EVALUASI KINERJA SIMPANG TIGA TAK BERSINYAL MENGGUNAKAN METODE PKJI (2023) DAN PENGARUHNYA TERHADAP KUALITAS UDARA

Petra Ekayuni Adi[1], Nusa Sebayang[2], dan Annur Ma'aruf[3]

[1]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bend. Sigura-gura Nomor 2 Kota Malang
Email: ekaa41764@gmail.com
[2] Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bend. Sigura-gura Nomor 2 Kota Malang
Email: nusasebayang@lecturer.itn.ac.id
[3]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang*, Jl. Bend. Sigura-gura Nomor 2 Kota Malang*
Email: annur2017@lecture.itn.ac.id

ABSTRACT

The increasing traffic volume at the unsignalized three-leg intersection of Jl. Madyorenggo – Jl. KH. Wahid Hasyim – Jl. Raya Gatot Subroto, Turen District, Malang Regency, has the potential to reduce intersection performance and affect the surrounding air quality. This study aims to evaluate the performance of the unsignalized three-leg intersection and its effect on air quality. The intersection performance analysis was conducted based on the 2023 Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI 2023), while air quality was evaluated using the Air Pollution Standard Index (ISPU). The relationship between intersection delay and pollutant concentrations was analyzed using linear regression. The research data were obtained through traffic volume surveys, geometric condition surveys, and air quality measurements. The results showed that the existing condition had a degree of saturation of 1.13, a queue probability of 102.977%, an average delay of 27.422 s/pcu, and a Level of Service (LOS) D during the peak hour. The peak-hour air quality indicated NO_2 and CO concentrations of 30.102 µg/m³ and 293.274 µg/m³, respectively. After implementing the proposed improvement alternative, consisting of a three-phase signalized intersection with geometric widening at each approach, the average delay decreased to 23.990 s/pcu with a Level of Service (LOS) C. The ISPU values for NO_2 and CO after the improvement were 19.640 and 3.257, respectively, both classified as Good.
Keywords: Intersection Performance, Air Pollution Standard Index, PKJI 2023

ABSTRAK

Peningkatan volume lalu lintas pada Simpang Tiga Tak Bersinyal Jl. Madyorenggo- Jl. KH. Wahid Hasyim – Jl. Raya Gatot Subroto, Kecamatan Turen, Kabupaten Malang berpotensi menurunkan kinerja simpang serta mempengaruhi kualitas udara di sekitarnya. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal serta pengaruhnya terhadap kualitas udara. Analisis kinerja simpang dilakukan berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, sedangkan kualitas udara dianalisis berdasarkan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Hubungan antara tundaan simpang dan konsentrasi polutan dianalisis menggunakan regresi linier. Data penelitian diperoleh melalui survei volume lalu lintas, kondisi geometrik simpang, dan pengukuran kualitas udara. Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi eksisting memiliki derajat kejenuhan sebesar 1,13, peluang antrean sebesar 102,977%, tundaan sebesar 27,422 det/SMP, dan tingkat pelayanan D pada jam puncak. Kualitas udara pada jam puncak menunjukkan konsentrasi NO_2 sebesar 30,102 µg/m³ dan CO sebesar 293,274 µg/m³. Setelah dilakukan alternatif perbaikan berupa penerapan simpang bersinyal tiga fase dengan pelebaran geometrik pada setiap pendekat, tundaan menurun menjadi 23,990 det/SMP dengan tingkat pelayanan C. Nilai ISPU untuk NO_2 dan CO setelah perbaikan masing-masing sebesar 19,640 dan 3,257 dengan kategori Baik.
Kata kunci: Kinerja Simpang, Indeks Standar Pencemar Udara, PKJI 2023

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya seiring dengan pertumbuhan penduduk dan kebutuhan transportasi yang semakin tinggi. Kabupaten Malang merupakan salah satu daerah yang mengalami perkembangan aktivitas masyarakat sehingga berdampak pada meningkatnya volume lalu lintas. Ketika kebutuhan lalu lintas tidak diimbangi dengan infrastruktur yang memadai, kondisi tersebut dapat menimbulkan kemacetan, penurunan kinerja simpang, serta berdampak terhadap kualitas udara di sekitarnya.

Salah satu lokasi yang mengalami kondisi tersebut adalah Simpang Tiga Tak Bersinyal Jl. Madyorenggo – Jl. KH. Wahid Hasyim – Jl. Raya Gatot Subroto, Kecamatan Turen, Kabupten Malang. Simpang ini berdekatan dengan SPBU sehingga aktivitas keluar masuk kendaraan menimbulkan tambahan titik konflik lalu lintas. Selain itu, tingginya volume kendaraan, termasuk kendaraan berat seperti truk pengangkut tebu, menyebabkan tundaan dan antrean yang berdampak pada penurunan kinerja simpang. Kondisi tersebut juga meningkatkan emisi gas buang kendaraan yang menghasilkan polutan seperti nitrogen dioksida (NO_2) dan karbon monoksida (CO), sehingga berpotensi menurunkan kualitas udara di sekitar simpang.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 serta menganalisis kualitas udara berdasarkan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).

2. LANDASAN TEORI

Pengertian Persimpangan

Persimpangan merupakan bagian penting dari sistem jaringan jalan, lancar tidaknya pergerakan dalam suatu jaringan jalan sangat ditentukan oleh pengaturan pergerakan di 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 (Prasetyanto, 2019).

Simpang merupakan daerah pertemuan dua atau lebih ruas jalan, bergabung, berpotongan, atau bersilang. Persimpangan dapat disebut juga sebagai pertemuan antara dua jalan atau lebih, baik sebidang maupun tidak sebidang atau titik jaringan jalan dimana jalan-jalan bertemu dan lintasan jalan saling berpotongan (Morlok, 1991).

Jenis-Jenis Simpang

Menurut Marlok (1991), jenis simpang berdasarkan cara pengaturannya dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) jenis yaitu :

1. Simpang tak bersinyal, yaitu simpang yang tidak memakai sinyal lalu lintas. Pada simpang ini pemakai jalan harus memutuskan apakah mereka cukup aman untuk melewati simpang atau harus berhenti dahulu sebelum melewati simpang tersebut.
2. Simpang bersinyal, yaitu pemakai jalan dapat melewati simpang sesuai dengan pengoperasian sinyal lalu lintas. Jadi pemakai jalan hanya boleh lewat pada saat sinyal lalu lintas menunjukan warna hijau pada lengan simpangnya

Kinerja Simpang

Kinerja simpang dapat ditentukan dengan tingkat pelayanan. Dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 tingkat pelayanan dibagi atas beberapa tingkatan yaitu : A, B, C, D, E, dan F. Tingkat pelayanan A menandakan kondisi operasional yang paling baik dari suatu fasilitas, sedangkan tingkat pelayanan F menandakan kondisi operasi yang paling buruk.

