STUDI EVALUASI KINERJA LALU LINTAS PADA SIMPANG TIGA TAK BERSINYAL DAN DAMPAKNYA TERHADAP KUALITAS UDARA DI KABUPATEN SIDOARJO

Maria Adriana Tadas[1], Dr.Ir. Nusa Sebayang, MT[2], dan Annur Ma'ruf, ST,.MT[3]

[1]*Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Sigura - Gura No.2 kota Malang*
Email: Dyanatadas@gmail.com
[2] *Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Sigura - Gura No.2 kota Malang*
Email: nusasebayang@lecturer.itn.ac.id
[3]*Jurusan Teknik Sipil,* ITN Malang, Jl. Sigura - Gura No.2 kota Malang
Email: annur2017@lecture.itn.ac.id

ABSTRACT

The increasing number of vehicles in Sidoarjo Regency has led to traffic congestion at several intersections, one of which is the unsignalized three-leg intersection at Suko Road – Sumput Road – Cemeng Kalang Road. This kndition has resulted in increased vehicle delays, traffic congestion, and vehicle exhaust emissions that may affect air quality. This study aims to evaluate the performance of the intersection, analyze air quality based on carbon monoxide (CO) and nitrogen dioxide (NO2) concentrations, and determine the relationship between traffic performance and air quality. The study was conducted using traffic surveys, air quality measurements, and intersection performance analysis based on the Indonesian Highway Capacity Guidelines (PKJI) 2023. The relationship between traffic performance and air quality was analyzed using regression and correlation methods. The results showed that the existing intersection had a degree of saturation (DS) of 1,27 with a Level of Service (LOS) F, indicating that the intersection performance did not meet the PKJI 2023 standards. Air quality measurements indicated that the concentrations of NO2 and CO were still within the Good category based on the Air Pollution Standard Index (ISPU). The analysis also revealed a relationship between increasing vehicle delays and pollutant concentrations. The most effective improvement alternative was the implementation of a three – phase signalized intersection combined with geometric road widening, which was able to improve intersection performance and reduce the potential for vehicle emissions.

Keywords: Intersection performance, unsignalized intersection, air quality, NO2, CO PKJI 2023.

ABSTRAK

Peningkatan jumlah kendaraan di Kabupaten Sidoarjo menyebabkan kepadatan lalu lintas pada beberapa persimpangan, salah satunya Simpang Tiga Tak Bersinyal Jl. Raya Suko – Jl. Raya Sumput – Jl. Raya Cemeng Kalang. Kondisi tersebut mengakibatkan meningkatnya tundaan kendaraan, kemacetan, dan emisi gas buang yang berpotensi mempengaruhi kualitas udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang, menganalisis kondisi kualitas udara berdasarkan parameter karbon monoksida (CO) dan nitrogen dioksida (NO2), serta mengetahui hubungan antara kinerja lalu lintas dan kualitas udara. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode survei lalu lintas, pengukuran kuallitas udara dan analisis kinerja simpang berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023.Hubungan antara kinerja lalu lintas dan kualitas udara dianalisis menggunakan regresi dan korelasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi eksisting simpang memiliki derajat kenejuhan (DJ) sebesar 1,27 dengan tingkat pelayanan F, sehingga kinerja simpang belum memenuhi standar PKJI 2023. Hasil pengukuran menunjukan bahwa konsentrasi NO2 dan CO masih berada pada kategori **Baik** berdasarkan ISPU. Analisis juga menunjukan adanya hubungan antara peningkatan tundaan kendaraan dengan konsentrasi polutan. Alternatif penanganan yang paling efektif adalah penerapan simpang bersinyal tiga fase dengan pelebaran geometrik jalan sehingga mampu meningkatkan kinerja simpang dan mengurangi potensi emisi kendaraan.

Kata kunci: Kinerja simpang, kualitas udara, PKJI 2023

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Sidoarjo merupakan salah satu wilayah yang berkembang pesat sebagai kawasan strategis dengan tingginya aktivitas sosial, ekonomi, dan industri. Perkembangan tersebut mendorog peningkatan mobilitas manusia, barang dan jasa yang sebagian besar bergantung pada transportasi darat. Akibatnya, jumlah kendaraan yang beroperasi terus meningkat sehingga menyebabkan kepadatan lalu lintas pada sejumlah ruas jalan dan persimpangan.

