

ANALISIS KINERJA SIMPANG BERSINYAL MENGGUNAKAN METODE PKJI 2023 (Studi Kasus: Simpang Puntodewo Malang)

ANALYSIS OF SIGNALIZED INTERSECTION PERFORMANCE USING THE PKJI 2023 METHOD (Case Study: Puntodewo Intersection Malang)

Sagraha¹, Imam Hagni Puspito¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Indonesia
E-mail: sagrahaputra41@gmail.com

Diterima 24 Februari 2025, Disetujui 25 Mei 2025

ABSTRAK

Perkembangan transportasi yang pesat di kawasan Polehan, Blimbing, Kota Malang, menyebabkan peningkatan volume kendaraan yang signifikan, terutama pada Simpang Empat Puntodewo. Faktor seperti pertumbuhan jumlah kendaraan dan pertumbuhan penduduk menyebabkan kemacetan, terutama pada jam sibuk sore hari. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja simpang dengan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 guna mengevaluasi kondisi eksisting dan menentukan alternatif solusi yang optimal. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan pengumpulan data primer dan sekunder untuk menganalisis variabel-variabel seperti derajat kejenuhan (DJ), tundaan rata-rata, dan tingkat pelayanan melalui survei lapangan dan *live traffic counting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi eksisting simpang berada pada tingkat pelayanan F, dengan tundaan rata-rata mencapai 177,4 detik/SMP. Pendekat selatan (Jalan Puntodewo) mengalami kondisi terburuk dengan DJ sebesar 1,76 dan tundaan ekstrem hingga 857,2 detik, yang menunjukkan bahwa jalan ini tidak mampu menampung volume kendaraan pada jam sibuk. Beberapa alternatif solusi diuji, termasuk pengurangan fase sinyal dari tiga menjadi dua fase, pelebaran jalan, serta kombinasi dari keduanya. Dari hasil analisis, alternatif terbaik adalah kombinasi dua fase sinyal dan pelebaran Jalan Ranugrati menjadi 3,5 meter, yang berhasil menurunkan tundaan rata-rata menjadi 27,6 detik/SMP dan meningkatkan tingkat pelayanan ke D. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi pengaturan sinyal dan perubahan geometrik jalan dapat meningkatkan efisiensi lalu lintas dan mengurangi kemacetan di Simpang Empat Puntodewo secara signifikan.

Kata kunci: Simpang; PKJI 2023; Traffic; Geometrik

ABSTRACT

The rapid development of transportation in the Polehan, Blimbing area of Malang City has led to a significant increase in vehicle volume, particularly at the Puntodewo Four-Way Intersection. Factors such as the growing number of vehicles and population growth causing congestion, especially during peak evening hours. This study aims to analyze the intersection's performance using the Indonesian Highway Capacity Manual (PKJI) 2023 to evaluate the existing conditions and determine optimal alternative solutions. The research method used is a quantitative approach with the collection of primary and secondary data to analyze variables such as the degree of saturation (DS), average delay, and level of service through field surveys and live traffic counting. The results indicate that the existing intersection condition is at level of service F, with an average delay of 177.4 seconds per PCU. The southern approach (Puntodewo Street) experiences the worst condition, with a DS of 1.76 and extreme delay reaching 857.2 seconds, indicating that the road is unable to accommodate current traffic volumes, particularly during peak hours. Several alternative solutions were tested, including reducing signal phases from three to two, road widening, and a combination of both. The analysis results show that the best alternative is the combination of two-phase signals and the widening of Ranugrati Street to 3.5 meters, which successfully reduced the average delay to 27.6 seconds per PCU and improved the level of service to D. The findings of this study conclude that a combination of signal adjustments and geometric road modifications can significantly improve traffic efficiency and reduce congestion at the Puntodewo Four-Way Intersection.

Keywords: intersection; PKJI 2023, Traffic; Geometric

PENDAHULUAN

Perkembangan transportasi di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang signifikan. Peningkatan ini mencakup penambahan kendaraan pribadi, moda transportasi umum, dan infrastruktur jalan[1]. Namun, seiring dengan kemajuan tersebut, tantangan baru juga muncul, khususnya pada kawasan-kawasan yang berkembang pesat seperti pada Kawasan Polehan, Blimbing, Kota Malang. Sebagai salah satu wilayah yang terus berkembang, wilayah ini menghadapi lonjakan jumlah kendaraan yang beroperasi di ruas jalan utamanya, termasuk pada simpang-simpang strategis yang menjadi penghubung aktivitas masyarakat. Salah satu simpang yang kerap menghadapi permasalahan lalu lintas adalah simpang 4 yang memiliki peran penting sebagai penghubung antara pusat aktivitas masyarakat dengan kawasan komersial.

Selain dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah kendaraan, kemacetan di simpang tersebut juga diperparah oleh tingginya angka pertumbuhan penduduk di wilayah polehan[2]. Pertumbuhan penduduk menciptakan peningkatan mobilitas harian, baik untuk keperluan kerja, pendidikan, maupun aktivitas lainnya. Pada jam-jam tertentu, terutama sore hari, aktivitas pulang kerja, sekolah dan aktivitas lainnya menyebabkan volume kendaraan yang signifikan dan menciptakan hambatan lalu lintas. Aktivitas ini tidak hanya meningkatkan kepadatan, tetapi juga sering kali mengganggu arus lalu lintas.