Tabel 1. Kriteria Tingkat Pelayanan Pada Simpang

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

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.96 Tahun 2015

Simpang Tak Bersinyal

Data Masukan

Data masukan lalu lintas diperlukan untuk dua hal yaitu :

1. Data Arus Lalu Lintas Eksisting
   Data lalu lintas eksisting digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja lalu lintas, berupa arus lalu lintas per jam eksisting pada jam-jam tertentu yang dievaluasi, misalnya arus lalu lintas pada jam sibuk pagi atau arus lalu lintas pada jam sibuk sore.
2. Data Arus Lalu Lintas Rencana
   Arus lalu lintas jam perencanaan, Qjp, harus dihitung menggunakan nilai K yang berlaku dan LHRT yang representatif. LHRT didasarkan atas perhitungan lalu lintas menerus selama 1 (satu) tahun, atau jika di prediksi , maka harus mengacu kepada ketentuan perkiraan yang berlaku.

$$Q_{JP} = LHRT \times K$$

Keterangan :

LHRT : adalah lalu lintas harian rata-rata tahunan, dinyatakan dalam SMP/hari

K : adalah faktor jam perencanaan, ditetapkan dari kajian fluktuasi arus lalu lintas jam-jaman selama satu tahun. Nilai K yang dapat digunakan untuk jalan perkotaan berkisar antara 7% sampai 12%.

Kapasitas Simpang

Kapasitas simpang, C, dihitung untuk total rus yang masuk dari seluruh lengan simpang dan didefinisikan sebagai perkalian antara kapasitas dasar (CO) dengan factor-faktor koreksi yang memperhitungkan perbedaan kondisi lingkungan terhadap kondisi idealnya. Persamaan 2-2 adalah persamaan untuk menghitung kapasitas simpang.

$$C = C_O \times F_{LP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{Bki} \times F_{Bka} \times F_{Rmi}$$

Keterangan :

C : Kapasitas Simpang, dalam SMP/jam
C_O : Kapasitas dasar simpang, dalam SMP/jam
F_{LP} : faktor koreksi lebar rata-rata pendekat
F_M : faktor koreksi tipe median
F_{UK} : faktor koreksi ukuran kota
F_{HS} : faktor koreksi hambatan samping
F_{Bki} : faktor koreksi rasio arus belok kiri
F_{Bka} : faktor koreksi rasio arus belok kanan
F_{Rmi} : faktor koreksi rasio arus jalan minor

Kapasitas Dasar

Penentuan nilai kapasitas ditentukan berdasarkan jenis simpang, pada tabel dibawah ini menunjukan nilai kapasitas dasar simpang berdasarkan jenis simpang :

Tabel 2. Kapasitas Dasar Simpang-3 dan Simpang-4

Tipe Simpang	C_0, SMP/jam
322	2700
324	3200
344	3200
422	2900
424	3400

Sumber : PKJI 2023, hal, 131

Penetapan Tipe Simpang

Tipe simpang ditetapkan berdasarkan jumlah lengan simpang dan jumlah lajur pada jalan mayor dan jalan minor dengan kode tiga angka. Jumlah lengan adalah jumla lengan untuk lalu lintas masuk atau keluar atau keduanya.

Tabel 3. Kode Tipe Simpang

Kode Tipe Simpang	Jumlah Lengan Simpang	Jumlah Lajur Jalan Minor	Jumlah Lajur Jalan Mayor
322	3	2	2
324	3	2	4
422	4	2	2
424	4	2	4

Sumber : PKJI 2023, hal, 131

Faktor Penyesuaian Lebar Pendekat (F_{LP})

FLP dapat dihitung tergantung dari lebar rata-rata pendekat simpang, yaitu rata-rata lebar dari semua pendekat

- Untuk tipe simpang 422 : FLP = 0,70 + 0,0866 Lrp
- Untuk tipe simpang 424 / 444 :FLP=0,62 + 0,0740 Lrp
- Untuk tipe simpang 322 : FLP = 0,73 + 0,0760 Lrp
- Untuk tipe simpang 324 / 344: FLP= 0,62 + 0,0646 Lrp

Faktor Koreksi Median Jalan Mayor (F_M)

Klasifikasi median berikut faktor koreksi median pada jalan mayor diperoleh dalam tabel 4. Koreksi median hanya digunakan untuk jalan mayor dengan 4 (empat) lajur.

Tabel 4. Faktor Koreksi Median pada Jalan Mayor. F_M

Kondisi Simpang	Tipe Median	Faktor koreksi, F_M
Tidak ada median di jalan mayor	Tidak ada	1,00
Ada median di jalan mayor dengan lebar <3 m	Median sempit	1,05
Ada median di jalan mayor dengan lebar ≥3 m	Median lebar	1,20

Sumber : PKJI 2023, hal 133

Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

F_{UK} dibedakan berdasarkan besarnya populasi penduduk. Nilai F_{UK} dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 5. Faktor Koreksi Ukuran Kota (F_{UK})

Ukuran Kota	Populasi Penduduk, Juta Jiwa	F_{UK}
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

Faktor Penyesuaian Hambatan Samping(F_{HS})

Hambatan samping diklasifikasikan ke dalam tiga tingkat, yaitu tinggi, sedang, dan rendah.

Faktor Koreksi Arus Belok Kiri (F_{BKi})

F_{Bki} dapat dihitung menggunakan persamaan atau dari grafik pada gambar berikut. Agar diperhatikan ketentuan tentang keberlakuan R_{Bki} untuk analisis kapasitas.

F_{Bki}= 0,84 + 1,61 R_{Bki}

Keterangan : R_{Bki} adalah rasio belok kiri

Faktor Koreksi Arus Belok Kanan (F_{BKa})

F_{Bka} dapat dihitung menggunakan persamaan atau dari grafik pada gambar berikut :

- Untuk Simpang-4: FBKa= 1,0
- Untuk Simpang-3: FBKa= 1,09 – 0,922 R_{Bka}

Keterangan : R_{Bka} adalah rasio belok kanan.

Faktor Koreksi Rasio Arus dari Jalan Minor

F_{mi} dapat ditentukan menggunakan persamaan-persamaan yang ditabelkan dalam tabel 2.9 atau diperoleh secara grafis menggunakan grafik dalam gambar 2.8.F_{mi} tergantung dari R_{mi} dan tipe simpang.

