

Evaluasi kinerja simpang dan biaya konsumsi bahan bakar pada Simpang Empat Ketandan Ringroad Timur berdasarkan PKJI 2023 dan pemodelan VISSIM

Rahmat Hadi W Harahap¹, Miftahul Fauziah^{1,*}

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

Article Info

Available online

Keywords:

Fuel consumption
PKJI 2023
VISSIM
Apill intersection
Delay

Abstract

The increasing vehicle volume at the Ketandan intersection on Ringroad East Yogyakarta has resulted in deteriorating traffic performance and higher fuel consumption due to excessive delays. Garuda Road, which provides direct access to the intersection, further aggravates the situation. This study aims to assess the intersection's performance and propose solutions to enhance traffic efficiency and reduce fuel loss. Data were collected over two weekdays and one weekend day across three time periods. The analysis was conducted using the Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI 2023) and PTV VISSIM microsimulation, with fuel consumption estimated using the LAPI ITB (2003) and Lamsal ATIS-India (2013) methods. The findings indicate that the current condition experiences a high degree of saturation (maximum 1.84), with average delays of 334.54 seconds per smp (PKJI) and 235.5 seconds per vehicle (VISSIM). Fuel losses were estimated at approximately IDR 3.6 million using the LAPI ITB method and IDR 1.4 million using the Lamsal method. Among the three proposed alternatives, Alternative 3 proved to be the most effective, involving the conversion of Jalan Garuda to a one-way street, prohibition of right turns, and adjustment of the signal cycle to 156 seconds. This scenario reduced delays to 129.6 seconds per vehicle and significantly lowered fuel losses. Despite improvements, the intersection still operates at Level of Service F.

Corresponding Author:

Miftahul Fauziah

miftahul.fauziah@uii.ac.id

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Daerah Istimewa Yogyakarta dikenal sebagai kota pendidikan dan pariwisata yang menarik perhatian banyak masyarakat luar daerah untuk berkunjung maupun menetap. Akibatnya, jumlah penduduk terus meningkat hingga mencapai 3.761.870 jiwa dengan laju pertumbuhan sebesar 1,44% pada tahun 2022 (Badan Pusat Statistik, 2022). Pertambahan jumlah penduduk ini sejalan dengan peningkatan jumlah kendaraan (Nindita, 2020), yang berdampak pada tingginya volume lalu lintas. Kepadatan kendaraan ini kemudian memicu terjadinya kemacetan di berbagai titik, terutama di simpang-simpang dekat pusat aktivitas Masyarakat (Bina Marga, 1997). Salah satu simpang yang mengalami kemacetan tinggi adalah Simpang Empat Ketandan Ringroad Timur yang menghubungkan Jalan Wonosari dan Jalan

Majapahit – Ahmad Yani, serta dikelilingi oleh sekolah, kampus, perumahan, dan pusat perbelanjaan. Selain volume kendaraan yang tinggi, keberadaan Jalan Garuda sebagai jalan minor yang langsung terhubung ke simpang turut meningkatkan titik konflik dan memperlambat arus kendaraan. Bentuk simpang yang tidak simetris juga menambah permasalahan. Kondisi ini mengakibatkan tundaan yang berujung pada peningkatan konsumsi bahan bakar (Sinambela dkk., 2023), sehingga diperlukan analisis menyeluruh terhadap kinerja simpang tersebut.

Evaluasi kinerja Simpang Ketandan dilakukan berdasarkan acuan dari Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 yang merupakan pembaruan dari MKJI 1997 (Bina Marga, 2023). PKJI dipilih karena mampu mengakomodasi kondisi lalu lintas modern, termasuk pengaruh

hambatan samping dan perubahan pola lalu lintas (Rahmawati dkk., 2024). Untuk memperkuat analisis, digunakan juga perangkat lunak PTV VISSIM yang dapat mensimulasikan perilaku lalu lintas secara mikroskopis dan menyusun skenario pengaturan lalu lintas (Octaviani, 2024). Selain itu, estimasi kerugian bahan bakar dihitung menggunakan formulasi dari LAPI ITB (2003) dan Lamsal 2013 (ATIS-India) untuk memberikan gambaran efisiensi ekonomi akibat tundaan lalu lintas.

Tinjauan Pustaka

Evaluasi pada simpang menggunakan PKJI 2023

Putri dkk. (2024) mengevaluasi kinerja simpang bersinyal di pertemuan Jl. Hasyim Asyari, Jl. Imam Bonjol, dan Jl. Mastrip, Bojonegoro, menggunakan metode PKJI 2023. Simpang menunjukkan kondisi hampir jenuh dengan tingkat pelayanan C akibat lamanya siklus sinyal. Perbaikan dilakukan melalui pengaturan fase sinyal, pelebaran lengan pendekat, dan penyesuaian waktu siklus. Hasilnya, terjadi penurunan derajat kejenuhan dan tundaan secara signifikan, sehingga tingkat pelayanan meningkat menjadi kategori B.

Evaluasi pada simpang menggunakan perangkat lunak VISSIM

Semiun dkk. (2021) mengevaluasi kinerja dua simpang bersinyal berdekatan, yakni simpang Jalan Sulfat dan Jalan Ciliwung, dengan tujuan meningkatkan kenyamanan dan keamanan lalu lintas. Analisis dilakukan menggunakan metode PKJI 2014 dan simulasi mikroskopis melalui PTV VISSIM. Pada kondisi eksisting, kedua simpang menunjukkan tingkat pelayanan D, yang mencerminkan kepadatan lalu lintas tinggi.

Upaya perbaikan dilakukan melalui simulasi pelebaran lengan simpang, yang terbukti menurunkan panjang antrean secara signifikan. Misalnya, panjang antrean lengan utara di simpang Sulfat mencapai 65,68 m, dan di simpang Ciliwung, lengan selatan tercatat 63,98 m. Alternatif ini berhasil meningkatkan tingkat pelayanan menjadi kategori C pada kedua simpang.

