EVALUASI KINERJA SIMPANG EMPAT BERSINYAL TERHADAP WAKTU TUNDAAN DAN EMISI GAS BUANGAN KENDARAAN MENGGUNAKAN METODE PKJI 2023

Gresti Elmindika Nubatonis[1], Nusa Sebayang[2], dan Sriliani Surbakti[3]

[1]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang,Jl. Bend. Sigura-gura Nomor 2 Kota Malang
Email: grestinubatonis2004@gmail.com
[2] Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bend. Sigura-gura Nomor 2 Kota Malang
Email: nusasebayang@lecturer.itn.ac.id
[3]Prodi Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bend. Sigura-gura Nomor 2 Kota Malang
Email: lianisurbakti@yahoo.com

ABSTRACT

The increase in traffic volume can lead to vehicle delay, which in turn increases vehicle exhaust emissions. One location experiencing these conditions is the signalized four-leg intersection of Ahmad Yani Street – Sultan Agung Street – Sumedang Street – Karangkates Street, Malang Regency. This study aims to evaluate the operational performance of the intersection, vehicle delay, and its effect on air quality. The intersection performance analysis was conducted based on the 2023 Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI 2023)**.** Primary data consisted of geometric characteristics, traffic volume, and measurements of NO_2 and CO pollutant concentrations, while secondary data comprised population data. The traffic performance parameters analyzed included the Degree of Saturation (DS), delay, queue length, and Level of Service (LOS). Air quality was assessed based on NO_2 and CO concentrations using the Air Pollution Standard Index (ISPU)**.** The results indicate that the existing intersection operates at Level of Service F, with an average delay of 528.098 s/pcu and a Degree of Saturation (DS) of 1.60 during the peak hour. Air quality measurements during the peak hour showed NO_2 and CO concentrations of 65.849 µg/m³ and 239.431 µg/m³**,** respectively. Following the implementation of improvement alternatives in the form of signal timing adjustment and phase modification, the average delay decreased to 25 s/pcu, resulting in Level of Service C. The ISPU values for NO_2 and CO after the intersection improvements were 4.164 and 0.058, respectively, both classified as Good according to the ISPU classification.
Keywords: Signalized Intersection, Air Pollution Standard Index (ISPU), PKJI 2023

ABSTRAK

Peningkatan volume lalu lintas dapat menyebabkan tundaan kendaraan yang dapat meningkatkan emisi gas buangan kendaraan salah satu lokasi yang mengalami kondisi tersebut adalah simpang empat bersinyal Jl. Ahmad yani – Jl. Sultan Agung – Jl. Sumedang – Jl. Karangkates, Kabupaten Malang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang, waktu tundaan serta pengaruhnya terhadap kualitas udara. Analisis kinerja simpang dilakukan dengan mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, Data primer meliputi data kondisi geometrik, volume lalu lintas dan pengukuran konsentrasi polutan NO_2 dan CO sedangkan data sekunder berupa data jumlah penduduk. Parameter kinerja lalu lintas yang dianalisis adalah derajat kejenuhan (DJ), tundaan, anjang antrian serta tingkat pelayanan (LOS). Kualitas udara ditinjau dari konsentrasi NO_2 dan CO dengan mengacu pada Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Hasil penelitian ini menunjukan kondisi eksisting simpang memiliki tingkat pelayanan F dengan tundaan rata" 528,098 det/SMP dan Derajat Kejenuhan sebesar 1,60 pada jam puncak. Kualitas udara pada jam puncak menunjukan konsentrasi NO_2 sebesar 65,849 µg/m³ dan CO sebesar 239,431 µg/m³. Setelah dilakukan alternatif perbaikan berupa penyesuaian waktu sinyal dan perubahan fase tundaan menurun menjadi 25 det/smp dengan tingkat pelayanan C. Nilai ISPU untuk NO_2 dan CO setelah di lakukan perbaikan simpang masing – masing sebear 4,164 dan 0,058 dengan kategori baik berdasarkan ISPU.

Kata kunci: Simpang Bersinyal, Indeks Standar Pencemaran Udara, PKJI 2023

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan volume kendaraan yang sejalan dengan meningkatnya aktivitas masyarakat menyebabkan permasalahan kemacetan lalu lintas di berbagai wilayah termasuk di kabupaten malang. Salah satu lokasi yang mengalami kondisi tersebut adalah simpang empat kepanjen bersinyal Jl. Ahmad yani – Jl. Sultan Agung – Jl. Sumedang – Jl. Karangkates. Persimpangan ini merupakan salah satu simpang yang melayani pergerakan kendaraan menuju Kawasan perdagangan, permukiman Pendidikan serta menjadi jalur penguhubung antara Kab Blitar, dan Kab Lumajang. Tingginya volume kendaraan yang sering terjadi menyebabkan tundaan dan Panjang antrian yang berdampak pada penurunan kinerja simpang.

Kondisi tersebut juga meningkatkan emisi gas buangan kendaraan yang mengandung polutan seperti karbon monoksida (CO),nitrogen dioksida (NO_2) dan sulfur dioksida (SO_2) yang dapat menurunkan kualitas udara dan memberikan dampak terhadap Kesehatan masyarakat maupun lingkungan. Semakin lama kendaraan mengalami tundaan maka semakin besar emisi gas buangan yang dihasilkan sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi permasalahan melalui pengelolaan lalu lintas yang lebih efektif.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja simpang empat kepanjen menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 serta menganalisis emisi gas buangan kendaraan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis dalam upaya meningkatkan kinerja simpang, mengurangi tundaan kendaraan, serta meminimalkan dampak emisi terhadap kualitas udara yang lebih efektif.

