

Rekayasa simpang dengan bentuk geometri tak standar untuk peningkatan kinerja: studi kasus Simpang Tegal Gendu Kota Yogyakarta

Muhammad Fadhil Ihsanudin^{1*}, Berlian Kushari^{1*}

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

Article Info

Available online

Keywords:

Signalized intersection
Unconventional geometry
PKJI 2023
PTV VISSIM
Intersection performance
Delay

Abstract

Intersections with unconventional geometric shapes often require special treatment to operate safely at an acceptable level of service. This study examines the Tegal Gendu Intersection, a four-way signalized intersection in Yogyakarta City that has a geometric arrangement outside of what is specified in the latest edition of the Indonesian Highway Capacity Book (PKJI 2023). Using standard traffic volume surveys, geometric measurements, and signal timing observations, the study evaluates intersection performance indicators, including saturation levels, delays, queue lengths, and level of service. Traffic microsimulation modeling using PTV VISSIM was then conducted to develop and test improvement scenarios. The analysis results indicate that the existing intersection operates at Level of Service F, characterized by high levels of saturation, delays, and queue lengths. Implementation of the proposed intersection separation scenarios demonstrated improved performance, reflected in reductions in delays and queue lengths across several approaches. Based on the results of alternative scenario modeling, the average delay decreased from 179.46 seconds/vehicle to 105.23 seconds/vehicle. Therefore, the proposed improvement alternatives can be considered by the relevant authorities to improve traffic performance at the Tegal Gendu Intersection.

Corresponding Author:

Berlian Kushari
bkushari@uii.ac.id

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Perkembangan kawasan perkotaan di Kota Yogyakarta berdampak pada peningkatan pergerakan lalu lintas, khususnya pada simpang-simpang utama yang berfungsi sebagai titik temu berbagai arah perjalanan. Peningkatan volume kendaraan yang tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas dan penataan geometrik simpang secara memadai sering kali menimbulkan permasalahan kinerja lalu lintas, seperti tundaan yang tinggi, antrean kendaraan yang panjang, serta penurunan tingkat pelayanan simpang.

Simpang Tegal Gendu merupakan simpang bersinyal empat lengan yang memiliki peran strategis dalam melayani pergerakan lalu

lintas kawasan perkotaan Yogyakarta. Berbeda dengan simpang empat pada umumnya, Simpang Tegal Gendu memiliki konfigurasi geometri yang tidak simetris dan tidak sepenuhnya memenuhi karakteristik simpang empat standar sebagaimana direkomendasikan dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Kondisi geometrik tersebut menyebabkan pola konflik lalu lintas menjadi lebih kompleks dan berdampak pada ketidakseimbangan distribusi beban lalu lintas antar pendekat.

Evaluasi kinerja simpang bersinyal di Indonesia umumnya mengacu pada pendekatan melalui PKJI 2023. Meskipun metode ini efektif untuk simpang dengan

geometri standar, penerapannya pada simpang dengan bentuk geometrik tidak konvensional memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan kondisi lalu lintas secara detail. Oleh karena itu, pemodelan mikrosimulasi lalu lintas, seperti PTV VISSIM, dapat digunakan sebagai metode pelengkap untuk memberikan gambaran perilaku kendaraan dan kondisi lalu lintas secara lebih detail.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja Simpang 4 Tegal Gendu dengan menggunakan pendekatan PKJI 2023 dan pemodelan mikrosimulasi PTV VISSIM. Selain mengevaluasi kondisi eksisting, penelitian ini juga mengkaji beberapa skenario alternatif pengelolaan lalu lintas, dengan skenario utama berupa pemisahan simpang empat menjadi dua simpang tiga disertai penyesuaian waktu siklus, sebagai upaya peningkatan kinerja simpang.

Rumusan masalah

Adapun Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kinerja operasional Simpang 4 Tegal Gendu pada kondisi eksisting saat jam sibuk, khususnya pada simpang dengan konfigurasi geometri yang tidak lazim, ditinjau dari panjang antrean, tundaan, dan derajat kejenuhan tiap pendekat?
2. Bagaimana pengaruh kondisi geometri pendekat yang tidak simetris dan tidak standar terhadap kinerja operasional Simpang 4 Tegal Gendu?
3. Alternatif penanganan apa yang paling efektif untuk meningkatkan kinerja Simpang 4 Tegal Gendu dengan mempertimbangkan keterbatasan pengaturan sinyal konvensional pada simpang dengan geometri tak lazim?

