

Pengaruh *U-Turn* pada lengan barat terhadap biaya kerugian bahan bakar minyak akibat kemacetan di simpang empat UPN Sleman Yogyakarta

Kemal Ibnu Savaras¹, Miftahul Fauziah^{1,*}

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

Article Info

Available online

Keywords:

Fuel consumption
PKJI 2023
PTV VISSIM
Signalized intersection
Traffic delay
U-turn

Corresponding Author:

Miftahul Fauziah
Miftahul.fauziah@uii.ac.id

Abstract

The four-leg signalized APILL UPN Sleman intersection experiences high traffic demand during peak hours. The existence of a U-turn facility on the west approach generates additional traffic conflicts, which lead to a decrease in intersection performance, an increase in vehicle delays, and higher fuel consumption losses. This study aims to evaluate the existing operational performance of the intersection, analyze the impact of the U-turn movement on the west approach, and estimate fuel consumption losses resulting from traffic congestion. The evaluation of intersection performance was conducted using the Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI) 2023 and microscopic traffic simulation with PTV Vissim. Meanwhile, fuel consumption losses were estimated using the LAPI-ITB method and the Lamsal (ATIS-India) method. The analysis results indicate that under existing conditions, the intersection operates with an average delay of 293.66 s/veh and a degree of saturation of 1.24, which corresponds to Level of Service (LOS) F. In addition, the U-turn movement on the west approach shows a degree of saturation of 1.10 and an average delay of 71.29 s/veh. The estimated fuel consumption losses under existing conditions reach IDR 4.01 million based on the LAPI-ITB method and IDR 3.86 million based on the Lamsal method. Although the overall performance of the intersection remains at Level of Service F, the implementation of improvement alternatives is able to reduce vehicle delays and fuel consumption losses.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan kawasan perkotaan yang berkembang pesat sebagai pusat pendidikan, permukiman, dan aktivitas ekonomi, sehingga memicu peningkatan mobilitas dan volume lalu lintas. Salah satu simpul lalu lintas yang memiliki peran penting dalam pergerakan kendaraan di wilayah Sleman adalah Simpang Bersinyal Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) UPN Sleman. Simpang ini berada di kawasan dengan intensitas aktivitas tinggi karena dikelilingi oleh perguruan tinggi, kawasan komersial, dan permukiman, yang menyebabkan arus lalu lintas meningkat signifikan terutama pada jam puncak. Kondisi

tersebut berpotensi menimbulkan kemacetan, tundaan, serta antrean kendaraan yang panjang.

Pada Simpang APILL UPN Sleman terdapat fasilitas *U-turn* pada pendekat barat yang bertujuan meningkatkan aksesibilitas kendaraan. Namun, keberadaan *U-turn* tersebut juga menambah titik konflik lalu lintas yang dapat menurunkan kinerja simpang secara keseluruhan. Konflik pergerakan kendaraan, khususnya pada jam sibuk, berkontribusi terhadap meningkatnya derajat kejenuhan dan tundaan, yang pada akhirnya berdampak pada pemborosan konsumsi bahan bakar serta kerugian ekonomi bagi pengguna jalan. Oleh karena itu,

diperlukan evaluasi menyeluruh terhadap kinerja simpang dan pengaruh fasilitas *U-turn* terhadap kondisi operasional lalu lintas.

Studi tentang kinerja simpang sudah pernah di kaji sebelumnya oleh Nugroho (2020) dan Haryanto (2024).

Adapun studi tentang kerugian Bahan Bakar Minyak (BBM) sudah pernah di kaji sebelumnya oleh Ahrys (2018); Harahap & Fauziah (2025); Syawqy (2025); dan Fadhil (2019) telah meneliti kinerja simpang UPN dengan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, penelitian tersebut menunjukkan Besarnya kerugian bahan bakar yang terjadi di Simpang UPN, yaitu sebesar 444,653 liter dengan total kerugian mencapai Rp3.173.725, dipengaruhi oleh tundaan dan panjang antrean kendaraan pada setiap pendekat, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian tersebut, berdasarkan harga bahan bakar tahun 2019.. Berbeda dengan kajian sebelumnya oleh Fadhil (2019) studi ini melengkapi kajian sebelumnya dengan melihat pengaruh *U-turn* terhadap kinerja maupun kerugian BBM yang dibandingkan juga antara LAPI-ITB dengan Lamsal (ATIS-India).

