

Evaluasi kinerja simpang 4 blok O ringroad timur dengan menggunakan metode PKJI 2023 dan pemodelan mikrosimulasi dengan PTV VISSIM

Ramadhana Alvino Rizky^{1,*}, Prayogo Afang Prayitno¹

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

Article Info

Available online

Keywords:

Intersection performance
PKJI 2023
PTV VISSIM
Microsimulation
Level of service

Corresponding Author:

Ramadhana Alvino Rizky
21511120@students.uii.ac.id

Abstract

The Blok O four-leg signalized intersection, connecting Majapahit Street, Maguwo Street, and Gedongkuning Street, is a critical traffic point on the Yogyakarta East Ringroad experiencing high vehicle volume. This study aims to evaluate the operational performance of the intersection under existing conditions and to formulate effective alternative solutions. The methodology involves a quantitative approach based on the 2023 Indonesian Highway Capacity Manual (IHCM) and microsimulation modeling using PTV VISSIM software to represent traffic conditions accurately. The results of the existing condition evaluation show that the intersection has exceeded its saturation limit with an average degree of saturation (DS) of 1.112. PTV VISSIM modeling confirms that the intersection's Level of Service (LOS) is at category F, with an average delay reaching 510.73 seconds per vehicle. Beyond traffic efficiency degradation, this congestion also impacts the environment, with an estimated total economic loss due to vehicle exhaust emissions amounting to Rp 2,230,643,244. Based on the analysis of four improvement scenarios, the fourth alternative was identified as the most effective solution by modifying the signal phases and optimizing the cycle time. The implementation of this scenario successfully reduced the average DS to 0.792, meeting the PKJI 2023 technical standard (< 0.85). This scenario also managed to reduce the economic cost of emission loads to Rp 1,923,948,521. Despite significant technical performance improvements, the overall Level of Service remains at category F due to the consistently high traffic volume.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia

All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Simpang 4 dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) Blok O merupakan suatu simpang APILL yang menghubungkan antara Jalan Majapahit, Jalan Maguwo, dan Jalan Gedongkuning yang terletak di Kabupaten Bantul. Ruas Jalan Majapahit merupakan ruas jalan nasional dan ruas Jalan Gedongkuning (Gedongkuning – Wonocatur) merupakan ruas jalan provinsi

(Sekretariat Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta, 2023). Sementara itu, ruas Jalan Maguwo merupakan ruas jalan kabupaten (Sekretariat Kabupaten Bantul, 2017). Berdasarkan kondisi lingkungan, area di sekitar Simpang 4 APILL Blok O merupakan kawasan komersial yang mencakup rumah sakit, hotel, dan perkantoran. Hal ini mengakibatkan tingginya mobilitas sehingga terjadi kemacetan pada simpang 4 APILL tersebut. Dinas Perhubungan Daerah Istimewa

Yogyakarta (2022) menyatakan bahwa tingkat pelayanan Simpang 4 APILL Blok O berada pada Tingkat Pelayanan F dengan nilai tundaan 152,63 detik/smpditerbitkan harus bebas dari kesalahan termasuk pemalsuan dan plagiarisme. Dibuktikan dengan bukti cek *plagiarism* dengan ketentuan *similarity* kurang dari 15%.

Dalam proses evaluasi kinerja simpang APILL, parameter kinerja yang digunakan adalah derajat kejenuhan dan tundaan. Guna meningkatkan kinerja simpang APILL, beberapa alternatif dapat diterapkan. Alternatif pertama adalah penyesuaian waktu lampu hijau dengan mempertimbangkan nilai derajat kejenuhan pada suatu lengan simpang. Alternatif lainnya adalah penyesuaian waktu siklus berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, yang memperhatikan kondisi eksisting. Selain itu, pelebaran pada salah satu lengan simpang untuk meningkatkan kapasitasnya juga dapat diterapkan.

Penelitian ini tidak hanya berfokus pada evaluasi kinerja simpang APILL, tetapi juga mengkaji perbandingan emisi gas buang kendaraan yang ditinjau dari nilai tundaannya.

Tinjauan Pustaka

Evaluasi kinerja simpang bersinyal

Purnama (2022) melakukan penelitian mengenai Evaluasi Dan Peningkatan Kinerja Simpang Bersinyal Deggung Sleman. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja Simpang Deggung pada kondisi eksisting dan alternatif solusi penanganan pada simpang tersebut. Proses analisis dilakukan berdasarkan MKJI 1997 dan Highway Capacity Manual Manual Kapasitas Jalan Indonesia (HCM) serta pemodelan dengan software VISSIM. Simpang Deggung pada kondisi eksisting memiliki waktu siklus sebesar 174 detik dengan 4 fase. Tiap pendekatan memiliki fase tersendiri dan pada pendekatan selatan memiliki LTOR.

Pemodelan simpang bersinyal dengan PTV VISSIM

Nadia dkk. (2022) melakukan penelitian mengenai Studi Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kebonagung Kota Pasuruan Dengan Menggunakan Metode PKJI 2014 Dan Software Vissim. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan eksisting simpang bersinyal dan segmen jalan. Untuk mengevaluasi panjang tundaan dan antrian yang ada dalam eksisting simpang.

