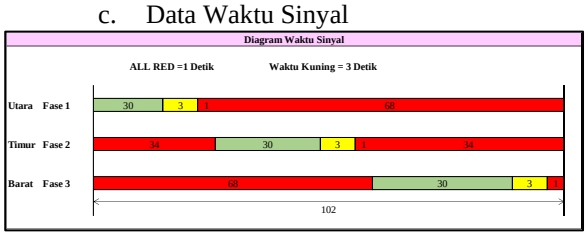


Gambar 5. Fase Sinyal Simpang Gondanglegi

Tabel 2. Konfigurasi Waktu Sinyal Simpang Gondanglegi

Nama Jalan	Pendekat	Waktu Sinyal				Waktu Siklus
		All Red	Merah	Kuning	Hijau	
Jl. Hayam Wuruk	U	1	68	3	30	102
Jl. Diponegoro	T	1	68	3	30	
Jl. Diponegoro	B	1	68	3	30	

c. Data Waktu Sinyal



Gambar 6. Digram Waktu Sinyal Simpang Gondanglegi

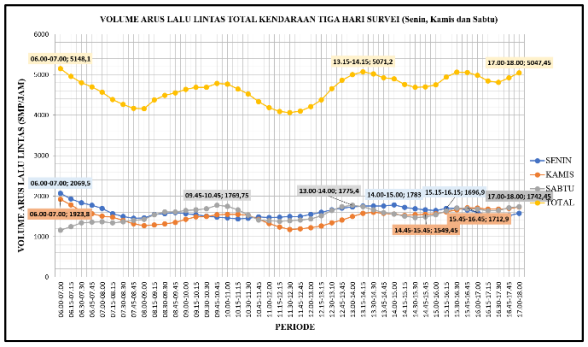
Data Kondisi Eksisting

Data volume lalu lintas diperoleh melalui survei lapangan yang dilaksanakan pada hari Senin, Kamis, dan Sabtu. Pengamatan dilakukan selama 12 jam/hari, yaitu dimulai pukul 06.00-18.00 WIB.

Berikut merupakan rekapitulasi jam puncak selama 3 (tiga) hari survei pada simpang, yaitu pada hari senin, kamis dan sabtu.

Tabel 3. Rekapitulasi jam puncak selama 3 (tiga) hari survei pada Simpang Gondanglegi

No.	Hari/Tanggal	Jam	Volume (SMP/jam)
1	Senin, 5 Januari 2026	06.00-07.00	2069,5
2	Kamis, 8 Januari 2026	06.00-07.00	1923,8
3	Sabtu, 10 Januari 2026	13.00-14.00	1775,4



Gambar 7. Grafik Volume Lalu Lintas 3 (tiga) Hari

Berdasarkan grafik dan tabel volume total yang terlampir diatas dapat diketahui bahwa puncak kepadatan volume lalu lintas pada 3 hari survei terjadi pada hari senin, 5 Januari 2026 periode pagi hari, yaitu pada kisaran waktu pukul 06.00-07.00 WIB.

Kinerja Simpang Bersinyal (Kondisi Eksisting)

Hasil analisa data yang telah dilakukan, diperoleh hasil kinerja simpang tiga Gondanglegi tiga hari survei (senin, kamis, dan sabtu) pada jam puncak adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Tingkat Pelayanan Simpanng Gondanglegi Senin, 5 Januari 2026

Hasil Pengolahan Data Kondisi Eksisting Pada Hari Senin, 5 Januari 2026									
Keterangan	Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (D_J)	Panjang Antrian (P_A)	Waktu Hijau Per Fase (i)	Tundaan Rata-Rata $T_1 + T_C = T$	Tundaan Simpang Rata-Rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
Jam Puncak Pagi									
Pagi	U	534,100	794,105	0,673	50,282	30	37,874	58,639	E
	T	885,600	907,550	0,976	95,703	30	57,075		
	B	649,800	625,633	1,039	100,121	30	77,838		
Jam Puncak Siang									
Siang	U	585,300	786,881	0,744	57,728	30	40,490	48,812	E
	T	764,850	915,391	0,836	72,059	30	44,016		
	B	603,650	626,488	0,964	83,473	30	62,958		
Jam Puncak Sore									
Sore	U	494,950	821,854	0,602	44,668	30	35,958	46,599	E
	T	671,100	919,624	0,730	58,667	30	38,889		
	B	609,200	628,915	0,969	84,770	30	63,737		

