

Evaluasi kinerja simpang APILL dan estimasi konsumsi bahan bakar pada Simpang Empat Tungkak

M Fadlan Ariq Ramadhany¹, Miftahul Fauziah^{1,*}

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Signalized intersection
PKJI 2023
PTV VISSIM.
Traffic delay
Fuel consumption.

Corresponding Author:

Miftahul Fauziah
Miftahul.fauziah@uii.ac.id

Abstract

As a vital signalized junction in Yogyakarta, the Tungkak four-way intersection frequently suffers from severe traffic congestion, causing substantial vehicular delays, long queues, and elevated fuel wastage. This research evaluates the current operational efficiency of the intersection, proposes potential mitigation strategies, and quantifies the economic losses associated with fuel consumption during traffic idleness. Methodologically, the 2023 Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI) and PTV VISSIM microscopic simulation were utilized for traffic analysis, while the LAPI-ITB and Lamsal (ATIS-India) models were applied to calculate fuel loss. The baseline results reveal that the intersection functions at Level of Service (LOS) F, exhibiting average delays of 314.60 and 136.98 seconds per vehicle via PKJI and VISSIM, respectively. To address this, three optimization scenarios were tested. The simulation demonstrates that Alternative 3 yields the most substantial improvement, lowering delays to 188.14 seconds per vehicle (PKJI) and 75.23 seconds per vehicle (VISSIM). Additionally, this scenario minimizes fuel expenses most effectively, dropping LAPI-ITB estimated costs from IDR 3.42 million to IDR 2.34 million. Consequently, Alternative 3 is highly recommended to alleviate congestion and enhance fuel economy at this junction.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di wilayah perkotaan berdampak langsung pada bertambahnya beban lalu lintas, khususnya pada area persimpangan yang menjadi titik temu berbagai arus pergerakan. Simpang APILL berfungsi sebagai pengendali konflik lalu lintas dari berbagai arah, namun kinerjanya akan menurun ketika volume kendaraan melampaui kapasitas yang tersedia. Kondisi tersebut umumnya tercermin dari bertambahnya panjang antrian, tingginya derajat kejenuhan, meningkatnya tundaan kendaraan, serta penurunan tingkat pelayanan simpang.

Simpang Empat Tungkak berfungsi sebagai salah satu simpul pengendali lalu lintas yang krusial di Kota Yogyakarta, karena mengintegrasikan pergerakan kendaraan dari empat koridor jalan perkotaan yang memiliki karakter dan fungsi berbeda, yakni Jalan Taman Siswa, Jalan Menteri Supeno, Jalan Lowanu, serta Jalan Kolonel Sugiyono. Kawasan di sekitar simpang memiliki aktivitas yang cukup tinggi, seperti pendidikan, perhotelan, kuliner, wisata, dan permukiman. Kondisi tersebut menyebabkan tingginya pergerakan kendaraan, terutama pada jam sibuk, sehingga menimbulkan antrian dan tundaan pada beberapa pendekat simpang.

Tundaan pada simpang bersinyal tidak hanya memengaruhi kelancaran lalu lintas, tetapi juga berdampak pada peningkatan konsumsi bahan bakar. Kendaraan yang berhenti atau bergerak dalam kondisi stop-and-go tetap mengonsumsi bahan bakar, sehingga semakin besar tundaan maka semakin besar pula potensi pemborosan energi. Oleh karena itu, evaluasi kinerja simpang perlu dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan aspek operasional lalu lintas dan konsumsi bahan bakar.

Beberapa studi terdahulu telah mengevaluasi kinerja persimpangan dengan metodologi yang variatif. Anugrah dkk. (2025) serta Sagraha & Puspito (2025) menitikberatkan analisis mereka menggunakan panduan PKJI 2023. Di sisi lain, komparasi analitis antara metode konvensional PKJI dan simulasi mikroskopis PTV VISSIM diterapkan oleh Pantulu dkk. (2025) serta Ado dkk. (2024).

Secara spesifik, studi mengenai Simpang Tungkak pernah dieksplorasi oleh Virawan dkk. (2018), yang menunjukkan bahwa kinerja eksisting persimpangan tersebut masuk dalam kategori tingkat pelayanan F. Pada kondisi tersebut, besaran rata-rata tundaan yang dialami mencapai 83,98 detik untuk setiap kendaraan. Namun, penerapan skenario optimalisasi terbukti mampu menurunkan nilai tundaan tersebut hingga menyentuh angka 71,31 detik/kendaraan.

Dampak tundaan simpang terhadap kerugian ekonomi bahan bakar minyak (BBM) telah banyak dieksplorasi. Harahap & Fauziah (2025) mengevaluasi Simpang Ketandan menggunakan PKJI 2023 dan PTV VISSIM, dengan estimasi model LAPI-ITB dan Lamsal. Hasilnya menunjukkan tundaan sebesar 334,54 detik/smp (PKJI) dan 235,5 detik/kendaraan (VISSIM), yang memicu kerugian BBM berturut-turut sebesar Rp3.625.049/jam dan Rp1.449.790/jam.