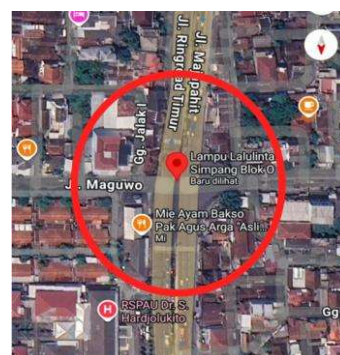
Perbandingan biaya kerugian gas buang kendaraan pada simpang

Putra (2019) melakukan penelitian mengenai evaluasi pengurangan polusi udara akibat optimasi siklus pada simpang bersinyal menggunakan aplikasi PTV Vissim. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan besarnya pengurangan polusi akibat optimasi cycle time pada sebuah simpang dengan studi kasus Simpang Way Halim, Bandar Lampung. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah membandingkan pengurangan besaran emisi CO pada simpang bersinyal hasil Simulasi menggunakan PTV VISSIM

Metode Penelitian

Lokasi penelitian

Simpang 4 dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas Simpang 4 APILL Blok O merupakan suatu simpang APILL yang menghubungkan antara Jalan Majapahit, Jalan Maguwo, dan Jalan Gedongkuning yang terletak di Kabupaten Bantul. Lokasi Simpang 4 APILL Blok O dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Maps, 2025)

Waktu pelaksanaan survei

Survei lapangan pada simpang APILL dilaksanakan selama dua hari, yaitu Senin, 23 Juli sebagai representasi hari kerja dan Sabtu, 21 Juli sebagai representasi akhir pekan. Periode pengamatan ditetapkan pada pukul 06.00–09.00 WIB, 11.00–13.00 WIB, dan 15.00–18.00 WIB. Penetapan waktu puncak (peak hour) tersebut ditentukan berdasarkan hasil pengamatan langsung di lokasi penelitian sebelum survei utama dilaksanakan untuk mengidentifikasi fluktuasi volume lalu lintas tertinggi.

Data penelitian

Pengambilan data yang dilaksanakan terdiri dari dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung dari lapangan dengan cara melakukan survei. Sementara itu, data sekunder didapatkan dari instansi terkait. Data primer dan sekunder yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Penelitian.

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

Analisis data

Seluruh data yang dikumpulkan digunakan sebagai dasar perhitungan dengan metode PKJI 2023 dan sebagai input dalam pemodelan simulasi menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM. Dengan demikian, data penelitian ini memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi aktual simpang dan menjadi acuan dalam proses analisis serta penyusunan rekomendasi perbaikan.

Arus jenuh

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) arus jenuh (J) adalah hasil perkalian antara arus jenuh dasar (J_0) dengan faktor-faktor koreksi untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal. Perhitungan menggunakan Persamaan 1.

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

dengan:

J = arus jenuh,
 J_0 = arus jenuh dasar,
 F_{HS} = faktor koreksi hambatan samping,
 F_{UK} = faktor koreksi ukuran kota,
 F_G = faktor koreksi kelandaian
 F_P = faktor koreksi parkir,
 F_{BK_i} = faktor koreksi rasio arus belok kiri, dan
 F_{BK_a} = faktor koreksi arus belok kanan.

Kapasitas simpang APILL

APILL mengatur lalu lintas simpang dengan cara meminimalkan konflik, baik konflik primer maupun konflik sekunder dengan memisahkan waktu berjalannya arus. Kapasitas simpang APILL merupakan kemampuan suatu persimpangan untuk menampung jumlah maksimum arus lalu lintas dalam satu satuan waktu. Kapasitas ini biasanya diukur dalam satuan smp/jam hijau. Kapasitas sebuah simpang APILL dinyatakan dengan Persamaan 2.

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

dengan:

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

Derajat kejenuhan

Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) menyatakan bahwa derajat kejenuhan (D_j) adalah rasio arus lalu lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekat. Nilai derajat kejenuhan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.

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

dengan:

D_j = derajat kejenuhan,
 C = kapasitas segmen jalan (smp/jam),
 q = semua arus lalu lintas kendaraan bermotor dari semua lengan simpang yang masuk ke dalam simpang (smp/jam).

Panjang antrean

Panjang antrean (P_A) dapat diperoleh dengan mengalikan jumlah rata-rata antrean kendaraan (N_q) dalam satuan smp dengan luas area rata-rata yang digunakan oleh satu mobil penumpang (smp), yang diasumsikan sebesar 20 m², kemudian dibagi dengan lebar masuk (m). Perhitungannya dapat 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

Tundaan untuk suatu pendekat i dapat dihitung menggunakan Persamaan 5.

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

dengan:

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

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

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

Tundaan rata-rata untuk seluruh lengan simpang APILL dapat dihitung menggunakan Persamaan 6.