Tabel 6. Faktor koreksi rasio arus jalan minor (F_{mi}) dalam bentuk persamaan

Tipe Simpang	F_{mi}	R_{mi}
422	$1{,}19 \times R_{mi}^2 \times 1{,}19 \times R_{mi} + 1{,}19$	0,1 – 0,9
424 dan 444	$16{,}6 \times R_{mi}^4 - 33{,}3 \times R_{mi}^3 + 25{,}3 \times R_{mi}^2 - 8{,}6 \times R_{mi} + 1{,}95$	0,1 = 0,3
	$1{,}11 \times R_{mi}^2 - 1{,}11 \times R_{mi} + 1{,}11$	0,3 – 0,9
322	$1{,}19 \times R_{mi}^2 - 1{,}19 \times R_{mi} + 1{,}19$	0,1 – 0,5
	$-0{,}595 \times R_{mi}^2 + 0{,}595 \times R_{mi} + 0{,}74$	0,5 – 0,9
324 dan 344	$16{,}6 \times R_{mi}^4 - 33{,}3 \times R_{mi}^3 + 25{,}3 \times R_{mi}^2 - 8{,}6 \times R_{mi} + 1{,}95$	0,1 – 0,3
	$1{,}11 \times R_{mi}^2 - 1{,}11 \times R_{mi} + 1{,}11$	0,3 – 0,5
	$-0{,}555 \times R_{mi}^2 + 0{,}555 \times R_{mi} + 0{,}69$	0,5 – 0,9

Sumber : PKJI 2023, hal 137

Kinerja Simpang Tak Bersinyal

Ekuivalensi Mobil Penumpang

Semua nilai arus lalu lintas yang masuk ke simpang dan masih dinyatakan dalam satuan kend/jam perlu

dikonversikan menjadi SMP/jam menggunakan nilai EMP pada tabel

Tabel 7. Nilai EMP untuk KS dan SMP

Jenis Kendaraan	EMP	
	$q_{TOTAL} \geq 1000$ kend/jam	$q_{TOT} < 1000$ kend/jam
MP	1,0	1,0
KS	1,8	1,3
SM	0,2	0,5

Sumber : PKJI 2023, hal 138

Derajat Kejenuhan (D_J)

D_J Simpang dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$D_J = \frac{q}{C}$$

Keterangan :

D_J : Derajat kejenuhan

C : Kapasitas segmen jalan, dalam SMP/jam

q : Volume lalu lintas, dalam SMP/jam, yang dalam analisis kapasitas terdiri dari dua jenis, yaitu $q_{eksisting}$ hasil perhitungan lalu lintas dan q_{JP} hasil prediksi atau hasil perancangan.

Tundaan (T)

T dihitung menggunakan persamaan berikut :

$T = T_{LL} + T_G$

Tundaan (T) terjadi karena 2 (dua) hal, yaitu tundaan lalu lintas (T_{LL}) dan tundaan geometri (T_G)

Tundaan lalu lintas (T_{LL}) adalah tundaan yang disebabkan oleh interaksi antara kendaraan dalam arus lalu lintas. T_{LL} adalah tundaan lalu lintas rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang dari semua arah, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini berdasarkan nilai D_J :

- Untuk $D_J \leq 0{,}60$:

  $TLL = 2 + 8{,}2078\ D_J - (1 - D_J)^2$

- Untuk $D_J > 0{,}60$:

  $$TLL = \frac{1{,}0504}{(0{,}2742 - 0{,}2042\ D_J)} - (1 - D_J)^2$$

Tundaan lalu lintas untuk jalan mayor (T_{LLma}) adalah tundaan lalu lintas rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang dari jalan mayor, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

- Untuk $D_J \leq 0{,}60$:

  $T_{Llma} = 1{,}800 + 5{,}8234\ D_J - (1 - D_J)^{1{,}8}$

- Untuk $D_J > 0{,}60$:

  $$T_{Llma} = \frac{1{,}0503}{(0{,}3460 - 0{,}2460\ D_J)} - (1 - D_J)^{1{,}8}$$

Tundaan lalu lintas untuk jalan minor T_{LLmi} adalah tundaan lalu lintas rata-rata untuk semua kendaraan bermotor yang masuk simpang dari jalan minor, ditentukan dari T_{LL} dan T_{Llma} , dihitung menggunajan persamaan berikut :

$$T_{LLmi} = \frac{q_{KB} \times T_{LL} - q_{ma} \times T_{Llma}}{q_{mi}}$$

Tundaan geometri(T_G)adalah tundaan rata-rata seluruh simpang. T_G adalah tundaan yang disebabkan oleh perlambatan dan percepatan yang terganggu saat kendaraan – kendaraan membelok pada suatu simpang dan/atau terhenti. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung T_G :

- Untuk $D_J < 1$:

  $T_G = (1 - D_J) \times \{6\ R_B + 3\ (1 - R_B)\} + 4\ D_J$ (detik/SMP)

- Untuk $D_J \geq 1$:

  T_G = 4 detik/SMP .....(2.14)

  Keterangan : R_B adalah rasio arus belok terhadap arus kendaraan bermotor total simpang.

Peluang Antrian (P_A)

P_a dinyatakan dalam rentang kemungkinan (%) dan dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

- Batas atas peluang :

  $P_a = 47{,}71\ D_J - 24{,}68\ D_J^2 + 56{,}47\ D_J^3$

- Batas bawah peluang

  $P_a = 9{,}02\ D_J - 20{,}66\ D_J^2 + 10{,}49\ D_J^3$

Simpang Bersinyal

Data Masukan

Data masukan lalu lintas diperlukan untuk dua hal yaitu :

1. Data Arus Lalu Lintas Eksisting
   Data lalu lintas eksisting digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja lalu lintas, berupa arus lalu lintas per jam eksisting pada jam-jam tertentu yang dievaluasi, misalnya arus lalu lintas pada jam sibuk pagi atau arus lalu lintas pada jam sibuk sore.
2. Data Arus Lalu Lintas Rencana
   Arus lalu lintas jam perencanaan, Qjp, harus dihitung menggunakan nilai K yang berlaku dan LHRT yang representatif. LHRT didasarkan atas perhitungan lalu lintas menerus selama 1 (satu) tahun, atau jika di prediksi , maka harus mengacu kepada ketentuan perkiraan yang berlaku.

Kapasitas Simpang APILL

Analisis kapasitas untuk setiap pendekat dilakukan secara terpisah. Satu lengan simpang APILL dapat terdiri 1 (satu) pendekat atau lebih menjadi 2 (dua) atau lebih sub- pendekat, termasuk pengaturan fasenya. Hal ini terjadi jika gerakan belok kanan dan/atau belok kiri mendapat isyarat hijau pada fase yang berlainan dengan lalu lintas yang lurus, atau jika dipisahkan secara fisik oleh pulau -pulau jalan. Untuk masing-masing pendekat atau sub-pendekat, lebar

efektif (L_E) ditetapkan dengan mempertimbangkan lebar pendekat pada bagian masuk dan pada bagian keluar simpang APILL.C dihitung menggunakan Persamaan berikut :

$$C = J \times \frac{W_H}{s}$$

Keterangan :

C = Kapasitas Simpang APILL. Dalam SMP/jam

J = Arus Jenuh, dalam SMP/jam

W_H = Total waktu hijau dalam satu siklus, dalam detik

S = waktu siklus, dalam detik

Waktu Isyarat APILL

Waktu merah semua dan waktu hijau hilang total

W_{MS} diperlukan untuk pengosongan area konflik dalam simpang APILL pada akhir setiap fase. Waktu ini memberikan kesempatan bagi kendaraan terakhir (KBR) 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 (KDT) 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 (W_H) pada masing-masing fase (i)

Kinerja Lalu Lintas Simpang APILL

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 dan terlawan. Nilai EMP untuk tiap jenis kendaraan pada tiap pendekat terlindung dan terlawan ditunjukkan dalam tabel

Tabel 8. Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Jenis Kendaraan	EMP untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
MP	1,00	1,00
KS	1,30	1,30
SM	0,15	0,40

Sumber : PKJI 2023, hal 114

Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan di definisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas. Derajat kejenuhan digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan menunjukan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah atau tidak.