Kondisi ini memerlukan perhatian khusus untuk menganalisis kinerja simpang dengan mempertimbangkan faktor kinerja arus lalu lintas. Tanpa penanganan yang tepat, volume lalu lintas yang padat ini dapat memperburuk derajat kejenuhan (*degree of saturation*) simpang, meningkatkan tundaan kendaraan, dan menurunkan tingkat pelayanan (*level of service*). Oleh karena itu, pentingnya penelitian dilaksanakan adalah sebagai evaluasi terhadap padatnya volume arus lalu lintas ini terhadap kinerja simpang Puntodewo, Polehan, Blimbing, Kota Malang, sehingga solusi yang tepat dapat diterapkan untuk mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi lalu lintas di wilayah tersebut.

Simpang Empat antara Jalan Puntodewo, Jl. Mayjen Wiyono, Jl. Ranugrati, dan Jl. Khunta Baswara, Kecamatan Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur, merupakan salah satu simpang yang sering terjadi kemacetan terutama di jam sibuk terkhususnya pada jam sore hari. Jl. Mayjen Wiyono merupakan jalan kolektor yang menghubungkan Kecamatan Blimbing dan akan diteruskan oleh Jl. Ranugrati menuju Kecamatan Kedungkandang. Jalan Puntodewo merupakan jalan dari arah selatan yang bisa menjadi jalan alternatif menuju selatan kota Malang. Permasalahan yang sering terjadi di simpang ini salah satu penyebabnya karena mulai nya berkembang di Kawasan tersebut, dimana mulai banyak nya berbagai toko dan juga penjual kaki lima di beberapa titik.

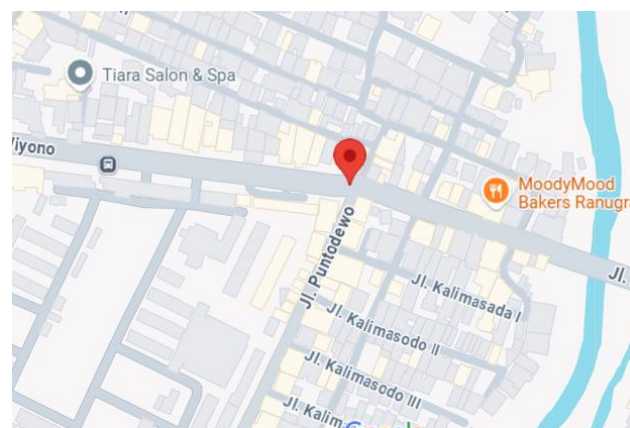
Sebagai penunjang dan referensi dalam penelitian ini, penulis menggunakan studi literatur berupa *handbook/manual* dari yaitu Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia yang terbit pada tahun 2023 sebagai pedoman dalam prosedural survei dan pengolahan data.

Dengan demikian, akan dilakukan penelitian atas kinerja area Simpang Empat Puntodewo untuk mengetahui kinerja optimal pada kondisi eksisting. Penelitian ini bertujuan untuk: 1) Menganalisis kinerja Simpang Empat Puntodewo, dan 2) Mencari solusi yang tepat dalam penanganan kemacetan lalu lintas yang ada di Simpang Empat Puntodewo. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, diperlukan metode analisis dalam pengumpulan data yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, yaitu Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 (PKJI 2023).

METODE

Gambaran Umum Lokasi Studi

Simpang Empat yang terletak di antara Jalan Puntodewo, Jalan Mayjen Wiyono, Jalan Ranugrati, dan Jalan Khunta Baswara, Kecamatan Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur, merupakan salah satu simpang yang cukup sibuk dan rawan kemacetan, terutama pada jam-jam tertentu, seperti sore hari. Simpang ini memiliki peran strategis dalam menghubungkan berbagai kawasan di Kota Malang, di mana Jalan Mayjen Wiyono berfungsi sebagai jalan kolektor yang menghubungkan Kecamatan Blimbing dan menuju Kecamatan Kedungkandang melalui Jalan Ranugrati. Sementara itu, Jalan Puntodewo berfungsi sebagai jalur utama dari arah selatan yang menjadi alternatif menuju pusat kota Malang.



Gambar 1. Titik Lokasi



Gambar 2. Kondisi Simpang Puntodewo

Kemacetan yang sering terjadi di simpang ini disebabkan oleh faktor-faktor seperti perkembangan pesat kawasan sekitar yang semakin ramai dengan kegiatan komersial, termasuk banyaknya toko dan pedagang kaki lima yang menghambat arus lalu lintas, terutama pada jam sibuk. Pada sore hari, kepulangan pekerja dan pengunjung ke pusat perbelanjaan serta tempat makan menyebabkan lonjakan volume

kendaraan yang drastis, mengganggu kelancaran lalu lintas dan memperburuk kemacetan. Berdasarkan pengamatan survei, meskipun simpang ini memiliki kondisi jalan yang baik dengan fasilitas seperti APILL, zebra cross, dan marka jalan terpelihara, serta jalan kolektor yang menghubungkan wilayah kecamatan, volume lalu lintas yang tinggi tetap menjadi tantangan utama, terutama di Jalan Mayjen Wiyono dan Jalan Ranugrati yang berfungsi sebagai jalan kolektor, sementara Jalan Khunta Baswara berfungsi sebagai jalan lokal dengan volume lalu lintas lebih rendah.