Sementara itu studi mengenai kinerja *U-turn* sudah pernah di kaji sebelumnya oleh Firmansyah dkk (2024); Halim (2022); Kurniawan (2023); Pattiapon (2020); dan Pratama (2021) yang menganalisis *U-turn* pada lokasi yang sama telah dilakukan dalam kajian sebelumnya dengan mengacu pada Bina Marga 2005. Alternatif terbaiknya yaitu dengan melibatkan pemindahan fasilitas *U-turn* pada pendekat Timur dan perubahan geometri simpang pada pendekat Timur dengan hasil didapatkan memperbaiki derajat kejenuhan menjadi 0,878 dan waktu tundaan lebih kecil menjadi 71,35 det/smp. Melengkapi dengan kajian sebelumnya dengan menggunakan metode terbaru menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan perbedaan letak *U-turn* yang di teliti yaitu di Barat.

Metode Penelitian

Lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Simpang 4 APILL UPN dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Simpang 4 APILL UPN
(Sumber:Google Earth,2020)

Data penelitian

Penelitian ini memanfaatkan data sekunder dan data primer yang diperoleh melalui survei lalu lintas selama tiga hari, yaitu 2 hari *weekdays* (Rabu dan Jumat) serta 1 hari *weekend* (Sabtu), pemilihan hari tersebut berdasarkan hasil observasi langsung di Simpang 4 APILL UPN. Pengumpulan data dilaksanakan pada tiga rentang waktu, yaitu pagi pada pukul 6–9 WIB, siang pada pukul 11–14 WIB, dan sore pada pukul 15–18 WIB. Dengan total jam pengambilan data 9 jam, dengan rincian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

Data Primer	Data Sekunder
1. Geometri jalan	1. Jumlah
2. Volume lalu lintas simpang dan Volume kendaraan <i>U-turn</i>	2. Penduduk
3. Waktu tunggu kendaraan <i>U-turn</i>	2. Peta Lokasi Penelitian
4. Panjang antrean	
5. <i>Driving behavior</i>	
6. Kecepatan	

Analisis data

Analisis data berpedoman pada metode PKJI 2023 untuk mengevaluasi kinerja Simpang 4 APILL UPN pada kondisi eksisting. Parameter yang dianalisis meliputi derajat kejenuhan, panjang antrean, tundaan, dan tingkat pelayanan, serta kinerja jalinan

tunggal yang ditinjau berdasarkan nilai derajat kejenuhan, tundaan, dan kapasitas.

Penyusunan alternatif penanganan dilakukan melalui pemodelan lalu lintas menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Hasil simulasi dari setiap alternatif kemudian dibandingkan dengan kondisi eksisting guna mengidentifikasi skenario perbaikan yang paling efektif dalam meningkatkan kinerja simpang dan jalinan tunggal.

Selanjutnya, estimasi biaya konsumsi bahan bakar akibat tundaan lalu lintas dihitung berdasarkan nilai tundaan yang diperoleh dari metode PKJI 2023 dan hasil pemodelan VISSIM. Perhitungan biaya tersebut mengacu pada formulasi LAPI-ITB (2003) dan Lamsal (2013) yang dikembangkan oleh ATIS-India untuk menggambarkan besarnya kerugian ekonomi akibat kemacetan lalu lintas.

Arus jenuh

Berdasarkan Bina Marga (2023), arus jenuh merupakan jumlah maksimum kendaraan yang mampu melewati suatu pendekat simpang dalam satuan waktu pada kondisi lalu lintas tertentu, dan satuannya adalah mobil penumpang per jam (smp/jam). Pada simpang yang dilengkapi dengan APILL, nilai arus jenuh dapat dihitung menggunakan Pers. (1).

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

Keterangan: arus jenuh (J) dinyatakan dalam satuan smp/jam dan merupakan besarnya arus maksimum yang bisa dilayani pada pendekat simpang. Nilai arus jenuh tersebut diperoleh dari arus jenuh dasar (J_0) yang kemudian disesuaikan dengan beberapa faktor koreksi, meliputi Faktor dari ukuran kota (F_{UK}), faktor dari kelandaian (F_G), faktor penyesuaian hambatan samping (F_{HS}), faktor penyesuaian parkir (F_P), serta faktor dari akibat manuver belok ke kanan (F_{BKa}) dan belok ke kiri (F_{BKi}).

Kapasitas

Kapasitas simpang dengan APILL merupakan kemampuan maksimum dari simpang untuk menampung arus lalu lintas, sedangkan kapasitas bagian jalinan merupakan kemampuan maksimum dari jalinan (*U-turn*).