Kondisi ini berpotensi menimbulkan kemacetan serta penurunan kualitas udara akibat emisi kendaraan bermotor. Salah satu lokasi yang memiliki permasalahan lalu lintas cukup kompleks di Kabupaten Sidoarjo adalah simpang tiga tak bersinyal pada Jalan Raya Suko – Jalan Raya Sumput – Jalan Raya Cemeng Kalang. Tingginya intensitas pergerakan kendaraan berdampak pada menurunnya kinerja simpang yang ditandai dengan meningkatnya tundaan, antrean kendaraan, dan hambatan arus lalu lintas. Kondisi tersebut mengakibatkan peningkatan konsentrasi gas karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO2) dari emisi kendaraan bermotor yang berpotensi menurunkan kualitas udara disekitar simpang. Selain itu diperlukan analisis hubungan antara kinerja lalu lintas dengan kualitas udara untuk mengidentifikasi pengaruh kemacetan terhadap peningkatan emisi serta menentukan alternatif penanganan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja simpang tiga tak bersinyal pada Jalan Raya Suko – Jalan Raya Sumput – Jalan Raya Cemeng Kalang, menganalisis kondisi kualitas udara berdasarkan konsentrasi CO dan NO2, menganalisis hubungan antara kemacetan lalu lintas dan kualitas udara, serta menentukan strategi penanganan yang sesuai untuk meningkatkan kinerja simpang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam mengevaluasi kinerja simpang, memberikan rekomendasi penanganan lalu lintas serta mendukung upaya pengendalian kualitas udara di kawasan simpang pada Jalan Raya Suko – Jalan Raya Sumput – Jalan Raya Cemeng Kalang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan penghubung, bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah.

Pengertian Persimpangan

Persimpangan merupakan titik kritis dalam jaringan jalan karena di lokasi inilah terjadi perpotongan dan interaksi antar arus kendaraan yang berpotensi menimbulkan konflik. Persimpangan juga merupakan tempat pertemuan antara dua jarak atau lebih, dimana pertemuan tersebut akan menimbulkan titik konflik akibat arus lalu lintas pada persimpangan.

Jenis Persimpangan

1. Persimpangan sebidang

   Persimpangan sebidang adalah titik pertemuan dimana dua atau lebih ruas jalan berpotongan pada tingkat yang sama. Berdasarkan fasilitas pengatur lalu lintasnya, persimpangan sebidang terbagi menjadi dua yaitu:

   a. Simpang Bersinyal

      Persimpangan yang dilengkapi dengan lampu lalu lintas untuk mengatur pergerakan kendaraan secara bergantian.

   b. Simpang tak bersinyal

      Persimpangan tanpa lalu lintas, dimana pengemudi harus menentukan sendiri kapan aman untuk melintas atau berbelok.

2. Persimpangan Tidak Sebidang

Persimpangan tidak sebidang adalah pertemuan dua atau lebih ruas jalan yang berada pada ketinggian berbeda, sehingga arus lalu lintas tidak saling berpotongan langsung.

Kinerja Simpang Tak Bersinyal

Evaluasi kinerja simpang tak bersinyal dilakukan dengan menganalisis kapasitas pendekat, arus kendaraan masuk, tingkat hambatan samping serta geometrik pendekat. Tujuan dari evaluasi ini adalah untuk menentukan tingkat pelayanan simpang, tingkat keterlambatan kendaraan, serta identifikasi kebutuhan rekayasa lalu lintas apabila terjadi penurunan performa.

Kapasitas Simpang Tak Bersinyal

Kapasitas simpang (C) dihitung untuk total arus yang masuk dari seluruh lengan simpang dan didefenisikan sebagai perkalian antara kapasitas dasar (Co) dengan faktor – faktor koreksi yang menghitung perbedaan kondisi lingkungan terhadap kondisi idealnya. Kapasitas simpang dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah:

$$C = Co \times F_{LP} \times F_M \times F_{UK} \times F_{HS} \times F_{BKi} \times F_{BKa} \times F_{Rmi}$$

Dimana :

C : Kapasitas simpang dalam smp/jam.
Co : 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 dari jalan minor

Kinerja Lalu Lintas Simpang Tak Bersinyal

Derajat Kejenuhan

D_J simpang dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

Dimana :
D_J : derajat kejenuhan.
C : kapasitas simpang, dalam SMP/jam.