Tinjauan Pustaka

Evaluasi kinerja simpang dengan PKJI 2023

Rahmayuda (2023) melakukan evaluasi dan peningkatan kinerja pada simpang Jukteng

Wetan. Simpang Jukteng Wetan merupakan simpang yang menjadi titik pertemuan antara Jalan Brigjen Katamso, Jalan Kolonel Sugiyono, Jalan Parangtritis, dan Jalan Mayjend Sutoyo, simpang ini berada di lokasi Kota Yogyakarta. Simpang Jukteng Wetan adalah salah satu simpang yang paling banyak mengalami tundaan, untuk mengurangi antrean akibat tundaan adalah dengan melakukan manajemen lalu lintas dan dilakukan *trial* dan *error* untuk mencari alternatif solusi untuk meningkatkan kinerja dari simpang yang diteliti. Evaluasi dilakukan dengan pengambilan data secara langsung kemudian menggunakan pendekatan berdasarkan MKJI 1997 dan alternatif solusi menggunakan pemodelan PTV VISSIM. Tundaan simpang didapat sebesar 1044,29 det/smp dengan tingkat pelayanan F.

Analisis kinerja simpang Jl. Kh. Wahab Chasbulloh – Jl. Garuda oleh Yulianto, dkk (2024) menunjukkan bahwa area tersebut mengalami beban lalu lintas yang sangat tinggi akibat aktivitas komersial dan pendidikan. Hasil perhitungan dengan PKJI 2023 menghasilkan angka derajat kejenuhan 0,98 dan tundaan selama 18 detik/smp. Walaupun arus lalu lintas dikategorikan pada Tingkat Pelayanan C, persimpangan ini dianggap tidak layak karena tingkat kejenuhannya sudah melampaui ambang batas aman 0,85, yang diperparah dengan tidak efektifnya penggunaan lampu lalu lintas di lokasi tersebut.

Pemodelan simpang menggunakan perangkat lunak PTV VISSIM

Penelitian yang dilakukan oleh Atmajaya, dkk (2024) mengevaluasi dampak geometri dan konfigurasi sinyal terhadap kinerja Simpang Tugu Wisnu di Kota Surakarta dengan mengintegrasikan metode PKJI 2023 dan simulasi PTV VISSIM. Masalah utama pada simpang ini adalah hambatan geometris berupa tugu di tengah persimpangan yang memaksa kendaraan melakukan manuver memutar lebih lama, sehingga memicu kemacetan. Analisis eksisting menunjukkan kondisi yang sangat

jenuh dengan nilai derajat kejenuhan (DS) sebesar 2,27, antrean sepanjang 198,92 meter, dan rata-rata tundaan 23,44 det/smp. Melalui simulasi, diusulkan optimasi berupa penerapan 4 fase dengan urutan pergerakan berlawanan arah jarum jam. Skenario ini dinilai paling efisien karena mampu mengeliminasi konflik arus yang sebelumnya terjadi pada pengaturan searah jarum jam.

Metode Penelitian

Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan pada Simpang Tegal Gendu yang berada di wilayah Kota Yogyakarta. Simpang ini merupakan simpang bersinyal dengan empat lengan simpang pendekat, yaitu lengan utara (Jl. Pramuka), timur (Jl. Tegal Gendu), selatan (Jl. Imogiri Timur), dan barat (Jl. Tegalturi). Berikut merupakan lokasi penelitian Simpang 4 Tegal Gendu dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Earth, 2024)

Waktu Pelaksanaan Survei

Pengambilan data dilaksanakan selama 2 hari satu hari kerja atau *weekday* dan satu hari libur atau *weekend*. Data dikumpulkan dalam tiga sesi berbeda: sesi pagi, sesi siang, dan sesi sore. Sesi pagi yaitu pada pukul 06.00 – 09.00 WIB, sesi siang pukul 11.00 – 13.00 WIB, dan sesi sore yaitu pada pukul 15.00 – 18.00 WIB. Hal ini dilakukan untuk

mencari tahu waktu jam puncak dalam satu hari kerja dan satu hari libur.