Selanjutnya, Savaras & Fuziah (2026) menemukan Simpang APILL UPN Sleman beroperasi pada LOS F dengan tundaan

290,615 detik/kend. Kondisi ini mengakibatkan kerugian BBM senilai Rp4.050.561/jam (LAPI-ITB) dan Rp3.898.244/jam (Lamsal), yang kemudian berhasil direduksi melalui skenario optimum.

Sebagai pembeda dari studi terdahulu, penelitian ini berfokus pada analisis komparatif performa operasional serta proyeksi kerugian konsumsi BBM di Simpang Empat Tungkak. Metodologi yang digunakan mengintegrasikan metode empiris PKJI 2023 dan mikrosimulasi PTV VISSIM guna memperbarui literatur evaluasi kinerja simpang bersinyal.

Metode Penelitian

Lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Simpang Tungkak dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Simpang Tungkak
(Sumber: Google Maps, 2025)

Data penelitian

Penelitian ini mengelompokkan data menjadi dua kategori, yaitu data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan melalui pengamatan langsung di lapangan di kawasan Simpang Empat Tungkak. Proses ini berlangsung selama tiga hari untuk menggambarkan kondisi pada hari kerja serta akhir pekan, yang dijadwalkan pada Senin (19 Januari 2026), Rabu (21 Januari 2026), dan Sabtu (24 Januari 2026). Pengamatan dilakukan pada tiga periode waktu sibuk, yaitu pagi (06.00–08.00 WIB), siang (12.00–14.00 WIB), dan sore (16.00–18.00 WIB), dengan total durasi

enam jam per hari survei. Rincian jenis dan sumber data tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

Data Primer	Data Sekunder
1. Geometri Simpang	1. Jumlah
2. Volume Lalu Lintas	Penduduk
3. Perilaku Pengemudi	2. Peta Lokasi
4. Panjang Antrean	Penelitian
5. Waktu Siklus Simpang	
6. Kecepatan Kendaraan	

Analisis data

Analisis kinerja Simpang Empat Tungkak diestimasi menggunakan panduan PKJI 2023 untuk memperoleh parameter kapasitas, derajat kejenuhan, panjang antrean, tundaan, dan tingkat pelayanan. Kondisi operasional eksisting tersebut kemudian direkonstruksi melalui mikrosimulasi PTV VISSIM berbasis data lapangan, dilanjutkan dengan proses kalibrasi dan validasi guna memastikan model selaras dengan keadaan riil.

Model yang telah tervalidasi ini digunakan untuk menguji efektivitas berbagai skenario alternatif perbaikan simpang. Komparasi antar-alternatif dievaluasi berdasarkan reduksi tundaan, panjang antrean, peningkatan kecepatan, serta peningkatan tingkat pelayanan. Selain itu, dampak ekonomi dihitung melalui estimasi konsumsi BBM menggunakan metode LAPI-ITB dan Lamsal (ATIS-India) yang berbasis dengan nilai tundaan kendaraan sebelum dan sesudah perbaikan.

Hasil akhir analisis ini berfungsi sebagai dasar penentuan skenario paling optimum dalam memulihkan kinerja simpang sekaligus menekan kerugian finansial akibat pemborosan BBM. Pendekatan integratif ini linear dengan metodologi yang diterapkan oleh Pantulu dkk. (2025).

Arus jenuh

Merujuk pada dokumen yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), yang dimaksud dengan arus jenuh adalah kapasitas volume kendaraan ekuivalen tertinggi yang dapat melewati garis henti di

pendekat persimpangan bersinyal per satuan durasi hijau efektif. Secara komputasi, parameter arus jenuh ini ditentukan lewat perkalian nilai dasar arus jenuh dengan berbagai faktor penyesuaian demi menyelaraskan kondisi lingkungan serta geometris aktual terhadap keadaan ideal. Pers. (1) menyajikan formulasi matematis untuk perhitungan tersebut.

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{Bki} \times F_{Bka} \quad (1)$$

Keterangan :

J = arus jenuh (smp/jam),

J_0 = arus jenuh dasar (smp/jam),

F_{HS} = faktor penyesuaian hambatan sampling,

F_{UK} = faktor penyesuaian ukuran kota,

F_G = faktor penyesuaian kelandaian,

F_P = faktor penyesuaian parkir ,

F_{Bki} = faktor penyesuaian belok ke kiri, dan

F_{Bka} = faktor penyesuaian belok ke kanan.

Kapasitas

Kemampuan suatu pendekat simpang bersinyal dalam menampung volume arus lalu lintas maksimum per satuan waktu dinyatakan sebagai kapasitas. Secara linear, besarnya kapasitas ini ditentukan oleh tiga variabel utama, yaitu arus jenuh, durasi waktu hijau, dan waktu siklus simpang. Rumus yang digunakan untuk mengestimasi kapasitas pada simpang APILL mengacu pada Pers. (2).

$$C = J \times \frac{WH}{S} \quad (2)$$

Keterangan :

C = kapasitas (SMP/jam),

J = arus jenuh (SMP/jam),

W_H = total waktu hijau (detik), dan

S = waktu siklus (detik).