Tabel 5. Tingkat Pelayanan Simpanng Gondanglegi Kamis, 8 Januari 2026

Hasil Pengolahan Data Kondisi Eksisting Pada Hari Kamis, 8 Januari 2026									
Keterangan	Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (D_J)	Panjang Antrian (P_A)	Waktu Hijau Per Fase (i)	Tundaan Rata-Rata $T_1 + T_C = T$	Tundaan Simpang Rata-Rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
Jam Puncak Pagi									
Pagi	U	477,800	810,810	0,589	42,817	30	35,613	53,218	E
	T	820,450	897,386	0,914	83,108	30	50,332		
	B	625,550	623,477	1,003	91,602	30	70,449		
Jam Puncak Siang									
Siang	U	488,700	814,203	0,600	44,062	30	35,888	48,610	E
	T	685,150	901,550	0,760	61,144	30	40,183		
	B	624,250	629,696	0,991	89,655	30	67,819		
Jam Puncak Sore									
Sore	U	518,300	849,860	0,610	46,944	30	36,215	52,663	E
	T	691,900	912,573	0,758	61,632	30	40,056		
	B	658,050	630,061	1,044	102,075	30	78,874		

Tabel 6. Tingkat Pelayanan Simpanng Gondanglegi Sabtu, 10 Januari 2026

Hasil Pengolahan Data Kondisi Eksisting Pada Hari Sabtu, 10 Januari 2026									
Keterangan	Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (D_J)	Panjang Antrian (P_A)	Waktu Hijau Per Fase (i)	Tundaan Rata-Rata $T_1 + T_C = T$	Tundaan Simpang Rata-Rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
Jam Puncak Pagi									
Pagi	U	484,350	773,269	0,626	44,389	30	36,481	56,104	E
	T	694,200	912,283	0,761	61,953	30	40,176		
	B	678,800	630,542	1,077	110,323	30	86,394		
Jam Puncak Siang									
Siang	U	464,250	806,454	0,576	40,645	30	34,484	51,070	E
	T	755,200	903,459	0,836	71,243	30	44,130		
	B	644,750	638,134	1,010	94,881	30	71,142		
Jam Puncak Sore									
Sore	U	440,600	785,154	0,561	38,378	30	34,230	57,574	E
	T	765,300	896,665	0,853	73,297	30	45,348		
	B	685,450	636,142	1,078	111,286	30	86,230		

Dari ketiga tabel di atas, Simpang Gondanglegi di Jl. Diponegoro, Jl. Hayam Wuruk menunjukkan tingkat pelayanan yang buruk yaitu tingkat pelayanan E dengan derajat kejenuhan >0,85. karena tingkat pelayanan tersebut belum memenuhi syarat tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B, maka direncanakan alternatif perbaikan kinerja simpang.

Pemodelan Vissim 25 (Kondisi Eksisting)



Gambar 8. Visualisasi Simpang Menggunakan Software Vissim 25

Hasil pemodelan dengan menggunakan software vissim diperoleh :

1. Nilai Tundaan

Tabel 7. Nilai Tundaan Simpang Gondanglegi Vissim 25

kode Pendekat	Tundaan (det/smp)	Tingkat Pelayanan
Utara	66,4584	F
Timur	72,9409	F
Barat	59,4279	E

Sumber : Pengolahan Data Vissim 25

2. Nilai Panjang Antrian

Tabel 8. Nilai Panjang Antrian Simpang Gondanglegi Vissim 25

Kode Pendekat	Panjang Antrian (m)
Utara	64,2518
Timur	89,7798
Barat	23,4019

Sumber : Pengolahan Data Vissim 25

Berdasarkan hasil simulasi PTV Vissim 25, pendekat Timur memiliki tundaan tertinggi sebesar 72,94 det/SMP dan panjang antrian rata-rata tertinggi sebesar 89,78 m.

Alternatif Perbaikan Simpang

Hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja Simpang Tiga Gondanglegi belum memenuhi ketentuan Peratura Menteri No. 96 Tahun 2015 karena masih berada pada tingkat pelayanan LOS E, sehingga diperlukan alternatif perbaikan. Terdapat tiga upaya alternatif perbaikan yang direncanakan yaitu :

1. Optimalisasi waktu sinyal 3 fase
2. Perubahan waktu siklus 3 fase, pelebaran geometrik jalan, menghilangkan arus belok kiri jalan terus pada pendekat barat, serta penerapan lurus jalan terus pada pendekat Timur.
3. Perubahan fase menjadi 2 fase

Alternatif Perbaikan Yang Direkomendasikan

Dari ketiga alternatif di atas, alternatif yang di rekomendasikan adalah alternatif II, yaitu perubahan waktu siklus, pelebaran jalan 0,5 m pada setiap pendekat dengan penerapan lurus jalan terus pada pendekat timur.