Tabel 1. Fungsi, Status dan Tipe Jalan pada Simpang Puntodewo [2]

No	Nama Jalan	Fungsi Jalan	Status Jalan	Tipe Jalan
1	Jalan Puntodewo (S)	Lokal	Jalan Kota	2/2 UD
2	Jalan Ranugrati (T)	Kolektor Sekunder	Jalan Kota	2/2 UD
3	Jalan Khunta Baswara (U)	Lokal	Jalan Kota	2/2 UD
4	Jalan Mayjen Wiyono (B)	Kolektor Primer	Jalan Kota	4/2 UD

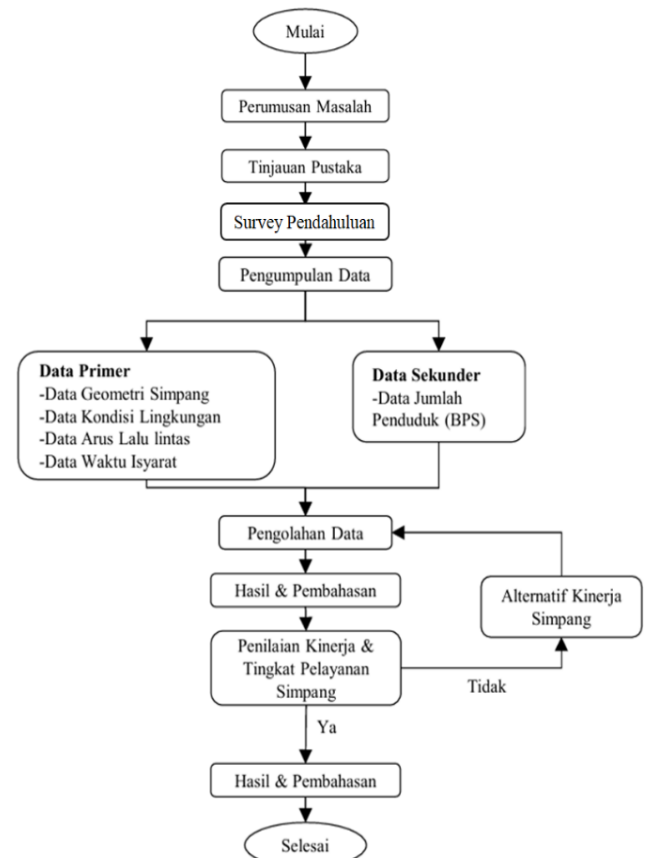
Pendekatan & Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tujuan untuk mengukur variabel-variabel terkait kinerja simpang menggunakan data numerik dan analisis statistik. Metode yang diterapkan mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, yang memberikan kerangka kerja standar untuk evaluasi kapasitas simpang, termasuk pengukuran volume lalu lintas, kapasitas, dan tingkat pelayanan jalan[3]. Lokasi penelitian difokuskan pada Simpang Empat Puntodewo di Kota Malang, yang merupakan simpang strategis dengan masalah kemacetan pada jam sibuk. Data dikumpulkan melalui observasi lapangan dan survei lalu lintas selama dua hari kerja. Pada saat survei lapangan, peneliti melakukan wawancara singkat dari beberapa pengguna jalan yang secara rutin lewat setiap hari sehingga penelitian ini fokus pada jam paling sibuk yaitu antara pukul 15.00–17.00.

Tahapan penelitian dimulai dengan persiapan yang meliputi identifikasi masalah, studi literatur, dan pengumpulan data sekunder. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data primer melalui observasi lapangan, survei volume lalu lintas, serta pengukuran geometrik simpang. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan metode yang sesuai dengan PKJI 2023, termasuk perhitungan kapasitas simpang, evaluasi kinerja lalu lintas, serta analisis alternatif perbaikan[3]. Proses pengolahan data mencakup penggunaan formulir-formulir yang disediakan dalam PKJI untuk menghitung arus lalu lintas, rasio arus, tundaan, dan kapasitas simpang. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan standar kinerja yang berlaku untuk memberikan rekomendasi perbaikan jika kinerja simpang tidak memenuhi kriteria desain yang diharapkan[3].

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja simpang bersinyal di Simpang Empat Puntodewo dengan melalui beberapa tahapan sistematis. Data sekunder diperoleh dari sumber resmi, termasuk pedoman kapasitas jalan dan data historis lalu lintas. Selanjutnya, data yang

dikumpulkan dianalisis untuk menghitung kapasitas simpang dan mengevaluasi kinerja lalu lintas menggunakan formula dari PKJI 2023. Hasil analisis dibandingkan dengan standar yang ada untuk menilai tingkat pelayanan simpang. Jika kinerja simpang tidak memenuhi kriteria, dilakukan analisis alternatif perbaikan[3]. Tahap terakhir adalah penyusunan kesimpulan dan rekomendasi untuk meningkatkan kelancaran lalu lintas, serta saran untuk penelitian lebih lanjut yang relevan.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

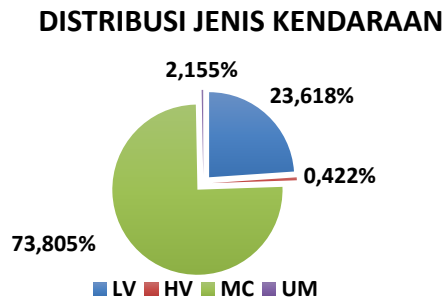
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Volume Lalu Lintas

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, volume kendaraan di simpang Puntodewo untuk setiap jenis kendaraan dapat dilihat pada tabel berikut:

Gambar 4. Distribusi Jenis Kendaraan

BBWI	LV	HV	MC	UM
TOTAL	17,749	410	55,821	222



Gambar 5. Distribusi Kendaraan Berdasarkan Jenis Kendaraan

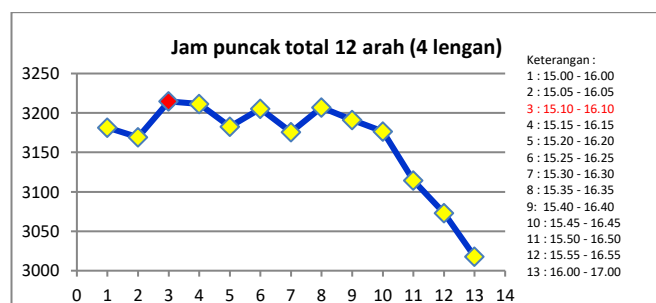
Perhitungan volume kendaraan ini memberikan gambaran mengenai distribusi kendaraan yang melintas di simpang Puntodewo, yang mencakup berbagai jenis kendaraan, baik kendaraan ringan, berat, sepeda motor, maupun kendaraan tidak bermotor[4].