Estimasi biaya bahan bakar menggunakan LAPI – ITB tahun 2003

Penelitian yang dilakukan oleh Sinambela et al. (2021) pada simpang Jl. A. A. Maramis – Jl. Ringroad II bertujuan untuk menganalisis tingkat pelayanan serta menghitung peningkatan konsumsi bahan bakar akibat tundaan lalu lintas. Dalam studi ini digunakan metode MKJI (Bina Marga) 1997 serta rumus LAPI-ITB tahun 1996 yang telah disesuaikan ke dalam satuan mobil penumpang oleh Isnaini pada tahun 2003. Temuan penelitian menunjukkan adanya korelasi positif antara kinerja simpang dan tingkat konsumsi bahan bakar, di mana peningkatan tundaan pada simpang berkontribusi terhadap bertambahnya konsumsi bahan bakar kendaraan.

Estimasi biaya bahan bakar menggunakan lamsal (ATIS-India Tahun 2013)

Penelitian oleh Romadhona dan Suhandha (2019) menelusuri keterkaitan antara kinerja simpang bersinyal dan konsumsi bahan bakar di kawasan Gondomanan, Yogyakarta. Tujuan dari studi ini adalah untuk menilai kondisi eksisting simpang dengan menganalisis tundaan dan panjang antrean, serta mengevaluasi dampaknya terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan. Metode yang diterapkan mencakup pemodelan mikrosimulasi melalui perangkat lunak VISSIM, referensi dari Bina Marga, dan perhitungan berdasarkan rumus Lamsal (ATIS-India). Hasil analisis menunjukkan bahwa simpang mengalami rata-rata tundaan sebesar 25 detik dengan derajat kejenuhan yang melebihi batas ambang 0,85. Berdasarkan perhitungan metode Lamsal, dalam satu jam terjadi pemborosan bahan bakar sebesar 286,668 liter yang mengakibatkan potensi kerugian ekonomi mencapai Rp2.150.012,-.

Metode Penelitian

Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan pada Simpang Ketandan Ringroad Timur seperti ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Simpang Ketandan
(Sumber: Google Earth, 2024)

Data penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Rincian lebih lanjut terkait data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Data Penelitian

Data Primer	Data Sekunder
1. Volume Kendaraan	1. Jumlah
2. Waktu Siklus Simpang	2. Penduduk
3. Geometri Simpang	2. Data
4. Kecepatan Kendaraan	Ukuran
5. Data <i>Driving Behavior</i>	Kota
6. Hambatan Samping	
7. Panjang Antrean	

Survei lalu lintas dilaksanakan selama tiga hari, yang terdiri dari dua hari aktif (Senin dan Rabu) serta satu hari akhir pekan (Sabtu). Pemilihan hari pelaksanaan survei didasarkan pada hasil observasi langsung yang dilakukan di Simpang Ketandan. Pengambilan data dilakukan dalam tiga rentang waktu, yaitu pagi, siang, dan sore dengan pembagian waktu sebagai berikut:

- Pagi: pukul 07.00 – 09.00 WIB
- Siang: pukul 11.00 – 13.00 WIB
- Sore: pukul 16.00 – 18.00 WIB

Analisis data

Proses analisis data dilakukan berdasarkan metode PKJI 2023. Melalui pendekatan ini, diperoleh hasil evaluasi kinerja simpang pada kondisi eksisting, meliputi derajat kejenuhan, panjang antrian, tundaan, dan tingkat pelayanan.

Penentuan alternatif solusi dilakukan melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak VISSIM.

Hasil simulasi dari setiap alternatif kemudian dibandingkan dengan kondisi eksisting untuk mengidentifikasi skenario yang paling efektif pada Simpang Ketandan.

Estimasi biaya konsumsi bahan bakar akibat tundaan pada simpang dihitung berdasarkan hasil perhitungan tundaan menggunakan metode PKJI 2023 dan pemodelan VISSIM. Perhitungan biaya tersebut mengacu pada formulasi dari LAPI-ITB (2003) dan Lamsal (2013) yang dikembangkan oleh ATIS-India.

Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) berfungsi sebagai pengatur pergerakan kendaraan di persimpangan guna meminimalkan potensi konflik primer maupun sekunder melalui pemisahan waktu gerak kendaraan. Selain itu, penggunaan APILL bertujuan untuk menjaga kapasitas simpang selama jam sibuk dan menurunkan risiko kecelakaan akibat tabrakan dari arah berlawanan. Umumnya, APILL diterapkan pada simpang dengan volume lalu lintas yang tinggi.

Arus jenuh

Menurut Bina Marga (2023), arus jenuh merupakan jumlah kendaraan maksimum yang mampu melintasi pendekat simpang dalam kondisi lalu lintas tertentu selama satu satuan waktu, yang dinyatakan dalam satuan smp/jam (satuan mobil penumpang per jam). Perhitungan arus jenuh pada simpang yang dilengkapi dengan APILL dapat dilakukan menggunakan Persamaan 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 :

J = arus jenuh (smp/jam),

J_0 = arus jenuh dasar (smp/jam),

F_{HS} = faktor penyesuaian hambatan samping,

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 simpang APILL

Kapasitas simpang dengan APILL adalah besarnya kemampuan simpang dalam mengakomodasi arus lalu lintas maksimum

dalam satuan waktu tertentu. Perhitungan kapasitas pada simpang bersinyal dapat dilakukan menggunakan Persamaan 2 berikut.

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

Keterangan:

C = kapasitas (smp/jam),
J = arus Jenuh (smp/jam),
W_H = total waktu hijau (detik), dan
S = waktu siklus (detik).

Derajat kejenuhan

Derajat kejenuhan menggambarkan perbandingan antara volume lalu lintas aktual (q) dengan kapasitas jalan (C). Nilai derajat kejenuhan (DJ) dapat dihitung melalui Persamaan 3 berikut.

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

Keterangan:

D_j = derajat kejenuhan,
C = kapasitas (SMP/jam), dan
q = volume lalu lintas (SMP/jam).

Panjang antrian

Berdasarkan Bina Marga (2023), panjang antrean didefinisikan sebagai total panjang kendaraan yang menunggu di simpang akibat hambatan lalu lintas atau kapasitas pendekat yang tidak mencukupi. Panjang antrean diukur dari titik paling belakang hingga titik terdepan antrean pada satu lengan pendekat, dan dinyatakan dalam satuan meter. Perhitungan panjang antrean dilakukan menggunakan Persamaan 4.