Q : semua arus lalu lintas kedaraan bermotor dari semua lengan simpang dengan satuan SMP/jam.

Tundaan (T)

Tundaan (T) terjadi karena 2 (dua) hal, yaitu tundaan lalu lintas (T_{LL}) dan tundaan geometri (T_G). T_{LL} adalah tundaan yang disebabkan oleh interaksi antara kendaraan dalam arus lalu lintas. T_G adalah tundaan yang disebabkan oleh perlambatan dan percepatan yang terganggu saat kendaraan-kendaraan membelok pada suatu simpang dan/atau terhenti. T dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$T = T_{LL} + T_G$…….....……(2.2)

Peluang Antrian

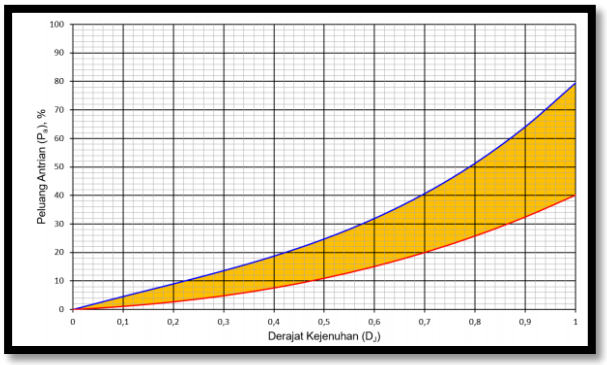
PA dinyatakan dalam rentang kemungkinan (%) dan dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut :

- Batas atas peluang :

  $Pa = 47{,}71\ Dj - 24{,}68\ Dj^2 + 56{,}47\ Dj^3$ ..(2.3)

- Batas bawah peluang :

  $Pa = 9{,}02\ Dj + 20{,}66\ Dj^2 + 10{,}49\ Dj^3$.....(2.4)



Gambar 1. Peluang antrian (Pa %) pada simpang sebagai fungsi dari Dj

Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan adalah ukuran kecepatan laju kendaraan yang dikaitkan dengan kondisi kapasitas jalan (tundaan). Tingkat pelayanan pada umumnya digolongkan pada tingkat tertentu dari A sampai F. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 96 Tahun 2015 penetapan tingkat pelayanan bertujuan untuk menetapkan tingkat pelayanan pada suatu ruas jalan dan/atau persimpangan.

Tabel 1. Kriteria Tingkat Pelayanan pada Simpang Tak 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

Kualitas Udara

Udara merupakan hal penting dalam kehidupan makhluk hidup. Didalamnya terdapat kandungan yang dapat memberikan kelangsungan hidup bagi makhluk hidup yaitu oksigen. Udara dibedakan menjadi emisi dan udara ambien. Emisi udara merujuk pada udara yang dilepaskan oleh sumber-sumber emisi, seperti knalpot kendaraan bermotor dan cerobong gas buang dari industri. Sementara itu, udara ambien adalah udara yang berasal dari sumber lain. Peraturan pemerintah PP No.41 Tahun 1999 menyebutkan bahwa pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukannya zat energi dari komponen lain kedalam udara oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Pencemaran udara dalam bentuk gas yang ditambah ke atmosfer oleh aktivitas manusia yaitu karbon monoksida (CO) dan nitrogen dioksida (NO_2).

Kinerja lalu lintas pada simpang bersinyal

Waktu siklus

Berdasarkan PKJI 2023 Hal.112 penentuan waktu siklus (s) untuk sistem kendali tetap dapat dihitung menggunakan rumus Webster. Rumus ini bertujuan untuk meminimumkan tundaan total.

$S = (1{,}5 \times HHH + 5) / (1 - \sum Rq/J\ kritis)$.....(2.30)

Dimana :

S = Waktu siklus sebelum penyesuaian sinyal (detik)

W_{HH} = Jumlah waktu hilang per siklus (detik)

Rq/j = Rasio arus, yaitu arus dibagi arus jenuh (q/s)

Rq/j kritis = Nilai Rq/s yang tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada fase yang sama

Rq/j kritis = rasio arus simpang (sama dengan jumlah semua Rq/J kritis dari semua fase) pada siklus tersebut.