2. LANDASAN TEORI

Pengertian Simpang

Persimpangan merupakan bagian penting dari sistem jaringan jalan lancar tidaknya pergerakan dalam suatu jaringan jalan sangat ditentukan oleh peraturan pergerakan persimpangan secara umum kapasitas persimpangan dapat dikontrol dengan mengendalikan arus lalu lintas dalam sistem jaringan jalan tersebut sehingga persimpangan dapat dikatakan sebagai bagian dari suatu jaringan jalan yang merupakan daerah penting atau kritis dalam melayani arus lalu lintas. (Prasetyo,2013) Simpang merupakan daerah pertemuan dua atau lebih ruas jalan, bergabung, berpotongan atau bersilang. Persimpangan dapat disebut juga sebagai pertemuan antara dua jalan atau lebih sebidang maupun tidak sebidang atau titik jaringan jalan diamana jalan – jalan bertemu dan lintasan saling berpotongan(Marlok 1991).

Jenis – Jenis Simpang

Jenis simpang berdasarkan peraturannya dikelompokan menjadi dua jenis yaitu :

1. Simpang bersinyal merupakan persimpangan yang pergerakan arus lalu lintasnya dari setiap pendekat diatur lampu lalu sinyal untuk melewati persimpangan secara bergantian dengan waktu yang ditentukan.
2. Simpang tak bersinyal merupakan persimpangan tanpa lampu lalu lintas diamana pengemudi harus menentukan sendiri kapan aman untuk melintas atau berbelok.

Kinerja Simpang Bersinyal

Kinerja simpang dapat ditentukan dengan tingkat pelayanan. Dalam peraturan mentri Perhubungan Tahun 2015, tingkat pelayanan dibagi atas beberapa tingkat yaitu A,B,C,D,E dan F. penilaian diurutkan dari yang terbaik hingga yang terburuk dengan urutan A- F.

Tabel 2. 1 Kriteria Tingkat Pelayanan pada simpang bersinyal

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)
A	5
B	5-15
C	15-25
D	25-40
E	40-60
F	60

Sumber: Peraturan Mentri No. 96 Tahun 2015

Kapasitas Simpang APILL

Kapasitas pada setiap pendekat dilakukan secara individual dalam satu lengan simpang APILL terdapat beberapa pendekat yang terbagi menjadi dua atau lebih fase tergantung pada peraturan fase. Untuk setiap pendekat lebar efektif (LE) ditentukan dengan mempertimpangkan dimensi pendekat pada bagian masuk serta keluar simpang APILL. Selanjutnya nilai kapasitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$C = J \times \frac{WH}{S}$$

Keterangan

C = Kapasitas simpang APILL dalam simpang SMP/jam

J = Arus Jenuh dalam SMP/jam

S = Waktu siklus detik

W_H = Total waktu hijau dalam siklus dalam detik

Waktu Isyarat APILL

Waktu merah semua dan hijau hilang total
dalam simpang APILL pada akhir setiap fase. Waktu ini memberikan kesempatan bagi kendaraan terakhir (K_{BR}) melewati garis henti pada akhir isyarat kuning sampai dengan meninggalkan titik konflik. Jarak ini adalah panjang lintasan keberangkatan (L_{KBR}) ditambah panjang kendaraan berangkat (P_{KBR}) sebelum kedatangan kendaraan pertama yang datang dari arah lain (K_{DT}) pada fase berikutnya yang melewati garis henti pada awal isyarat hijau sampai dengan ke titik konflik yang sama dengan jarak lintasan L_{KDT}.

Waktu Siklus dan Waktu Hijau
Waktu isyarat terdiri dari waktu siklus (s) dan waktu hijau (WH). Tahap pertama adalah penentuan waktu siklus untuk sistem kendali waktu tetap yang dapat dilakukan menggunakan rumus Webster (1966). Rumus ini bertujuan meminimumkan tundaan total. Tahap selanjutnya adalah menetapkan waktu hijau (WH) pada masing-masing fase

Kinerja Lalu Lintas
Arus lalu lintas, q, dinyatakan dalam SMP/jam untuk satu atau lebih periode, misalnya pada periode jam puncak pagi, siang, atau sore. Arus lalu lintas dalam kend/jam dikonversi menjadi satuan SMP/jam menggunakan nilai EMP yang sesuai dengan masing masing pendekat; terlindung atau terlawan.

Derajat Kejenuhan
Derjat kejenuhan merupakan perbandingan antara dua arus lalu lintas dengan kapasitas jalan atau simpang parameter ini digunakan sebagai indicator utama dalam mengevaluasi tingkat kinerja simpang maupun ruas jalan, nilai derajat kejenuhan menunjukan kemampuan suatu simpang dalam melayani arus lalu lintas serta mengindikasikan ada atau tidaknya permasalahan dalam simpang tersebut.

Panjang Antrian
Jumlah rata – rata kendaraan (smp) pada isyarat lampu hijau (Nq) dihitung sebagai jumlah kendaraan terhenti (smp) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (Nq1) ditambah jumlah kendaraan (smp) yang datang dan terhenti dalam antrian selama fase merah (Nq2).

Rasio Kendaraan Henti
R_{KH} yaitu rasio kendaraan pada pendekat yang harus berhenti akibat isyarat merah sebelum melewati suatu Simpang APILL terhadap jumlah arus pada fase yang sama pada pendekat tersebut.

Tundaan
Tundaan pada suatu Simpang APILL terjadi karena dua hal, yaitu 1) tundaan lalu lintas (TLL), dan 2) tundaan geometri (TG). Tundaan lalu lintas adalah tundaan yang disebabkan oleh interaksi antara kendaraan dalam arus lalu lintas. Tundaan lalu lintas dibedakan dari seluruh simpang, dari jalan Mayor saja atau jalan Minor.