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

Keterangan:

P_A = panjang antrian,
N_q = jumlah antrian maksimum, dan
L_M = lebar masuk.

Tundaan

Mengacu pada Bina Marga (2023), tundaan diartikan sebagai selisih waktu tempuh yang dialami kendaraan akibat adanya hambatan di simpang dibandingkan dengan kondisi ideal tanpa hambatan. Nilai tundaan dapat dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$T_i = T_{LL} + T_G \quad (5)$$

Tundaan rata rata Pada seluruh pendekat simpang APILL dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 6 sebagai berikut.

$$T_i = \frac{\sum q \times T}{q_{total}} \quad (6)$$

Penilaian tingkat pelayanan

Tingkat pelayanan digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi kualitas atau kinerja suatu ruas jalan dalam melayani arus lalu lintas. Mengacu pada Kementerian Perhubungan (2015), klasifikasi tingkat pelayanan simpang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 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 merupakan perangkat lunak simulasi mikroskopis yang dikembangkan oleh PTV Group, Jerman, sejak tahun 1992. Nama VISSIM berasal dari bahasa Jerman Verkehr In Städten – SIMulationsmodell, yang berarti “model simulasi lalu lintas di kota”. Perangkat ini mampu mensimulasikan perilaku lalu lintas berdasarkan variabel seperti jarak antar kendaraan, kecepatan, akselerasi, dan reaksi pengemudi. VISSIM sering digunakan untuk menganalisis kinerja simpang karena dapat mengevaluasi tundaan, panjang antrian, dan tingkat pelayanan (LOS) secara rinci. Dengan input data jaringan jalan, volume kendaraan, dan pengaturan sinyal, VISSIM membantu pengguna mengidentifikasi permasalahan lalu lintas dan mengevaluasi berbagai alternatif pengaturan, serta menyediakan visualisasi 2D dan 3D yang memudahkan interpretasi hasil simulasi.

Kalibrasi dan validasi data

Kalibrasi merupakan proses penyesuaian parameter dalam model simulasi agar hasilnya mendekati kondisi lalu lintas di lapangan, sedangkan validasi dilakukan dengan membandingkan output simulasi VISSIM dengan data aktual. Penyesuaian dilakukan secara iteratif melalui pendekatan trial and error hingga diperoleh kesesuaian yang memadai. Untuk mengukur tingkat kesesuaian

tersebut, digunakan metode statistik GEH (Geoffrey E. Havers), yang merupakan modifikasi dari uji Chi-kuadrat dan mempertimbangkan perbedaan relatif dan absolut antara data simulasi dan observasi. Formulasi perhitungan GEH disajikan pada Persamaan 7, sedangkan kriteria kelayakan atau ambang batasnya tercantum dalam Tabel 2.

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{simulated} - q_{observed})^2}{0,5 \times (q_{simulated} + q_{observed})}} \quad (7)$$

Keterangan:

q = data volume arus lalu lintas.

Tabel 2 Penilaian Hasil Uji Statistika GEH

Nilai GEH	Keterangan
GEH < 5,0	Diterima
5,0 ≤ GEH ≤ 10,0	Peringatan: Kemungkinan model <i>error</i> atau data buruk
GEH > 10,0	Ditolak

(Sumber: Gustavsson, 2007)

Pengujian Mean Absolute Percentage Error (MAPE) digunakan sebagai metode validasi eksternal untuk memverifikasi parameter kinerja seperti kecepatan kendaraan dan panjang antrian pada ruas jalan maupun simpang. Nilai MAPE dihitung untuk mengukur tingkat kesalahan antara hasil simulasi dan data observasi lapangan yang dapat dilihat pada Persamaan 8 serta persyaratan kesimpulan perhitungan pada Tabel 3 berikut.

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

Keterangan:

n = jumlah data,

At = data dilapangan, dan

Ft = data simulasi.

Tabel 3 Kesimpulan dari Hasil Perhitungan MAPE

MAPE	Kesimpulan
>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

Penelitian yang dilakukan oleh Isnaeni (2003) memfokuskan kajiannya pada indikator lalu lintas dari sudut pandang lingkungan,

khususnya konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang.

Perhitungan konsumsi bahan bakar dalam studi tersebut 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 Persamaan 9. Persamaan 10, dan Persamaan 11 berikut.

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

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

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

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, B = -455.10⁻³, 490.10⁻⁵,
D = 140.10⁻², dan E = 770.10⁻⁸.

Pada pendekatan simpang, konsumsi bahan bakar dihitung menggunakan Persamaan F3 yang merepresentasikan konsumsi saat kendaraan dalam kondisi *idle* atau berhenti dengan mesin menyala.

Lamsal (ATIS- India) tahun 2013

Metode Lamsal (2013) digunakan untuk menghitung konsumsi bahan bakar dengan mempertimbangkan volume BBM yang dikonsumsi saat kendaraan mengalami tundaan pada tiap pendekat simpang. Perhitungan ini menggunakan koefisien konsumsi kendaraan dalam kondisi diam (*idle*) yang telah disesuaikan dengan jenis kendaraan dan mengacu pada nilai konversi yang ditetapkan oleh Lamsal yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Koefisien Konsumsi BBM

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

Sumber: Lamsal (2013)

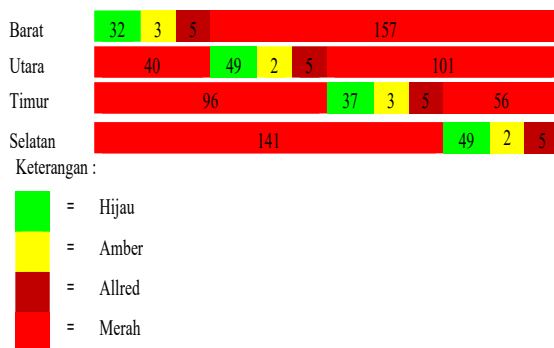
Hasil dan Pembahasan

Data hasil penelitian

Berdasarkan hasil penelitian, volume lalu lintas tertinggi di Simpang Ketandan tercatat pada hari Sabtu pukul 16.00 hingga 17.00 WIB dengan jumlah mencapai 3772,7 smp/jam. Rincian terkait waktu siklus serta pembagian fase dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 2.