Waktu hijau

Berdasarkan PKJI 2023 Hal.113 pada umumnya pembagian waktu hijau pada kinerja satu simpang

bersinyal lebih peka terhadap kesalahan dari pada panjangnya waktu siklus.

$$\text{wHi} = (s\text{Whh})x\frac{Rq/j\ kritis}{\sum i(Rq/jkritis)i} \text{.....(2.31)}$$

Dimana :

Whi = Tampilan waktu hijau pada fase i (detik)
I = Indeks untuk fase i

Kapasitas

Kapasitas (c) dari suatu pendekat simpang bersinyal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C = J \text{ x } \frac{WH}{s} \text{ .....(2.33}$$

Dimana :

C = Kapasitas pendekat (smp/jam)
J = Arus jenuh (smp/jam)
WH = Waktu hijau (detik)
S = Waktu siklus (detik)

Derajat kejenuhan

Dalam PKJI 2023 Derajat Kejenuhan (Dj) diperoleh dari:

$$Dj = \frac{q}{c} \text{ .....(2.34)}$$

Dimana :

Dj = Derajan 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 qJP hasil prediksi atau hasil perancangan

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).

Tundaan

Waktu tempuh tambahan yang digunakan pengemudi untuk melalui suatu persimpangan apabila dibandingkan dengan lintasan tanpa persimpangan yang disebabkan oleh interaksi antara gerakan arus lalu lintas yang berlawanan di persimpangan. Tundaan lalu lintas rata – rata pada suatu pendekat I dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_{LL} = \text{s x } \frac{0{,}5\ x\ (1-RH)^2}{(1-RHxDj)} + \frac{Nq1\ x\ 3600}{c} \text{ (2.41)}$$

Dampak Pencemaran Udara

Pencemaran udara yang paling penting dari kegiatan transportasi berasal dari kendaraan bermotor di darat, yang menghasilkan gas berbahaya seperti CO (karbon monoksida), NO_2 (nitrogen oksida), hidrokarbon, SO_2 (sulfur oksida). Menurut PP No.22 Tahun 2021 jenis emisi dan pencemaran udara dapat berupa gas atau partikel seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO), sulfur dioksida (SO_2).

1. Carbon Monoksida (CO)
   Konsentrasi CO di udara per waktu dalam satu hari dipengaruhi oleh kesibukan atau aktivitas kendaraan bermotor. Semakin ramai kendaraan bermotor, maka semakin tinggi tingkat polusi CO di udara.

2. Nitrogen Dioksida (NO2)
   Kadar NO_2 di udara yang melebihi Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) dapat menimbulkan dampak negatif, antara lain: terjadinya hujan asam, kesulitan bernapas bagi individu dengan asma, batuk pada anak-anak dan orang tua, penurunan visibilitas, serta berbagai gangguan pernapasan yang dapat berujung pada kematian.

Indeks Standar Pencemaran Udara

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) adalah angka tanpa satuan yang digunakan untuk menggambarkan kualitas udara ambien di lokasi tertentu, dengan mempertimbangkan dampaknya terhadap kesehatan manusia, nilai estetika, serta kehidupan mahkluk hidup lainnya. Tujuan dari penyusunan ISPU adalah untuk memberikan kemudahan dalam penyampaian informasi mengenai kualitas udara ambien secara seragam kepada masyarakat pada waktu dan lokasi tertentu, serta sebagai bahan pertimbangan dalam upaya pengendalian pencemaran udara, baik untuk pemerintah pusat maupun daerah.

Tabel 2. Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU

ISPU	24 Jam partikulat (PM10)	24 Jam partikulat (PM25)	24 Jam sulfur dioksida (SO_2)	24 Jam karbon monoksida (CO)	24 Jam ozon (O_3)	24 Jam nitrogen dioksida (NO_2)	24 Jam hidrokarbon (HC)
1 – 50	50	15,4	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

Perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b}(X_x - X_b) + I_b \text{ .....(2.43)}$$

Dimana:

I : ISPU terhitung
Ia : ISPU batas atas
Ib : ISPU batas bawah
Xa : Konsentrasi ambien batas atas ($\mu g/m^3$)
Xb : Konsentrasi ambien batas bawah ($\mu g/m^3$)
Xx : Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran ($\mu g/m^3$)

Tabel 3. Kategori Angka Rentang ISPU

Status Warna	Angka Rentang	Kategori
Hijau	1 – 50	Baik
Biru	51 – 100	Sedang
Kuning	101 – 200	Tidak Sehat
Merah	201 – 300	Sangat Tidak Sehat
Hitam	≥ 301	Berbahaya