Tabel 9. Kinerja Simpang Menggunakan Alternatif Perbaikan II

Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (D_J)	Panjang Antrian (P_A)	Waktu Hijau Per Fase (i)	Tundaan Rata-Rata $T_L + T_G = T$	Tundaan Simpang Rata-Rata detik/SMP	Tingkat Pelayanan
U	534,100	796,415	0,671	27,243	14	23,335	23,676	C
T	319,400	476,268	0,671	16,211	8	29,130		
B	649,800	968,939	0,671	35,391	16	21,275		

Berdasarkan perhitungan, alternatif ini diperoleh derajat kejenuhan ≤ 0,85 (telah memenuhi ketentuan PKJI 2023) dengan tundaan rata-rata sebesar 23,676 detik/SMP, sehingga tingkat pelayanan simpang termasuk kategori C (15-25 detik) sesuai Peraturan Menteri Nomor 96 Tahun 2015.

Prediksi Pertumbuhan Lalu Lintas 5 Tahun Mendatang

Nilai pertumbuhan kendaraan tersebut mengacu pada Manual Perkerasan Jalan Tahun 2017 dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 10. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)

	Jawa	**Sumatera**	**Kalimantan**	**Rata-rata Indonesia**
Arteri dan perkotaan	**4,80**	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Berdasarkan tabel di atas, faktor pertumbuhan lalu lintas pada jalan kolektor dan kawasaan perkotaan di Pulau Jawa ditetapkan sebesar 4,8% per tahun.

Tabel 11. Hasil Analisis Pertumbuhan Lalu Lintas 5 Tahun ke Depan (2031)

Prediksi Kinerja Simpang Untuk 5 Tahun Yang Akan Datang Menggunakan Alternatif							
Pendekat	Arus	Kapasitas	Dj	Panjang Antrian	Waktu Hijau	Tundaan Simpang Rata-Rata	Tingkat Pelayanan Simpang
U	675,19	873,38	0,773	47,49	21	31,50	D
T	403,8	522,29	0,773	28,21	11		
B	821,46	1062,57	0,773	61,71	23		

Berdasarkan hasil proyeksi pertumbuhan kendaraan selama 5 tahun mendatang, alternatif menghasilkan tundaan simpang rata-rata sebesar 30,50 detik/SMP yang termasuk dalam tingkat pelayanan D.

Konsumsi Bahan Bakar Minyak (KBBM) Kondisi Eksisting

Konsumsi bahan bakar minyak (KBBM) pada simpang tiga Gondanglegi dihitung menggunakan pendekatan LAPI-ITB pada kondisi *idle*, yaitu saat kendaraan berheti atau bergerak sangat lambat.

$$F_{SM} = 140 \times 10^{-2} \times \mathrm{Q_{SM}} \times T_{total}$$
$$= 140 \times 10^{-2} \times 904{,}95 \times (\frac{58{,}92}{3600})$$
$$= 20{,}73\ liter/jam)$$

Perhitungan di atas merupakan konsumsi bahan bakar minyak pada sepeda motor hari senin, pukul 06.00-07.00.

Tabel 12. KBBM Senin, 5 Januari 2026

No	Peiode	Tundaan	KBBM (liter)		
		jam	SM	MP	KS
1	06.00-07.00	0,0164	20,73	20,25	2,47
2	07.00-08.00	0,0111	10,32	13,44	1,24
3	08.00-09.00	0,0104	7,72	11,87	0,57
4	09.00-10.00	0,0123	9,51	15,70	0,85
5	10.00-11.00	0,0102	7,29	12,18	0,76
6	11.00-12.00	0,0106	6,88	13,58	0,58
7	12.00-13.00	0,0110	7,23	15,34	0,42
8	13.00-14.00	0,0119	8,34	18,60	0,80
9	14.00-15.00	0,0131	10,69	20,09	1,00
10	15.00-16.00	0,0126	10,70	16,63	0,85
11	16.00-17.00	0,0124	11,14	15,38	0,79
12	17.00-18.00	0,0119	10,24	14,68	0,69
Total			**120,79**	**187,76**	**11,03**

Berdasarkan hasil perhitungan, tabel di atas menunjukkan bahwa total konsumsi bahan bakar minyak (KBBM) di Simpang Gondanglegi selama 12 jam pengamatan pada hari Senin, 5 Januari 2026 sebesar 319,57 liter.

Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BiBBM) Kondisi Eksisting

Biaya konsumsi bahan bakar minyak (BiBBM) pada simpang tiga Gondanglegi dihitung menggunakan pendekatan BINA MARGA.

Tabel 13. Harga Satuan Bahan Bakar

No.	Item	Harga (Rp/liter)
1.	Pertalite	10000
2.	Pertamax	12300
3.	Solar	6800

*Sumber : (*MyPertamina | Harga BBM*)*

$$BiBBM_{SM} = KBBM_{SM} \times \frac{(HBBM_{Pertalite} + HBBM_{Pertamax})}{2}$$
$$= 20{,}73\ liter \times \frac{(10.000 + 12.300)}{2}$$
$$= Rp.231.193{,}68/liter$$

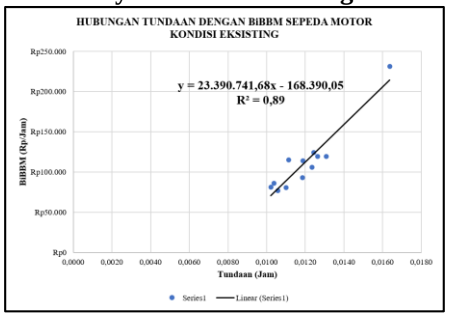
Perhitungan di atas merupakan biaya konsumsi bahan bakar minyak pada sepeda motor hari senin, pukul 06.00-07.00.

Tabel 14. BiBBM Senin, 5 Januari 2026

No	Peiode	Tundaan	BiBBM		
		jam	SM	MP	KS
1	06.00-07.00	0,0164	Rp 231.193,68	Rp 196.471,93	Rp 23.610,29
2	07.00-08.00	0,0111	Rp 115.017,44	Rp 130.325,50	Rp 11.817,65
3	08.00-09.00	0,0104	Rp 86.098,01	Rp 115.178,71	Rp 5.413,10
4	09.00-10.00	0,0123	Rp 106.030,99	Rp 152.312,74	Rp 8.149,50
5	10.00-11.00	0,0102	Rp 81.321,63	Rp 118.118,48	Rp 7.283,62
6	11.00-12.00	0,0106	Rp 76.681,75	Rp 131.766,89	Rp 5.517,38
7	12.00-13.00	0,0110	Rp 80.561,05	Rp 148.820,30	Rp 4.016,03
8	13.00-14.00	0,0119	Rp 92.936,53	Rp 180.419,78	Rp 7.628,56
9	14.00-15.00	0,0131	Rp 119.224,66	Rp 194.869,70	Rp 9.557,80
10	15.00-16.00	0,0126	Rp 119.265,20	Rp 161.340,04	Rp 8.128,14
11	16.00-17.00	0,0124	Rp 124.252,38	Rp 149.229,21	Rp 7.570,70
12	17.00-18.00	0,0119	Rp 114.189,13	Rp 142.397,80	Rp 6.612,41
Total			**Rp 1.346.772**	**Rp 1.821.251**	**Rp105.305,19**

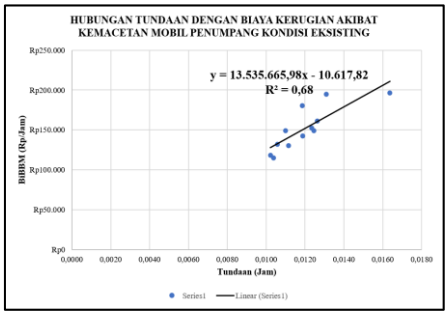
Berdasarkan hasil perhitungan, tabel di atas menunjukkan bahwa total biaya bahan bakar minyak (BiBBM) di Simpang Gondanglegi selama 12 jam pengamatan pada hari Senin, 5 Januari 2026 sebesar Rp. 3.273.328,74.