Data penelitian

Data primer dan data sekunder adalah dua jenis data yang diambil selama pelaksanaan. Data primer diperoleh langsung dari lapangan melalui survei, sedangkan data sekunder diperoleh dari instansi terkait. Data penelitian yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data penelitian

Data Primer	Data Sekunder
1. Geometri Simpang	1. Denah Lokasi
2. Volume Lalu Lintas	2. Data Jumlah
3. Kecepatan Kendaraan	Penduduk Kota
4. Waktu Siklus	Yogyakarta
5. Panjang Antrean	
6. Driving Behavior	
7. Hambatan Samping	

Analisis data dengan PKJI 2023

Analisis kinerja simpang dilakukan menggunakan PKJI 2023 dengan tahapan perhitungan kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, panjang antrean, dan tingkat pelayanan simpang. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menilai kondisi eksisting serta kondisi setelah penerapan skenario alternatif.

Arus jenuh

Arus Jenuh adalah kapasitas maksimum jumlah kendaraan yang bisa ditampung simpang sebelum terjadi antrean yang signifikan. Perhitungan arus jenuh menggunakan Persamaan 1.

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

Keterangan:

- 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,
- F_{BK_a} = Faktor koreksi arus belok kanan.

Kapasitas simpang APILL

Kapasitas simpang dapat dihitung berdasarkan tiap pendekat. Kapasitas sebuah simpang dinyatakan dengan Persamaan 2.

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

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 (D_J) merupakan ukuran utama yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja simpang. Nilai derajat kejenuhan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.

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

Keterangan:

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 adalah panjang antrean kendaraan dalam satuan meter pada suatu pendekat simpang. Perhitungan panjang antrean 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 merupakan waktu tempuh tambahan yang dialami kendaraan akibat berhenti atau melambat untuk melalui simpang. Tundaan untuk suatu pendekat i dapat dihitung menggunakan Persamaan 5.

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

Keterangan:

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 merupakan poin utama dalam menentukan kualitas kinerja suatu simpang. Tingkat pelayanan suatu persimpangan ditentukan berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015. Tingkat pelayanan pada simpang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pelayanan simpang

Tingkat Pelayanan	Kriteria Tundaan (smp/jam)
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
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

Software PTV VISSIM merupakan perangkat yang dapat melakukan simulasi untuk menguji dan membandingkan berbagai skenario lalu lintas, melakukan evaluasi kinerja jalan dan simpang, dan merancang rancangan sinyal lalu lintas yang efisien. Tujuan penggunaan PTV VISSIM adalah untuk mendapatkan simulasi yang mendekati kondisi nyata.

Kalibrasi dan validasi PTV VISSIM

Kalibrasi dan validasi merupakan tahapan penting dalam pemodelan mikrosimulasi lalu lintas menggunakan PTV VISSIM untuk memastikan bahwa model yang dibangun mampu merepresentasikan kondisi lalu lintas di lapangan secara akurat. Kalibrasi bertujuan untuk menyesuaikan parameter perilaku pengemudi dalam model simulasi agar mendekati karakteristik lalu lintas aktual, sedangkan validasi dilakukan untuk menguji kesesuaian hasil simulasi dengan data observasi lapangan. Ada dua pendekatan dalam proses memvalidasi, yaitu dengan menggunakan pendekatan melalui uji GEH atau *Geoffrey E. Havers* dan menggunakan uji analisa perhitungan MAPE atau *Mean Absolute Percentage Error*. Input data dari kedua pendekatan tersebut diambil dari data-data yang ada di perangkat lunak VISSIM dan hasil data survei. Rumus GEH disajikan pada Persamaan 7.

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

Keterangan:

Q_{simulasi} = Data volume arus lalu lintas simulasi (smp/jam)
 $Q_{\text{eksisting}}$ = Data volume arus lalu lintas kondisi eksisting (smp/jan)

Selanjutnya validasi eksternal yaitu menggunakan nilai panjang antrean untuk menguji akurasi parameter kinerja lalu lintas simpang menggunakan metode MAPE. Rumus MAPE disajikan dalam Persamaan 8.