Sumber : Peraturan Menteri LHK No.14 Tahun 2020,hal.14

Model Hubungan Kinerja Lalu Lintas 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. Adapun jenis – jenis regresi yaitu:
X = Variabel Volume Lalu Lintas
Y = Variabel Pencemaran Udara

Analisa Regresi

Regresi polynomial adalah metode analisis statistik yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y).
Berikut adalah bentuk persamaan regresi polinomial:

$$Y = a + bX + cX2$$

Dimana :
Y : Variabel terikat (Kualitas udara)
X : Variabel bebas (Tundaan)
a : Konstanta
b : Koefisien linier
c : Koefisien kuadrat

Selanjutnya untuk mengetahui hubungan matematis antara tundaan dan konsentrasi NO_2 serta CO dilakukan analisis regresi linear sederhana dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Y = a + bX$$

Analisa Korelasi

Analisa korelasi adalah ukuran yang menunjukan seberapa dekat hubungan antara dua variabel. Yang artinya cara sederhana dalam melakukan pemeriksaan terkait relasi fungsional antara variabel – variabel berbeda.

- Kuat Hubungan Variabel bebas dan variable terikat

No.	Nilai r	Interprestasi
1.	0,00 – 0,199	Sangat rendah
2.	0,20 – 0,399	Rendah
3.	0,40 – 0,599	Sedang
4.	0,60 – 0,799	Kuat
5.	0,80 – 1,00	Sangat kuat

- Model Korelasi

$$r = \frac{(n\sum XY - \sum X \sum Y)}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.48)$$

Dimana:
r : Koefisien korelasi
n : Jumlah data
X : Nilai Tundaan
Y : Nilai emisi

3. METODOLOGI STUDI

Lokasi studi

Lokasi studi tugas akhir ini dilaksanakan di simpang tiga tak bersinyal Jl. Raya Suko – Jl. Raya Sumput – Jl. Raya Cemeng Kalang, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.

Pengumpulan data

Pengumpulan data berupa data primer dan data sekunder, kedua data ini yang akan digunkana sebagai penelitian. Data primer didapatkan dengan cara dilakukannya survey langsung dilapangan, sedangkan data sekunder didapatkan dengan cara mendapatkan keterangan atau data dari instansi pemerintah yang terkait. Data primer berupa: data geometrik jalan, data volume lalu lintas, data kualitas udara. Data sekunder berupa: Peta lokasi studi, data jumlah penduduk.