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

Tingkat pelayanan

Tingkat pelayanan menjadi ukuran yang digunakan sebagai kualitas suatu simpang ketika melayani arus lalu lintas. Menurut Republik Indonesia (2015) dalam Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015, tingkat pelayanan adalah ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas. Tingkat pelayanan pada simpang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Tingkat Pelayanan pada Persimpangan

Tingkat Pelayanan	Kriteria
A	Tundaan kurang dari 5 detik per kendaraan
B	Tundaan lebih dari 5 detik sampai 15 detik per kendaraan
C	Tundaan lebih dari 15 detik sampai 25 detik per kendaraan (3.20)
D	Tundaan lebih dari 25 detik sampai 40 detik per kendaraan
E	Tundaan lebih dari 40 detik sampai 60 detik per kendaraan
F	Tundaan lebih dari 60 detik per kendaraan

Software PTV VISSIM

Menggunakan bantuan PTV VISSIM, pengguna dapat melakukan simulasi untuk menguji dan membandingkan berbagai skenario lalu lintas, melakukan evaluasi kinerja jalan dan simpang, merancang rancangan sinyal lalu lintas yang efisien, menganalisis kepadatan lalu lintas, mengidentifikasi kebutuhan infrastruktur tambahan, dan mengoptimalkan aliran lalu lintas di suatu area. PTV VISSIM memberikan alat yang kuat untuk analisis dan perencanaan yang cermat, membantu pengguna membuat keputusan yang lebih baik dalam merancang, mengelola, dan mengelola sistem lalu lintas yang efisien dan aman.

Kalibrasi dan Validasi PTV VISSIM

Kalibrasi dalam Software PTV VISSIM merupakan proses penyesuaian nilai-nilai parameter guna menciptakan model lalu lintas yang dapat merepresentasikan kondisi nyata secara akurat. Proses ini dilakukan dengan mengacu pada perilaku pengemudi (*driving behaviour*) yang diamati di lokasi. Dalam proses kalibrasi ini, berbagai parameter perilaku pengemudi dianalisis dan disesuaikan agar hasil simulasi mendekati kondisi lalu lintas actual.

Validasi pada *Software* PTV VISSIM merupakan proses pengujian kebenaran dari kalibrasi dengan membandingkan hasil survey dengan hasil simulasi. Proses validasi terbagi menjadi dua jenis, yaitu validasi internal dan eksternal. GEH merupakan rumus statistik modifikasi dari uji T dengan menggabungkan perbedaan antara nilai relatif dan mutlak. Rumus GEH dapat dilihat pada Persamaan 7.

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

dengan:

$q_{\text{simulated}}$ = data volume arus lalu lintas hasil simulasi (kendaraan/jam), dan

q_{observed} = data volume arus lalu lintas hasil observasi (kendaraan/jam).

Selanjutnya, untuk validasi eksternal menggunakan persyaratan Pengujian *Mean Average Percentage Error* (MAPE). Validasi eksternal dilakukan untuk memvalidasi parameter kinerja pada ruas dan simpang, seperti kecepatan dan panjang antrean. Nilai MAPE dapat dihitung menggunakan Persamaan 9.

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

dengan:

At = nilai suatu parameter pemodelan berdasarkan hasil pengamatan di lokasi penelitian, dan

Ft = nilai suatu parameter pemodelan berdasarkan hasil pemodelan.

Biaya kerugian akibat konsumsi BBM

Sari dkk. (2019) menyatakan bahwa nilai F_3 perlu dikalikan dengan volume lalu lintas serta nilai tundaan atau durasi rata-rata waktu *idle* kendaraan. Konsumsi bahan bakar kendaraan pada kondisi *idle*, yang dinyatakan dalam satuan liter/jam dan diberi notasi M , dapat dihitung menggunakan Persamaan 9.

$$M_{b,c} = \frac{F_{3b,c} \times Q_{b,c} \times D}{3600} \quad (9)$$

dengan:

$M_{b,c}$ = konsumsi BBM kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (liter/jam),

$F_{3b,c}$ = konsumsi BBM kendaraan pada saat *idle* (liter/smp-jam).

$Q_{b,c}$ = volume kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (smp/jam), dan

D = lama waktu tundaan atau lama waktu *idle* rata-rata (detik).

Beban emisi gas buang kendaraan

Perhitungan beban emisi kendaraan mengacu pada formula dari European Environment Agency (EEA) yang telah diadaptasi dalam Oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup (2010) yang memiliki Persamaan Satuan F_3 masih dalam (liter/smp-jam) sedangkan $M_{b,c}$ dalam (liter/jam) sehingga perlu dikalikan dengan volume lalu lintas dan lama waktu *idle* rata-rata. dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 10.

$$E_{ia} = \sum \left(\frac{IT_{b,d} \times F_{3b,c} \times Q_{b,c} \times EF_{b,c} \times FE_{a,b,c}}{60} \right) \times 10^{-3} \quad (10)$$

dengan:

$IT_{3b,c}$ = waktu *idle* rata-rata untuk kendaraan b pada ruas jalan d (menit/hari).

$F_{3b,c}$ = konsumsi BBM pada saat *idle* (liter/smp-jam),

$Q_{b,c}$ = volume kendaraan b yang berbahan bakar jenis c (smp/jam),

Biaya kerugian akibat beban emisi gas buang kendaraan

Biaya kerugian akibat beban emisi kendaraan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 11.

$$\text{Biaya kerugian emisi}_a = E_a \times \text{biaya polutan}_a \quad (11)$$

dengan :

kerugian emisi = biaya kerugian yang ditimbulkan akibat polutan

Biaya polutan = biaya sebuah polutan

E_a = beban pencemar untuk polutan a (ton/tahun), dan

A = jenis pencemar (secara berurutan untuk

Analisis dan Pembahasan

Data hasil penelitian

Berdasarkan hasil penelitian, jam puncak lalu lintas pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur terjadi pada hari Sabtu pukul 12.00–13.00 WIB dengan total volume sebesar 3.649 smp/jam Rincian terkait waktu siklus serta pembagian fase dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 2.