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

Keterangan:

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

Hasil dan Pembahasan

Data hasil penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume lalu lintas tertinggi di Simpang 4 APILL Tegal Gendu terjadi pada hari Senin antara pukul 16.30 hingga 17.30 WIB, dengan total volume mencapai 2529 smp/jam. Durasi waktu siklus untuk kondisi eksisting telah dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data waktu siklus simpang 4 APILL Tegal Gendu

Pendekat	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Allred (detik)	Merah (detik)
Utara	45	3	9	98
Timur	18	3	6	128
Selatan	35	3	6	111
Barat	18	3	6	128

Analisis kinerja simpang berdasarkan metode PKJI 2023

Berdasarkan hasil analisis menggunakan PKJI 2023, kondisi saat ini menunjukkan nilai tundaan (T) di Lengan Utara sebesar 632.06 det/smp, di Lengan Timur sebesar 1624.31 det/smp, di Lengan Selatan sebesar 1029.94 det/smp, dan di Lengan Barat sebesar 1518.86 det/smp, dengan rata-rata tundaan di seluruh simpang (T1) sebesar 931.789 det/smp. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015, maka tingkat pelayanan pada masing-masing lengan berada pada tingkat F, dan untuk tingkat pelayanan keseluruhan simpang berdasarkan tundaan rata-rata simpang yaitu pada tingkat pelayanan F.

Pemodelan simpang menggunakan PTV VISSIM

Peningkatan kualitas layanan di Simpang 4 Tegal Gendu dikaji melalui pemodelan menggunakan VISSIM, yang mencakup evaluasi kondisi eksisting serta simulasi solusi alternatif. Melalui pemodelan ini, diperoleh data berupa volume lalu lintas, panjang antrean kendaraan, dan tundaan. Penyesuaian nilai *driving behavior* pada VISSIM diperlukan untuk

mempresentasikan kondisi eksisting simpang. Nilai kalibrasi *driving behavior* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Driving behavior*

Parameter	Default	Kalibrasi
Average Standstill Distance (m)	2,00	0,4
Additive Part of Safety Distance	2,00	0,4
Multiplicative Part of Safety Distance	3,00	0,5
Waiting time before diffusion (s)	60	40
Min. headway (front/rear) (m)	0,5	0,4
Safety distance reduction factor	0,6	0,4
Desired Position at Free Flow	Middle of lane	Any
Minimum Distance Standing (m)	0,2	0,2
Minimum Distance Driving (m)	1,00	1,00
Overtake On Same Lane	-	On right On left
Behaviour at Red/Amber Signal	Go (same as green)	Go (same as green)

Proses kalibrasi yang didasarkan pada perubahan komponen perilaku berkendara (*driving behaviour*) pada Tabel 4 dapat dilihat secara visual. Perbandingan ini ditunjukkan melalui Gambar 2 yang merepresentasikan kondisi model sebelum kalibrasi dan Gambar 3 yang menunjukkan kondisi model setelah dilakukan penyesuaian.



Gambar 2. Model sebelum kalibrasi



Gambar 3. Model setelah kalibrasi

Data volume lalu lintas hasil pemodelan serta uji validitas GEH pasca-kalibrasi dipaparkan dalam Tabel 4. Penyajian data ini berfungsi untuk membandingkan kecocokan antara model simulasi dengan kondisi aktual di lapangan. Adapun

parameter keberhasilan validasi tersebut dievaluasi berdasarkan perasamaan GEH, hasil nilai GEH setelah kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Validasi nilai GEH

Pendekat	Volume Lalu Lintas (Kend/jam)		Nilai GEH	Keterangan
	Eks	Vissim		
Utara	3904	3710	3.14	Memenuhi
Timur	2179	1977	4.43	Memenuhi
Selatan	3742	3485	4.28	Memenuhi
Barat	1454	1403	1.35	Memenuhi

Tabel 6 menyajikan hasil simulasi panjang antrian pascakalibrasi yang telah divalidasi menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Pemaparan data ini dimaksudkan untuk memverifikasi tingkat presisi model serta menjamin bahwa output yang dihasilkan telah merepresentasikan kondisi nyata di lapangan.

Tabel 6. Validasi nilai MAPE

Pendekat	Volume Lalu Lintas (Kend/jam)		Nilai MAPE	Keterangan
	Eks	Vissim		
Utara	125	153	22%	Memenuhi
Timur	160	227	42%	Memenuhi
Selatan	210	288	37%	Memenuhi
Barat	120	179	50%	Memenuhi

Hasil pemodelan Simpang 4 Tegal Gendu berdasarkan VISSIM, setelah dilakukan kalibrasi dan validasi data, menunjukkan tundaan rata-rata simpang kondisi eksisting pada 179,46 det/kend. Dengan tingkat pelayanan berada pada kategori F.