Tabel 2. Volume Setiap Jenis Kendaraan Per Jam

NO	Interval waktu	Σ
1	15.00 - 16.00	3181.6
2	15.05 - 16.05	3169.3
3	15.10 - 16.10	3214.6
4	15.15 - 16.15	3211.5
5	15.20 - 16.20	3182.8
6	15.25 - 16.25	3205.4
7	15.30 - 16.30	3175.6
8	15.35 - 16.35	3207.1
9	15.40 - 16.40	3191.3
10	15.45 - 16.45	3176.7
11	15.50 - 16.50	3114.5
12	15.55 - 16.55	3073.2
13	16.00 - 17.00	3017.8

Jam puncak lalu lintas di simpang Puntodewo terjadi pada periode antara jam 15.10 hingga 16.10, dengan volume kendaraan mencapai 3214,6 smp/jam. Pada jam ini, volume kendaraan yang melintas di simpang mencapai titik tertinggi, yang menunjukkan kepadatan lalu lintas yang signifikan. Peningkatan volume kendaraan ini dapat mengindikasikan terjadinya kemacetan pada simpang, terutama dengan adanya arus kendaraan dari 12 arah (4 lengan) yang berkonvergensi di lokasi tersebut.

Data mengenai jam puncak ini dapat divisualisasikan lebih jelas pada **Gambar 6**. Gambar ini menggambarkan fluktuasi volume kendaraan selama periode survei dan menyoroti jam puncak yang menunjukkan adanya konsentrasi kendaraan yang tinggi.



Gambar 6. Volume Puncak Total 12 Arah (4 Lengan)

Geometrik, Peraturan Lalu Lintas, dan Lingkungan

Pada perhitungan awal ini dan pada kan mengisi data dari Geometrik, Peraturan Lalu Lintas, dan Lingkungan pada simpang puntudewo. Dimana pada simpang puntudewo ini memiliki 3 Fase dimana memulai hijau lebih awal pada pendekatan barat untuk menaikan kapasitas belok kanan dari arah barat. Lalu pada perhitungan W_H dan W_{AH} , ditampilkan juga sebagian data seperti kode pendekat, tipe lingkungan, kelas hambatan, dan lainnya. Tipe dari setiap jalan pada simpang ini memiliki tipe lingkungan komersial, kelas hambatan sedangdan, tidak memiliki median, keladaian 0%, dan tidak memiliki jalur belook kiri.

Tabel 3. Data Geometri

Kode	Lebar pendekat (m)			
	pada awal lajur L	pada garis henti L_M	pada lajur belok kiri $L_{BKj}T$	pada lajur keluar L_K
U	2.37	-	-	3.5
S	2.22	-	-	2.37
B	5.88	-	-	3.56
T	3.5	-	-	5.92

Hasil survei geometrik di simpang empat yang terletak di antara Jalan Puntodewo, Jalan Mayjen Wiyono, Jalan Ranugrati, dan Jalan Khunta Baswara menunjukkan perbedaan lebar pada masing-masing jalan. Jalan Mayjen Wiyono, yang merupakan jalan kolektor dengan kapasitas lalu lintas tinggi, memiliki lebar 11,8 meter, mendukung kelancaran arus kendaraan, terutama saat jam sibuk, meskipun masih memerlukan pengaturan yang tepat untuk mengurangi kemacetan. Jalan Puntodewo lebih sempit dengan lebar 5,7 meter, namun cukup untuk mengakomodasi kendaraan dari arah selatan. Jalan Ranugrati, juga jalan kolektor, memiliki lebar 8 meter, cukup untuk volume kendaraan lebih banyak, terutama saat lalu lintas menuju Kecamatan Kedungkandang. Jalan Khunta Baswara, sebagai jalan lokal, memiliki lebar 4,7 meter dengan kapasitas terbatas untuk menampung volume kendaraan yang melintas.



Gambar 7. Kondisi Geometrik Simpang

Data primer dalam penelitian ini diperoleh langsung dari hasil survei lapangan di lokasi penelitian, yaitu Simpang Empat Puntodewo, Kecamatan Blimbing, Kota Malang. Survei dilakukan untuk mengumpulkan informasi terkait kondisi eksisting simpang, termasuk volume lalu lintas, geometri simpang. Pengumpulan data primer dilakukan dengan metode observasi langsung menggunakan alat bantu seperti video recording dan alat penghitung kendaraan, serta formulir survei sesuai standar PKJI 2023.