Tabel 6 Waktu siklus simpang Ketandan

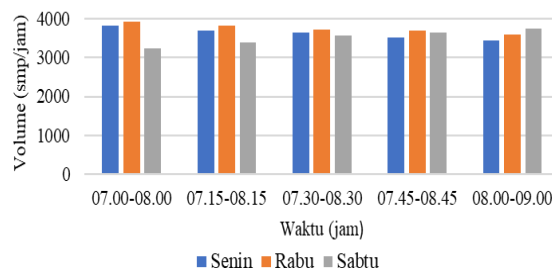
Pendekat	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Allred (detik)	Merah (detik)	Waktu siklus
(Barat)	32	3	5	157	197
(Utara)	49	2	5	141	197
(Timur)	37	3	5	152	197
(Selatan)	49	2	5	144	197



Gambar 2 Diagram fase simpang ketandan

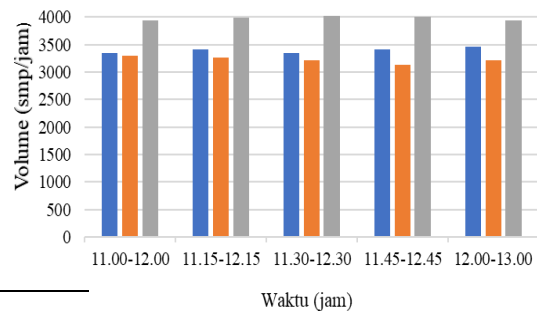
Analisis kinerja simpang berdasarkan PKJI 2023

Puncak arus lalu lintas di Simpang Empat APILL Ketandan terjadi pada hari Sabtu antara pukul 16.00 hingga 17.00 WIB, dengan total kendaraan mencapai 4478 smp/jam. Informasi lebih rinci mengenai volume lalu lintas pada jam sibuk tersebut ditampilkan dalam Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.

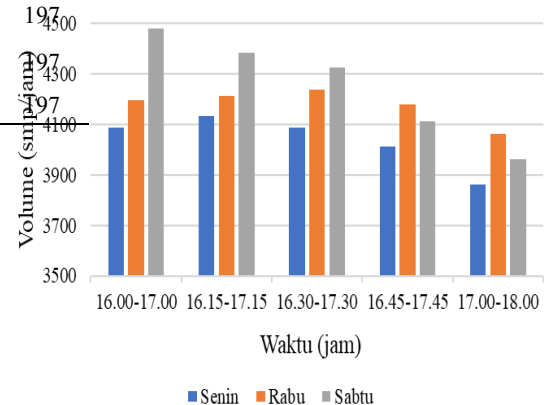


Gambar 3 Histogram Volume kendaraan pagi

(smp/jam)



Gambar 4 Histogram Volume kendaraan Siang (smp/jam)



Gambar 5 Histogram Volume kendaraan Sore (smp/jam)

Berdasarkan hasil analisis menggunakan PKJI 2023, derajat kejenuhan tertinggi tercatat pada pendekat barat (Jalan Wonosari) sebesar 1,84, yang melebihi ambang batas 0,85 dan menunjukkan kondisi jenuh. Pendekat lainnya, yaitu Jalan Majapahit (utara) dan Jalan Wonosari (timur) masing-masing sebesar 1,45, serta Jalan Ahmad Yani (selatan) sebesar 1,19, juga berada di atas batas toleransi yang ditetapkan. Selain derajat kejenuhan, parameter kinerja lain yang dianalisis mencakup panjang antrian dan tundaan kendaraan, dengan hasil rekapitulasi ditampilkan pada Tabel 7 serta Tabel 8.

Tabel 7 Rekapitulasi panjang antrian

Pendekat	Panjang Antrian Menggunakan PKJI (m)
(Barat)	569
(Utara)	350
(Timur)	322
(Selatan)	241

Tabel 8 Rekapitulasi tundaan dan tingkat pelayanan

Pendekat	Tundaan (T) (smp/jam)	Tundaan rata rata (Ti)	Tingkat pelayanan
(Barat)	806,1	334,54	F
(Utara)	295,4		
(Timur)	395,1		
(Selatan)	159,2		

Berdasarkan Tabel 8, diketahui bahwa Simpang Bersinyal Ketandan memiliki rata-rata waktu tundaan sebesar 334,54 detik per smp, yang diklasifikasikan dalam tingkat pelayanan kategori F, menandakan kinerja lalu lintas yang sangat buruk.

Pemodelan dengan perangkat lunak VISSIM

Pemodelan lalu lintas dengan bantuan perangkat lunak VISSIM dilakukan berdasarkan hasil observasi langsung di lapangan. Data yang dimanfaatkan meliputi volume kendaraan selama satu jam pada waktu puncak, kecepatan kendaraan, konfigurasi geometrik simpang, jarak antar kendaraan, serta durasi waktu siklus pada simpang tersebut. Seluruh informasi tersebut digunakan sebagai acuan dalam menyusun simulasi yang menggambarkan kondisi aktual di lokasi studi.

Untuk memastikan model tersebut akurat, dilakukan proses kalibrasi menggunakan pendekatan *trial and error*. Kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan parameter *driving behavior* pada VISSIM secara bertahap hingga hasil simulasi menunjukkan pola lalu lintas yang serupa dengan kondisi aktual. Parameter seperti *stand still distance*, *headway time*, dan *look ahead distance* disesuaikan agar mencerminkan perilaku pengemudi di lapangan.

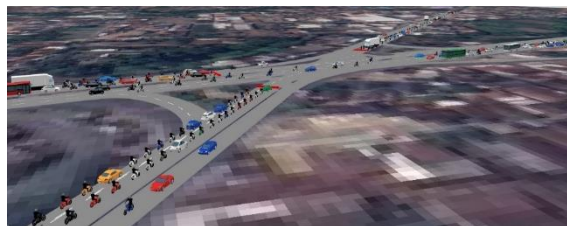
Tujuan utama dari proses ini adalah agar model mampu memberikan hasil yang representatif terhadap kenyataan, baik dari

segi panjang antrean, kecepatan, maupun volume kendaraan. Hasil akhir dari proses kalibrasi ditampilkan pada Tabel 9, yang memperlihatkan parameter-parameter yang telah disesuaikan serta justifikasi atas pemilihannya.