Alternatif solusi

Dalam upaya mengoptimalkan kinerja lalu lintas di Simpang 4 Tegal Gendu, dilakukan simulasi terhadap empat skenario alternatif menggunakan *software* PTV VISSIM.

Alternatif 1

Optimasi waktu siklus sebagai alternatif solusi pertama dilakukan menggunakan pendekatan *trial and error* melalui simulasi

VISSIM. Data hasil optimasi ini selengkapnya dirangkum dalam Tabel 7.

Tabel 7. Waktu siklus alternatif 1

Pendekat	Hijau (detik)	Kuning (detik)	Allred (detik)	Merah (detik)
Utara	45	3	9	98
Timur	18	3	6	128
Selatan	35	3	6	111
Barat	18	3	6	128

Pada alternatif solusi 1, skenario siklus 130 detik terpilih sebagai hasil terbaik dari serangkaian *trial and error*. Hasil dari pemodelan VISSIM alternatif 1 diperoleh panjang antrian pada lengan utara 154 meter, lengan timur 227 meter, lengan selatan 290 meter, lengan barat 172 meter. Selanjutnya untuk nilai tundaan simpang diperoleh sebesar 156,32 det/kend, sehingga simpang dikategorikan pada tingkat pelayanan F.

Alternatif 2

Pada alternatif kedua, dilakukan optimasi geometri pada lengan timur melalui pelebaran jalan selebar 1 meter dan integrasi waktu siklus dari hasil alternatif 1. Berdasarkan hasil simulasi pada pemodelan VISSIM, distribusi panjang antrian pada tiap lengan pendekat tercatat sebesar 151 m (utara), 211 m (timur), 289 m (selatan), dan 128 m (barat). Sementara itu, analisis tundaan yang didapatkan menunjukkan nilai sebesar 89,71 det/kend pada lengan utara, 359,39 det/kend pada lengan timur, 204,06 det/kend pada lengan selatan, dan 198,31 det/kend pada lengan barat. Secara keseluruhan, nilai tundaan simpang pada alternatif 2 ini adalah 144,96 det/kend. Merujuk pada kriteria yang ditetapkan Peraturan Kementerian Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, kinerja simpang secara keseluruhan berada pada tingkat pelayanan F.

Alternatif 3

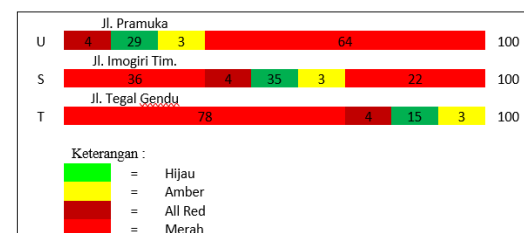
Alternatif solusi ketiga mengombinasikan rekayasa fase lampu lalu lintas dengan perubahan geometrik. Langkah ini dilakukan melalui redistribusi durasi waktu

hijau, yaitu dengan menambah waktu hijau pada lengan barat dan timur yang diambil dari durasi waktu hijau lengan utara dan selatan. Untuk mengompensasi pengurangan waktu hijau tersebut, dilakukan pelebaran geometri pada lengan utara dan selatan. Pelebaran jalan diimplementasikan secara bertahap sebesar 0,5 meter dan 1 meter.

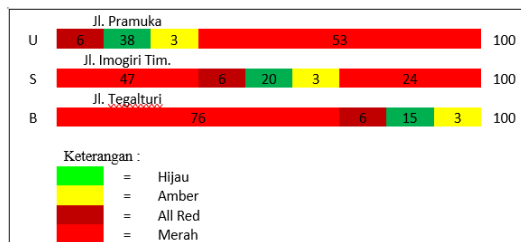
Hasil evaluasi kinerja pada alternatif ketiga, menunjukkan hasil panjang antrian tercatat sebesar 154 m pada lengan utara, 168 m pada lengan timur, 291 m pada lengan selatan, dan 95 m pada lengan barat. Sementara itu, nilai tundaan pada masing-masing lengan adalah 101,60 det/kend (utara), 125,39 det/kend (timur), 291,22 det/kend (selatan), dan 80,92 det/kend (barat). Diperoleh nilai tundaan simpang sebesar 139,87 det/kend, yang menempatkan kinerja simpang pada Tingkat Pelayanan F.