Model Hubungan Tundaan Dengan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak Kondisi Eksisting



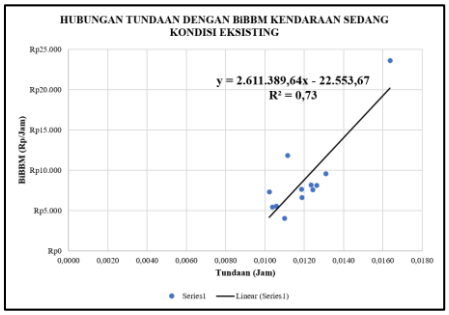
Gambar 9. Grafik Model Hubungan Tundaan dengan BiBBM Sepeda Motor

Gambar 9 di atas menunjukkan hubungan antara tundaan total 12 jam sebesar 518,27 detik dan BiBBM sepeda motor total 12 jam sebesar Rp. 1.346.772,45 pada senin 5 Januari 2026. Hasil analisis regresi menunjukkan a = -168390,05, b = 23390741,7, r = 0,944, dan R^2 = 0,89, yang mengindikasikan bahwa tundaan memiliki hubungan sangat kuat terhadap biaya konsumsi bahan bakar minyak.



Gambar 10. Grafik Model Hubungan Tundaan dengan BiBBM Mobil Penumpang

Gambar 10 di atas menunjukkan hubungan antara tundaan total 12 jam sebesar 518,27 detik dan BiBBM mobil penumpang total 12 jam sebesar Rp. 1.821.251,10 pada senin 5 Januari 2026. Hasil analisis regresi menunjukkan a = -10617,82, b = 13535666, r = 0,826, dan R^2 = 0,68, yang mengindikasikan bahwa tundaan memiliki hubungan sangat kuat terhadap biaya konsumsi bahan bakar minyak.



Gambar 11. Grafik Model Hubungan Tundaan dengan BiBBM Kendaraan Sedang

Gambar 11 di atas menunjukkan hubungan antara tundaan total 12 jam sebesar 518,27 detik dan BiBBM kendaraan sedang total 12 jam sebesar Rp. 105.305,19 pada senin 5 Januari 2026. Hasil analisis regresi menunjukkan a = -22553,67, b = 2611389,6 r = 0,855, dan R^2 = 0,73, yang mengindikasikan bahwa tundaan memiliki hubungan sangat kuat terhadap biaya konsumsi bahan bakar minyak.

Prediksi Biaya Konsumsi Bahan Bakar Minyak Setelah dilakukan Alternatif Perbaikan

Tabel 15. Prediksi Biaya Bahan Bakar Minyak Setelah Dilakukan Alternatif Perbaikan

Alternatif			
Jenis Kendaraan	Persamaan	(x) Tundaan Total (jam)	BiBBM
Sepeda Motor	Y = -168390,05 + 23390741,68 X	0,063427152	Rp 1.315.218,07
Mobil Penumpang	Y = -10617,82 + 13535666,0 X	0,063427152	Rp 847.910,91
Kendaraan Sedang	Y = -22552,67 + 2611389,6 X	0,063427152	Rp 143.079,33

Berdasarkan hasil perhitungan, dengan menggunakan persamaan regresi pada kondisi eksisting dengan tundaan total 12 jam sebesar 228,34 detik (0,0634 jam) diperoleh biaya bahan bakar minyak total sebesar Rp.2.306.208,32.

Tabel 16. Prediksi Biaya Bahan Bakar Minyak 5 Tahun Mendatang (2031)

Prediksi 5 Tahun Mendatang (2031)				
Jenis Kendaraan	Persamaan	(x) Tundaan Total (jam)	BiBBM	
Sepeda Motor	Y = -168390,05 + 23390741,68 X	0,072505886	Rp	1.527.576,41
Mobil Penumpang	Y = -10617,82 + 13535666,0 X	0,072505886	Rp	970.797,64
Kendaraan Sedang	Y = -22552,67 + 2611389,6 X	0,072505886	Rp	166.787,45