Tabel 9 Hasil *trial and error* kalibrasi

Parameter	Sebelum	Sesudah
<i>Average Standstill Distance (m)</i>	2	0,2
<i>Additive Part of Safety Distance</i>	2	0,2
<i>Multiplicative Part of Safety Distance</i>	3	0,2
<i>Minimum</i>	0	0
<i>Look ahead distance (m)</i>	250	250
<i>Observed vehicles</i>	4	4
<i>Look back distance (m)</i>	0	0
<i>Maximum</i>	150	150
<i>Waiting time before diffusion (s)</i>	60	140
<i>Minimum headway (front /rear) (m)</i>	0,5	0,2
<i>Safety distance reduction factor</i>	0,6	0,2
<i>Desired position at free flow</i>	Middle of Lane	Any
<i>Minimum distance standing (m)</i>	0,2	0,15
<i>Minimum distance driving (m)</i>	1	0,2
<i>Overtake on same lane</i>	None	On left On right
<i>Behaviour at Red / Amber Signal</i>	Stop (same as red)	Go (same as Green)

Adapun Visualisasi pemodelan sebelum dan sesudah proses kalibrasi ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 Pemodelan vissim sebelum kalibrasi



Gambar 7 Pemodelan vissim setelah kalibrasi

Setelah tahap kalibrasi diselesaikan, langkah selanjutnya adalah melakukan validasi model guna memastikan bahwa hasil simulasi mencerminkan kondisi aktual dengan tingkat akurasi yang memadai. Proses validasi ini dilakukan menggunakan dua pendekatan, yakni uji GEH dan MAPE.

Uji GEH digunakan untuk menilai kesesuaian antara

volume kendaraan hasil simulasi dan data observasi lapangan, sedangkan uji MAPE digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan relatif pada parameter kecepatan dan panjang antrean. Hasil validasi yang menunjukkan nilai sesuai ambang batas menandakan bahwa model dapat dikatakan valid. Rincian hasil pengujian disajikan pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10 Uji GEH setelah kalibrasi

Pendekat	Volume Kendaraan (kend/jam)			Uji GE H
	Hasil survei	Hasil Simulasi	Selisih	
Barat	2416	2193	223	4,6
Utara	3504	3442	62	1,05
Timur	1707	1530	177	4,39
Selatan	2292	2213	79	1,67
Jl. Garuda	219	237	18	1,19

Tabel 11 Uji MAPE setelah kalibrasi

Pendekat	Panjang Antrian (P _A)			Uji MAPE
	Hasil survei	Hasil Simulasi VISSIM	Selisih	
Barat	199,21	219,453	20,2427	10,161
Utara	315,44	234,103	81,337	25,785
Timur	315,263	386,088	70,824	22,465
Selatan	163,158	237,993	74,835	45,867

Hasil pemodelan menggunakan VISSIM menunjukkan nilai derajat kejenuhan sebesar 1,67 pada pendekat Barat, 1,32 pada pendekat Utara, 1,19 pada pendekat Timur, dan 1,37 pada pendekat Selatan. Panjang antrian masing-masing adalah 219,453 m (Barat), 234,103 m (Utara), 386,088 m (Timur), dan 237,993 m (Selatan). Nilai tundaan tercatat sebesar 639,456 detik per kendaraan pada pendekat Barat, 64,224 detik per kendaraan pada pendekat Utara, 152,741 detik per kendaraan pada pendekat Timur, dan 143,87 detik per kendaraan pada pendekat Selatan. Rata-rata tundaan dari hasil simulasi sebesar 235,5 detik per kendaraan dengan tingkat pelayanan F.

Estimasi Dampak Tundaan terhadap Biaya Bahan Bakar di Simpang Ketandan

Analisis penggunaan bahan bakar di Simpang Ketandan dilakukan dengan menerapkan dua pendekatan, yakni metode LAPI-ITB dan metode Lamsal (ATIS-India), yang bertujuan untuk menilai pengaruh tundaan terhadap

efisiensi kendaraan. Metode LAPI-ITB menganggap bahwa konsumsi bahan bakar bersifat konstan, sedangkan pendekatan Lamsal memperhitungkan perbedaan dalam konsumsi berdasarkan jenis kendaraan.

Berdasarkan hasil perhitungan tundaan dari PKJI 2023 dan VISSIM, estimasi kerugian konsumsi BBM dengan metode LAPI-ITB mencapai Rp 6.282.197 (PKJI) dan Rp 3.625.049 (VISSIM). Sedangkan metode Lamsal menghasilkan total kerugian sebesar Rp 2.517.483 (PKJI) dan Rp 1.449.790 (VISSIM).

Hasil ini menunjukkan bahwa tundaan lalu lintas memberikan dampak signifikan terhadap konsumsi bahan bakar dan kerugian ekonomi, serta pentingnya peningkatan kinerja simpang untuk efisiensi operasional dan kebijakan transportasi berkelanjutan.

Alternatif pemecahan masalah

Mengacu pada Tabel 10 dan 11, hasil pemodelan VISSIM untuk kondisi eksisting dinyatakan valid karena nilai GEH berada di bawah 5%, serta nilai MAPE kurang dari 20%, yang menunjukkan tingkat prediksi yang baik. Dengan demikian, model telah memenuhi syarat untuk digunakan dalam simulasi skenario alternatif. Dalam penelitian ini, dirumuskan tiga alternatif solusi yang diusulkan untuk mengatasi permasalahan pada simpang.

Alternatif solusi pertama dilakukan dengan menyesuaikan waktu siklus sinyal lalu lintas dari semula 197 detik menjadi 127 detik, yang diperoleh melalui proses uji coba bertahap (trial and error). Selain itu, diberlakukan sistem satu arah pada Jalan Garuda, di mana hanya kendaraan yang menuju ke arah jalan tersebut yang diizinkan melintas, sementara arus dari arah sebaliknya tidak diperbolehkan. Rincian perubahan atau penyesuaian waktu siklus ditampilkan pada Tabel 12.