Panjang Antrian

Jumlah rata-rata antrian kendaraan (SMP) pada awal isyarat lampu hijau (Nq) dihitung sebagai jumlah kendaraan terhenti (SMP) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (Nq_1) ditambah jumlah kendaraan (SMP) yang datang dan terhenti dalam antrian selama fase merah (Nq_2).

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 2 (dua) hal, yaitu Tundaan lalu lintas (T_{LL}) dan Tundaan Geometri (T_G).

Kualitas Udara

Baku mutu udara adalah batasan kualitas udara yang menyangkut komposisi jenis dan besarnya kandungan dari komposisi udara setelah adanya komponen komponen asing di udara dalam jumlah yang sudah melampaui batas udara normal sehingga terjadi penurunan kualitas udara yang mempengaruhi keseimbangan dan kelestarian hidup.(Risti Frintika, 2007).

Secara umum, udara dibagi mejadi dua jenis, yaitu udara emisi dan udara ambien. Udara emisi adalah udara yang keluar dari sumber pencemar seperti knalpot kendaraan dan cerobong gas buangan pabrik. Sementara itu, udara ambien merupakan udara bebas yang berada di permukaan bumi dan sehari-hari dihirup oleh makhluk hidup (PP No. 22 Tahun 2021). Pengukuran kualitas udara ambien juga dilakukan terhadap zat-zat yang dapat menjadi polutan seperti SO_2, NO_2, dan CO.

Pencemaran Udara dan Dampaknya

Pencemaran udara adalah kerusakan lingkungan yang terjadi akibat masuknya zat atau gas berbahaya ke dalam atmosfer, yang menurunkan kualitas udara. Penyebab utamanya adalah aktivitas manusia seperti transportasi, industri, pembangkit listrik, serta kebakaran hutan. Pencemaran udara dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan alam, antara lain hujan asam, penipisan lapisan ozon dan pemanasan global.

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Pada tahun 2020, Kemetrian Lingkungan hidup dan Kehutanan (KLHK) telah mengeluarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara (KLHK, 2020) yang merupakan pengganti dari Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 tahun

1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara.

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) merupakan angka tanpa satuan, digunakan untuk menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu dan didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Khusus untuk daerah rawan terdampak kebakaran hutan dan lahan, informasi ini dapat digunakan sebagai *early warning system* atau sistem peringatan dini bagi masyarakat sekitar. Tujuan disusunnya ISPU agar memberikan kemudahan dari keseragaman informasi mutu udara ambien kepada masyarakat di lokasi dan waktu tertentu serta sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan upaya-upaya pengendalian pencemaran udara baik bagi pemerintah pusat maupun pemerintah daerah.

Tabel 9. Konversi angka konsentrasi parameter (ISPU)

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 (PM2.5) disampaikan tiap jam selama 24 jam.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM10), sulfur dioksida (SO2), karbon monoksida (CO), ozon (O3), nitrogen dioksida (NO2) 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

Hubungan kinerja simpang dan tingkat emisi di tandai dengan menggunakan metode analisis regresi, agar dapat melihat hubungan antara kinerja dan emisi dan dapat dihitung menggunakan rumus Persamaan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yaitu :

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

Keterangan :

I : ISPU terhitung
I_a : ISPU batas atas
I_b : ISPU batas bawah
X_a : Konsentrasi ambien batas atas (µg/m3)
X_b : Konsentrasi ambien batas bawah (µg/m3)
X_x : Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (µg/m3)

Model Hubungan Kinerja Simpang dengan Pencemaran 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 variable tersebut.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Studi

Penelitian ini terletak pada Jl. Madyorenggo – Jl. KH. Wahid Hasyim – Jl. Raya Gatot Subroto, Kecamatan Turen, Kabupaten Malang, Jawa Timur.



Gambar 1. Lokasi Studi Simpang Tiga Tak Bersinyal Jl/ Madyorenggo – Jl. KH. Wahid Hasyim – Jl. Raya Gatot Subroto

Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian evaluasi kinerja simpang dan pengaruhnya terhadap kualitas udara, data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari data primer yang diperoleh melalui survei serta data sekunder yang bersumber dari data yang telah ada atau bersumber dari instansi terkait.

Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh melalui pengamatan langsung di lokasi penelitian. Data yang di perlukan adalah berupa :

1. Data Geometrik Jalan
2. Data Volume Lalu Lintas
3. Data Kualitas Udara

Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang telah ada atau hasil dari instansi, hasil studi orang lain yang sudah ada. Data sekunder yang dipakai adalah:

1. Jumlah Penduduk Kecamatan Turen diperoleh dari Badan Pusat Statistik 2024 (Kecamatan Turen dalam Angka 2025)
2. Peta lokasi studi, diambil menggunakan aplikasi *Google Earth*
3. Analisis data dilakukan berdasarkan hasil pengukuran kualitas udara di lapangan dan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 14 Tahun 2020. Data ini dianalisis melalui aplikasi excel.

Langkah-langkah Pengumpulan Data

1. Persiapan Kebutuhan Data Survei
2. Menentukan Waktu Survei
3. Metode Survei
4. Menyiapkan jumlah surveyor

Metode Analisis Kinerja Simpang

Setelah proses pengumpulan data di lokasi selesai, langkah berikutnya adalah menganalisis data. Analisis data dilakukan dengan menggunakan acuan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023).

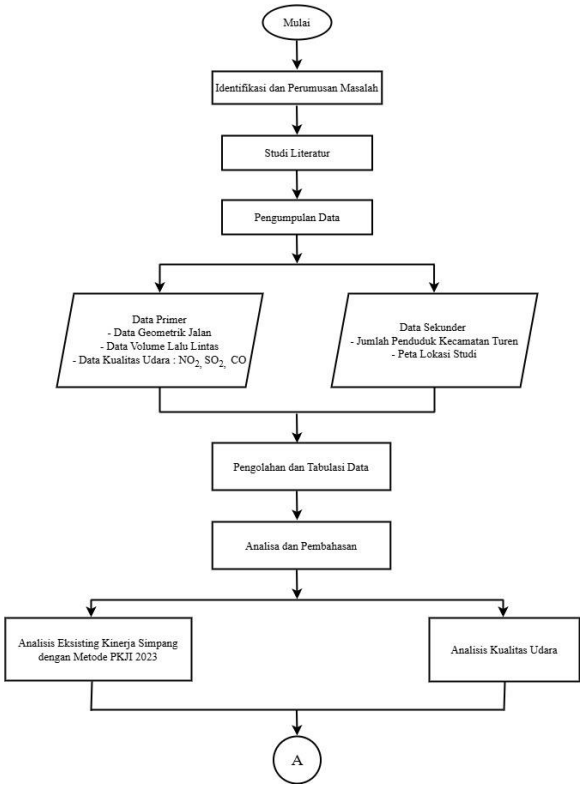
1. Analisis Volume Lalu Lintas
2. Analisis Derajat Kejenuhan
3. Analisis Tundaan
4. Analisis Kualitas Udara