Derajat kejenuhan

Tingkat pemanfaatan jalan dapat diukur melalui derajat kejenuhan, yang mendefinisikan perbandingan antara arus lalu lintas sesungguhnya dengan daya tampung (kapasitas) dari pendekat simpang tersebut. Indikator ini berfungsi sebagai parameter untuk mengukur tingkat kepadatan lalu lintas serta efisiensi kinerja

pendekat dalam mengakomodasi arus kendaraan. Karakteristik volume lalu lintas yang kian padat di persimpangan tercermin dari meningkatnya angka derajat kejenuhan. Untuk mengestimasi indikator ini, formulasi perhitungan derajat kejenuhan dapat dilihat pada Pers. (3).

$$D_j = \frac{q}{C} \quad (3)$$

Keterangan :

q = arus lalu lintas (SMP/jam), dan

C = kapasitas jalinan (SMP/jam)

Panjang antrean

Berdasarkan panduan resmi Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) menetapkan bahwa nilai N_q atau estimasi rata-rata kendaraan dalam antrean di awal fase hijau merupakan akumulasi dua komponen: sisa kendaraan dari fase hijau sebelumnya (N_{q1}) dan kendaraan yang datang lalu berhenti selama durasi lampu merah (N_{q2}). Berdasarkan indikator tersebut, perhitungan panjang antrean secara utuh diprediksi dengan Pers. (4).

$$P_A = N_q \times \frac{20}{L_M} \quad (4)$$

Keterangan :

P_A = panjang antrean,

N_q = jumlah antrean maksimum, dan

L_M = lebar masuk.

Tundaan

Tundaan didefinisikan sebagai selisih antara waktu tempuh aktual yang dialami kendaraan saat melintasi persimpangan dan waktu tempuh pada kondisi ideal tanpa hambatan.

Mengacu pada pedoman Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), terdapat dua elemen mendasar yang memengaruhi akumulasi tundaan pada persimpangan dengan APILL, yakni tundaan geometrik serta tundaan lalu lintas. Adapun formulasi untuk mengestimasi besaran nilai tundaan pada suatu lengan pendekat i dijabarkan melalui Pers. (5).

$$T_i = T_{LLi} \times T_{Gi} \quad (5)$$

dengan:

T_i = Tundaan total rata rata pada suatu pendekat (detik/smp),

T_{LLi} = Tundaan lalu lintas pada pendekat ke- i (detik/smp), dan

T_{Gi} = Tundaan geometri pada pendekat ke- i (detik/smp)

Besaran tundaan rata-rata yang merepresentasikan seluruh lengan pada simpang Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) dihitung berdasarkan formulasi pada Pers. (6).

$$T_I = \frac{\sum(q \times T)}{Q_{Total}} T_{Gi} \quad (6)$$

Penilaian tingkat pelayanan

Kualitas performa suatu persimpangan dalam mengakomodasi arus kendaraan diukur melalui indikator tingkat pelayanan. Sesuai ketentuan dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, Level of Service merupakan suatu tolok ukur, baik secara kualitatif maupun kuantitatif, yang mencerminkan karakteristik operasional lalu lintas. Pada jenis persimpangan bersinyal, penentuan kategori tingkat pelayanan ini dihitung berdasarkan besaran rata-rata tundaan yang dialami oleh kendaraan.

Tabel 2. Tingkat Pelayanan Pada Persimpangan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)
A	< 5
B	5,1 – 15
C	15,1 – 25
D	25,1 – 40
E	40,1 – 60
F	> 60

(Sumber: Kementerian Perhubungan, 2015)

Perangkat lunak VISSIM

Untuk menganalisis kinerja operasional simpang secara mikroskopis, penelitian ini memanfaatkan PTV VISSIM dengan mengintegrasikan data lalu lintas serta pengaturan fase sinyal, sejalan dengan metodologi yang digunakan oleh Ado dkk. (2024). Output simulasi berupa nilai tundaan dan panjang antrean kemudian dijadikan parameter utama untuk mengidentifikasi

masalah pada kondisi eksisting serta menentukan alternatif solusi terbaik.

Kalibrasi dan validasi data

Proses kalibrasi pada PTV VISSIM dilakukan dengan menyesuaikan parameter perilaku berkendara agar karakteristik pergerakan kendaraan dalam model dapat merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Parameter yang disesuaikan dalam tahapan ini meliputi respons psikologis pengemudi terhadap dinamika arus lalu lintas, distribusi kecepatan.

Guna memastikan hasil simulasi sejalan dengan data lapangan, dilakukan prosedur validasi setelah kalibrasi. Pengujian internal ini mengadopsi uji statistik GEH (*Geoffrey E. Havers*) untuk menyandingkan tingkat kesesuaian volume lalu lintasnya, sedangkan validasi lainnya menerapkan metode MAPE (Mean Absolute Percentage Error) untuk memverifikasi akurasi estimasi kecepatan dan panjang antrean. Model dinyatakan valid jika kedua nilai pengujian tersebut memenuhi ambang batas kriteria yang ditetapkan.