Perhitungan arus lalu lintas, dan rasio belok

Pada perhitungan ini merupakan perhitungan dan pengisian terkait arus lalu lintas, dan rasio belok. Dimana yang akan dihitung merupakan kendaraan yang terdapat pada jam puncak yang sudah dicari sebelumnya yaitu pada pukul 15.10-16.10. Untuk data perhitungan lengkap form ini bisa dilihat pada **Tabel 4**. Adapun beberapa contoh perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4. Data-data Arus Lalu Lintas, dan Rasio Belok[3]

kend/jam	Total Kendaraan Bermotor		R_{BK_i}	R_{BK_a}	KTB kend / jam	R_{KTB}
	terlindung SMP / jam	terlawan SMP / jam				
29	0	14	0.473		0	
19	0	11.8			0	
8	0	3.8		0.128	0	
56	0	29.6			0	0.0000
459	0	270.3	0.611		9	
13	0	5.8			0	
328	0	166.3		0.376	0	
800	0	442.4			9	0.0113
424	0	214.9	0.232		0	
1024	0	700.6			0	
12	0	9		0.010	0	
1460	0	924.5			0	0.0000
15	0	10.2	0.009		0	
1784	0	1070.3			5	
940	269.45	0		0.000	0	
2739	269.45	1080.5			5	0.0018

Penggunaan Waktu Isyarat W_k dan W_{HH}

Tabel 6. Perhitungan Derajat Kejenuhan

Kode pendekat	Arus belok kanan				L_E	J_0	J	q	$R_{q/J}$	R_F	W_{Hi}	C	D_j
	R_{BK_i}	R_{BK_a}	dari arah ditinjau	dari arah berlawanan									
U	0	0	4	166	2	1420	1195	30	0	0	24	205	0
S	0.61	0.38	166.3	3.8	2.22	1675	1466.86	442.4	0.30	0.23	24	251.46	1.76
T	0.23	0.01	9	0	3.5	1880	1601.37	924.5	0.58	0.43	77	880.75	1.05
B	0.01	0.00	0	9	5.88	2900	2516.32	1080.5	0.43	0.32	77	1383.97	0.78
B	0.01	0.00	0	0	5.88	3528	3061.23	269.45	0.09	0.07	16	349.85	0.77

Derajat Kejenuhan (D_j)

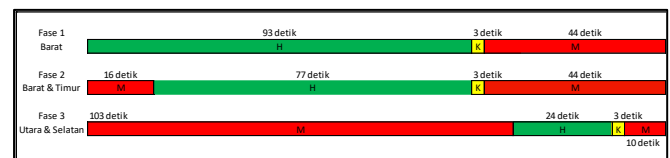
Derajat kejenuhan (D_j) merupakan salah satu parameter utama yang digunakan dalam analisis kinerja simpang bersinyal. D_j mengukur perbandingan antara volume lalu lintas yang melewati simpang dengan kapasitas maksimum simpang tersebut[3]. Nilai D_j digunakan untuk menentukan seberapa optimal kinerja simpang dalam melayani arus lalu lintas. Nilai D_j yang semakin mendekati atau melampaui 1 menunjukkan kondisi lalu lintas yang padat atau jenuh[3].

Hasil perhitungan derajat kejenuhan pada masing-masing pendekat di Simpang Empat Puntodewo menunjukkan variasi nilai D_j berdasarkan karakteristik volume lalu lintas (Q), kapasitas (C), serta waktu hijau (W_H) yang tersedia.

Fase isyarat yang berlaku pada kondisi eksisting terdiri dari 3 fase yang masing-masing memiliki waktu siklus yang sama, yaitu 140 detik per fase. Pembagian waktu yang sama untuk setiap fase ini memungkinkan pengaturan lalu lintas yang lebih terstruktur, dengan masing-masing fase memberikan waktu yang cukup untuk arus kendaraan dari berbagai arah untuk melintas secara bergantian. Rekapitulasi waktu siklus jam puncak dapat dilihat pada Tabel 5 yang menunjukkan durasi siklus untuk setiap fase pada jam puncak.

Tabel 5. Rekapitulasi Waktu Siklus Jam Puncak

Fase	Pendekat	Sinyal			Waktu Siklus
		Merah	Kuning	Hijau	
1	Barat	44"	3"	93"	140"
2	Timur & Barat	60"	3"	77"	140"
3	Utara & Selatan	113"	3"	24"	140"



Gambar 8. Waktu Siklus Jam Puncak Eksisting

Pada tahap ini bisa dilihat pada grafik atau diagram pita didapat untuk waktu kuning W_{AH} yaitu 23 detik.

Perhitungan dari lebar efektif, hingga derajat kejenuhan

Pada perhitungan ini akan memiliki perhitungan dari lebar efektif, hingga derajat kejenuhan pada hasil akhir. Untuk tampilan lebih lengkap data bisa di lihat pada **Tabel 6**.

Jalan Khunta Baswara (U) memiliki nilai D_j sebesar 0.14 menunjukkan bahwa pendekat ini memiliki kinerja yang sangat baik dengan arus lalu lintas yang jauh di bawah kapasitasnya. Hal ini mengindikasikan tidak adanya kendala berarti pada pendekat ini dalam melayani volume lalu lintas. Jalan Puntodewo (S) memiliki pendekat ini memiliki nilai D_j sebesar 1.76, yang menunjukkan kondisi lalu lintas yang sudah melampaui kapasitasnya. Hal ini menjadi indikasi bahwa simpang ini memerlukan perbaikan. Jalan Ranugrati (T) memiliki nilai D_j sebesar 1.05, pendekat ini menunjukkan kondisi lalu lintas yang jenuh. Meskipun masih dapat melayani arus lalu lintas, potensi kemacetan sangat mungkin terjadi. Jalan Mayjen Wiyono (B) memiliki nilai D_j sebesar 0.78 mengindikasikan bahwa pendekat ini memiliki kinerja

melampaui 0,5. Kondisi lalu lintas mempunyai kondisi yang memungkinkan jenuh

Menghitung Panjang Antrian (P_A)