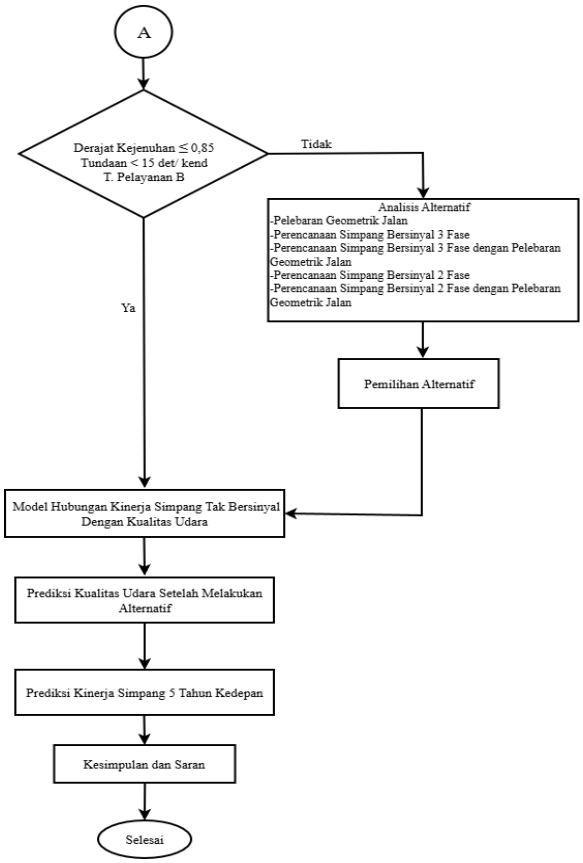
Metode Solusi Alternatif

a. Kinerja Simpang Tak Bersinyal
   a) Pelebaran geometrik jalan
   b) Perencaaan simpang bersinyal 3 fase
   c) Perencanaan simpang bersinyal 3 fase dengan pelebaran geometrik jalan
   d) Perencanaan simpang bersinyal 2 fase
   e) Perencanaan simpang bersinyal 2 fase dengan pelebaran geometrik

b. Kualitas Udara
   a) Pengoptimalan Angkutan Umum
   b) Melakukan penghijauan pada sekitar simpang

Diagram Alir

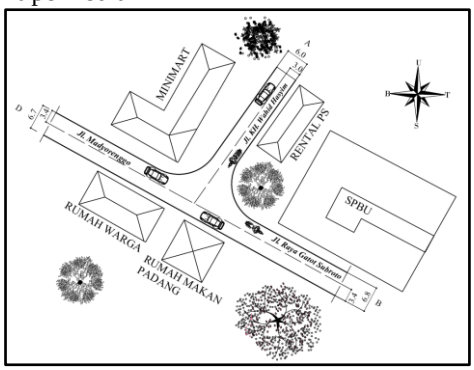




Gambar 2. Bagan Alir

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada lokasi studi simpang Turen merupakan simpang tiga lengan yang tidak bersinyal. Berdasarkan analisis terhadap kondisi geometrik dan lingkungan jalan yang merujuk pada tabel 10 untuk tipe lingkungan jalan, tabel 11 untuk kriteria kelas hambatan samping,dan untuk tipe median.



Gambar 3. Layout Geometrik Studi

Berdasarkan gambar diatas penampang geometrik simpang dengan penjelasan yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Kondisi Geometrik Simpang Turen

Simpang	Nama Jalan	Pendekat		Jumlah Lajur	L	L_M	L_K
		Kode	Arah				
Simpang Turen	Jl. KH. Wahid Hasyim	A (Jalan Minor)	Utara	2/2	6	3	3
	Jl. Madyorenggo	B (Jalan Mayor)	Barat	2/2	6,7	3,4	3,3
	Jl. Raya Gatot Subroto	D (Jalan Mayor)	Timur	2/2	6,8	3,4	3,4

Tabel 11. Kondisi Lingkungan Simpang Turen

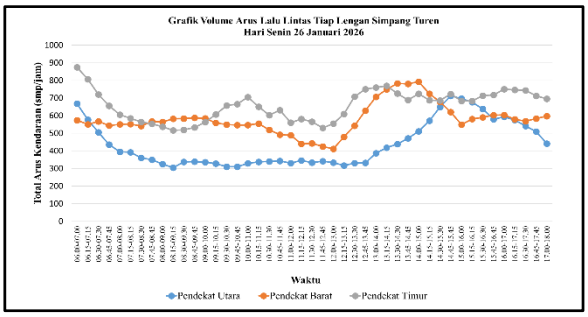
Nama Jalan	Pendekat		Tipe Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Median
	Kode	Arah			
Jl. K.H Wahid Hasyim	A	Utara	Komersial	Sedang	Tidak
Jl. Raya Gatot Subroto	B	Timur	Komersial	Sedang	Tidak
Jl. Madyorenggo	D	Barat	Komersial	Sedang	Tidak

Analisis Volume Lalu Lintas

Analisis volume lalu lintas pada simpang, merupakan perhitungan dan tabulasi data yang dihasilkan dari survei lalu lintas di simpang Turen yang dilaksanakan pada hari Senin, 26 Januari 2026, Kamis, 29 Januari 2026, dan Sabtu, 31 Januari 2026. Volume lalu lintas kondisi eksisting tertinggi terjadi pada Senin, 26 Januari 2026, dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 12. Total arus lalu lintas Simpang Tiga Turen, Senin, 26 Januari 2026