Formulasi perhitungan GEH dan MAPE masing-masing disajikan pada Pers. (7) dan Pers. (8), sedangkan kriteria kelayakan serta interpretasi hasil ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

$$GEH = \sqrt{\frac{(Q_{simulasi} - Q_{eksisting})^2}{0.5 \times (Q_{eksisting} + Q_{simulasi})}} \quad (7)$$

Keterangan :

q = data volume arus lalu lintas.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan:

n = jumlah data,

At = data dilapangan, dan

Ft = data simulasi.

Tabel 3. Penilaian Hasil Uji GEH

Nilai GEH	Keterangan
GEH < 5	Diterima
5 ≤ GEH ≤ 10	Kemungkinan model eror atau data buruk
GEH > 10	Ditolak

(Sumber: Gustavsson,2007)

Tabel 4. Penilaian Hasil Uji MAPE

Nilai GEH (%)	Keterangan
>10	Hasil akurat
10 - 20	Hasil baik
20 - 50	Hasil layak
50	Hasil tidak akurat

(Sumber: Gustavsson,2007)

LAPI-ITB tahun 2003

Konsumsi BBM berdasarkan metode LAPI-ITB digunakan untuk memperkirakan jumlah BBM yang terbuang akibat tundaan kendaraan pada simpang. Harahap & Fauziah (2025) menggunakan Formulasi LAPI-ITB diadaptasi melalui konversi ke dalam Satuan Mobil Penumpang untuk memproyeksikan estimasi konsumsi bahan bakar yang selaras dengan kondisi lalu lintas aktual di lapangan. Dalam penelitian ini, konsumsi BBM dihitung berdasarkan kondisi kendaraan saat berjalan konstan, akselerasi/deselerasi, dan idle, seperti ditunjukkan pada Pers. (9) sampai Pers. (11).

$$F1 = A + B \cdot V + C \cdot V^2 \quad (9)$$

$$F2 = E \cdot V^2 \quad (10)$$

$$F3 = D \quad (11)$$

Keterangan:

F1 = konsumsi bahan bakar pada kecepatan konstan (liter/smp-km),

F2 = konsumsi bahan bakar saat akselerasi atau deselerasi (liter/smp),

F3 = konsumsi bahan bakar saat idle (liter/smp-jam),

A = 170.101^{-1} ,

B = -455.10^{-3} ,

C = 490.10^{-5} ,

D = 140.10^{-2} , dan

E = 770.10^{-8} .

Lamsal (ATIS- India) tahun 2013

diterapkan untuk mengestimasi volume konsumsi BBM yang dipicu oleh akumulasi tundaan kendaraan pada simpang bersinyal. Pendekatan ini menghitung konsumsi BBM berdasarkan kondisi idle, yaitu saat kendaraan berhenti tetapi mesin tetap menyala ketika menunggu fase lampu hijau.

Besarnya konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh durasi tundaan dan jumlah

kendaraan yang mengalami tundaan. Metode ini menggunakan koefisien konsumsi BBM dalam satuan ml/jam untuk setiap jenis kendaraan, sehingga hasil analisis dapat menyajikan diferensiasi dampak konsumsi BBM untuk tiap jenis kendaraan secara akurat. Nilai koefisien konsumsi BBM berdasarkan metode Lamsal ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Koefisien Konsumsi BBM Lamsal

Jenis Kendaraan	Koefisien Konsumsi BBM (ml/ jam)
Motor Cycle (MC)	170
Light Vehicle (LV)	767
Heavy Vehicle (HV)	833

(Sumber: Lamsal,2013)

Hasil dan Pembahasan

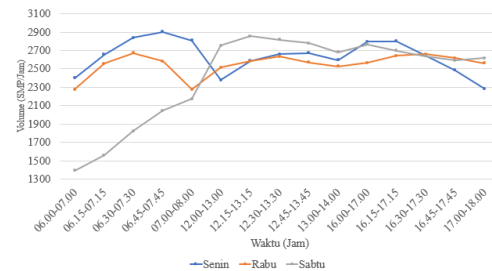
Data hasil penelitian

Temuan studi mengindikasikan bahwa fluktuasi arus lalu lintas puncak di Simpang Tungkak terakumulasi pada hari Senin antara pukul 06.45–07.45 WIB, dengan volume mencapai 2903,9 smp/jam. Adapun rincian mengenai durasi waktu siklus serta distribusi fase sinyal dirangkum dalam Tabel 6.