Alternatif 4

Alternatif terakhir atau alternatif keempat adalah perubahan pada konfigurasi geometrik simpang melalui transformasi Simpang 4 Tegal Gendu menjadi dua simpang tiga yang terpisah. Perubahan ini diikuti dengan perubahan fase waktu siklus, dari 4 fase menjadi 3 fase. Penentuan waktu siklus pada skenario ini dilakukan melalui pendekatan *trial*. Strategi pemecahan simpang ini bertujuan untuk mendistribusikan beban lalu lintas secara lebih efisien sehingga diharapkan dapat menurunkan nilai derajat kejenuhan, panjang antrian, serta tundaan secara signifikan. Diagram waktu siklus alternatif 4 yang saling berkoordinasi dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

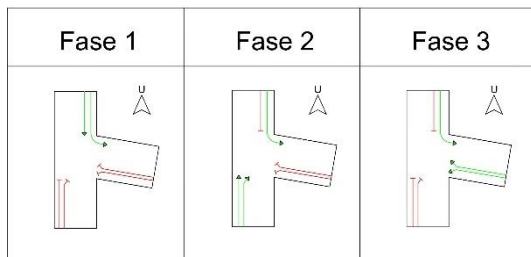


Gambar 4. Diagram waktu siklus alternatif 4 arah utara

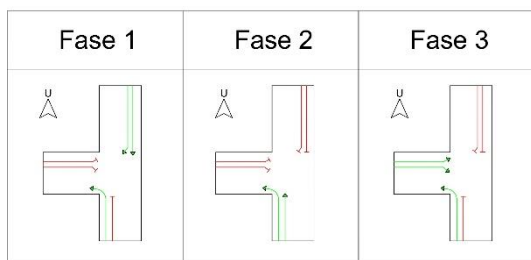


Gambar 5. Diagram waktu siklus alternatif 4 arah selatan

Perubahan konfigurasi waktu siklus mempengaruhi pergerakan arus lalu lintas pada simpang, hal ini seiring dengan transformasi simpang 4 menjadi 2 simpang 3 yang terpisah. Melalui alternatif ini ini, diperoleh skenario fase yang mampu menghasilkan efisiensi lalu lintas yang cukup tinggi dibandingkan kondisi eksisting. Perubahan fase pada alternatif 4 dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Ilustrasi fase alternatif 4 arah utara



Gambar 7. Ilustrasi fase alternatif 4 arah selatan

Konfigurasi fase lalu lintas dengan menggunakan waktu siklus 100 detik memberikan dampak perbaikan cukup signifikan. Hasil analisis kinerja pada alternatif solusi keempat menggunakan PTV VISSIM disajikan secara terpisah sesuai dengan segmentasi hasil pemecahan simpang, yaitu simpang sisi utara dan simpang sisi selatan. Hasil pemodelan VISSIM untuk panjang antrian pada simpang sisi utara meliputi lengan utara (148 m), lengan timur (137 m), dan lengan selatan

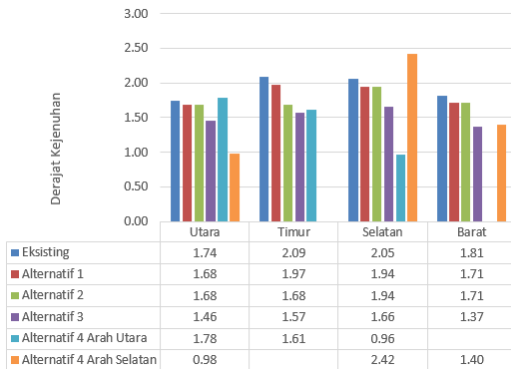
(76 m). Sementara itu, pada simpang sisi selatan, akumulasi antrian tercatat pada lengan utara sebesar 86 m, lengan barat 70 m, dan lengan selatan mencapai 280 m.