Interval Waktu Pengamatan	Pendekat Utara Jl. KH. Wahid Hasyim	Pendekat Barat Jl. Madyorenggo	Pendekat Timur Jl. Raya Gatot Subroto	Total Kendaraan
	smp/jam	smp/jam	smp/jam	smp/jam
06.00-07.00	**667,8**	**573,6**	**874,4**	**2115,8**
06.15-07.15	576	550	806,2	1932,2
06.30-07.30	505,2	567,4	720,4	1793
06.45-07.45	435,2	544	655,6	1634,8
07.00-08.00	395,4	550,6	605,2	1551,2
07.15-08.15	392,4	552	584,2	1528,6
07.30-08.30	360,4	541	564,4	1465,8
07.45-08.45	349,4	567	553	1469,4
08.00-09.00	325	564,4	537,4	1426,8
08.15-09.15	305	581,8	516,2	1403
08.30-09.30	337,6	583,2	519,4	1440,2
08.45-09.45	339,2	587,8	533,4	1460,4
09.00-10.00	336,6	584,6	563	1484,2
09.15-10.15	328,4	558,8	607,2	1494,4
09.30-10.30	309,4	549	657,4	1515,8
09.45-10.45	310,2	546,2	666,2	1522,6
10.00-11.00	328,8	546,6	704,8	1580,2
10.15-11.15	337,4	554,2	650,4	1542
10.30-11.30	339,8	519,4	603,2	1462,4
10.45-11.45	343,2	492	631	1466,2
11.00-12.00	330	489,8	560,4	1380,2
11.15-12.15	345,6	440,2	580,4	1366,2
11.30-12.30	333,6	442,2	565,2	1341
11.45-12.45	341	425,4	529,8	1296,2
12.00-13.00	333,2	411,6	554,8	1299,6
12.15-13.15	316,2	479	608,8	1404
12.30-13.30	330	542,2	708	1580,2
12.45-13.45	331,2	628,2	750,2	1709,6
13.00-14.00	387	706	760,4	1853,4
13.15-14.15	418,2	749,6	769	1936,8
13.30-14.30	439	782,6	725,2	1946,8
13.45-14.45	471,2	780,8	688,2	1940,2
14.00-15.00	510,8	792,8	723,8	2027,4
14.15-15.15	571	724,2	687,6	1982,8
14.30-15.30	649,6	677,6	685,4	2012,6
14.45-15.45	**712,6**	**620**	**722,8**	**2055,4**
15.00-16.00	696,4	549,8	683,4	1929,6
15.15-16.15	676,6	580,6	683	1940,2
15.30-16.30	637,6	590,2	713,2	1941
15.45-16.45	579,6	602,2	717,8	1899,6
16.00-17.00	**593,4**	**604,6**	**749,8**	**1947,8**
16.15-17.15	575,8	579,6	746,6	1902
16.30-17.30	540,6	569	743	1852,6
16.45-17.45	509,4	583,4	711,6	1804,4
17.00-18.00	441,8	597,8	695	1734,6



Gambar 4. Volume lalu lintas tiap lengan Simpang Tiga Turen Senin, 26 Januari 2026

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa jam puncak tertinggi terjadi pada pagi hari.

Evaluasi Kinerja Simpang Tak Bersinyal Berdasarkan PKJI 2023

Analisis kinerja simpang dilakukan berdasarkan PKJI 2023 dengan menggunakan Formulir S-I dan Formulir S-II. Formulir S-I digunakan untuk memasukan data volume lalu lintas hasil survei pada jam puncak setiap periode pengamatan, yaitu pagi, siang, dan sore. Selanjutnya, Formulir S-II digunakan untuk menghitung kapasitas simpang serta menentukan kinerja simpang berdasarkan parameter derajat kejenuhan (D_J), tundaan (T), dan peluang antrean (P_A).

Tabel 13. Tundaan pada kondisi eksisting Simpang Turen pada jam puncak Senin, 26 Januari 2026

Hari/Tanggal	Jam Puncak	Kondisi Eksisting					Tingkat Pelayanan
		Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (Dj)	Tundaan Rata-rata (detik/SMP)	Peluang Antrian (%)	
Senin, 26 Januari 2026	Pagi, 06.00 – 07.00	2152	1911,954	1,13	27,422	102,977	D
	Siang, 14.45 – 15.45	2357	2176,851	1,08	23,609	94,406	C
	Sore, 16.00 – 17.00	2088	2150,542	0,97	17,893	74,757	C

Tabel 14. Tundaan pada kondisi eksisting Simpang Turen pada jam puncak Kamis, 29 Januari 2026

Hari/Tanggal	Jam Puncak	Kondisi Eksisting					Tingkat Pelayanan
		Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (Dj)	Tundaan Rata-rata (detik/SMP)	Peluang Antrian (%)	
Kamis, 29 Januari 2026	Pagi, 06.00 – 07.00	1838	2103,809	0,87	15,199	68,488	C
	Siang, 14.45 – 15.45	2015	2065,219	0,98	18,063	75,521	C
	Sore,15.30 – 16.30	2053	2259,377	0,91	16,021	65,328	C

Tabel 15. Tundaan pada kondisi eksisting Simpang Turen pada jam puncak Sabtu, 31 Januari 2026

Hari/Tanggal	Jam Puncak	Kondisi Eksisting					Tingkat Pelayanan
		Arus Lalu Lintas (q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan (Dj)	Tundaan Rata-rata (detik/SMP)	Peluang Antrian (%)	
Sabtu, 31 Januari 2026	Pagi, 06.00 – 07.00	2039	2134,168	0,96	17,369	72,317	C
	Siang, 14.45 – 15.45	2062	2276,474	0,91	15,946	64,907	C
	Sore,15.00 – 16.00	1969	2137,805	0,92	16,351	67,142	C

Berdasarkan hasil analisis tundaan selama tiga hari pengamatan, diketahui bahwa beberapa kondisi belum memenuhi tingkat pelayanan yang di persyaratkan. Pada hari Senin, 26 Januari 2026, tundaan pada saat jam puncak pagi mencapai 27,422 det/SMP dengan tingkat pelayanan D.Sementara itu, pada hari Kamis, 29 Januari 2026, diperoleh tundaan sebesar 18,063 det/SMP pada jam puncak siang dengan tingkat pelayanan C, dan pada hari Sabtu, 31 Januari 2026, dengan nilai tundaan sebesar 17,369 det/SMP termasuk dalam tingkat pelayanan C.

Perhitungan Data Kualitas Udara

Perhitungan Parameter Nitrogen Dioksida (NO_2)

Berdasarkan hasil pengukuran langsung dilapangan, konsentrasi NO_2 diperoleh dalam satuan ppm, sehingga perlu dikonversi ke dalam satuan µg/m3 yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan nilai ISPU.

- Nilai Konversi NO_2

  N = 14 g/mol O2 = 16 × 2 = 32 g/mol

  NO_2 = 46 g/mol

  Volume Molar (25° C)= 24,45 L/mol

  Konsentrasi (µg/m3)

  = Konsentrasi (ppm) × $\frac{Massa\ molar}{Volume\ Molar}$

  = 16 ppm × $\frac{46}{24,45}$

= 30,102 µg/m3

Berdasarkan konsentrasi NO_2 hasil konversi tersebut,selanjutnya dilakukan perhitungan nilai ISPU menggunakan persamaan Indeks Standar Pencemar Udara sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

- Nilai ISPU NO_2

Berikut adalah contoh perhitungan emisi NO_2 pada hari Senin, 26 Januari 2026, menggunakan rumus persamaan ISPU.