Berdasarkan hasil perhitungan, dengan menggunakan persamaan regresi pada kondisi eksisting dengan tundaan total 12 jam sebesar 261,02 detik (0,0725 jam) diperoleh biaya bahan bakar minyak total sebesar Rp.2.665.161,50.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja Simpang Gondanglegi Kabuapten Malang menggunakan metode PKJI 2023, pemodelan VISSIM 25, serta analisis biaya bahan bakan minyak akibat tundaan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kondisi eksisting Simpang Gondanglegi menunjukkan puncak arus lalu lintas sebesar 2069,5 SMP/jam pada hari senin, 5 januari 2026 pada pukul 06.00-07.00 dengan derajat kejenuhan sebesar 0,67 (Utara), 0,98 (Timur) dan 1,04 (Barat), panjang antrian 50,28 m (Utara), 95,70 m (Timur) dan 100,12 m (Barat), serta tundaan rata-rata simpang 58,64 det/SMP yang termasuk tingkat pelayanan (LOS) E berdasarkan PM No.96 Tahun 2015.
2. Berdasarkan hasil analisis, Alternatif II merupakan solusi yang paling direkomendasikan melalui perubahan waktu sinyal, pelebaran jalan 0,5 m pada pendekat utara dan timur, belok kiri mengikuti waktu sinyal pada pendekat barat, serta penerapan lurus jalan terus pada pendekat timur. Alternatif ini menurunkan panjang antrian maksimum menjadi 35,39 m, tundaan rara-rata menjadi 23,676 det/SMP, dengan tingkat pelayanan C.
3. Hubungan tundaan dengan biaya bahan bakar minyak akibat tundaan menunjukkan korelasi yang sangat kuat. Hasil regresi linear sederhana pada sepeda motor menghasilkan persamaan Y = -168390,05+23390741,68X dengan nilai r = 0,944. Nilai $F_{hitung} = 82,8 > F_{tabel} = 4,96$ dan $t_{hitung} \neq 0$ menunjukkan bahwa H_0 ditolak, sehingga tundaan berpengaruh signifikan terhadap biaya BBM. Semakin besar tundaan yang terjadi, semakin besar pula biaya konsumsi bahan bakar yang minyak yang ditimbulkan.
4. Prediksi 5 tahun mendatang dengan penerapan Alternatif II menunjukkan bahwa tundaan rata-rata simpang sebesar 35,5 detik/SMP, yang dimana pada PM No.96 Tahun 2015, tingkat pelayanan simpangnya termasuk dalam kategori "D".

Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil studi ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memasukkan komponen biaya operasional kendaraan yang lebih lengkap, seperti biaya oli, ban, suku cadang, dan pemeliharaan kendaraan, sehingga hasil analisis biaya operasional kendaraan (BOK) menjadi lebih komprehensif.
2. Pemerintah Kabupaten Malang melalui Dinas Perhubungan dan instansi terkait diharapkan dapat mengkaji lebih lanjut penerapan alternatif perbaikan yang direkomendasikan dalam studi ini. Berdasarkan hasil analisis, alternatif tersebut menunjukkan kinerja simpang yang lebih baik dibandingkan kondisi eksisting, ditinjau dari nilai tundaan, panjang antrian, dan biaya konsumsi bahan bakar minyak. Oleh karena itu, hasil studi ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan dan pengelolaan Simpang Gondanglegi guna meningkatkan pelayanan lalu lintas pada masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Agustiningrum, D. (2021). *EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL DAN BIAYA OPERASIONAL KENDARAAN PADA JALAN PANGLIMA SUDIRMAN – JALAN KH. HASAN GENGGONG – JALAN SERMA ABDURRAHMAN, KOTA PROBOLINGGO*.

Badan Pusat Statistik. (2025). Kecamatan Gondanglegi Dalam Angka 2025. *Badan Pusat Statistik*, *17*, 127.

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

Direktorat Jenderal Bina Marga, K. P. U. dan P. R. (2022). Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor: 1688/KPTS/M/2022 tentang Penetapan Ruas Jalan menurut Statusnya sebagai Jalan Nasional. *Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat*.

Gubernur Jawa Timur. (2023). *Penetapan Ruas Jalan Menurut Statusnya Sebagai Jalan Provinsi*.

Harahap, R. H. 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).

Jenderal, D., & Marga, B. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*.

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

Pemerintah Republik Indonesia. (2015). *PM_96_Tahun_2015 Tentang Pedoman*

Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas. In Jakarta.

Pemerintah Republik Indonesia. (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.

Rahmanda. (2024). *Vol.5+No.1+69-74+Rahmanda+Ibadillah. Evaluasi Simpang Bersinyal dan Biaya Operasional Kendaraan di Jl. Dr. Wahidin S - Kusuma Bangsa - Dr. Sutomo - Pattimura Kabupaten Jombang. 5*(D), 69–74.

Sugiyanto, G. (2008). Biaya Kemacetan (Congestion Charging) Mobil Pribadi Di Central Business District (Studi Kasus Kawasan Malioboro Jogjakarta). *Media Teknik Sipil*, *8*(1), PP. 59-66.

Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi* (2nd ed.). ITB, 2000.

Ulum, M. C., Sebayang, N., & Ma'ruf, A. (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*. 1–7. http://eprints.itn.ac.id/14005/