Perhitungan kapasitas pada simpang APILL dapat dilakukan menggunakan Pers. (2) dan kapasitas pada bagian jalinan dilakukan menggunakan Pers. (3).

$$C = J \times \frac{W_h}{s} \quad (2)$$

Keterangan: C menyatakan kapasitas simpang dalam satuan SMP/jam, J merupakan arus jenuh (SMP/jam), W_h merupakan waktu hijau satu fase siklus (detik), dan s menunjukkan waktu fase siklus sinyal dalam detik.

$$C = C_0 \times F_{UK} \times F_{RSU} \quad (3)$$

Keterangan: F_{UK} merupakan faktor dari ukuran kota, F_{RSU} adalah faktor dari koreksi tipe lingkungan jalan serta hambatan samping, dan C_0 menyatakan kapasitas dasar jalinan dalam satuan SMP/jam.

Derajat kejenuhan

Derajat kejenuhan (DJ) yaitu komparasi antara arus dari lalu lintas (q) dan kapasitas jalan (C), dengan nilai umumnya $\leq 0,85$. DJ dihitung di setiap pendekat menggunakan Pers. (4).

$$D_j = \frac{q}{C} \quad (4)$$

Keterangan: q merupakan arus dari lalu lintas total dalam satuan SMP/jam, sedangkan C adalah kapasitas jalinan dalam satuan SMP/jam.

Panjang antrean

Mengacu pada PKJI (2023), panjang antrean didefinisikan sebagai total rata-rata kendaraan yang mengantre di suatu pendekat yang tidak dapat melintasi simpang pada fase hijau maupun kembali terhenti karena terpengaruh fase merah pada fase berikutnya. Panjang antrean dapat dihitung menggunakan Pers. (5).

$$P_A = N_q \times \frac{20}{LM} \quad (5)$$

Keterangan: P_A merupakan panjang suatu antrean, N_q adalah jumlah dari antrean maksimum pendekat, dan L_M menyatakan lebar masuk.

Tundaan

Menurut PKJI (2023), tundaan didefinisikan sebagai perbedaan waktu tempuh kendaraan yang terjadi akibat adanya hambatan di simpang dibandingkan dengan kondisi ideal tanpa gangguan lalu lintas. Perhitungan tundaan simpang dilakukan menggunakan Pers. (6), sedangkan tundaan bagian jalinan menggunakan Pers. (7).

$$T_i = T_{LLi} \times T_{Gi} \quad (6)$$

$$T = \frac{1}{(0,59186 - 0,52525 \times D_j)} - (1 - D_j) \times 2 \quad (7)$$

Penilaian tingkat pelayanan

Penilaian tingkat pelayanan adalah suatu indikator untuk mengevaluasi kualitas kinerja suatu ruas jalan atau simpang dalam menampung arus dari lalu lintas. Berdasarkan Kementerian Perhubungan (2015), klasifikasi tingkat pelayanan simpang disajikan pada Tabel 2.

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

PTV Vissim adalah *software* untuk simulasi lalu lintas yang dibuat oleh PTV Group asal Jerman dan telah digunakan sejak tahun 1992. Vissim mampu memodelkan perilaku lalu lintas berdasarkan parameter jarak antar kendaraan, kecepatan, akselerasi, dan respons pengemudi. Perangkat lunak ini banyak digunakan dalam analisis kinerja simpang karena dapat mengevaluasi parameter seperti tundaan, panjang antrian, dan tingkat pelayanan (LOS) secara detail. Dengan memasukkan data jaringan jalan, volume lalu lintas, dan pengaturan sinyal, Vissim memungkinkan pengguna mengidentifikasi permasalahan lalu lintas, mengevaluasi berbagai alternatif penanganan, serta menyajikan hasil simulasi dalam visualisasi dua dan tiga dimensi.