Kualitas Udara
Kualitas udara merupakan kondisi udara yang ditentukan oleh jenis dan konsentrasi zat pencemar di dalamnya. Peningkatan konsentrasi polutan hingga melebihi ambang batas dapat menurunkan kualitas udara dan memberikan dampak negatif terhadap kesehatan serta lingkungan (Asmaliati, 2007). Udara dibedakan menjadi udara emisi dan udara ambien. Pemantauan kualitas udara ambien dilakukan untuk mengendalikan pencemaran udara melalui pengukuran konsentrasi polutan, seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO_2), sulfur dioksida (SO_2), dan hidrokarbon (HC), terutama pada kawasan dengan aktivitas lalu lintas yang tinggi.

Dampak Emisi Gas Buangan Kendaraan Terhadap Kesehatan
Emisi gas buang kendaraan bermotor merupakan hasil pembakaran bahan bakar fosil di dalam mesin kendaraan. Proses pembakaran tersebut menghasilkan berbagai polutan, seperti karbon monoksida (CO), oksida nitrogen (NO_x), oksida sulfur (SO_x), hidrokarbon (HC), partikulat, dan logam berat yang berpotensi mencemari udara. Dibandingkan dengan sumber pencemar stasioner, seperti industri, emisi kendaraan lebih mudah terpapar langsung kepada masyarakat karena dilepaskan pada ketinggian permukaan jalan. Oleh karena itu, masyarakat yang beraktivitas di sekitar jalan dengan volume lalu lintas tinggi memiliki risiko paparan polutan yang lebih besar, sehingga emisi kendaraan bermotor menjadi salah satu penyebab utama penurunan kualitas udara di kawasan perkotaan (Arwini, 2020).

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)
Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) merupakan indeks tanpa satuan yang digunakan untuk menggambarkan kondisi mutu udara ambien berdasarkan dampaknya terhadap kesehatan manusia, lingkungan, dan makhluk hidup lainnya. ISPU bertujuan memberikan informasi mengenai kualitas udara kepada masyarakat serta menjadi dasar bagi pemerintah dalam upaya pengendalian pencemaran udara. Perhitungan ISPU mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020, yang menggantikan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 45 Tahun 1997. Dalam peraturan tersebut, penilaian kualitas udara dilakukan berdasarkan beberapa parameter pencemar, antara lain karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO_2), sulfur dioksida (SO_2), ozon (O_3), partikulat (PM_{10} dan $PM_{2.5}$), serta hidrokarbon (HC). Tujuan disusunnya ISPU agar memberikan kemudahan dari keseragaman

informasi mutu udara ambien kepada masyarakat di lokasi dan waktu tertentu.

ISPU	24 Jam partikulat (PM_{10}) µg/m³	24 Jam partikulat ($PM_{2.5}$) µg/m³	24 Jam sulfur dioksida (SO_2) µg/m3	24 Jam karbon monoksida (CO) µg/m³	24 Jam ozon (O_3) µg/m³	24 jam nitrogen dioksida (NO_2) µg/m³	24 Jam hidrokarbon (HC) µg/m³
0 - 50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51 - 100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101 - 200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201 - 300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Keterangan:
- Data pengukuran selama 24 jam secara terus-menerus.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat ($PM_{2.5}$) disampaikan tiap jam selama 24 jam.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM_{10}), sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO), ozon (O_3), nitrogen dioksida (NO_2) dan hidrokarbon (HC), diambil nilai ISPU parameter tertinggi dan paling sedikit disampaikan setiap jam 09.00 dan jam 15.00.

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan kehutanan No. 14 Tahun 2020

Tata cara perhitungan ISPU menggunakan persamaan, sebagai berikut :

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b}(x_x - x_b) + I_b$$

Keterangan :

I : ISPU terhitung

Ia : ISPU batas atas

Ib : ISPU batas bawah

Xa : Konsentrasi ambien batas atas (µg / m^3)

Xb : Konsentrasi ambien batas bawah (µg / m^3)

Xx : Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (µg / m^3)

Model Hubungan Kinerja Simpang dan Pencemar Udara

Regresi dan korelasi adalah metode statistika yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara dua atau lebih variabel. Hubungan tersebut bersifat fungsional dan disajikan dalam bentuk matematis. Istilah regresi pada mulanya bertujuan untuk membuat perkiraan nilai suatu variabel dengan menggunakan beberapa variabel lain yang berhubungan dengan variabel tersebut.

3. METODOLOGI STUDI

Lokasi Studi

Lokasi evaluasi kinerja simpang empat bersinyal yang berada pada Jl. Ahmad Yani. Jl. Sumedang Jl. Sultan Agung dan Jl. Karangkates. Kecamatan Kepanjen, Kabupaten Malang



Pengumpulan Data

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan, sedangkan data sekunder diperoleh dari instansi terkait. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan metode perhitungan berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023), sedangkan alternatif penanganan mengacu pada ketentuan PKJI 2023.