Tabel 3 Data Waktu Isyarat Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

Pendekat	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Allred (detik)	Merah (detik)
Utara	37	3	3	85
Timur	18	3	3	104
Selatan	31	3	3	91
Barat	18	3	3	104



Gambar 2. Diagram Fase Simpang

Analisa kinerja simpang berdasarkan PKJI 2023

Berdasarkan hasil analisis kinerja simpang menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, diketahui bahwa pada kondisi eksisting, nilai tundaan rata-rata untuk Pendekat Utara adalah sebesar 121,469 det/SMP, Pendekat Timur sebesar 123,062 det/SMP, Pendekat Selatan sebesar 86,385 det/SMP, dan Pendekat Barat mencapai 671,178 det/SMP. Tundaan rata-rata keseluruhan pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur tercatat sebesar 250,524 det/SMP, yang menunjukkan bahwa kinerja simpang berada pada kondisi kurang optimal. Mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, simpang dengan nilai tundaan lebih dari 60 detik/SMP dikategorikan berada pada tingkat pelayanan F.

Pemodelan simpang menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM

Berdasarkan data primer yang telah dikumpulkan serta hasil analisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 pada Simpang Empat APILL Blok O Ringroad Timur, tahap selanjutnya adalah melakukan pemodelan dengan perangkat lunak PTV VISSIM. Pemodelan ini berfungsi untuk merepresentasikan kondisi lalu lintas di lapangan secara visual maupun kuantitatif. Output yang dihasilkan meliputi volume lalu lintas, panjang antrean, kecepatan rata-rata kendaraan, serta nilai tundaan pada setiap pendekat simpang. Penyesuaian ini dilakukan agar dapat merepresentasikan kondisi lalu lintas di lapangan. Perubahan parameter tersebut disajikan pada Tabel 4.

Table 4 driving behaviour Setelah Kalibrasi

Parameter	Default	Kalibrasi
Average standstill distance (m)	2,00	0,40
Additive part of safety distance	2,00	0,40
Multipliative part of safety distance	3,00	0,50
Look ahead distance (m)	Minimum 0 maximum 250 Observed 3	0 250 6
Look back distance (m)	Minimum 0 maximum 150	0 150
Waiting time before diffusion (s)	60	40
Min. Headway (front/rear) (m)	0,5	0,1
Desired position at free flow	Middle of lane	Any
Minimum distance standing (m)	0,2	0,2
Minimum distance driving (m)	1,0	0,3
Overtake on same lane	None	Left Right
Behavior at red/amber signal	Stop	Go

Berdasarkan Tabel 4 yang memuat perubahan komponen perilaku berkendara (*driving behaviour*), hasil dari proses kalibrasi dapat ditinjau melalui perbandingan secara visual pada Gambar 3 dan Gambar 4, yang masing-masing merepresentasikan model sebelum dan setelah proses kalibrasi dilakukan.



Gambar 3 Pemodelan Kondisi *default*.



Gambar 4 Pemodelan Kondisi Kalibrasi.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, Tabel 4 menyajikan rincian pemodelan volume lalu lintas beserta hasil uji validasi menggunakan metode GEH pada kondisi setelah proses kalibrasi. Penyajian ini bertujuan untuk menunjukkan tingkat kesesuaian antara hasil pemodelan yang telah disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan, sehingga dapat dinilai apakah model telah memenuhi kriteria akurasi yang ditetapkan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Kalibrasi Nilai GEH

Pendekat	Volume Kendaraan		GEH	Keterangan
	(Kend/jam)			
	Eks	vissim		
Utara	3028	3007	0,79	Terpenuhi
Timur	1173	1163	1,04	Terpenuhi
Selatan	2291	2285	0,21	Terpenuhi
Barat	1883	1762	4.48	Terpenuhi

Selanjutnya, Tabel 6 menyajikan hasil pemodelan panjang antrian dan kecepatan kendaraan setelah melalui proses kalibrasi, yang dilengkapi dengan uji validasi menggunakan metode MAPE). Penyajian ini

bertujuan untuk menunjukkan tingkat akurasi hasil pemodelan pascakalibrasi serta memastikan bahwa nilai yang dihasilkan telah sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

Tabel 6 Kalibrasi Nilai MAPE

Pendekat	Volume Kendaraan		MAPE	Keterangan
	(Kend/jam)			
	Eks	vissim		
Utara	3028	3007	0,79	Terpenuhi
Timur	1173	1163	1,04	Terpenuhi
Selatan	2291	2285	0,21	Terpenuhi
Barat	1883	1762	4.48	Terpenuhi

Nilai tundaan rata-rata pada simpang tercatat sebesar 503,17 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan berada pada kategori F. Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja simpang masih sangat rendah.

Analisis Konsumsi BBM

Analisis biaya kerugian yang timbul akibat konsumsi bahan bakar pada Simpang APILL Blok O Ringroad Timur dihitung menggunakan Persamaan 9. Perhitungan tersebut memberikan gambaran mengenai besarnya kerugian ekonomi yang disebabkan oleh penggunaan BBM selama kendaraan mengalami tundaan di simpang. Hasil analisis biaya kerugian tersebut dimana Total Biaya Kerugian Akibat Konsumsi BBM Pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Per jam Rp.16.268.147, Per hari Rp.390.435.533, dan Per tahun Rp. 5.937.873.739

Analisis biaya kerugian akibat emisi gas buang kendaraan

Analisis biaya kerugian akibat emisi gas buang kendaraan pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur dilakukan dengan menggunakan Persamaan 10. Melalui perhitungan tersebut, nilai beban emisi yang dihasilkan kendaraan kemudian dikonversikan ke dalam satuan biaya kerugian.