Tabel 6. Waktu Siklus Simpang Tungkak

Pen-dekat	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah (detik)	Merah semua (detik)	Waktu Siklus
U	26	3	106	3	138
T	35	3	97	3	138
S	22	3	110	3	138
B	31	3	101	3	138

Distribusi dan rincian komprehensif mengenai volume arus lalu lintas selama periode jam puncak tersebut dipaparkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Volume Jam Puncak

Analisis kinerja simpang pada kondisi eksisting berdasarkan PKJI 2023

Evaluasi kinerja berdasarkan PKJI 2023 menunjukkan bahwa Simpang Empat Tungkak memiliki nilai tundaan rata-rata mencapai 314,60 detik/smp, sehingga diklasifikasikan ke dalam tingkat pelayanan (LOS) F. Nilai tundaan yang tinggi tersebut menunjukkan bahwa kinerja simpang pada kondisi eksisting masih belum optimal, karena telah melampaui ambang batas LOS F yang ditetapkan, yaitu lebih dari 60 detik/smp. Rekapitulasi hasil analisis kinerja simpang secara rinci disajikan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Rekapitulasi Panjang Antrean dan DJ

Pendekat	Panjang Antrian PKJI (m)	DJ
Utara	904	2,00
Timur	188	1,25
Selatan	384	1,57
Barat	115	0,93

Tabel 8. Rekapitulasi Tingkat Pelayanan

Pendekat	Tundaan (T) (smp/jam)	Tingkat pelayanan
Utara	1376,6	F
Timur	104,9	
Selatan	603,5	
Barat	26,9	

Software PTV VISSIM

Pemodelan Simpang Empat Tungkak pada PTV VISSIM dibangun berbasis data empiris geometris, volume lalu lintas, pengaturan sinyal, kecepatan, panjang antrian, dan perilaku pengemudi. Guna menjamin representasi kondisi aktual, dilakukan kalibrasi parameter perilaku berkendara serta validasi model menggunakan uji statistik GEH dan MAPE.

Tingkat kelayakan dan kesesuaian model berdasarkan pemenuhan kriteria kedua pengujian tersebut dirinci pada Tabel 9, Tabel 10, dan Tabel 11.

Tabel 9. Hasil Uji GEH

Pendekat	Volume Kendaraan (kend/jam)		Uji GEH
	Hasil survei	Hasil Simulasi	
Utara	1734	1655	1,919
Timur	2757	2721	0,688
Selatan	1633	1506	3,206
Barat	3409	3177	4,043

Tabel 10. Hasil Uji MAPE Panjang Antrean

Pendekat	Volume Kendaraan (kend/jam)		Uji MAPE (%)
	Hasil survei	Hasil Simulasi	
Utara	215	193	10
Timur	150	191	27
Selatan	195	205	5
Barat	180	259	44

Tabel 11. Hasil Uji MAPE Kecepatan

Pendekat	Volume Kendaraan (kend/jam)		Uji MAPE (%)
	Hasil survei	Hasil Simulasi	
Utara	36,27	50,19	38
Timur	38,37	49,80	30
Selatan	36,93	49,77	35
Barat	37,67	50,39	34

Hasil VISSIM menunjukkan tundaan Simpang Tungkak sebesar 136,98 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan F. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan Virawan dkk. (2018) sebesar 83,98 detik/kendaraan, meskipun sama-sama berada pada tingkat pelayanan F. Peningkatan tundaan sebesar 63,11% menunjukkan adanya penurunan kinerja simpang dibandingkan penelitian terdahulu.

Estimasi dampak tundaan terhadap biaya bahan bakar

Proyeksi biaya kerugian BBM pada rona awal dihitung berdasarkan nilai tundaan luaran PKJI 2023 dan VISSIM menggunakan pendekatan LAPI-ITB serta Lamsal. Melalui metode LAPI-ITB, kerugian finansial akibat pemborosan BBM tercatat sebesar Rp3.422.759 (tundaan PKJI

2023) dan Rp1.741.722 (tundaan VISSIM). Sementara itu, metode Lamsal mengestimasi biaya kerugian yang lebih rendah, yaitu senilai Rp1.635.034 berdasarkan tundaan PKJI 2023 dan Rp887.971 berdasarkan tundaan VISSIM.

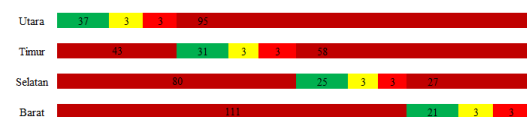
Hasil tersebut mengonfirmasi adanya korelasi positif antara besaran tundaan dan kerugian konsumsi BBM. Temuan ini sejalan dengan penelitian Harahap & Fauziah (2025) yang menyatakan bahwa tingginya tundaan pada simpang bersinyal berkontribusi signifikan terhadap peningkatan pemborosan bahan bakar, baik berdasarkan metode LAPI-ITB maupun Lamsal.

Usulan alternatif perbaikan

Skenario perbaikan pertama yang diterapkan dalam studi ini memfokuskan pada rekayasa durasi lampu hijau pada sistem APILL. Penjadwalan fase hijau tersebut diformulasikan berdasarkan pedoman PKJI 2023, di mana deskripsi detail mengenai modifikasi siklus waktu simpang dapat dilihat pada Tabel 12 serta Gambar 3.