Kalibrasi dan validasi data

Kalibrasi dan validasi model dilakukan dengan menyesuaikan parameter simulasi agar hasilnya mendekati kondisi lalu lintas aktual, kemudian membandingkan keluaran simulasi Vissim dengan data observasi lapangan melalui proses iteratif *trial and error*. Tingkat kesesuaian model dievaluasi menggunakan metode statistik GEH yang digunakan untuk mengkomparasi volume lalu lintas, sedangkan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebagai validasi eksternal terhadap parameter kinerja seperti kecepatan kendaraan dan panjang antrian. Formulasi perhitungan GEH dan MAPE masing-masing disajikan pada Pers. (8) dan Pers. (9), sedangkan kriteria kelayakan dan interpretasi hasil ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

$$GEH = \sqrt{\frac{(Q_{simulasi} - Q_{eksisting})^2}{0.5 \times (Q_{eksisting} + Q_{simulasi})}} \quad (8)$$

Keterangan :

q = data volume dari arus lalu lintas.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan: n merupakan jumlah dari data, At adalah data hasil pengamatan di lapangan, dan Ft merupakan data hasil simulasi.

Tabel 3. Penilaian Hasil pengujian 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 MAPE (%)	Keterangan
>10	Hasil prediksi akurat
10 - 20	Hasil prediksi baik
20 - 50	Hasil prediksi layak
50	Hasil prediksi tidak akurat

(Sumber: Gustavsson, 2007)

LAPI-ITB tahun 2003

Harahap (2024) melakukan penelitian dengan membandingkan perhitungan kerugian

konsumsi bahan bakar dengan Perhitungan konsumsi bahan bakar dalam studitersebut menggunakan rumus dari LAPI-ITB yang telah dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang, sehingga memungkinkan estimasi konsumsi bahan bakar sesuai dengan kondisi lalu lintas aktual melalui Pers. (10) , Pers. (11), dan Pers. (12) berikut.

$$F1 = A + B \times V + C \times V^2 \quad (10)$$

$$F2 = E \times V^2 \quad (11)$$

$$F3 = D \quad (12)$$

Keterangan: F1 menyatakan konsumsi dari bahan bakar pada kondisi kecepatan yang konstan (liter/smp-km), F2 merupakan konsumsi dari bahan bakar pada saat terjadi akselerasi (liter/smp), sedangkan F3 menunjukkan konsumsi dari bahan bakar pada kondisi diam atau *idle* (liter/smp-jam). Konstanta A, B, C, D, dan E merupakan koefisien empiris hasil kalibrasi yang digunakan dalam persamaan konsumsi bahan bakar, dengan masing-masing nilai berturut-turut sebesar $170 \cdot 10^{-1}$, $-455 \cdot 10^{-3}$, $490 \cdot 10^{-5}$, $140 \cdot 10^{-2}$, dan $770 \cdot 10^{-8}$.

Lamsal (ATIS- India) tahun 2013

Metode Lamsal (2013) dipakai untuk memperkirakan konsumsi dari bahan bakar yang mempertimbangkan penggunaan BBM kendaraan selama mengalami tundaan pada setiap pendekat simpang. Perhitungan dilakukan berdasarkan koefisien konsumsi bahan bakar saat kendaraan dalam kondisi diam (*idle*), yang disesuaikan dengan jenis kendaraan dan mengacu pada nilai konversi

yang ditetapkan oleh Lamsal sebagaimana disajikan 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

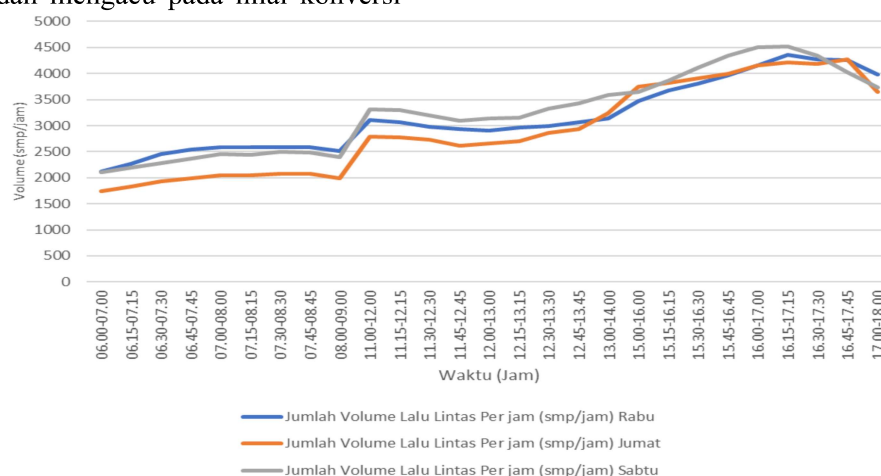
Hasil penelitian menghasilkan bahwa puncak volume di Simpang 4 APILL UPN terjadi di hari Sabtu pada jam 16.15–17.15 WIB sebanyak 4513 smp/jam. Informasi mengenai waktu siklus dan pembagian fase sinyal disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Waktu Siklus Simpang 4 APILL UPN