Data Primer

Data Primer diperoleh melalui pengamatan dan survei langsung di lokasi penelitian. Data – data yang meliputi sebagai berikut :

1. Data Volume Lalu Lintas
2. Data Geometrik Jalan
3. Data Survei emisi gas
4. Survei Panjang antrian

Data Sekunder

1. Data Jumlah Penduduk Kabupaten Malang.
2. Peta Lokasi Penelitian.

Langkah – Langkah Pengumpulan Data

1. Menyiapkan Formulir pengumpulan data survei
2. Menentukan titik observasi pada lokasi studi
3. Menentuka waktu pengumpulan data
4. Menyiapkan surveyor
5. Pengumpulan data

Metode Pelaksanaan Survei

Survei lapangan dilakukan untuk memperoleh data primer yang diperlakukan dalam evaluasi kinerja simpang dan analisis kualitas udara dilokasi studi, metode survei melibatkan beberapa kegiatan berikut :

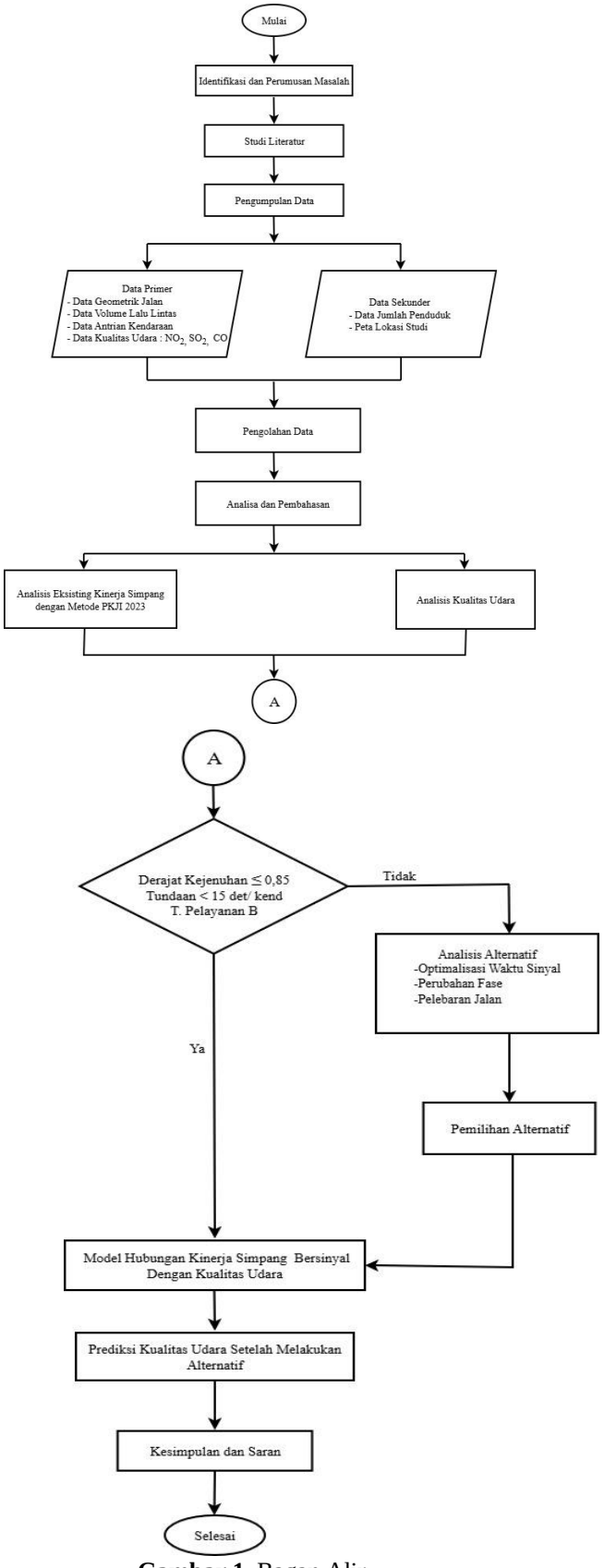
1. Survey geometric jalan
2. Survei volume lalu lintas
3. Survei emisi gas kendaraan
4. Survei Panjang antrian

Metode Analisa Kinerja Simpang

Solusi alternatif yang dapat digunakan jika hasil analisa kondisi eksisting tidak memenuhi syarat, yaitu:

1. Pengoptimalisasi APILL pada 4 fase
2. Perubahan waktu siklus dan fase pada APILL

Diagram Alir



Gambar 1. Bagan Alir

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data Sekunder

Jumlah penduduk Kabupaten Malang menurut BPS (Badan Pusat Statistik) Kota Malang Tahun 2024 adalah 2,734 jiwa. Data ini digunakan untuk mendapatkan ukuran kota yang dilihat pada PKJI 2023.

Tabel 1 Faktor Koreksi Ukuran Kota (FUK)

Ukuran Kota	Populasi Penduduk Juta/Jiwa	FUK
Sangat Kecil	<0,1	0,82
Kecil	0,1-0,5	0,88
Sedang	0,5-1,0	0,94
Besar	1,0-3,0	1,00
Sangat Besar	>3,0	1,05

Sumber : PKJI 2023, Hal. 134

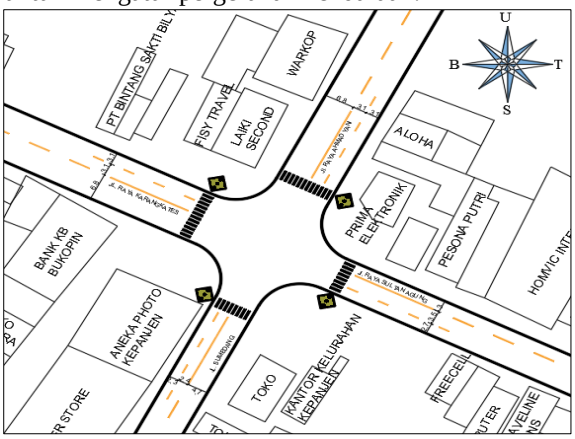
Data Primer

Hasil survei lapangan meliputi karakteristik geometrik pada setiap pendekat simpang sebagai dasar analisis kinerja simpang.