Tabel 12. Waktu Hijau (W_{Hi}) Alternatif 1

	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah (detik)	Merah semua (detik)	Waktu Siklus
U	37	3	106	3	138
T	31	3	97	3	138
S	25	3	110	3	138
B	21	3	101	3	138



Gambar 3. Diagram Fase APILL Alternatif 1

Alternatif kedua dilakukan dengan mengubah waktu siklus sinyal pada Simpang Empat Tungkak berdasarkan hasil uji coba menggunakan PTV VISSIM. Pada alternatif ini, jumlah fase dan pola pergerakan lalu lintas tetap dipertahankan seperti kondisi eksisting, sedangkan waktu

siklus disesuaikan agar pengaturan sinyal lebih optimal.

Penyesuaian tersebut dilakukan untuk menekan waktu tunggu, dan panjang antrean pada masing-masing pendekatan. Beberapa variasi waktu siklus diuji melalui pemodelan PTV VISSIM, kemudian skenario dengan kinerja terbaik digunakan sebagai alternatif perbaikan. Rincian pengaturan waktu sinyal pada Alternatif 2 disajikan pada Tabel 13, sedangkan diagram fase APILL dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 13. Waktu Isyarat APILL Alternatif 2

	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah (detik)	Merah semua (detik)	Waktu Siklus
U	32	3	106	3	125
T	28	3	97	3	125
S	22	3	110	3	125
B	19	3	101	3	125



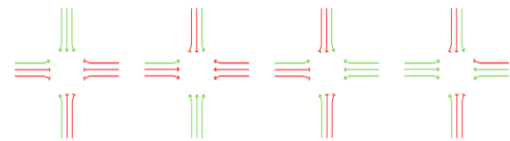
Gambar 4.. Diagram Fase APILL Alternatif 2

Alternatif ketiga dilakukan dengan melakukan penyesuaian konfigurasi fase APILL pada Simpang Tungkak. Meskipun tetap terdiri dari empat fase, pola pelayanan tiap fase diatur ulang agar pendekatan dengan volume lalu lintas tinggi memperoleh waktu pelayanan yang lebih efektif. Fase pertama melayani seluruh pergerakan dari pendekatan Utara, fase kedua dari pendekatan Selatan, fase ketiga dari pendekatan Timur, sedangkan fase keempat melayani pergerakan belok kiri dan lurus dari pendekatan Timur secara bersamaan dengan pergerakan dari pendekatan Barat.

Pengaturan ini memberikan tambahan waktu pelayanan pada pendekatan Timur yang diharapkan dapat menurunkan tundaan dan panjang antrean. Rincian waktu isyarat APILL Alternatif 3 disajikan pada Tabel 14, sedangkan ilustrasi perubahan fase dan diagram waktu siklus ditampilkan pada Gambar 5.

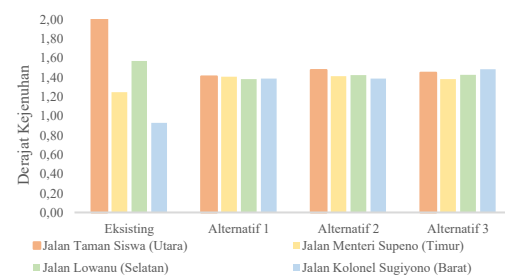
Tabel 14. Konfigurasi Fase Alternatif 3

	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah (detik)	Merah semua (detik)	Waktu Siklus
U	36	3	96	3	138
S	25	3	107	3	138
T	15	3	117	3	138
T	38	3	73	3	138
B	38	3	94	3	138



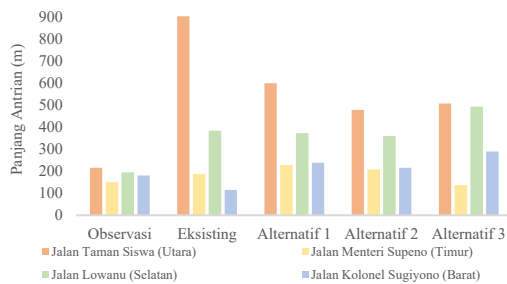
Gambar 5. Urutan Fase APILL Alternatif 3

Komparasi antara rona awal dan ketiga skema alternatif yang diusulkan dipaparkan secara visual pada Gambar 6 hingga Gambar 12.

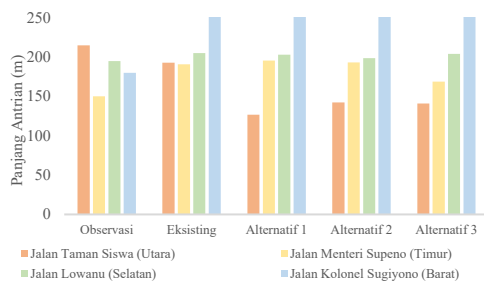


Gambar 6. Perbandingan Nilai Dj

Gambar 6 menyajikan perbandingan nilai derajat kejenuhan pada setiap pendekatan Simpang Empat Tungkak sebelum dan sesudah penerapan alternatif perbaikan. Pada kondisi awal, nilai derajat kejenuhan masih berbeda antarpendingkat, sedangkan setelah perbaikan nilainya menjadi lebih seragam, yang menunjukkan distribusi beban lalu lintas lebih seimbang dan kinerja simpang yang meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa alternatif perbaikan mampu menyeimbangkan distribusi beban lalu lintas antar lengan simpang sehingga kinerja simpang menjadi lebih baik.