Panjang antrian (P_A) adalah salah satu parameter penting dalam menganalisis kinerja simpang bersinyal. P_A mengukur panjang rata-rata kendaraan yang mengantri selama fase merah pada setiap pendekat[3]. Nilai P_A memberikan gambaran tentang tingkat kepadatan dan efisiensi aliran lalu lintas di setiap lengan simpang[3]. Hasil perhitungan panjang antrian pada Simpang Empat Puntodewo disajikan dalam **Gambar 7** berikut.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Panjang Antrian (P_A)

Kode Pendekat	Panjang Antrian (m)	Rasio Kendaraan Terhenti	Jumlah Kendaraan Terhenti (SMP)
	P_A	R_{KH}	N_{KH}
U	333.3	0.8	914.1
S	1103.0	1.9	2833.6
T	253.3	1.1	1723.7
B	447.8	0.7	1813.5
B	667.0	0.9	2701.2

Hasil analisis panjang antrian pada setiap pendekat menunjukkan adanya variasi yang signifikan. Jalan Khunta Baswara (U) memiliki panjang antrian sebesar 333.3 meter dengan rasio kendaraan terhenti (R_{KH}) sebesar 0.8. Meskipun relatif rendah, hal ini menunjukkan bahwa antrian pada pendekat ini masih dalam batas yang terkendali. Jalan Puntodewo (S) memiliki panjang antrian mencapai 1103 meter dengan R_{KH} tertinggi sebesar 1.9. Nilai ini menunjukkan tingkat kepadatan yang sangat tinggi, mengindikasikan perlunya intervensi, seperti pelebaran jalan atau penyesuaian waktu sinyal, untuk mengurangi panjang antrian dan meningkatkan aliran kendaraan. Jalan Ranugrati (T) memiliki panjang antrian sebesar 253.3 meter dengan R_{KH} 1.1. Meskipun panjang antrian tidak terlalu signifikan, rasio kendaraan terhenti yang cukup tinggi menunjukkan bahwa pendekat ini dapat menghadapi masalah kepadatan lalu lintas pada waktu tertentu. Jalan Mayjen Wiyono (B) memiliki dua segmen pada pendekat ini memiliki panjang antrian 447.8 meter dan 667 meter, dengan R_{KH} masing-masing sebesar 0.7 dan 0.9. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun panjang antrian moderat, jumlah kendaraan yang terhenti cukup besar, sehingga memerlukan perhatian untuk memastikan kelancaran lalu lintas di pendekat ini.

Secara keseluruhan, hasil perhitungan menunjukkan bahwa Jalan Puntodewo (S) memiliki masalah paling signifikan dengan panjang antrian dan R_{KH} tertinggi, yang berpotensi menyebabkan hambatan lalu lintas di simpang. Solusi yang disarankan mencakup penyesuaian durasi waktu hijau pada pendekat ini, rekayasa lalu lintas, atau pelebaran jalan untuk mengurangi tekanan pada arus lalu lintas.

Menghitung Tundaan (τ)

Tundaan lalu lintas merupakan salah satu indikator utama dalam menilai kinerja simpang bersinyal. Tundaan dihitung berdasarkan dua komponen utama, yaitu

tundaan lalu lintas rata-rata (TL) yang disebabkan oleh hambatan kendaraan saat mengantre, dan tundaan geometri rata-rata (TG) yang diakibatkan oleh kondisi fisik simpang[3]. Kombinasi kedua komponen tersebut menghasilkan tundaan rata-rata (T) untuk setiap pendekat. Berdasarkan tundaan rata-rata, tingkat pelayanan (*Level of Service*) akan diklasifikasikan[5]. Hasil analisis tundaan dan tingkat pelayanan Simpang Puntodewo disajikan dalam **Tabel 8** berikut.

Tabel 8. Tundaan dan Tingkat Pelayanan Simpang

Kode Pendekat	Tundaan lalu lintas rata-rata T_L detik	Tundaan geometri rata-rata T_G detik	Tundaan rata-rata T detik	Tundaan Total SMP.detik	Tingkat Pelayanan (LOS)
U	49.3	3.9	53.2	63578.9	F
S	852.8	4.4	857.2	1257337.0	
T	67.0	4.0	71.0	113702.1	
B	27.9	3.9	31.8	80078.1	
B	71.5	4.0	75.5	231094.1	
Total tundaan =				1745774.1	
Tundaan simpang rata-rata, detik/SMP =				177.4	

Hasil analisis tundaan pada setiap pendekat Simpang Puntodewo menunjukkan variasi yang signifikan, sebagaimana dirangkum dalam tabel. Jalan Khunta Baswara (U) memiliki tundaan rata-rata sebesar 53.2 detik dengan tundaan total sebesar 63,578.9 SMP.detik. Nilai ini menunjukkan bahwa pendekat U memiliki tingkat tundaan yang masih dalam batas sedang, namun berada pada batas atas dari kategori tingkat pelayanan E. Jalan Puntodewo (S) memiliki tundaan rata-rata yang sangat tinggi, yaitu 857.2 detik, dengan tundaan total sebesar 1,257,337 SMP.detik. Nilai ini mengindikasikan kondisi lalu lintas yang sangat buruk dengan tingkat pelayanan F, yang berarti simpang ini tidak mampu melayani volume lalu lintas yang ada. Ini adalah pendekat yang paling membutuhkan perhatian. Jalan Ranugrati (T) memiliki tundaan rata-rata sebesar 71 detik dan tundaan total 113,702.1 SMP.detik, pendekat ini juga masuk dalam kategori tingkat pelayanan F. Tundaan ini mengindikasikan bahwa pendekat T juga memiliki tekanan lalu lintas yang cukup signifikan. Jalan Mayjen Wiyono (B) memiliki Terdapat dua segmen untuk pendekat ini, dengan tundaan rata-rata masing-masing 31.8 detik dan 75.5 detik. Meskipun segmen pertama (31.8 detik) masih berada pada tingkat pelayanan C (kategori cukup baik), segmen kedua (75.5 detik) masuk kategori F. Hal ini menunjukkan variasi kondisi lalu lintas di pendekat ini.