	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Merah (detik)	Merah semua (detik)	Waktu Siklus
U	23	3	122	3	150
T	35	3	109	3	150
S	28	3	116	3	150
B	41	3	103	3	150

Analisis kinerja simpang berdasarkan PKJI 2023

Informasi lebih rinci mengenai volume lalu lintas pada jam puncak tersebut ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Volume Jam Puncak

Rekapitulasi hasil kondisi eksisting ada pada Tabel 7 serta Tabel 8.

Tabel 7. Rekapitulasi Panjang Antrean dan DJ

Pendekat	Panjang Antrian PKJI (m)	DJ
Utara	173	1,509
Timur	109	0,677
Selatan	254	1,833
Barat	127	1,009

Tabel 8. Rekapitulasi Tundaan dan Tingkat Pelayanan

Pendekat	Tundaan (T) (det/jam)	Tundaan rata rata (Ti)	Tingkat pelayanan
Utara	650,915	290,615	F
Timur	91,666		
Selatan	921,017		
Barat	114,745		

Berdasarkan Tabel 8, diketahui bahwa eksisting Simpang 4 APILL UPN memiliki rata-rata waktu tundaan sebesar 290,615 detik per smp, yang diklasifikasikan dalam tingkat pelayanan kategori F, menandakan kinerja lalu lintas yang sangat buruk.

Rincian hasil pengujian pemodelan Vissim disajikan di Tabel 9, Tabel 10, dan 11.

Tabel 9. Hasil Uji GEH

Pendekat	Volume Kendaraan (kend/jam)		Uji GEH
	Hasil survei	Hasil Simulasi	
Utara	1223	1110	3,309
Timur	3065	3031	0,616
Selatan	2662	2506	3,069
Barat	3668	3667	0,017
U-turn	247	193	3,641

Tabel 10. Hasil Uji MAPE Panjang Antrean

Pendekat	Volume Kendaraan (kend/jam)		Uji MAPE (%)
	Hasil survei	Hasil Simulasi	
Utara	200	280	40
Timur	295	401	36
Selatan	360	277	23
Barat	465	512	10

Tabel 11. Hasil Uji MAPE Kecepatan

Pendekat	Volume Kendaraan (kend/jam)		Uji MAPE (%)
	Hasil survei	Hasil Simulasi	
Utara	38,53	37	4
Timur	49,07	47	4
Selatan	46,33	46	1
Barat	49,47	50	1

Hasil simulasi menggunakan Vissim menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan masing-masing pendekat adalah 1,52 pada pendekat Utara, 0,66 pada pendekat Timur, 1,82 pada pendekat Selatan, dan 0,94 pada pendekat Barat. Tundaan kendaraan tercatat sebesar 525,241 detik/kendaraan pada pendekat Utara, 311,578 detik/kendaraan pada pendekat Timur, 316,096 detik/kendaraan pada pendekat Selatan, serta 415,922 detik/kendaraan pada pendekat Barat. Secara keseluruhan, rata-rata tundaan hasil simulasi mencapai 257,836 detik/kendaraan yang mengindikasikan tingkat pelayanan F.

Estimasi Dampak Tundaan terhadap Biaya Bahan Bakar

Berdasarkan hasil tundaan kondisi eksisting dengan PKJI 2023 dan Vissim, dilakukan estimasi kerugian bahan bakar dengan menggunakan metode LAPI-ITB sebesar Rp4.008.539 berdasarkan PKJI dan Rp5.329.313 berdasarkan Vissim. Sementara itu, metode Lamsal menghasilkan estimasi kerugian sebesar Rp3.861.029 (PKJI) dan Rp3.824.246 (Vissim).

Hasil tersebut menunjukkan bahwa tundaan lalu lintas berpengaruh signifikan terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar dan kerugian ekonomi, sehingga peningkatan kinerja simpang menjadi penting dalam mendukung efisiensi operasional dan kebijakan transportasi berkelanjutan.

Alternatif pemecahan masalah

Berdasarkan Tabel 9, 10, dan 11, hasil pemodelan Vissim pada kondisi eksisting

sudah baik dengan nilai GEH sudah aman dengan berada di bawah 5 dan juga nilai MAPE kurang dari 40%, yang menunjukkan tingkat akurasi prediksi yang baik. Oleh karena itu, model layak digunakan untuk mensimulasikan skenario alternatif, di mana dalam penelitian ini dirumuskan tiga alternatif penanganan untuk mengatasi permasalahan simpang.