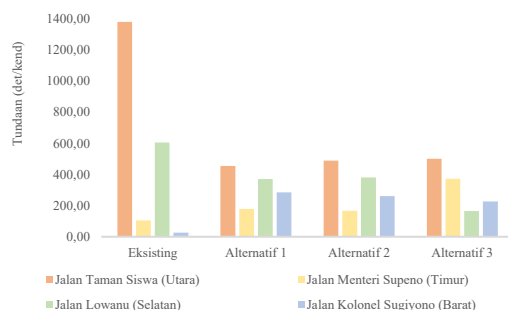


Gambar 7. Panjang Antrian PKJI 2023

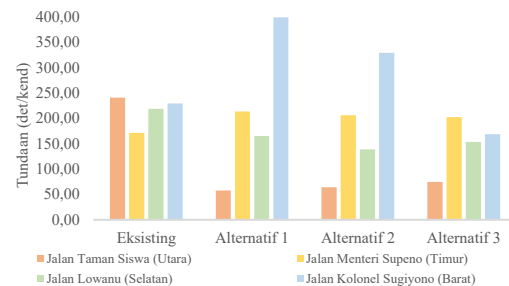


Gambar 8. Panjang Antrian VISSIM

Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8, Hasil panjang antrian menunjukkan perbedaan antara PKJI 2023 dan VISSIM. Berdasarkan PKJI 2023, Alternatif 2 paling efektif menurunkan antrian pada pendekat Utara dari 904 m menjadi 479 m, meskipun belum mampu menurunkan antrian pada seluruh pendekat. Sementara itu, hasil VISSIM menunjukkan bahwa Alternatif 3 lebih baik karena mampu menurunkan antrian pada tiga pendekat, yaitu Utara, Timur, dan Selatan. Perbedaan ini terjadi karena PKJI 2023 bersifat analitis, sedangkan VISSIM mempertimbangkan perilaku dan interaksi kendaraan secara mikroskopis.

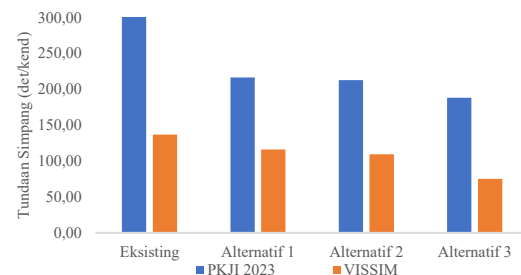


Gambar 9. Nilai Tundaan PKJI 2023



Gambar 10. Nilai Tundaan VISSIM

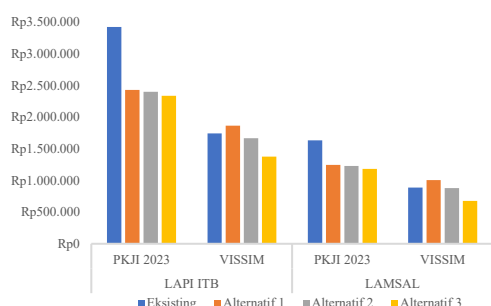
Berdasarkan hasil evaluasi tundaan, Alternatif 3 menunjukkan kinerja paling optimal dibandingkan alternatif lainnya. Berdasarkan PKJI 2023, Alternatif 3 mampu menurunkan tundaan secara signifikan pada pendekat Utara dan Selatan, sehingga mengonstruksikan akumulasi tundaan paling minimum. Tren serupa ditunjukkan oleh luaran VISSIM, di mana nilai tundaan pada pendekat Utara, Selatan, dan Barat tereduksi secara signifikan, meskipun pendekat Timur mengindikasikan adanya peningkatan. Dengan demikian, Alternatif 3 menjadi skenario paling efektif berdasarkan parameter tundaan karena mampu memperbaiki kinerja simpang secara keseluruhan.



Gambar 11. Nilai Tundaan Simpang

Berdasarkan Gambar 11, implementasi alternatif perbaikan berhasil mereduksi nilai tundaan simpang, baik pada analisis PKJI 2023 maupun simulasi VISSIM. Berdasarkan metode PKJI 2023, tundaan menurun dari 304,60 detik/kendaraan pada kondisi eksisting menjadi 188,14 detik/kendaraan pada Alternatif 3. Selaras dengan hal tersebut, hasil VISSIM menunjukkan penurunan dari 136,98 detik/kendaraan menjadi 75,23 detik/kendaraan. Meskipun seluruh skenario

tetap berada pada tingkat pelayanan (LOS) F, Alternatif 3 memberikan reduksi tundaan paling signifikan, sehingga menjadi skenario paling efektif dalam mengoptimalkan kinerja operasional Simpang Empat Tungkak.