Tabel 12 Waktu siklus alternatif 1

Pendekat	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Allred (detik)	Merah (detik)	Waktu siklus
(Barat)	29	2	4	92	127
(Utara)	26	2	4	95	127
(Timur)	22	2	4	99	127
(Selatan)	26	2	4	95	127

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan nilai derajat kejenuhan sebesar 1,338 pada pendekat Barat, 1,54 pada pendekat Utara, 1,27 pada pendekat Timur, dan 1,17 pada pendekat Selatan. Panjang antrian masing-masing adalah 202,887 m (Barat), 186,908 m (Utara), 203,23 m (Timur), dan 215,369 m (Selatan). Nilai tundaan tercatat sebesar 480,442 detik per kendaraan pada pendekat Barat, 86,441 detik per kendaraan pada pendekat Utara, 60,98 detik per kendaraan pada pendekat Timur, dan 126,109 detik per kendaraan pada pendekat Selatan. Rata-rata tundaan sebesar 181,2 detik per kendaraan dengan tingkat pelayanan F.

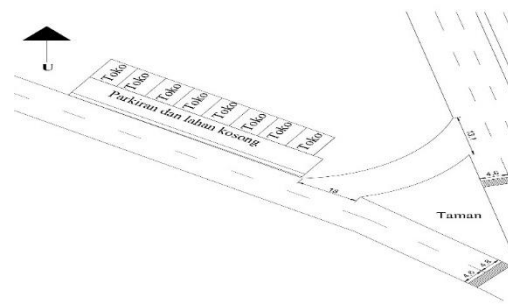
Estimasi kerugian akibat tundaan yang disebabkan alternatif 1 terhadap konsumsi bahan bakar berdasarkan metode LAPI-ITB mencapai Rp 2.870.326 per jam, sedangkan perhitungan menggunakan metode Lamsal (ATIS-India) menghasilkan kerugian sebesar Rp 1.164.035 per jam.

Alternatif kedua dilakukan dengan melebarkan lengan pendekat sisi barat sebesar 1 meter dan mengatur ulang waktu siklus menjadi 150 detik. Sistem satu arah juga diterapkan pada Jalan Garuda, di mana hanya kendaraan yang mengarah ke jalan tersebut yang diperbolehkan melintas, sementara arus dari arah sebaliknya dilarang. Rincian waktu siklus yang digunakan disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13 Waktu siklus alternatif 2

Pendekat	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Allred (detik)	Merah (detik)	Waktu siklus
(Barat)	33	2	4	111	150
(Utara)	34	2	4	110	150
(Timur)	26	2	4	118	150
(Selatan)	33	2	4	111	150

Pelebaran lengan pendekat barat dimungkinkan hingga 1 meter karena masih tersedia ruang kosong dengan lebar yang sama, yang dapat dimanfaatkan untuk mengurangi tingkat tundaan yang tinggi pada pendekat tersebut. Ilustrasi lokasi pendekat barat ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Sketsa lokasi pendekat barat

Berdasarkan hasil analisis pemodelan VISSIM untuk Alternatif 2, nilai derajat kejenuhan tertinggi terdapat pada pendekat Timur (Jalan Wonosari) sebesar 1,28, diikuti oleh pendekat Utara (Jalan Majapahit) sebesar 1,19, Barat (Jalan Wonosari) sebesar 1,13, dan Selatan (Jalan Ahmad Yani) sebesar 1,02. Panjang antrean kendaraan tercatat sebesar 223,241 meter pada pendekat Timur, 215,369 meter pada Selatan, 187,154 meter pada Utara, dan 165,475 meter pada Barat. Nilai tundaan tertinggi terjadi pada pendekat Barat sebesar 338,41 detik per kendaraan, diikuti oleh pendekat Selatan sebesar 145,36 detik, Timur 74,188 detik, dan Utara 44,235 detik per kendaraan. Rata-rata tundaan simpang tercatat sebesar 138,5 detik per kendaraan dengan tingkat pelayanan berada pada kategori F.

Estimasi kerugian akibat konsumsi bahan bakar yang disebabkan oleh tundaan pada Alternatif 2 diperkirakan sebesar Rp 2.304.849 per jam berdasarkan metode LAPI-ITB, dan sebesar Rp 953.701 per jam menurut perhitungan metode Lamsal (ATIS-India). Nilai ini mencerminkan dampak signifikan dari kemacetan terhadap efisiensi energi dan biaya operasional kendaraan di simpang tersebut.

Alternatif ketiga dilakukan dengan melakukan penyesuaian waktu siklus dari 197 detik menjadi 156 detik. Selain itu, diberlakukan pelarangan manuver belok kanan bagi kendaraan yang berasal dari arah pendekat utara maupun pendekat selatan sebagai upaya untuk mengurangi konflik lalu lintas dan meningkatkan efisiensi pergerakan kendaraan di simpang.

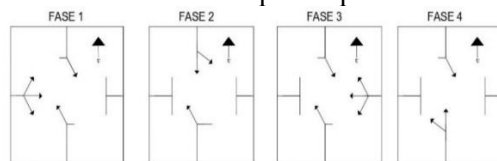
Penerapan sistem satu arah juga dilakukan pada Jalan Garuda, di mana hanya kendaraan yang menuju ke arah jalan tersebut yang diizinkan melintas. Sementara itu, arus kendaraan yang berasal dari Jalan Garuda tidak diperkenankan.

Penyesuaian terhadap waktu siklus dan fase sinyal dapat dilihat secara rinci pada Tabel 14 berikut.

Tabel 14 Waktu siklus alternatif 3

Pendekat	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Allred (detik)	Merah (detik)	Waktu siklus
(Barat)	39	2	4	111	156
(Utara)	33	2	4	117	156
(Timur)	27	2	4	123	156
(Selatan)	33	2	4	117	156

Pengaturan fase sinyal akibat pelarangan manuver belok kanan pada pendekat dari arah Utara dan Selatan ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Sketsa lokasi pendekat barat

Berdasarkan hasil analisis pemodelan VISSIM untuk Alternatif 3, derajat kejenuhan tertinggi tercatat pada pendekat Timur (Jalan Wonosari) sebesar 1,28, diikuti oleh pendekat Barat (Jalan Wonosari) sebesar 1,23, Selatan (Jalan Ahmad Yani) sebesar 1,22, dan Utara (Jalan Majapahit) sebesar 1,14. Panjang antrian terpanjang terjadi pada pendekat Timur sebesar 243,541 meter, kemudian disusul pendekat Barat 168,012 meter, Utara 165,547 meter, dan Selatan 139,987 meter.