Tundaan rata-rata simpang adalah 177.4 detik/SMP, yang mengklasifikasikan simpang Puntodewo ke dalam tingkat pelayanan F. Nilai ini mengindikasikan bahwa simpang mengalami kemacetan berat dengan tundaan yang sangat signifikan, sehingga tidak dapat melayani volume lalu lintas dengan efisien.

Analisis Alternatif Solusi Kinerja Simpang Puntodewo

Simpang Puntodewo saat ini menghadapi permasalahan tingkat pelayanan yang rendah (tingkat pelayanan F) dengan tundaan rata-rata mencapai 177.4 detik. Jalan Puntodewo yang memiliki derajat kejenuhan

(DJ) jauh di atas kapasitas. Untuk mengatasi permasalahan ini, dilakukan analisis alternatif solusi dengan mengganti sistem sinyal menjadi dua fase, melebarkan jalan taupun rekayasa lainnya, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, meratakan DJ, dan memperbaiki tingkat pelayanan secara keseluruhan.

Alternatif 1 (2 Fase)

Pada alternatif ini, sistem sinyal diubah menjadi dua fase dengan pembagian waktu yang jelas: Fase 1 memiliki durasi waktu hijau 120 detik, sedangkan Fase 2 memiliki durasi hijau 60 detik. Total waktu siklus menjadi 192 detik. Dengan perubahan ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi arus kendaraan di persimpangan yang dianalisis, mengatur distribusi waktu hijau lebih baik untuk setiap pendekat, serta mengurangi tundaan pada setiap jalur.

Hasil analisis menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi arus lalu lintas. Pada Jalan Khunta Baswara (U), DJ menurun dari 0.14 menjadi 0.08 dan tundaan rata-rata turun dari 49.3 detik menjadi 32.4 detik. Jalan Puntodewo (S) mengalami penurunan drastis pada DJ dari 1.76 menjadi 0.97, dengan tundaan rata-rata berkurang dari 852.8 detik menjadi 94.4 detik. Jalan Ranugrati (T) sedikit mengalami peningkatan DJ dari 0.78 menjadi 0.92, tetapi tundaan rata-rata turun dari 67 detik menjadi 22.7 detik. Sementara itu, Jalan Mayjen Wiyono (B) mengalami peningkatan DJ dari 0.77 menjadi 0.98, namun tundaan rata-rata hanya sedikit turun dari 27.9 detik menjadi 26.5 detik. Secara keseluruhan, penggantian sistem sinyal ini berhasil menurunkan tundaan rata-rata simpang menjadi 45.2 detik, meningkatkan tingkat pelayanan dari F menjadi E, dan mendistribusikan DJ secara merata.

Alternatif 2 (Melebarkan Jalan)

Pada alternatif ini, lebar jalan pada pendekat Jalan Puntodewo (S) dan Jalan Ranugrati (T) diperlebar menjadi 4.5 meter, sementara pendekat lainnya tetap mempertahankan lebar eksisting. Sistem sinyal lalu lintas tetap menggunakan pengaturan tiga fase, dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas jalan dan memperbaiki distribusi arus lalu lintas di simpang tersebut. Perubahan ini bertujuan untuk mengurangi kemacetan dan memperbaiki kinerja simpang secara keseluruhan.

Hasil analisis menunjukkan perbaikan yang signifikan pada kinerja simpang setelah perubahan dilakukan. Pada Jalan Khunta Baswara (U), DJ menurun dari 0.14 menjadi 0.11, dengan tundaan rata-rata turun dari 49.3 detik menjadi 44.2 detik. Pada Jalan Puntodewo (S), DJ turun drastis dari 1.76 menjadi 0.83, dan tundaan rata-rata turun dari 852.8 detik menjadi 64.9 detik, menunjukkan perbaikan besar karena sebelumnya merupakan titik kemacetan utama. Jalan Ranugrati (T) mengalami penurunan tundaan rata-rata dari 67 detik menjadi 30.4 detik, meskipun DJ tetap stabil di 0.78. Sementara itu, Jalan Mayjen Wiyono (B) menunjukkan penurunan DJ dari 0.77 menjadi 0.69, dengan tundaan rata-rata turun dari 27.9 detik menjadi 25.8 detik. Secara keseluruhan, tundaan rata-rata simpang turun menjadi 54.7 detik, meningkatkan tingkat pelayanan dari F menjadi E, dengan distribusi DJ yang lebih merata dan

semua pendekat.

Alternatif 3 (Melebarkan Jalan dan 2 Fase)

Pada alternatif ini, dilakukan pelebaran jalan pada pendekat Jalan Ranugrati (T) menjadi 3.5 meter, dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas dan mengurangi kemacetan. Selain itu, sistem sinyal diubah menjadi dua fase dengan pembagian waktu hijau yang lebih sederhana, untuk memaksimalkan efisiensi aliran lalu lintas di simpang. Perubahan ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja simpang secara keseluruhan dan mengurangi tundaan pada setiap pendekat.