Dari aspek tundaan, simpang sisi utara menghasilkan nilai masing-masing sebesar 81,77 det/kend (utara), 106,45 det/kend (timur), dan 179,04 det/kend (selatan), dengan nilai tundaan simpang sebesar 105,23 det/kend yang masuk dalam kategori Tingkat Pelayanan F. Secara paralel, simpang sisi selatan memperoleh tundaan sebesar 84,24 det/kend (utara), 86,87 det/kend (barat), dan 171,21 det/kend (selatan). Hasil rata-rata tundaan pada sisi selatan ini sama dengan sisi utara yaitu 105,23 det/kend, karena hasil dari tundaan tersebut masih dalam satu pemodelan VISSIM, sehingga ditetapkan kinerja simpang secara keseluruhan berada pada klasifikasi Tingkat Pelayanan F.

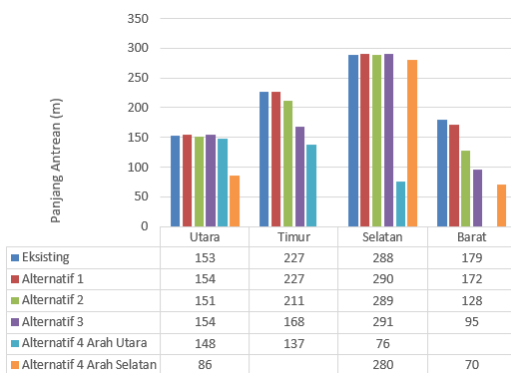
Pembahasan kinerja simpang 4 Tegal Gendu

Upaya untuk meningkatkan kinerja Simpang 4 Tegal Gendu mendapatkan hasil beberapa solusi alternatif, alternatif 1 menggunakan penyesuaian waktu siklus berdasarkan *trial and error*. Alternatif 2 adalah menambah jalur BKiJT pada lengan timur Simpang Tegal Gendu. Alternatif 3 adalah pengalihan waktu hijau pada lengan timur dan barat dan pelebaran geometri lengan utara dan selatan. Alternatif keempat yaitu rekayasa geometrik berupa transformasi simpang empat menjadi dua simpang tiga. Alternatif ini dilakukan karena karakteristik geometrik Simpang empat Tegal Gendu tidak seperti geometrik simpang empat standar seperti yang berada dalam PKJI 2023, sehingga memungkinkan dilakukannya pemisahan simpang. Perubahan konfigurasi ini diikuti dengan modifikasi operasional APILL dari empat fase menjadi tiga fase, di mana penentuan waktu siklus optimal dicapai melalui pendekatan *trial and error*. Perbandingan hasil evaluasi kinerja pada parameter derajat kejenuhan, panjang antrian dan tundaan dari masing-masing alternatif dan kondisi eksisting pada Simpang 4 Tegal Gendu,

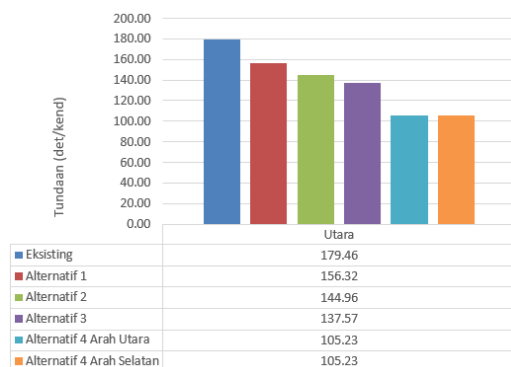
disajikan dalam Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.



Gambar 8. Perbandingan derajat kejenuhan



Gambar 9. Perbandingan panjang antrean



Gambar 10. Perbandingan panjang antrean

Berdasarkan hasil dari evaluasi kinerja yang telah dilakukan, perbaikan kinerja yang paling signifikan terjadi pada Alternatif 4, baik konfigurasi arah utara maupun arah selatan.

Berdasarkan hasil diagram derajat kejenuhan, Penerapan Alternatif 4 dinilai merupakan opsi yang efektif dalam dalam

mereduksi beban lalu lintas. Melalui transformasi geometrik menjadi dua simpang tiga, skenario alternatif 4 menurunkan derajat kejenuhan sebesar 0,96 pada segmen utara dan 0,98 pada segmen selatan.

Pada parameter panjang antrean yang mengalami penurunan ditemukan pada skenario Alternatif 4. Melalui pemecahan simpang, pada pendekat timur, selatan, dan barat dapat direduksi secara signifikan menjadi masing-masing 137 m, 76 m, dan 95 m. Hal ini secara teknis membuktikan bahwa pola pergerakan utara-selatan yang menjadi prioritas mampu mereduksi potensi kejenuhan di lengan selatan yang sebelumnya kritis.