Tabel 2 Data geometrik Simpang Empat Kepanjen

Kode Pendekat	Tipe Lingkungan Jalan	Kelas Hambatan T (tinggi)/R (rendah)	Median : A (ada)/ T (tidak)	Kelandaian Pendekat : + (nanjak)/ - (turun) %	BKiJT Y(ada) atau T (tidak)	Jarak Kendaraan Parkir Pertama	Lebar Pendekat			
							Pada Lajur Awal	Pada Garis Henti	Pd Lajur Belok Kiri	Pada Lajur Keluar
							L (m)	LM (m)	LBKiJT (m)	LK (m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
U	KOM		TIDAK		YA	0	6,2	3,1	3,1	6,8
T	KOM		TIDAK		YA	0	6,2	3,5	2,7	5,7
S	KOM		TIDAK		YA	0	4,7	2,4	2,3	4,7
B	KOM		TIDAK		YA	0	6,2	3,1	3,1	6,8

Fase merupakan bagian dari satu siklus sinyal yang menunjukkan periode ketika arus kendaraan tertentu diizinkan bergerak secara bersamaan sesuai indikasi lampu lalu lintas. Simpang Empat Kepanjen merupakan simpang bersinyal yang menerapkan sistem pengaturan empat fase pada setiap pendekat untuk mengatur pergerakan kendaraan.



Gambar 2 Sketsa Simpang Empat Kepanjen

Kondisi Eksisting Simpang Empat Kepanjen

Survei volume lalu lintas dilakukan selama 3 (tiga) hari survei dari jam 06.00 – 17.00 WIB untuk mengetahui volume kendaraan di lokasi penelitian.

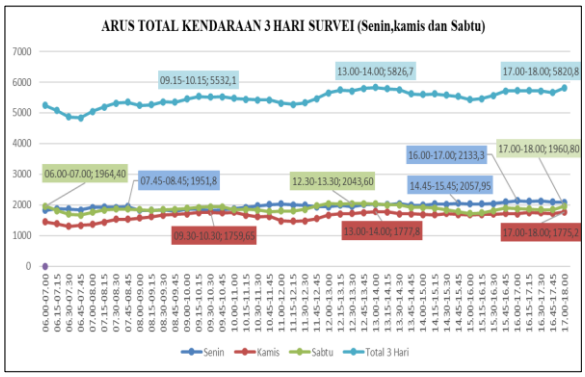
Data pada periode jam puncak digunakan sebagai dasar dalam analisis kinerja simpang.

Tabel 3 Data Arus Lalu Lintas Simpang Empat Kepanjen

No.	Hari/Tanggal	Jam	Volume (SMP/jam)
1	Senin 12 Januari 2026	16.00 - 17.00	2133,3
2	Kamis 15 Januari 2026	13.00 - 14.00	1777,8
3	Sabtu 17 Januari 2025	12,30 - 13.30	2043,60

Berdasarkan Tabel 4.3,volume lalu lintas di lokasi penelitian mengalami variasi pada setiap periode pengamatan. Perbedaan tersebut mencerminkan perubahan intensitas arus kendaraan yang dipengaruhi oleh aktivitas di sekitar simpang.

Gambar 3 Grafik Puncak Dalam 3 hari



Gambar diatas adalah hasil dari grafik kombinasi total arus lalu lintas total dalam 3 hari pengamatan yakni pada hari senin 12 Januari 2026, hari Kamis 15 januari 2026 dan sabtu 17 Januari 2026.

Evaluasi Kinerja Simpang berdasarkan PKJI 2023

Analisis kinerja simpang dilakukan menggunakan PKJI 2023 untuk mengetahui kondisi operasional simpang berdasarkan parameter derajat kejenuhan, panjang antrian, tundaan, tingkat pelayanan simpang.

Tabel 4 Tingkat Pelayanan Simpang Empat Kepanjen Hari senin, 12 Januari 2026

Hasil Pengelolaan Data Kondisi Eksisting Pada Hari Senin 12 Januari 2026									
Keterangan	Pendekat	Arus q	Kapasitas C	Dj	Panjang Antrian	WHi	Tundaan Rata-rata TL + TG = T	Tundaan Rata-rata seluruh simpang detik/kend	Tingkat Pelayanan
PAGI	U	538,850	335,777	1,605	430,449	30	526,915	528,098	F
	T	618,750	412,332	1,501	357,110	30	377,536		
	S	457,700	245,473	1,865	675,837	26	951,584		
	B	511,900	371,407	1,377	318,001	33	332,685		
SIANG	U	497,650	339,442	1,466	352,942	30	361,394	636,874	F
	T	703,250	404,437	1,739	483,303	30	530,288		
	S	503,750	229,683	2,193	898,066	26	1369,957		
	B	511,650	372,296	1,374	316,080	33	329,553		
SORE	U	626,100	331,937	1,886	596,191	30	674,050	676,967	F
	T	667,800	412,762	1,618	420,275	30	447,514		
	S	534,900	239,969	2,229	934,304	26	1349,351		
	B	473,450	379,307	1,248	248,226	33	244,814		