Tundaan per kendaraan tertinggi terjadi pada pendekat Barat sebesar 369,155 detik, diikuti oleh Timur sebesar 84,64 detik, Selatan 58,755 detik, dan Utara 29,98 detik. Rata-rata tundaan simpang tercatat sebesar 129,6 detik per kendaraan, dengan tingkat pelayanan berada pada kategori F.

Estimasi total kerugian akibat konsumsi bahan bakar pada Alternatif 3 diperkirakan sebesar Rp 1.889.042 per jam berdasarkan metode LAPI-ITB, dan Rp 756.369 per jam berdasarkan metode Lamsal (ATIS-India). Nilai ini mencerminkan besarnya dampak tundaan terhadap pemborosan energi di simpang tersebut.

Penerapan Alternatif 3 memerlukan dukungan kebijakan manajemen lalu lintas,

khususnya terkait pengaturan manuver kendaraan. Salah satu penyesuaian utama adalah pelarangan belok kanan pada pendekat Utara dan Selatan untuk mengurangi konflik dan memperlancar arus lalu lintas, sehingga diperlukan pengalihan rute kendaraan.

1. Pengalihan arus pendekat Utara: Kendaraan dari arah Utara yang akan belok ke Barat dialihkan melalui Simpang Blok O – Jl. Gedongkuning – Jl. Wonosari (lihat Gambar 10).



Gambar 10 Sketsa Pengalihan Arus dikarenakan Pelarangan Belok Kanan pada Pendekat Utara (sumber : Google Maps, 2025)

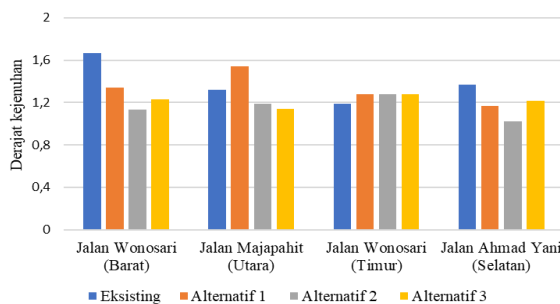
2. Pengalihan arus pendekat Selatan: Kendaraan dari arah Selatan menuju Barat dialihkan melalui:
 - a. Sepeda motor: Jl. Ngipik – Jl. Wijoyo Kidul – Jl. Wonosari
 - b. Mobil dan kendaraan berat: Jl. Ngipik – Jl. Protorono Kidul – Jl. Wonosari (lihat Gambar 11).



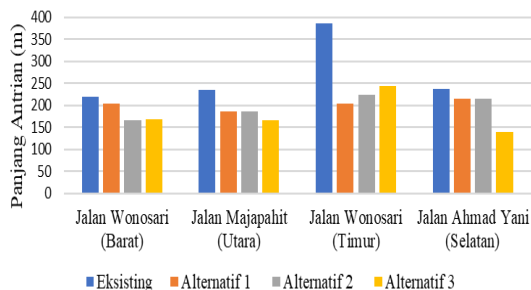
Gambar 11 Sketsa Pengalihan Arus dikarenakan Pelarangan Belok Kanan pada Pendekat Selatan (sumber : Google Maps, 2025)

Kebijakan ini perlu diuji lebih lanjut untuk memastikan efektivitasnya dalam mengurangi konflik, memperlancar arus, serta meningkatkan kinerja simpang. Simulasi lanjutan juga penting untuk menilai kelayakan penerapan di lapangan dan dampaknya terhadap jaringan jalan sekitar.

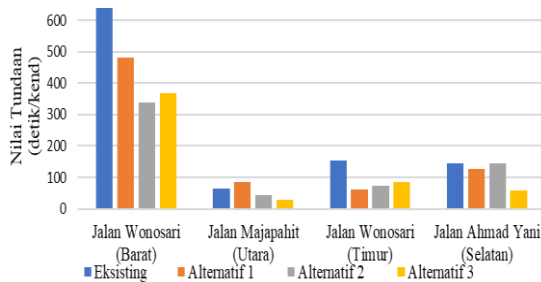
Perbandingan kondisi eksisting dengan ketiga alternatif solusi dapat dilihat pada Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15.



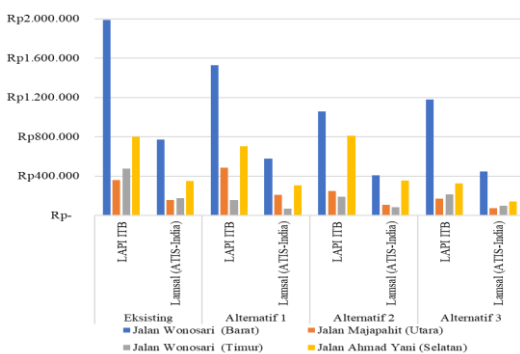
Gambar 12 Perbandingan nilai derajat kejenuhan



Gambar 13 Perbandingan panjang antrian



Gambar 14 Perbandingan nilai tundaan



Gambar 15 Perbandingan kerugian total konsumsi bahan bakar pada simpang ketandan

Berdasarkan Gambar 12–15, Alternatif 2 paling optimal dalam menurunkan derajat kejenuhan di seluruh pendekat, sedangkan Alternatif 3 menunjukkan kinerja terbaik dalam aspek panjang antrean, tundaan, dan efisiensi bahan bakar. Penyesuaian durasi siklus menjadi 156

detik disertai dengan penerapan larangan belok kanan pada pendekat dari arah Utara dan Selatan berkontribusi terhadap penurunan tundaan menjadi 129,6 det/kend dan kerugian bahan bakar hingga 47% (Rp1,88 juta/jam – LAPI ITB; Rp756 ribu/jam – Lamsal), menjadikan Alternatif 3 solusi paling efektif secara menyeluruh.

simpang tetapi juga meningkatkan efisiensi bahan bakar. Berdasarkan hasil analisis, Alternatif 3 dapat disimpulkan sebagai solusi yang paling optimal dalam meningkatkan kinerja simpang. Selain memberikan hasil terbaik dalam hal panjang antrean, tundaan, dan tingkat pelayanan, alternatif ini juga memiliki biaya perbaikan yang lebih rendah dibandingkan Alternatif 2. Secara keseluruhan, semua indikator menunjukkan bahwa Alternatif 3 lebih efektif dibandingkan solusi lainnya.