Berdasarkan diagram tundaan pada kondisi eksisting dengan kondisi alternatif 4 menunjukkan bahwa pemecahan simpang empat menjadi dua simpang tiga *offset* dengan koordinasi sinyal mampu mengurangi tundaan pada Simpang Tegal Gendu. Meskipun nilai tundaan masih tergolong tinggi, akan tetapi nilai dari tundaan mengalami penurunan dari 179,46 det/kend (eksisting) menjadi 105,23 det/kend (alternatif 4). Mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015, tingkat pelayanan masih berada pada kriteria tingkat pelayanan F.

Kesimpulan

Kinerja operasional Simpang 4 Tegal Gendu pada kondisi eksisting menunjukkan tingkat pelayanan yang rendah pada jam sibuk, yang ditandai dengan panjang antrean dan tundaan yang tinggi pada beberapa pendekat. Hasil analisis menggunakan PKJI 2023 menunjukkan bahwa permasalahan tersebut tidak hanya disebabkan oleh tingginya volume lalu lintas, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik geometri simpang yang tidak lazim.

Pemodelan lalu lintas menggunakan pendekatan mikroskopis melalui PTV VISSIM mampu merepresentasikan kondisi operasional simpang secara lebih detail, khususnya dalam menggambarkan

pembentukan antrean dan interaksi antar kendaraan akibat karakteristik geometri simpang yang tidak simetris. Hasil kalibrasi dan validasi menunjukkan bahwa model VISSIM memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap kondisi lapangan, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu evaluasi kinerja simpang.

Analisis lebih lanjut mengidentifikasi bahwa tingginya volume lalu lintas, keterbatasan kapasitas pendekat, pengaturan fase sinyal yang kurang optimal, serta karakteristik geometri simpang yang tidak standar merupakan faktor utama penyebab terjadinya kemacetan, antrean panjang, dan tundaan yang signifikan di Simpang 4 Tegal Gendu.

Penelitian Atmajaya, dkk (2024) pada Simpang Tugu Wisnu di Kota Surakarta juga menunjukkan bahwa kendala geometrik dapat menyebabkan derajat kejenuhan yang sangat tinggi. Studi tersebut menegaskan bahwa perubahan konfigurasi fase merupakan skenario yang paling efektif dalam menurunkan tundaan dan antrean, terutama pada simpang dengan kondisi fisik yang tidak ideal.

Berdasarkan evaluasi terhadap beberapa skenario penanganan, penerapan alternatif pemisahan simpang empat menjadi dua simpang tiga menunjukkan perbaikan kinerja yang paling baik dibandingkan kondisi eksisting.

Daftar Pustaka

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kadek Wiarni Devi, Budi Mardikawati, & Aswin Badarudin Atmajaya. (2024). PENGARUH GEOMETRI DAN KONFIGURASI SINYAL TERHADAP KINERJA SIMPANG DENGAN PENDEKATAN PKJI 2023 DAN PTV VISSIM: Studi Kasus : Simpang Tugu Wisnu di Kota Surakarta. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 13(1), 1–10. Diambil dari <https://doi.org/10.36733/jikt.v13i1.9027>.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2015). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan

Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas. Kementerian Perhubungan RI, Jakarta.

- Rahmayuda, H. (2023). *Evaluasi dan Peningkatan Kinerja Simpang Bersinyal Jolteng Wetan (Performance Evaluation And Improvement Of Jolteng Wetan Signalized Intersection)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Yulianto, T., Nugroho, M. W., & Sundari, T. (2024). Analisis Kinerja Simpang Tiga Menggunakan Metode Pkji 2023 Pada Jl. Kh. Wahab Chasbulloh–Jl. Garuda Kabupaten Jombang. Diambil dari <https://ejournal.unhasy.ac.id/index.php/reaktip/article/view/7203>.
- Hutahaean, Y. G., & Susilo, B. H. (2021). Evaluasi Simpang Bersinyal Taman Sari – Cikapayang Kota Bandung Dengan Analisis VisSim. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(1), 70–87. Diambil dari <https://doi.org/10.28932/jts.v17i1.2863>