Ia = 50
Ib = 0
Xa = 80 µg/m3
Xb = 0 µg/m3
Xx = 30,102 µg/m3

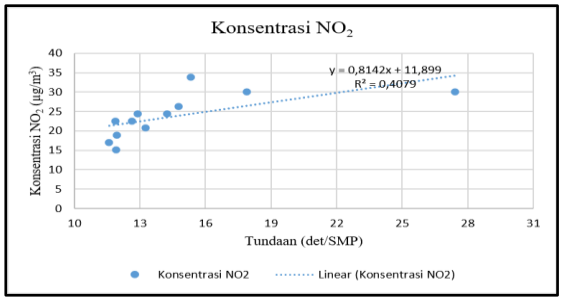
$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b}(X_x - X_b) + I_b$$

$$I = \frac{50 - 0}{80 - 0}(30{,}102 - 0) + 0$$

= 18,814

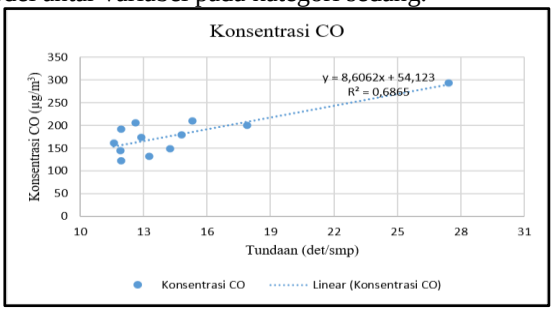
Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa Konsentrasi NO_2 yang terdeteksi di lokasi pengamatan memiliki konsentrasi yang masih dibawah ambang batas standar mutu menggunakan hasil ISPU sebesar 18,814 dan CO sebesar 3,666 dengan kategori **BAIK** (1-50) sesuai dengan Permen LHK No.14 Tahun 2020.

Model Hubungan Kinerja Lalu Lintas dengan Kualitas Udara



Gambar 5. Grafik Model Hubungan Tundaan dan Nilai NO_2

Berdasarkan gambar 5, dalam pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa nilai tundaan pada jam 06.00 – 07.00 WIB sebesar 27,422 det/SMP dengan nilai konsentrasi NO_2 sebesar 30,102 µg/m3. Hasil analisis regresi menunjukkan nilai konstanta (a) sebesar 11,898 dan nilai koefisien arah regresi (b) sebesar 0,814 dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,638, sehingga diketahui model antar variabel pada kategori sedang.



Gambar 6. Grafik Model Hubungan Tundaan dan Nilai CO

Berdasarkan gambar 6, dalam pengamatan di lapangan menunjukan bahwa nilai tundaan pada jam 06.00 – 07.00 WIB sebesar 27,422 det/SMP dengan nilai konsentrasi CO sebesar 293,274 µg/m3. Hasil analisis regresi menunjukkan nilai konstanta (a) sebesar 54,122 dan nilai koefisien arah regresi (b) sebesar 8,606 dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,828, sehingga diketahui model antar variabel pada kategori sangat kuat.

Penerapan Alternatif Simpang

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil kinerja simpang tiga Turen yang terletak di kecamatan Turen, Kabupaten Malang, masih belum memenuhi syarat yang telah di tentukan pada Peraturan Menteri No.96 tahun 2015. Kondisi tersebut menunjukan perlunya dilakukan perencanaan perbaikan kinerja simpang guna meningkatkan tingkat pelayanan lalu lintas pada Simpang Turen. Oleh karena itu, dibuatlah beberapa solusi sebagai alternatif yang diharapkan dapat mengatasi permasalahan tersebut, sebagai berikut :

Ada 4 pilihan solusi alternatif perbaikan simpang yang direncanakan, yaitu sebagai berikut :

1. Pelebaran geometrik jalan
2. Perencaaan simpang bersinyal 3 fase
3. Perencanaan simpang bersinyal 3 fase dengan pelebaran geometrik jalan
4. Perencanaan simpang bersinyal 2 fase
5. Perencanaan simpang bersinyal 2 fase dengan pelebaran geometrik

Dari keempat pilihan alternatif perbaikan simpang, akan dipilih alternatif terbaik dengan mempertimbangkan kondisi eksisting dilapangan.

Alternatif Yang Direkomendasikan

Berdasarkan hasil analisis terhadap empat alternatif perbaikan Simpang Tiga Turen menggunakan PKJI 2023, alternatif III berupa perencanaan simpang bersinyal 3 fase dengan pelebaran geometrik direkomendasikan sebagai alternatif terpilih untuk meningkatkan kinerja simpang. Pelebaran geometrik dilakukan dengan menambah lebar pendekat utara menjadi 8 m, serta pendekat timur dan pendekat barat masing-masing menjadi 8,8 m. Alternatif ini menghasilkan derajat kejenuhan sebesar 0,71 dan tundaan simpang sebesar 23,990 det/SMP yang telah memenuhi kriteria PKJI 2023. Selain itu, tingkat pelayanan simpang meningkat menjadi kategori C. Dibandingkan dengan alternatif lainnya, alternatif ini memberikan kinerja simpang yang lebih baik dan lebih stabil pada kondisi jam puncak, sehingga dinilai paling layak untuk diterapkan pada Simpang Tiga Turen.

Prediksi Pengaruh Kualitas Udara Setelah dilakukan Alternatif

Tabel 16. Kualitas udara Setelah Dipilih Alternatif Perbaikan Pada Simpang Tiga Turen

Partikulat	Persamaan	x (tundaan) det/SMP	Nilai Konsentrasi µg/m³	Nilai ISPU
NO_2	0,814x + 11,898	23,990	31,425	19,640
CO	8,606x + 54,122		260,579	3,257

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, pada nilai tundaan sebesar 23,990 det/SMP diperoleh nilai ISPU untuk NO_2 sebesar 19,640 dan nilai ISPU CO sebesar 3,257. Hasil parameter tersebut masih di bawah standar baku mutu kualitas udara berdasarkan ISPU dalam angka rentang 1-50 dengan kategori baik.

Prediksi Pertumbuhan Kendaran 5 Tahun

Tabel 17. Hasil Analisis Pertumbuhan Lalu Lintas 5 Tahun ke Depan (2031) pada Alternatif

Prediksi Kinerja Simpang Untuk 5 Tahun Yang Akan Datang Menggunakan Alternatif							
Pendekat	Arus	Kapasitas	Dj	Panjang Antrian	Waktu Hijau	Tundaan Simpang Rata-Rata	Tingkat Pelayanan
U	711	789,45	0,90	46,589	15	22,383	C
T	425	468,11	0,91	30,231	8		
B	688	764,52	0,90	42,092	15		

Berdasarkan hasil proyeksi pertumbuhan kendaraan selama lima tahun mendatang, alteratif menghasilkan nilai tundaan simpang rata-rata sebesar 22,383 detik/SMP yang termasuk dalam tingkat pelayanan C.