Berdasarkan rekapitulasi hasil kerugian beban emisi pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur, dapat disimpulkan bahwa total nilai kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat emisi gas buang

kendaraan mencapai Rp 2.230.643.244. Nilai tersebut mencerminkan besarnya dampak negatif dari aktivitas lalu lintas terhadap kualitas udara dan lingkungan, sekaligus menjadi indikator penting dalam menilai tingkat efisiensi operasional simpang serta urgensi penerapan perbaikan manajemen lalu lintas pada lokasi tersebut.

Alternatif Solusi pemecahan masalah

Upaya peningkatan kinerja lalu lintas pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur dilakukan melalui penerapan beberapa alternatif perbaikan yang dianalisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 serta disimulasikan secara mikroskopis melalui perangkat lunak PTV VISSIM. Dalam penelitian ini, disusun empat skenario perbaikan untuk mengevaluasi efektivitas pengaturan simpang.

Alternatif solusi 1

Alternatif pertama yang diterapkan dalam penelitian ini adalah melakukan penyesuaian terhadap waktu isyarat hijau pada sistem pengendalian sinyal lalu lintas di simpang. Adapun Tahapan awal dilakukan dengan menghitung kembali komposisi waktu isyarat hijau berdasarkan kondisi siklus eksisting, yaitu dengan durasi waktu siklus sebesar 128 detik. Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan pembagian waktu hijau yang proporsional pada setiap fase, sehingga dapat mendukung peningkatan kinerja simpang secara keseluruhan.

Paada Tabel 6 menampilkan detail penyesuaian waktu isyarat hijau (WHi) yang diterapkan pada setiap fase. Penyesuaian ini dilakukan untuk mengoptimalkan distribusi waktu hijau pada masing-masing pendekat, sehingga kinerja lalu lintas pada simpang dapat meningkat. Langkah ini juga disesuaikan dengan metode dan ketentuan yang direkomendasikan dalam PKJI 2023 agar proses pengaturan isyarat lebih efektif dan sesuai standar.

Tabel 6 Data Waktu Isyarat Simpang APILL Blok O Ringroad Timur

Pendekat	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Allred (detik)	Merah (detik)
Utara	37	3	3	85
Timur	18	3	3	104
Selatan	31	3	3	91
Barat	18	3	3	104

Penyesuaian waktu isyarat hijau tersebut memberikan pengaruh langsung terhadap perubahan kapasitas dan nilai derajat kejenuhan pada masing-masing pendekat di Simpang APILL. Analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana penyesuaian yang diterapkan mampu memperbaiki kondisi pelayanan simpang. Hasil perhitungan menunjukkan nilai Derajat Kejenuhan (DJ) pada pendekat Utara sebesar 1,01, Timur 0,93, Selatan 0,54, dan Barat 1,03, dengan rata-rata simpang mencapai 0,877. Panjang antrean yang dihasilkan adalah 328 m (Utara), 179 m (Timur), 45 m (Selatan), dan 445 m (Barat). Meskipun terdapat perbaikan tundaan rata-rata, kondisi ini masih mengakibatkan kerugian konsumsi BBM sebesar Rp 4.090.439.389/tahun dan biaya emisi gas buang sebesar Rp 2.208.837.270/tahun. Meskipun terdapat perbaikan teknis, nilai (DJ) yang masih di atas 0,85 pada mayoritas pendekat menyebabkan simpang tetap berada pada Tingkat Pelayanan (LOS) F.

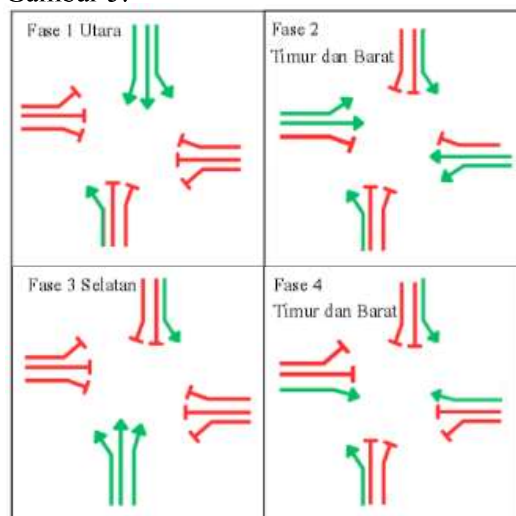
Alternatif solusi 2

Alternatif kedua dalam upaya meningkatkan kinerja simpang dilakukan melalui perubahan fase lampu APILL adalah menerapkan penyesuaian waktu siklus menjadi lebih pendek yaitu 122 detik berdasarkan hasil optimasi simulasi PTV VISSIM dengan tetap mempertahankan konfigurasi fase eksisting. Hasil analisis menunjukkan nilai Derajat Kejenuhan (DJ) pada pendekat Utara sebesar 0,98, Timur 0,91, Selatan 0,51, dan Barat 0,99. Panjang antrean untuk masing-masing pendekat adalah 315 m (Utara), 170 m (Timur), 41 m (Selatan), dan 428 m (Barat). Skenario ini menghasilkan biaya kerugian konsumsi BBM sebesar Rp 4.048.211.532 per tahun dan kerugian emisi gas buang sebesar Rp 2.186.035.714 per tahun. Walaupun efisiensi waktu meningkat,

kepadatan volume kendaraan yang tinggi tetap menempatkan simpang pada Tingkat Pelayanan (LOS) F.