Alternatif pertama yang diterapkan untuk meningkatkan kinerja simpang adalah melakukan penyesuaian waktu siklus dengan mengoptimalkan durasi fase hijau pada sistem sinyal lalu lintas. Rincian perubahan atau penyesuaian waktu siklus ditampilkan pada Gambar 3.

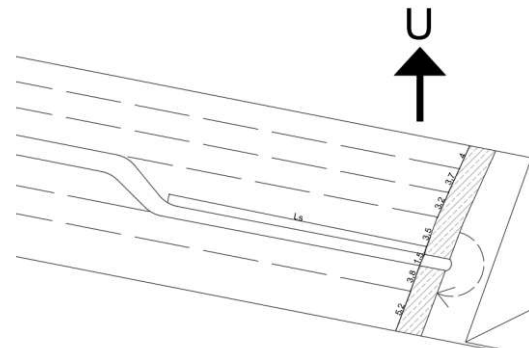


Gambar 3. Penentuan Waktu Hijau (W_{HH})

Dari Gambar 3, Alternatif pertama menghasilkan waktu siklus yang paling optimal, karena memberikan nilai tundaan paling rendah dibandingkan uji coba lainnya. Oleh karena itu, alternatif solusi kedua menetapkan waktu siklus sebesar 150 dengan W_{HH} Utara 23 detik, W_{HH} Timur 31 detik, W_{HH} Selatan 24 detik, dan W_{HH} Barat 49 detik.

Alternatif kedua difokuskan pada rekayasa geometrik simpang melalui pemindahan lokasi *U-turn* menuju lampu APILL dengan melakukan pergeseran poros lajur pada pendekat Barat. Langkah ini bertujuan untuk meminimalkan konflik lalu lintas yang terjadi akibat manuver putar balik pada lengan Barat, serta menciptakan alur pergerakan kendaraan yang lebih teratur pada area simpang. Penyesuaian ini dilakukan dengan mengacu pada Pedoman Perencanaan Teknis Geometrik Simpang (2024) dan memerlukan pengorbanan akses masuk dari arah Timur agar kapasitas pendekat Barat dapat ditingkatkan. Skema

pemindahan *U-turn* disajikan pada Gambar 4.

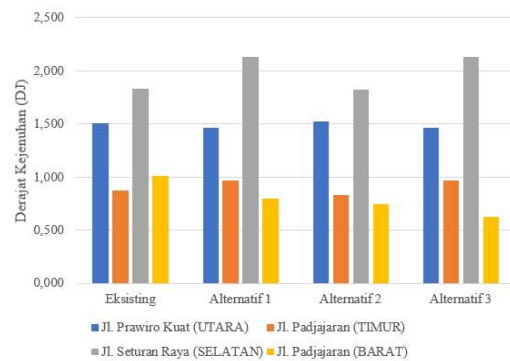


Gambar 4. Skema Pemindahan *U-Turn*

Tahapan berikutnya adalah menghitung kebutuhan ruang simpan kendaraan belok kanan pada pendekat Barat. Perhitungan panjang ruang simpan (L_s) dilakukan berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam Bina Marga Pedoman Perencanaan Teknis Geometrik Simpang (2024), guna memastikan kapasitas manuver belok kanan mampu menampung jumlah kendaraan yang berputar tanpa mengganggu arus lalu lintas utama. Berdasarkan analisis diperoleh 7 kendaraan belok kanannya pada rata rata fasenya, dengan hasil L_s 63 m.

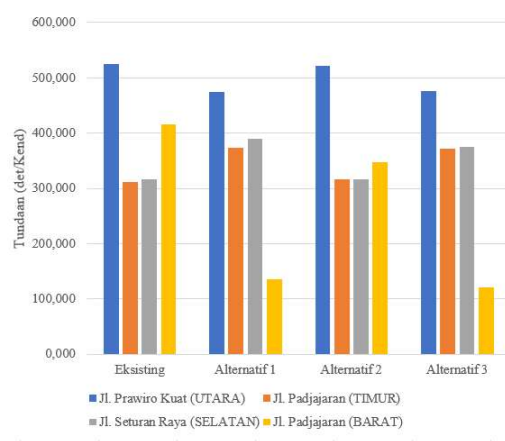
Alternatif ketiga dilakukan dengan mengombinasikan dua pendekatan sebelumnya, yaitu penyesuaian waktu siklus pada sistem sinyal lalu lintas sebagaimana diterapkan pada Alternatif 1, dan rekayasa geometrik melalui pemindahan *U-turn* serta pergeseran poros lajur pada pendekat Barat sebagaimana dilakukan pada Alternatif 2. Kombinasi kedua strategi ini diharapkan mampu menyelaraskan efisiensi pengaturan sinyal dengan pengurangan konflik arus lalu lintas, sehingga kinerja simpang dapat meningkat secara lebih baik.