Prediksi Pengaruh Kualitas Udara Tahun 2031

Tabel 18. Kualitas udara setelah Prediksi Pertumbuhan Kendaraan 5 Tahun

Partikulat	Persamaan	x (tundaan) det/SMP	Nilai Konsentrasi µg/m³	Nilai ISPU
NO_2	0,814x + 11,898	22,383	30,117	18,823
CO	8,606x + 54,122		246,750	3,084

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, pada nilai tundaan sebesar 22,383 det/SMP diperoleh nilai ISPU untuk NO_2 sebesar 18,823 dan nilai ISPU CO sebesar 3,084. Hasil parameter tersebut masih di bawah standar baku mutu kualitas udara berdasarkan ISPU dalam angka rentang 1-50 dengan kategori baik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan mengenai evaluasi kierja simpang tiga tak bersinyal Turen menggunakan metode PKJI (2023) dan pengaruhnya terhadap kualitas udara, maka diambil Kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023), kinerja eksisting Simpang Tiga Turen pada jam puncak tertinggi, yaitu hari Senin, 26 Januari 2026, memiliki derajat kejenuhan (Dj) sebesar 1,13, peluang antrian (P_A) sebesar 102,977%, dan tundaan sebesar 27,422 det/SMP dengan tingkat pelayanan D.
2. Berdasarkan hasil pengukuran, konsentrasi tertinggi NO_2 sebesar 30,102 µg/m³ dan CO sebesar 293,274 µg/m³, sedangkan SO_2 tidak terdeteksi selama periode pengukuran. Hasil perhitungan ISPU menunjukkan nilai 18,814 untuk NO_2 dan 3,666 untuk CO yang termasuk dalam kategori baik yaitu nilai kualitas udara NO_2 dan CO masih di bawah baku mutu standar berdasarkan ISPU.
3. Berdasarkan hasil analisis model hubungan antara kualitas udara dan tundaan pada simpang, terdapat hubungan positif antara tundaan simpang dan konsentrasi polutan udara dengan tingkat korelasi sedang hingga sangat kuat. Hubungan tersebut ditunjukkan oleh persamaan regresi linier NO_2, yaitu y = 11,898+0,814x dengan nilai korelasi (r) = 0,638, serta CO, yaitu y = 54,122+8,606x dengan nilai korelasi (r) = 0,828. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar tundaan pada simpang, maka konsentrasi polutan udara cenderung meningkat. Namun, kualitas udara juga dipengaruhi oleh faktor lain, seperti arah angin dan curah hujan.
4. Dari keempat alternatif yang telah direncanakan, alternatif yang paling efektif untuk diterapkan pada Simpang Tiga Turen adalah alternatif III, yaitu perencanaan simpang bersinyal tiga fase dengan pelebaran geometrik jalan untuk setiap pendekat. Hasil analisis menunjukkan alternatif ini memenuhi syarat derajat kejenuhan < 0,85 yaitu sebesar 0,71 dan meningkatkan tingkat pelayanan simpang dari D menjadi C, dengan nilai tundaan sebesar 23,990 detik/SMP. Selain itu, pada nilai tundaan sebesar 23,990 det/SMP diperoleh nilai ISPU untuk NO_2 sebesar 19,640 dan nilai ISPU CO sebesar 3,257. Hasil parameter tersebut masih di bawah standar baku mutu kualitas udara berdasarkan ISPU dalam angka rentang 1-50 dengan kategori baik.
5. Prediksi kinerja simpang untuk 5 tahun kedepan dengan penerapan alternatif III menjukkan arus lalu lintas pada pendekat utara sebesar 711 SMP/jam dengan tundaan rata-rata sebesar 22,383 detik/SMP, sehingga tingkat pelayanan yang dihasilkan adalah C. Selain itu, pada nilai tundaan sebesar 22,383 det/SMP diperoleh nilai ISPU untuk NO_2 sebesar 18,823 dan nilai ISPU CO sebesar 3,084. Hasil parameter tersebut masih di bawah standar baku mutu kualitas udara berdasarkan ISPU dalam angka rentang 1-50 dengan kategori baik.

Saran

Adapun saran yang diberikan dari hasil studi sebagai berikut :

1. Dapat dipertimbangkan pelebaran pada pendekat tertentu yang memiliki volume lalu lintas tinggi serta pemasangan median untuk membatasi gerakan belok kanan. Upaya ini bertujuan untuk mengurangi konflik lalu lintas, memperlancar arus, dan meningkatkan kinerja

simpang agar sesuai standar tingkat pelayanan yang di tetapkan.

2. Penempatan pos pantau atau petugas pengatur lalu lintas disekitar simpang, terutama pada jam puncak atau saat terjadi kemacetan, untuk membantu mengatur arus kendaraan agar lebih tertib dan lancar.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan secara bertahap untuk mengevaluasi kinerja simpang serta mengidentifikasi alternatif penanganan yang lebih efektif sesuai perubahan kondisi lalu lintas di masa mendatang. Selain itu, diharapkan instansi terkait, khususnya Dinas Lingkungan Hidup, meningkatkan penghijauan disekitar Simpang melalui penyediaan ruang terbuka hijau (RTH) dan penanaman vegetasi penyerap polutan untuk megurangi pencemaran udara dan meningkatkan kualitas lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Aldy Umbu Lili, L. (2023). Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Terhadap Tingkat Emisi Di Ruas Jalan Nasional Kota Malang (Studi Kasus : Simpang Klenteng, Jl. Laksamana Martadinata - Jl. Gatot Subrorto - Jl. Pasar Besar-Zaenal Zakse).

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.

Anonim. (2015). PM No 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas. Jakarta, 1–45.

Anonim. (2020). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No.14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)., 1–16.

Anonim. (2023). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat . (Issue 021).

Anonim.(2025).Kecamatan Turen Dalam Angka. http://kel-turen.malangkab.go.id/pd/index

Fauzan, M. K., Sebayang, N., & Surbakti, S. (2024). Analisa Hubungan Antara Kemacetan dan Pencemaran Udara Kota Malang. Student Journal GELAGAR, 2(1), 1–10.

Frintika, R. (2007). Evaluasi Kinerja Ruas Jalan Ditinjau dar Derajat Kejenuhan, Tingkat Pelayanan, dan Tingkat Pencemaran Udara.

Khisty, C. J., & Lall, B. K. (2005). Dasar-dasar Rekayasa Transportasi. Jakarta: Erlangga.

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

Pemerintah Republik Indonesia. (2022). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan. In Pemerintah Republik Indonesia (Vol. 49, Issue 134229).

PP Nomor 22 Tahun 2021. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sekretariat Negara Republik Indonesia, 1(078487A),1–483. http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/

Prasetyanto, D. (2019). Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi,Jakarta. In Erlangga. Jakarta (Vol. 01).

Ruktiningsih, R. (2014). Kajian Hubungan Volume Lalu Lintas Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Di Ruas Jalan Majapahit Semarang (Studi Kasus : Kadar CO dan PM10): Vol. L.

Sari, S. I., Yamali, F. R., & Raudhati, E. (2021). Evaluasi Kinerja Simpang Kaitannya dengan Emisi Simpang Paal 10 Jambi. Jurnal Talenta Sipil, 4(2), 149. https://doi.org/10.33087/talentasipil.v4i2.65

Tauk, M. L. L. (2024). Evaluasi Kinerja Dua Simpang Berdekatan dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Udara (Studi Kasus : Simpang Dinoyo dan Simpang Sardo Kota Malang.