Gambar 12. Perbandingan Kerugian BBM

Total kerugian konsumsi BBM menunjukkan bahwa perubahan tundaan pada setiap alternatif berpengaruh terhadap besarnya biaya kerugian. Berdasarkan metode LAPI-ITB dengan tundaan PKJI 2023, biaya pada kondisi eksisting sebesar Rp3.422.759 berkurang menjadi Rp2.337.952 setelah penerapan Alternatif 3. Pola yang sama terjadi pada metode Lamsal berdasarkan tundaan PKJI 2023, yaitu dari Rp1.635.034 menjadi Rp1.182.528. Berdasarkan tundaan VISSIM, Alternatif 3 juga menghasilkan biaya paling rendah, yaitu Rp1.376.120 pada metode LAPI-ITB dan Rp676.098 pada metode Lamsal. Dengan demikian, Alternatif 3 menjadi skenario paling efektif dalam menurunkan total kerugian konsumsi BBM.

Berdasarkan indikator tundaan dari hasil simulasi VISSIM, Alternatif 3 terbukti menjadi pilihan kebijakan yang paling optimal demi menekan pemborosan energi (BBM) di persimpangan. Penurunan biaya ini disebabkan oleh penataan ulang fase APILL yang mampu mengurangi tundaan kendaraan, sehingga durasi kendaraan dalam kondisi berhenti maupun bergerak dengan kecepatan rendah dapat diminimalkan. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Savaras & Fuziah (2026) yang menyatakan bahwa penurunan tundaan akibat penerapan alternatif perbaikan

berkontribusi terhadap pengurangan biaya kerugian konsumsi bahan bakar pada simpang bersinyal.

Kesimpulan

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kinerja rona awal Simpang Empat Tungkak belum optimal. Hal ini terindikasi dari nilai derajat kejenuhan seluruh pendekat yang melampaui ambang batas PKJI 2023, serta tingginya angka tundaan pada analisis PKJI 2023 maupun simulasi PTV VISSIM, yang menempatkan tingkat pelayanan (Level of Service) persimpangan pada kategori F.

Dari tiga alternatif yang dianalisis, Alternatif 3 memberikan kinerja terbaik dengan tundaan terendah, yaitu 188,14 detik/kendaraan berdasarkan PKJI 2023 dan 75,23 detik/kendaraan berdasarkan VISSIM, sekaligus paling efektif menurunkan biaya kerugian konsumsi BBM.

Meskipun demikian, kinerja simpang masih belum memenuhi tingkat pelayanan jalan kolektor sekunder, sehingga diperlukan kajian lanjutan melalui perubahan geometri simpang atau pembangunan simpang tidak sebidang dengan mempertimbangkan aspek teknis, sosial, dan biaya.

Daftar Pustaka

- 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.
- Anugrah, F., Dermawan, W. B., & Isradi, M. (2025). Analisa Kinerja Simpang Bersinyal (APILL) dan Ruas Jalan pada Jalan Raya Bogor – Jalan H Bokir Bin Dji'un, Kota Jakarta Timur Menggunakan PKJI 2023. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(3), 1143–1151.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). Pedoman kapasitas jalan Indonesia.
- Google Earth. (2024). Google Earth. Retrieved November 19, 2025, from <https://earth.google.com/>

- Gustavsson, F. N. (2007). New transportation research progress. New York, NY: Nova Science Publishers, Inc.
- Harahap, R. H., & Fauziah, M. (2025). Evaluasi kinerja simpang dan biaya konsumsi bahan bakar pada Simpang Empat Ketandan Ringroad Timur berdasarkan PKJI 2023 dan pemodelan VISSIM. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 5(1), 315–326.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2015). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015 tentang pedoman pelaksanaan kegiatan manajemen dan rekayasa lalu lintas. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Lamsal, A. (2013). Toward geo-enabled economy: Automotive Traffic Information System (ATIS) India.
- Pantulu, I. A., Kadir, Y., & Desei, F. L. (2025). Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal dan Pengaturan Ulang Waktu Siklus APILL Menggunakan PTV VISSIM. *Composite Journal*, 5(2), 65–74.
- PTV Group. (2015). PTV Vissim 8 user manual. Karlsruhe, Germany: PTV AG.
- Sagraha, & Puspito, I. H. (2025). Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2023 (Studi Kasus: Simpang Puntodewo Malang). Dalam *Jurnal Artesis*, 5(1)
- Savaras, K. I., & Fuziah, M. (2026). Pengaruh U-Turn Pada Lengan Barat Terhadap Biaya Kerugian Bahan Bakar Minyak Akibat Kemacetan Di Simpang Empat UPN Sleman Yogyakarta. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*.
- Virawan, Z. F., Widodo, W., & Muchlisin. (2018). *Pemodelan Simpang Bersinyal Akibat Perubahan Urutan Fase dengan Software PTV VISSIM 10 Pada Simpang Empat Bersinyal Tungkak. Tugas Akhir.* Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.