Penelitian Semiun dkk. (2024) menunjukkan bahwa pelebaran seluruh pendekat simpang secara teknis efektif, namun sulit diterapkan karena keterbatasan ruang, pembebasan lahan, dan keberadaan jembatan. Alternatif 1 dan 2 yang hanya mengandalkan pelebaran terbatas dan penyesuaian siklus belum optimal, dengan tundaan masih tinggi yaitu 181,2 dan 138,5 detik/kend.

Alternatif 3, berupa Pengubahan waktu siklus menjadi 156 detik dan penerapan larangan belok kanan pada pendekat Utara dan Selatan terbukti memberikan hasil paling optimal. Tundaan rata-rata simpang turun dari 235,5 menjadi 129,6 detik/kend (penurunan 45%), dan panjang antrean menurun signifikan pada seluruh lengan simpang. Temuan ini menunjukkan bahwa Alternatif 3 memberikan peningkatan kinerja lalu lintas yang paling efisien tanpa perubahan fisik besar.

Tundaan lalu lintas berkontribusi signifikan terhadap pemborosan bahan bakar, sebagaimana ditegaskan Romadona dan Suhandha (2019) dan diperkuat hasil penelitian ini. Pada kondisi eksisting, tundaan 235,5 det/smp menimbulkan kerugian hingga Rp3,6 juta/jam (LAPI-ITB) dan Rp1,4 juta/jam (Lamsal). Penerapan Alternatif 3 menurunkan tundaan menjadi 129,6 det/smp dan menekan kerugian bahan bakar hingga 47%, menjadikannya solusi efektif dalam meningkatkan efisiensi energi meski tingkat pelayanan masih kategori F.

Kesimpulan

Berdasarkan analisis menggunakan PKJI 2023, Simpang Ketandan menunjukkan kinerja lalu lintas yang buruk pada kondisi eksisting dengan derajat kejenuhan (DJ) tertinggi mencapai 1,84, sedangkan berdasarkan pemodelan VISSIM, Dengan tundaan rata-rata sebesar 235,5 detik per kendaraan (masuk dalam kategori tingkat pelayanan F), Alternatif 3 diterapkan melalui penyesuaian siklus menjadi 156 detik dan pembatasan manuver belok kanan pada pendekat Utara maupun Selatan, memberikan perbaikan signifikan dengan penurunan DJ menjadi di bawah 1,3 dan tundaan menjadi 129,5 detik/kendaraan. Konsumsi bahan bakar juga menurun sekitar 47% berdasarkan metode LAPI-ITB dan Lamsal. Hasil studi ini berpotensi menjadi dasar pertimbangan bagi Dinas Perhubungan Kab Bantul dalam merumuskan langkah-langkah perbaikan kinerja simpang, disertai rekomendasi pemasangan rambu, pengecatan marka, serta penyesuaian waktu siklus. Selain itu, disarankan agar PKJI 2023 dikembangkan dengan penambahan nilai EMP untuk kendaraan besar, serta penelitian lanjutan dilakukan untuk menilai efektivitas pembangunan flyover dalam mengurangi tundaan dan kemacetan.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik. (2022). *Daerah Istimewa Yogyakarta dalam angka 2022*. Badan Pusat Statistik Provinsi D.I. Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1997). *Manual kapasitas jalan Indonesia*. Jakarta: Bina Marga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). *Pedoman kapasitas jalan Indonesia*. Jakarta: Bina Marga.
- Isnaeni, M., & Lubis, H. A. S. (2003). *Efek lingkungan interaksi transportasi dan tata ruang kota* (Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung).
- Lamsal, A. (2013). *Toward geo-enabled economy*. Automotive Traffic Information System India.
- Nindita, F. A. (2020). *Analisis kinerja simpang bersinyal menggunakan software VISSIM (Studi kasus: Simpang Ngabean Yogyakarta)* (Tugas Akhir, Universitas Atma Jaya Yogyakarta).
- Octaviani, N. A. C. (2024). *Kinerja simpang bersinyal: Analisis dengan PKJI 2023 dan simulasi dengan aplikasi pemodelan lalu lintas* (Tugas Akhir, Politeknik Negeri Jakarta).
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2015). *Pedoman pelaksanaan kegiatan manajemen dan rekayasa lalu lintas*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- Putri, L. C., Rahardjo, B., & Pranoto, P. (2024). Analisis kinerja simpang empat bersinyal (Studi kasus: Jl. Hasyim Asyari–Jl. Imam Bonjol–dan Jl. Mastrip

Kab. Bojonegoro). *Jurnal Inovasi Teknologi dan Edukasi Teknik*, 4(4), 3.

- Rahmawati, D., Agustin, T., & Mahmudah, A. M. (2024). Analisis dampak aktivitas sekolah terhadap kinerja ruas jalan (Studi kasus Taman Pendidikan Prasekolah Al Firdaus Surakarta). *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, 1(4), 9.
- Romadhona, P. J., & Suhandi, A. A. (2019). Hubungan antara kinerja simpang bersinyal terhadap konsumsi bahan bakar minyak di Gondomanan, Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil: A Scientific Journal of Civil Engineering*, 23(1), 1292–1411.
- Sinambela, T. P., Kumaat, M., & Pandey, S. V. (2021). Analisa hubungan kinerja simpang bersinyal dengan konsumsi bahan bakar (Studi kasus: Simpang Jl. A. A. Maramis–Jl. Ringroad II). *Jurnal TEKNO*, 9(78), 120.
- Semiun, Y., Sebayang, N., & Nainggolan, T. (2021). Evaluasi kinerja dua simpang bersinyal berdekatan menggunakan program PTV VISSIM 11. *Student Journal Gelagar*, 3(1), 35–45.
- Ulum, M. C. (2023). *Evaluasi kinerja simpang dan biaya konsumsi bahan bakar pada simpang bersinyal Jalan Raya Kasri–Jalan Raya Gempol–Jalan Patimura–Jalan Wr. Supratman di Kabupaten Pasuruan*.