Tabel 5 Tingkat Pelayanan Simpang Empat Kepanjen Hari kamis, 15 Januari 2026

Hasil Pengelolaan Data Kondisi Eksisting Pada Hari Kamis 15 Januari 2026									
Keterangan	Pendekat	Arus q	Kapasitas C	Dj	Panjang Antrian	WHi	Tundaan Rata-rata L + TG =	Tundaan Rata-rata seluruh simpang detik/kend	Tingkat Pelayanan
PAGI	U	393,700	353,606	1,113	173,058	30	178,478	358,889	F
	T	501,100	405,102	1,237	223,488	30	231,831		
	S	407,750	247,349	1,648	532,396	26	744,651		
	B	511,250	378,902	1,349	307,732	33	314,689		
SIANG	U	391,450	353,606	1,107	165,223	30	165,850	361,303	F
	T	520,600	405,102	1,285	246,383	30	260,487		
	S	406,500	247,349	1,643	534,826	26	759,531		
	B	505,300	313,149	1,614	293,196	33	296,221		
SORE	U	391,100	357,650	1,094	159,953	30	157,882	360,745	F
	T	552,800	405,684	1,363	282,086	30	300,180		
	S	398,750	245,869	1,622	509,392	26	713,497		
	B	515,950	382,356	1,349	304,925	33	306,787		

Tabel 6 Tingkat Pelayanan Simpang Empat Kepanjen Hari Sabtu, 17 Januari 2026

Hasil Pengelolaan Data Kondisi Eksisting Pada Hari Rabu 17 Januari 2026									
Keterangan	Pendekat	Arus q	Kapasitas C	Dj	Panjang Antrian	WHi	Tundaan Rata-rata TL + TG = T	Tundaan Rata-rata seluruh simpang detik/kend	Tingkat Pelayanan
PAGI	U	505,150	346,157	1,459	355,577	30	416,966	499,200	F
	T	632,250	420,210	1,505	365,692	30	381,247		
	S	409,250	299,283	1,367	556,809	26	799,082		
	B	611,350	378,898	1,613	464,713	33	488,388		
SIANG	U	569,650	352,991	1,614	448,040	30	518,198	570,792	F
	T	657,600	403,226	1,631	427,197	30	476,181		
	S	476,400	241,978	1,969	753,605	26	1060,999		
	B	518,300	382,084	1,357	313,032	33	298,057		
SORE	U	478,200	353,652	1,352	298,372	30	334,556	417,554	F
	T	508,200	399,343	1,273	239,230	30	239,085		
	S	394,900	305,633	1,292	522,395	26	733,521		
	B	607,450	382,356	1,589	441,720	33	426,794		

Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi eksisting simpang belum mampu melayani arus lalu lintas secara optimal. Hal ini ditunjukkan oleh tingginya nilai Derajat Kejenuhan (D_J), Panjang Antrian (P_A), dan Tundaan (T) yang menyebabkan tingkat pelayanan simpang berada pada kondisi Sangat Buruk.

Perhitungan Kualitas Udara

Perhitungan kadar karbon monoksida (CO)

Berdasarkan hasil pengukuran langsung di lapangan, konsentrasi CO yang diperoleh dalam satuan ppm kemudian dikonversi ke dalam satuan µg/m³. Nilai hasil konversi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).

- Nilai Konversi CO

Konsentrasi (µg/m3)

$$\frac{\text{Konsentrasi (ppm)} \times 28{,}01\ \text{g/mol}}{24{,}45}$$

$$= \frac{200\ \text{ppm} \times 28{,}01\ \text{g/mol}}{24{,}45}$$

= 229,121 µg/m3

Berdasarkan nilai konsentrasi CO yang diperoleh dari hasil perhitungan di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dengan menggunakan persamaan yang mengacu pada ketentuan peraturan yang berlaku.

- Nilai ISPU CO

Dibawah ini adalah contoh perhitungan emisi CO pada hari Senin 12 Januari 2026.

Dik :

Ia = 50

Ib = 0

Xa = 80 µg/m3

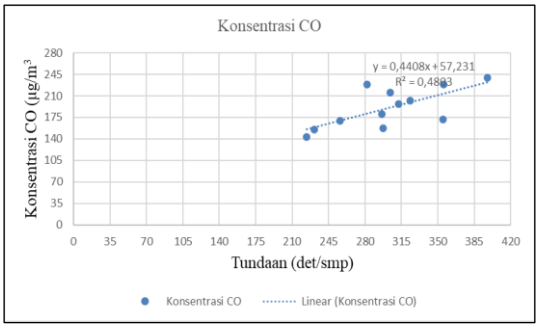
Xb = 0 µg/m3

Xx = 229,121 µg/m3

$$I = \frac{I\,a - I\,b}{Xa - Xb}(x_x - x_b) + I_b$$

$$I = \frac{50 - 0}{80 - 0}(229{,}121 - 0) + 0$$

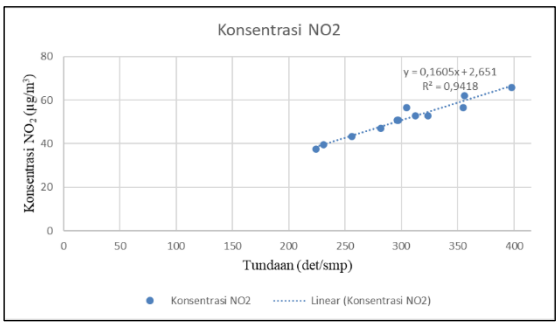
$$= 2{,}864$$



Gambar 5 Grafik model hubungan Tundaan (T) Dan CO pada hari senin 12, januari 2026

Berdasarkan gambar di atas dalam pengamatan di lapangan, diketahui nilai tundaan pada jam 17.00 – 18.00 WIB sebesar 397,626 det/smp dengan nilai CO sebesar 239,247 µg/m^3 dan dapat dilihat bahwa nilai konstanta (a) sebesar 57,213 dan nilai koefisien arah regresi (b) sebesar 0,440 dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,693. Sehingga model hubungan antar variabel tundaan dan konsentrasi CO dinyatakan kuat karena nilai koefisien korelasinya yang tinggi (r = 0,693), dan menunjukkan adanya keterkaitan antara meningkatnya tundaan lalu lintas dengan naiknya kadar polutan CO di udara.