Alternatif solusi 3

Alternatif ketiga dalam upaya meningkatkan kinerja simpang dilakukan melalui perubahan fase lampu APILL. Berdasarkan ketentuan PKJI 2023, nilai faktor belok kanan yang diperbolehkan adalah 250 smp/jam. Tahapan perubahan fase APILL diawali dengan serangkaian uji coba berulang untuk menentukan konfigurasi fase yang paling optimal, dengan mempertimbangkan perubahan nilai tundaan yang dihasilkan melalui simulasi menggunakan PTV VISSIM. Pada pengaturan fase yang diusulkan, fase pertama memberikan pelayanan bagi pendekat Utara dengan pergerakan belok kiri jalan terus, lurus, dan belok kanan yang mengikuti waktu isyarat APILL. Fase kedua mengakomodasi pendekat Barat dan Timur secara bersamaan untuk pergerakan belok kiri dan lurus mengikuti waktu APILL. Selanjutnya, fase ketiga diarahkan untuk pendekat Selatan dengan pola yang sama, yaitu belok kiri jalan terus, lurus, dan belok kanan mengikuti waktu isyarat APILL. Fase keempat kemudian memberikan pelayanan untuk pergerakan belok kanan pada pendekat Barat dan Timur secara bersamaan. Gambar diagram waktu siklus pada Simpang Blok O Ringroad Timur ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Ilustrasi Perubahan Fase

Konfigurasi fase lalu lintas dengan tetap menggunakan waktu siklus 128 detik yang memberikan dampak perbaikan cukup signifikan. Nilai Derajat Kejenuhan (DJ) pada setiap pendekat berhasil ditekan menjadi 0,92 (Utara), 0,86 (Timur), 0,84 (Selatan), dan 0,91 (Barat). Panjang antrean mengalami penurunan menjadi 272 m (Utara), 172 m (Timur), 74 m (Selatan), dan 406 m (Barat). Skenario ini memberikan penghematan ekonomi dengan biaya kerugian BBM sebesar Rp 3.620.717.314 per tahun dan biaya kerugian emisi gas buang sebesar Rp 1.955.187.349 per tahun. Namun, karena nilai rata-rata SDJ_S simpang masih di angka 0,881 (di atas batas stabil 0,85), simpang ini masih dikategorikan pada Tingkat Pelayanan (LOS) F.

Alternatif solusi 4

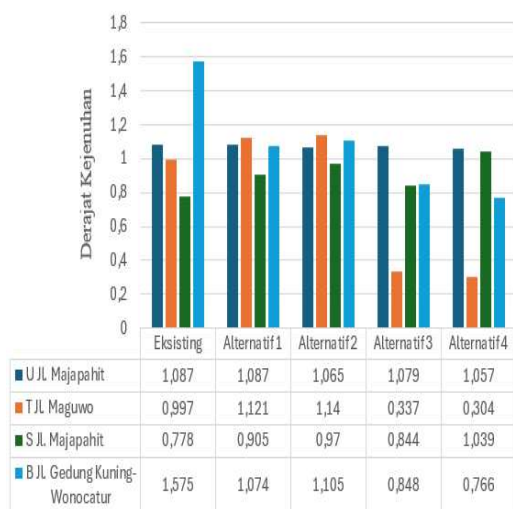
Alternatif keempat dalam peningkatan kinerja simpang dilakukan melalui pengaturan ulang konfigurasi fase yang dipadukan dengan perubahan waktu siklus, dengan tetap mengacu pada rentang waktu siklus ideal yang direkomendasikan PKJI 2023, yaitu 80 hingga 130 detik untuk sistem pengendalian sinyal lalu lintas. Penetapan waktu siklus dilakukan melalui serangkaian uji coba berulang guna memperoleh nilai yang paling optimal, dengan mempertimbangkan perubahan tundaan yang dihasilkan melalui pemodelan menggunakan PTV VISSIM. Pada tahapan ini, konfigurasi urutan fase, waktu merah semua (WMS), waktu kuning (WK), serta waktu hijau hilang total (WHH) tetap dipertahankan sebagaimana kondisi eksisting. Dimana setelah melakukan 5 kali pengujian menggunakan PTV VISSIM didapatkan waktu siklus 122.