Perbandingan kondisi eksisting dengan ketiga alternatif solusi dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.



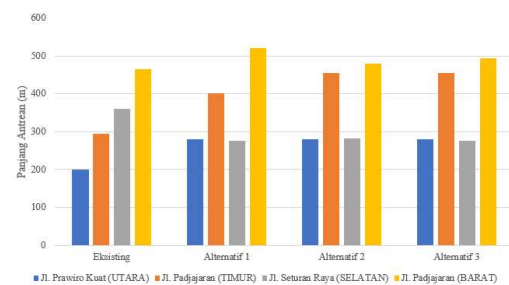
Gambar 5. Perbandingan Nilai DJ

Dari Gambar 5 merekap variasi nilai derajat kejenuhan di setiap pendekat Simpang 4 APILL UPN. Yang menunjukkan adanya perbedaan yang tidak jauh berbeda dalam nilai derajat kejenuhan antar kecuali di pendekat Barat yang mengalami penurunan yang berbeda beda.



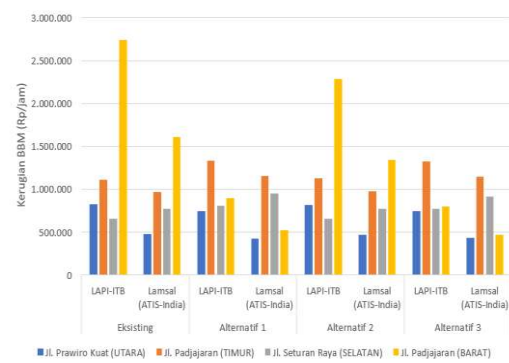
Gambar 6. Perbandingan Nilai Tundaan

Berdasarkan Gambar 6, dapat dilihat bahwa alternatif ketiga menunjukkan penurunan tundaan yang paling signifikan, yang disebabkan oleh pergeseran poros yang menyebabkan penambahan kapasitas di pendekat Barat dengan nilai tundaan sebesar 220,683 det/Kend.



Gambar 7. Perbandingan Panjang Antrian

Berdasarkan Gambar 7 berikut ini, menunjukkan sedikit terdapat perbedaan nilai panjang antrian pada masing-masing skenario yang dianalisis hal ini karena kondisi eksisting dipengaruhi oleh perilaku pengemudi dan gangguan lalu lintas nyata yang tidak sepenuhnya dapat direpresentasikan dalam simulasi.



Gambar 8. Perbandingan Kerugian Total Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan pada hasil yang disajikan dalam Gambar 8, dapat diketahui adanya perbedaan yang cukup mencolok pada nilai estimasi kerugian konsumsi BBM kendaraan antara kondisi eksisting dan berbagai skenario alternatif yang diterapkan. Dari seluruh skenario yang dianalisis, alternatif 3 menunjukkan nilai estimasi kerugian konsumsi BBM yang paling rendah dibandingkan dengan kondisi lainnya.

Implementasi Alternatif 3, yang merupakan kombinasi antara penyesuaian waktu siklus sinyal dan pergeseran poros lajur pada pendekat barat Simpang 4 APILL UPN, menunjukkan kinerja yang lebih baik