Hasil analisis menunjukkan peningkatan kinerja simpang yang signifikan. Pada Jalan Khunta Baswara (U), DJ menurun dari 0.14 menjadi 0.08, dengan tundaan rata-rata turun dari 49.3 detik menjadi 32.4 detik. Jalan Puntodewo (S) mengalami penurunan DJ dari 1.76 menjadi 0.77, dengan tundaan rata-rata turun drastis dari 852.8 detik menjadi 53.8 detik, menunjukkan efisiensi yang lebih baik pada pendekat ini. Jalan Ranugrati (T) mengalami penurunan DJ dari 0.78 menjadi 0.83, namun tundaan rata-rata turun signifikan dari 67 detik menjadi 12.2 detik, berkat pelebaran jalan. Pada Jalan Mayjen Wiyono (B), DJ menurun dari 0.77 menjadi 0.81, dengan tundaan rata-rata turun dari 27.9 detik menjadi 9.2 detik. Secara keseluruhan, tundaan rata-rata simpang turun menjadi 27.6 detik, meningkatkan tingkat pelayanan dari F menjadi D, dengan distribusi DJ yang lebih merata di seluruh pendekat dan semua DJ berada di bawah 0.85, menunjukkan peningkatan efisiensi yang signifikan.

Alternatif 4 Alternatif 4 (2 Fase & 3 Simpang)

Pada alternatif ini, dilakukan perubahan signifikan dalam pengaturan simpang dengan mengubah simpang menjadi tiga dan sistem sinyal diubah menjadi dua fase. Perubahan ini dilakukan untuk mengatasi ketimpangan volume kendaraan yang sangat besar pada pendekat utara dibandingkan dengan pendekat lainnya. Untuk mengalihkan sebagian aliran lalu lintas dari pendekat utara, dilakukan penutupan pada jalan yang mengarah ke Jalan Khunta Baswara (U), sehingga volume kendaraan pada pendekat utara dapat dialihkan ke simpang selanjutnya di Jalan Kalimosodo atau simpang sebelumnya. Sistem sinyal dibagi menjadi dua fase, dengan fase pertama memberikan waktu hijau selama 120 detik untuk pendekat barat dan timur, dan fase kedua memberikan waktu hijau selama 60 detik untuk pendekat selatan.

Hasil analisis menunjukkan perbaikan kinerja simpang yang signifikan. Pada Pendekat S (Jalan Puntodewo), DJ turun drastis dari 1.76 menjadi 0.463, dengan tundaan rata-rata turun dari 852.8 detik menjadi 32.861 detik, menunjukkan peningkatan efisiensi yang sangat baik. Pada Pendekat T (Jalan Ranugrati), DJ menurun dari 0.78 menjadi 0.668, dengan tundaan rata-rata turun dari 67 detik menjadi 6.990 detik. Di Pendekat B (Jalan Mayjen Wiyono), DJ menurun dari 0.77 menjadi 0.217, dengan tundaan rata-rata turun dari 27.9 detik menjadi 7.534 detik, menunjukkan stabilitas aliran lalu lintas yang lebih baik. Secara keseluruhan, tundaan rata-rata simpang turun menjadi 13.677 detik, meningkatkan tingkat pelayanan dari LOS F menjadi LOS B, dengan DJ di

seluruh pendekat berada di bawah 0.85, yang menunjukkan bahwa kondisi lalu lintas pada simpang ini kini lebih layak dan efisien.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis hasil analisis kinerja Simpang Empat Puntodewo, ada 2 poin yang akan disimpulkan dari penelitian ini yaitu :

1. Kinerja lalu lintas di Simpang Empat Puntodewo saat ini berada pada tingkat pelayanan F, dengan tundaan rata-rata mencapai 177,4 detik/SMP. Jalan Puntodewo (S) menjadi pendekat dengan kondisi paling buruk, mencatat derajat kejenuhan (DJ) sebesar 1,76 dan tundaan ekstrem hingga 852,8 detik, yang menunjukkan bahwa jalan ini tidak mampu menampung volume kendaraan yang ada, terutama pada jam sibuk.
2. Dari empat alternatif solusi yang dianalisis, Alternatif 4 merupakan solusi terbaik, yaitu dengan menutup pendekat utara dikarenakan memiliki volume kendaraan yang sangat kecil menjadikan 3 simpang dan membuat fase sinyal menjadi dua fase. Penerapan solusi ini berhasil menurunkan tundaan rata-rata menjadi 13.677 detik/SMP dan meningkatkan tingkat pelayanan ke B, dengan distribusi derajat kejenuhan pada setiap pendekat dibawah 0.85. Kombinasi perubahan simpang dan pengaturan sinyal ini tidak hanya mengurangi kemacetan tetapi juga meningkatkan efisiensi lalu lintas secara keseluruhan, sehingga Simpang Puntodewo dapat berfungsi lebih optimal dalam melayani pergerakan kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Mahendra and Hasyim, "Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Tanah Aji-Kota Mataram Dengan Software Ptv Vissim," 2024, [Online]. Available: <http://journal.unmasmataram.ac.id/index.php/GARA>
- [2] Dinas Perhubungan Provinsi Jawa Timur, "Sistem Informasi Perizinan Angkutan (SIPANJA)," sipanja.dishub.jatimprov.go.id.
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga, Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, no. 021. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum, 2023.
- [4] Direktorat Jenderal Bina Marga, Manual Kapasitas Jalan Indonesia. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, 1997.
- [5] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas," Jakarta, 2015.