Berdasarkan hasil pemodelan, nilai Derajat Kejenuhan (DJ) pada setiap pendekat menunjukkan perbaikan paling signifikan, yaitu 0,90 pada pendekat Utara, 0,84 pada pendekat Timur, 0,81 pada pendekat Selatan, dan 0,89 pada pendekat Barat. Penurunan beban ini diikuti dengan pengurangan panjang antrean ($SPAS$) menjadi 265 m (Utara), 165 m (Timur), 70 m (Selatan), dan 395 m (Barat). Dari sisi ekonomi lingkungan, skenario ini memberikan efisiensi

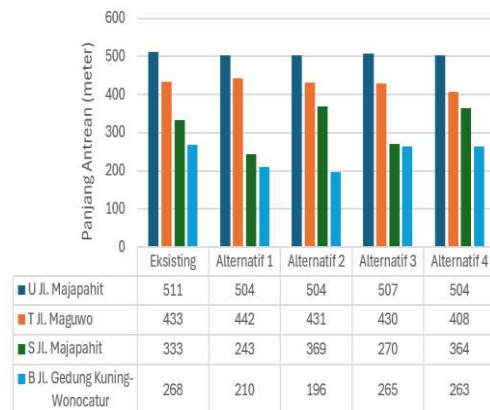
turun menjadi Rp 3.582.411.025 per tahun dan biaya kerugian emisi gas buang mencapai nilai terendah sebesar Rp 1.934.501.218 per tahun. Meskipun skenario ini menghasilkan tundaan rata-rata paling minimum sebesar 503,64 detik/kendaraan, besarnya volume kendaraan yang tetap melebihi kapasitas desain pada jam puncak menyebabkan simpang secara keseluruhan tetap memiliki Tingkat Pelayanan (LOS) F.

Pembahasan kinerja simpang 4 APILL blok O ringroad timur

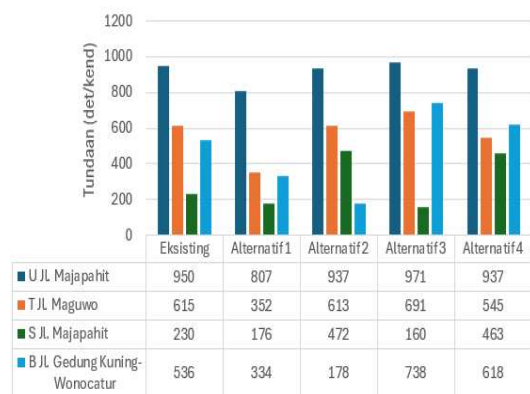
Berdasarkan hasil analisis serta pemodelan simulasi menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM, diperoleh beberapa alternatif solusi dengan variasi kinerja yang berbeda. Alternatif pertama merupakan penyesuaian waktu hijau pada setiap pendekat yang dihitung berdasarkan metode dalam PKJI 2023. Alternatif kedua berfokus pada penetapan ulang waktu siklus dengan mengacu pada nilai waktu siklus ideal yang direkomendasikan. Sementara itu, alternatif ketiga dan keempat melibatkan penataan ulang konfigurasi fase yang dikombinasikan dengan penyesuaian waktu siklus untuk memperoleh kinerja simpang yang lebih optimal. Perbandingan hasil evaluasi kinerja dari masing-masing alternatif pada Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur disajikan pada Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.



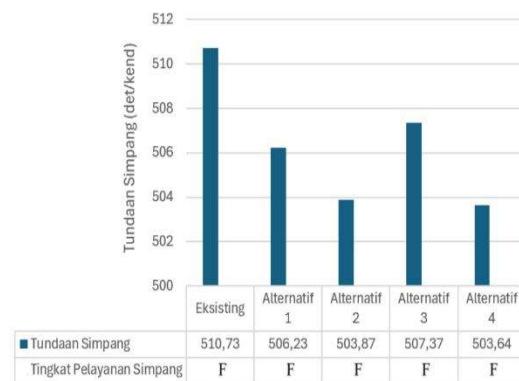
Gambar 6 Perbandingan Derajat Kejenuhan



Gambar 7 Perbandingan Panjang Antrean



Gambar 8 Perbandingan Tundaan



Gambar 9 Perbandingan Tundaan Simpang

Dari empat alternatif yang dianalisis, alternatif keempat, yang mencakup pengaturan ulang konfigurasi fase sinyal yang dikombinasikan dengan perubahan waktu siklus, pembatasan volume lalu lintas, serta penyesuaian waktu siklus menjadi 122 detik, dinilai sebagai opsi yang paling efektif dan relevan. Penerapan skema ini mampu menurunkan nilai derajat kejenuhan rata-rata

dari 1,112 pada kondisi eksisting menjadi 0,792. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM menunjukkan adanya perbaikan kinerja berupa penurunan panjang antrean pada sebagian besar pendekat, yaitu Pendekat Utara dari 511 m menjadi 504 m, Pendekat Timur dari 433 m menjadi 408 m, Pendekat Barat dari 268 m menjadi 263 m, meskipun pada Pendekat Selatan terjadi sedikit peningkatan dari 333 m menjadi 364 m. Selain itu, nilai tundaan rata-rata simpang juga mengalami penurunan dari 510,73 detik/kendaraan menjadi 503,64 detik/kendaraan. Namun demikian, mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, tingkat pelayanan Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur setelah penerapan alternatif tersebut masih berada pada kategori F

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kinerja pada kondisi eksisting menggunakan metode PKJI 2023, Simpang 4 APILL Blok O Ringroad Timur telah melampaui batas kondisi jenuh dengan nilai derajat kejenuhan (DJ) rata-rata sebesar 1,112, di mana secara spesifik nilai DJ pada masing-masing pendekat adalah 1,087 (Utara), 0,997 (Timur), 0,778 (Selatan), dan 1,575 (Barat) yang berkorelasi dengan antrean terpanjang pada Pendekat Utara sejauh 511 m serta nilai tundaan rata-rata hasil pemodelan PTV VISSIM sebesar 510,73 detik/kendaraan, sehingga akumulasi parameter tersebut menetapkan tingkat pelayanan simpang (*Level of Service*) pada kategori F.