dibandingkan kondisi eksisting maupun alternatif lain. Penerapan skenario ini mampu menurunkan nilai tundaan lalu lintas menjadi 220,683 det/smp, yang berdampak pada peningkatan kelancaran arus kendaraan di kawasan simpang. Penurunan tundaan tersebut secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi konsumsi BBM. Berdasarkan metode LAPI-ITB, estimasi kerugian bahan bakar berkurang dari Rp 4.050.561/jam pada kondisi eksisting menjadi Rp 3.645.240/jam setelah penerapan Alternatif 3, sedangkan berdasarkan metode Lamsal (ATIS-India) terjadi penurunan dari Rp3.898.244/jam menjadi Rp 2.968.289/jam. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi pengaturan waktu sinyal dan penyesuaian geometrik berupa pergeseran poros lajur efektif dalam menekan tundaan serta kerugian konsumsi bahan bakar di simpang bersinyal.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukan kinerja simpang eksisting pada kondisi yang buruk dengan tingkat pelayanan F. Untuk Alternatif penanganan yang dinilai paling Alternatif 3, yang mampu menurunkan tundaan rata-rata simpang dari 290,615 detik/kendaraan menjadi 220,683 detik/kendaraan meskipun tingkat pelayanan masih berada pada kategori F. Dari sisi konsumsi BBM, pada kondisi eksisting dengan estimasi kerugian ekonomi Rp4.050.561/jam (LAPI-ITB) dan Rp3.898.244/jam (ATIS-India). Setelah penerapan Alternatif 3 terjadi penurunan estimasi kerugian menjadi Rp3.645.240/jam (LAPI-ITB) dan Rp 2.968.289/jam (ATIS-India). Peningkatan kinerja simpang juga perlu didukung oleh peningkatan kesadaran dan kedisiplinan pengendara dalam mematuhi rambu dan petunjuk pergerakan kendaraan. Dengan pengawasan kamera CCTV terintegrasi dengan sistem tilang elektronik (e-tilang).

Daftar Pustaka

Ahrys, V. (2018). Hubungan tundaan dan panjang antrean terhadap konsumsi bahan bakar minyak pada pendekat simpang (Studi kasus

Simpang Antasari, Simpang Air Putih, Simpang Lembuswana, dan Simpang Ahmad Yani). *Kurva Mahasiswa*, 1(1), 651–659.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). Pedoman kapasitas jalan Indonesia. Retrieved from <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/09pbm2023-pedoman-kapasitas-jalan-indonesia->

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2024). Pedoman perencanaan teknis geometrik simpang. Retrieved from <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/08pbm2024-pedoman-perencanaan-teknis-geometrik-simpang>

Fhadil, M. (2019). Analisis simpang bersinyal dan hubungan panjang antrean dan waktu tundaan terhadap konsumsi bahan bakar minyak (Studi kasus: Simpang bersinyal UPN Yogyakarta). Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.

Firmansyah, M. R., Supiyono, S., & Subagyo, U. (2024). Kajian U-turn di Jalan Soekarno Hatta Malang (Studi kasus depan Taman Krida) dengan metode PKJI 2023. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 5(3), 275–280.

Google Earth. (2024). Google Earth. Retrieved January 15, 2025, from <https://earth.google.com/>

Gustavsson, F. N. (2007). *New transportation research progress*. New York, NY: Nova Science Publishers, Inc.

Halim, M. (2022). Analisis dampak U-turn terhadap kinerja lalu lintas pada Jalan Ibrahim Adjie Kota Bandung. *Jurnal Media Transportasi*, 14(1), 10–18.

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. In *Prosiding The 9th Civil Engineering Research Forum (The 9th CEReForm)*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

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.

Kurniawan, I. (2023). Analisis pengaruh U-turn terhadap kinerja lalu lintas di Jalan Gajah Mada Kota Batam. *Jurnal Sigma Teknik Sipil*, 5(1), 24–33.

Lamsal, A. (2013). *Toward geo-enabled economy: Automotive Traffic Information System (ATIS) India*.

Nugroho, U. G. C. (2020). Analisis kinerja simpang bersinyal menggunakan bantuan perangkat lunak Vissim Student Version (Studi kasus:

- Simpang Sompok, Candisari, Semarang).
Jurnal Teknik Sipil, 16(1), 54–74.
- Pattiapon, C. G. (2020). Analisis kinerja putaran balik (U-turn) (Studi kasus: U-turn Jalan Wates KM 5 – depan Pasar Gamping). Tugas Akhir. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Pratama, H. B. (2021). Perbaikan fasilitas putaran balik dengan peningkatan kinerja simpang (Studi kasus: Simpang UPN dan Jalan Padjajaran). Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.
- PTV Group. (2015). PTV Vissim 8 user manual. Karlsruhe, Germany: PTV AG.
- Syawqy, A. H. (2025). Analisis kinerja dan biaya konsumsi bahan bakar pada simpang empat bersinyal Kamdanen Kota Yogyakarta (Studi kasus: Simpang Empat Sleman, Yogyakarta). Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.