Gambar 4 Grafik model hubungan Tundaan (T) Dan NO_2 pada hari senin 12, januari 2026



Berdasarkan Gambar di atas hasil pengamatan lapangan, diperoleh nilai tundaan pada pukul 17.00–18.00 WIB sebesar 397,626 det/SMP dengan nilai NO_2 sebesar 65,849 µg/m^3. Hasil analisis menunjukkan bahwa konstanta (a) bernilai 2,650 dan koefisien arah regresi (b) sebesar 0,160, dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,970. Hal ini mengindikasikan bahwa hubungan antara tundaan lalu lintas dan konsentrasi NO_2 tergolong sangat kuat, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi yang mendekati 1 ($r \approx 0{,}970$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan tundaan lalu lintas berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi polutan NO_2 di udara

Penerapan Alternatif Simpang

Berdasarkan hasil evaluasi, nilai Derajat Kejenuhan (DJ) dan Tundaan (T) melebihi batas yang ditetapkan dalam PKJI 2023 dan Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015. Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja simpang berada pada Tingkat Pelayanan (LOS) E dan F sehingga belum memenuhi persyaratan. Tingginya nilai DJ menyebabkan peningkatan tundaan kendaraan, yang selanjutnya berpotensi meningkatkan pencemaran udara.

Sebagai upaya perbaikan, direncanakan tiga alternatif, yaitu:

1. Optimasi waktu sinyal empat fase dengan menghilangkan arus belok kiri jalan terus.
2. Pengaturan waktu siyal 3 fase dengan menghilangkan arus belok kiri jalan terus.
3. Pengaturan waktu sinyal 2fase.

Dari ketiga pilihan alternatif perbaikan simpang diatas akan dipilihalternatif terbaik dengan mempertimbangkan kondisi eksisting .

Alternatif Yang Direkomendasikan

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap ketiga alternatif perbaikan, alternatif yang dipilih adalah pengaturan waktu sinyal 3 fase dengan menghilangkan arus Belok Kiri Jalan Terus (BKIJT). Alternatif ini dipilih karena memberikan kinerja terbaik dibandingkan alternatif lainnya serta memenuhi kriteria Derajat Kejenuhan (DJ) sesuai dengan ketentuan PKJI 2023. Hasil analisis menunjukkan bahwa tundaan rata-rata simpang sebesar 25,00 det/smp, sehingga belum memenuhi ketentuan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 untuk jalan arteri primer yang mensyaratkan tundaan 5–15 detik/kendaraan. Meskipun demikian, mengingat lokasi penelitian berada di kawasan perkotaan dengan aktivitas lalu lintas yang tinggi, tingkat pelayanan (LOS) C masih dapat dipertimbangkan sebagai kondisi yang layak dalam evaluasi kinerja simpang. Selain memenuhi kriteria Derajat Kejenuhan (DJ), alternatif terpilih juga mampu meningkatkan kinerja simpang secara signifikan dibandingkan kondisi eksisting. Peningkatan tersebut ditunjukkan oleh penurunan nilai derajat kejenuhan, tundaan, dan panjang antrean kendaraan. Oleh karena itu, alternatif ini direkomendasikan sebagai solusi yang paling efektif

dan realistis untuk meningkatkan kinerja Simpang Empat Kepanjen.

Tabel 7. Kinerja Simpang Menggunakan Alternatif Perbaikan II

Pendekat	Arus q	Kapasitas C	Dj	Panjang Antrian	WHi	Tundaan Rata-rata TL + TG = T	Tundaan Rata-rata seluruh simpang det/SMP	Tingkat Pelayanan
U	626,100	773,711	0,81	63,922	55	25,285	21,57	C
T	667,800	1103,670	0,61	44,369		14,818		
S	534,900	711,779	0,75	66,894		23,240		
B	450,000	556,093	0,81	46,230		24,454		

Prediksi Kualitas Udara Setelah Penerapan Alternatif

Tabel. 8 Kualitas Udara Setelah Dilakukan perubahan fase

Partikulat	Persamaan	X Tundaaan (det/SMP)	Nilai Konsentrasi µg/m3	ISPU
NO_2	0,1605x + 2,651	25,000	6,663	4,164
CO	0,4408 + 57,21		68,230	0,852