Sebagai upaya perbaikan, penerapan alternatif solusi keempat dilakukan melalui modifikasi pengaturan fase APILL menjadi empat fase guna memenuhi ketentuan pembatasan volume belok kanan maksimal 250 smp/jam, di mana skenario ini efektif menurunkan nilai DJ rata-rata menjadi 0,792 sehingga memenuhi kriteria teknis $DJ \leq 0,85$ sesuai standar PKJI 2023, serta berhasil mereduksi panjang antrean pada Pendekat Utara, Timur, dan Barat dengan penurunan nilai tundaan menjadi 503,64 detik/kendaraan meskipun secara regulasi PM Perhubungan No. 96 Tahun 2015 tingkat pelayanan simpang masih tertahan pada kategori F akibat volume lalu lintas yang sangat tinggi.

Selain perbaikan kinerja lalu lintas, analisis ekonomi lingkungan menunjukkan bahwa optimasi pada alternatif solusi keempat mampu

mereduksi total biaya kerugian beban emisi gas buang (CO, HC, NOx, PM10, dan SO2) secara signifikan dari Rp2.230.643.244 pada kondisi eksisting menjadi Rp1.923.948.521, yang mengonfirmasi bahwa rekayasa lalu lintas melalui pengaturan fase APILL ini tidak hanya berdampak pada kelancaran arus tetapi juga efektif dalam menurunkan biaya eksternalitas lingkungan yang dihasilkan oleh emisi kendaraan.

Daftar Pustaka

- Ahmad, M.I., Lefrandt, L.I. and Rompis, S.Y., 2023. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Metode-PKJI Dan Metode-PTV VISSIM (Studi Kasus: Jl. Sam Ratulangi–Jl. Babe Palar, Kota Manado). *Tekno*, 21(83), pp.67-77.
- Aladl, A.S., Yulianto, B. and Setiono, S., 2024. Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Pada Simpang Empat Titik Nol KM Yogyakarta. *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, 1(4), pp.12-12.
- Alhafiz, M.A., 2024. *Analisis Hubungan Kinerja Simpang Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Pada Jalan Simpang Bersinyal Di Kota Banjarmasin (Studi Kasus: Simpang Jalan Perintis Kemerdekaan–Jalan Sulawesi–Jalan Di Panjaitan, Kota Banjarmasin)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang).
- Amal, A.S., Saleh, C. and Darmawan, A.A., 2022. Evaluasi kinerja simpang empat bersinyal di Kota Malang. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 22(2), pp.1304-1308.
- Andryani, F., Hamduwibawa, R.B. and Gunasti, A., 2022. Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal dan Solusi Alternatif Menggunakan Vissim pada Simpang Tiga Pakem, Kabupaten Jember. *Jurnal Smart Teknologi*, 4(1), pp.126-138.
- Dinas Perhubungan Daerah Istimewa Yogyakarta. 2022. *Studi Evaluasi Kinerja Ruas Jalan dan Simpang Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2022*. Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2023. *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Penerbit Bina Marga. Jakarta.
- Gustavsson, F. N. 2007. *New Transportation Research Progress*. New York: Nova Science Publishers, Inc.

- Hobbs, F.D. (1995). Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas, Terjemahan oleh Suprpto. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2010. *Peraturan Menteri Negeri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah*. Menteri Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kementerian Perhubungan. 2015. *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas*. Menteri Perhubungan. Jakarta.
- Maulana, A., Sarjana, S. and Prastya, T.R., 2024. Traffic Performance Analysis in The Traditional Market Area. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 576, p. 05003). EDP Sciences.
- Morlok, E.K. 1995. Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi, Erlangga, Jakarta.
- Muziansyah, D., 2015. *Model Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Akibat Aktivitas Transportasi (Studi Kasus: Terminal Pasar Bawah Ramayana Kota Bandar Lampung)* (Doctoral dissertation, Fakultas Teknik).
- Nadia, S., Rachmawati, A. and Rahmawati, A., 2022. Studi Evaluasi Kinerja Simpang Empat Bersinyal Kebonagung Kota Pasuruan Dengan Menggunakan Metode
- Pkji 2014 Dan Software Vissim. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 12(1), pp.13-22.
- Prayitno, E.A., Abidin, Z. and Huda, M., 2019. Analisis Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Raya Nginden-Jl. Raya Panjang Jiwo Menggunakan PKJI 2014. *Ge-STRAM J. Perenc. dan Rekayasa Sipil*, 2(1), pp.23-28.
- Putra, R.A.E., 2019. Evaluasi Pengurangan Polusi Udara Akibat Optimasi Siklus Pada Simpang Bersinyal Menggunakan Aplikasi Ptv Vissim.
- Purnama, B. A. (2022). *Evaluasi dan peningkatan kinerja simpang bersinyal Deggung Sleman*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Sari, D. N., Malkhamah, S., & Priyanto, S. (2019). *Penerapan kebijakan idling stop untuk pengendalian beban emisi kendaraan pada simpang bersinyal (Studi kasus: Simpang Demangan, Kota Yogyakarta)*. Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana Departemen Teknik Sipil FT-UI, Depok.
- Sirajaya, R.D. and Rahayu, Y.E., 2022. Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Dr. Ir. H. Soekarno-Jl. Mulyorejo Surabaya. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), pp.352-359.