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diketahui bahwa dengan nilai tundaan 25,0 det/smp didaptkan nilai ISPU untuk NO2 sebesar 4,164 dan nilai ISPU CO sebesar 0,852. Hasil parameter tersebut masih dibawah standar baku mutu kualitas udara berdasarkan ISPU dengan angka 1-50 dan berkategori baik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan pada Simpang Empat Kepanjen Maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis perhitungan kondisi eksisting kinerja Simpang Empat Kepanjen pada jam puncak didapat hasil nilai DJ (Derajat Kejenuhan) untuk pendekat utara hari senin sebesar 1,89 dan nilai tundaan sebesar 676,967 det/smp sehingga tingkat pelayanan simpang dikategorikan F (Sangat Buruk).
2. Kualitas udara pada jam puncak didapat konsentrasi NO2 tertinggi yaitu 65,849 µg/m3, sedangkan SO2 tidak terdeteksi selama periode pengukuran dan CO didapt nilai 239,43 µg/m3 dengan kedua konsentrasi berdasarkan perhitungan ISPU kualitas udara masih berada pada kategori baik 1-50.
3. Berdasarkan hasil analisis model hubungan antra kualitas udara dan tundaan pada Simpang Empat Kepanjen diperoleh hubungan yang kuat, ditunjukan oleh nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,966 yang mendekati 1. Persamaan hubungan untuk konsentrasi NO_2 adalah y = 2,400 + 0,160x, sedangkan untuk konsentrasi CO adalah y = 50,37 + 0,460x. Hasil tersebut menunjukkan adanya keterkaitan antara tingginya nilai tundaan dengan peningkatan konsentrasi polutan udara di lingkungan Simpang Empat Kepanjen. Namun, kualitas udara tidak hanya dipengaruhi oleh tundaan kendaraan, tetapi juga oleh faktor lingkungan seperti arah angin, curah hujan.
4. Dilakukan alternatif optimalisasi waktu sinyal dan pelebaran jalan tanpa menggunkan isyarat belok kiri jalan terus dengan mengubah pengaturan simpang dari 4 fase menjadi 3 fase dengan menghilangkan arus belok kiri jalan terus. Hasil yang di peroleh tundaan simpang sebesar 25,00 det/kend dengan tingkat pelayanan C yaitu arteri sekunder dan memenuhi kriteria derajat kejenuhan sesuai PKJI 2023. Selain itu hubungan tundaan dan konsentrasi polutan udara setelah penerapan alternatif perbaikan diperoleh nilai koefisien korelasi yang bervariasi pada kategori sedang dan rendah.

Saran

Adapun saran yang diberikan dari hasil studi ini adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk pengelolaan manajemen lalu lintas guna memperoleh alternatif penangangan yang lebih efektif dalam meningkatkan kinerja simpang.
2. Penelitian selanjutnya, diharapkan melakukan pengumpulan data lalu lintas dan kualitas udara secara teliti dengan dukungan jumlah surveyor dan peralatan yang memadai, serta mempertimbangkan solusi alternatif lain yang lebih maksimal.
3. Pemerintah daerah diharapkan dapat mengevaluasi dan mengkaji tingkat pelayanan simpang terhadap pertumbuhan penduduk, serta dilakukannya penghijauan disekitar lokasi sehingga dapat meningkatkan kualitas udara. Dengan itu maka kinerja simpang dan kualitas udara sekitar dapat berjalan baik secara bersamaan.
4. Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Malang diharapkan merencanakan penghijauan disekitar jalan dengan menanami tumbuhan yang mampu mereduksi dan menyerap polutan pencemar udara atau menambah angkutan umum agar meminimalisir penurunan kualitas udara dan kemacetan yang terjadi.
5. Dinas Perhubungan Kabupaten Malang diharapkan mempertimbangkan penerapan alternatif perubahan fase dari 4 fase menjadi 3 fase yang direkomendasikan dalam

penelitian ini, karena selain mampu meningkatkan kinerja Simpang Empat Kepanjen melalui penurunan derajat kejenuhan dan tundaan, alternatif ini juga berpotensi memperbaiki kualitas udara di sekitar simpang.

DAFTAR PUSTAKA

Alhafiz, M. A., Sebayang, N., & Surbakti, S. (2023). Analisis Hubungan Kinerja Simpang terhadap Emisis Gas Buang Kendaraan Bermotor pada Jalan Simpang Bersinyal di Kota Banjarmasin. Program Studi Teknik Sipil, 359.

Arwini, N. P. D. (2020). Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kualitas Udara Di Provinsi Bali. Jurnal Ilmiah Vastuwidya, 2(2), 20-30

Asmaliati (2007). Evaluasi kinerja ruas jalan ditinjau dari derajat kejenuhan tingkat pelayanan dan tingkat pencemaran udara.

Bustomi, & Nahdalina. (2025). Analisis Biaya Emisi Gas Buang Kendaraan Pada Simpang Bersinyal Di Simpang Ciracas Menggunakan Aplikasi Verkehr in Städten - Simulationsmodell (Vissim). In Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi (Vol.24,Issue1).https://doi.org/10.35760/dk.2025.v24i1.12625

Dedi, Sulandari, E., & Said. (2016). Analisis Hubungan Antara Kemacetan dan Polusi di Jalan Sultan Abdurrahman Pontianak. Jurnal FT Untan,2(2),1https://www.neliti.com/id/publications/207416/analisis-hubungan-antarkemacetan-dan-polusi-udara-di-jalan-sultan-abdurahman-p

Kusnandar, M. (2020). Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020. In Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).https://jdih.menlhk.go.id/new2/uploads/files/P_14_2020_ISPU_menlhk_07302020074834.pdf

Morlok, E. (1991). Introduction to Transport Engineering and Planning (Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi). Erlangga.

Nuryadi, R., Marwanta, E., Satria, A., Dermawan, C., Syahbudin, H., Ikrar, T., Arifin, M. T., Kurniawan, D., Mochtar, M. Z., Hussin, Koesuma, S., Ardyanto, T. D., Kurniawan, M. A., & Anandhita, H. E. (2005). Diversifikasi Energi : Solusi Krisis. Pencemaran Udara, 5(17), 1–110.

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sekretariat Negara Republik Indonesia,1(078487A),1http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2023 Tentang Persyaratan Teknis Jalan Dan Perencanaan Teknis Jalan. (2023). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2023 Tentang Persyaratan Teknis Jalan Dan Perencanaan Teknis Jalan. Menteri Pekerjaan Umum Dan perumahan rakyat repoblik Indonesia.

Tauk, M. L. L. (2024). Evaluasi Kineraj Dua Simpang Berdekatan dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Udara (Studi kasus : Simpang Dinoya dan Simpang Sardo Kota Malang).

Umum, K. P. (2023). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia. In Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022. (2022). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan. Pemerintah Republik Indonesia, 134229, 77.