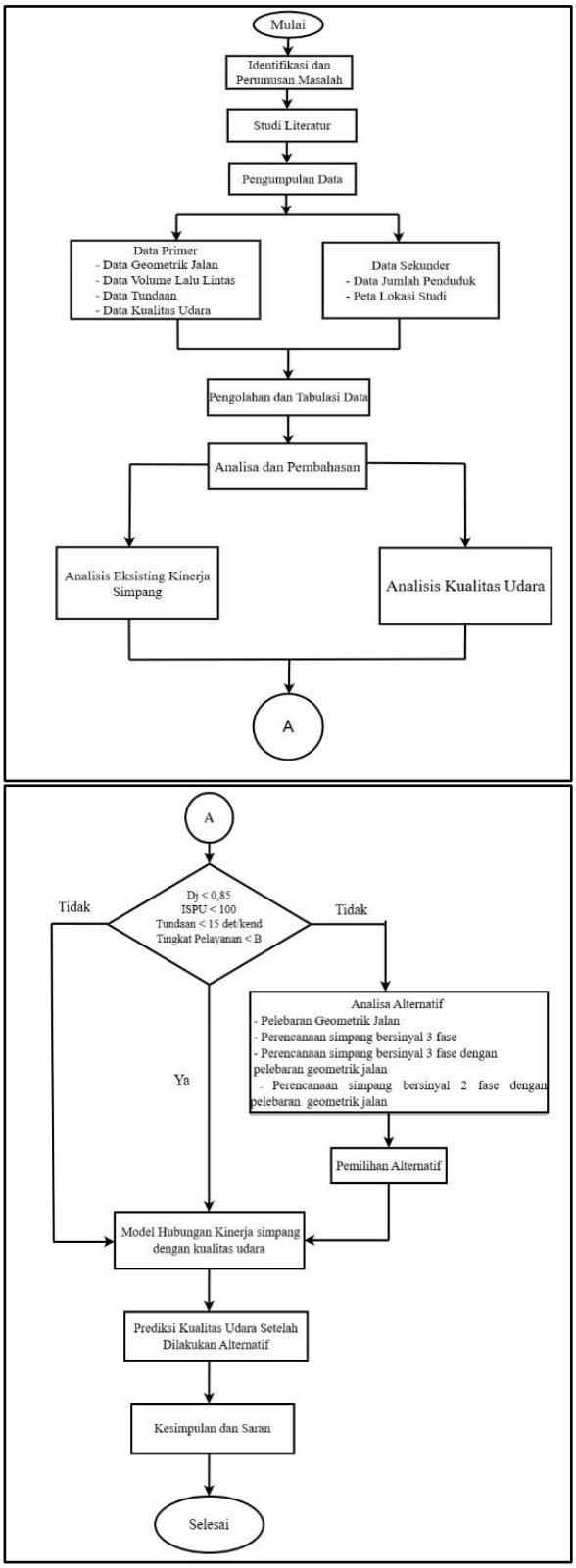
Tahapan pengumpulan data

Menentukan waktu survey
Survei perhitungan lalu lintas dilaksanakan selama 3 (tiga) hari yaitu hari Senin, hari Kamis dan hari Minggu pengamatan dengan interval waktu 15 menit per jam mulai pukul 06.00 WIB hingga 18.00 WIB. Untuk survei emisi gas, dilakukan per 1 jam mulai pukul 06.00 WIB hingga 18.00 WIB.
Menentukan jenis survey
Survei Geometrik Jalan, survey volume lalu lintas, survey gas emisi yang ditimbulkan oleh kendaraan.

Pengolahan data dan penyajian data

Hasil pengolahan data geometrik meliputi ukuran elemen jalan dan aktivitas penggunaan jalan di sekitar lokasi penelitian, studi ini dilakukan dengan merujuk pada PKJI 2023, hasil pengukuran kualitas udara di lapangan dan berpedoman pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2021 dan Pengolahan Model Hubungan Antara Kinerja Simpang dan Kualitas Udara.Mengidentifikasi dan mengukur kekuatan hubungan antara kemacetan (volume lalu lintas, tundaan) dengan konsentrasi polutan udara tertentu (CO dan NO_2).

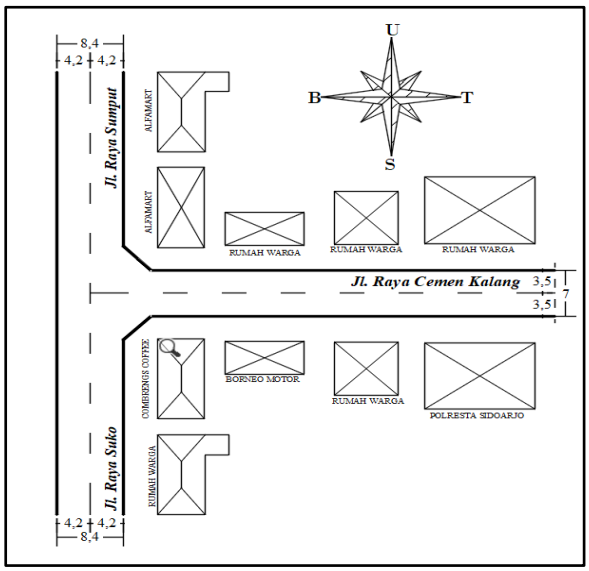
Bagan Alir



Gambar 2. Bagan Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian ini berada di Simpang Angkringan Embong Malang, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur. Pengambilan data survei dilakukan selama 3 (tiga) hari yaitu dimulai pada hari senin, 02 Februari, kamis, 05 Februari dan sabtu 07 Februari 2026.



Gambar 3. Data geometrik simpang

Adapun data pada tabel 4 merupakan data Kondisi geometrik dan lingkungan pada simpang Angkringan Embong Malang.

Tabel 4. Kondisi Simpang Angkringan Embong Malang

Simpang	Nama Jalan	Pendekat		Tipe Lingkungan Jalan	Kelas Hambatan	Median
		Kode	Arah			
Angkringan Embong Malang	Jl. Raya Cemeng Kalang	A (Jalan minor)	Timur	Komersial	Sedang	Tidak
	Jl. Raya Sumput	B (Jalan Mayor)	Utara	Komersial	Sedang	Tidak
	JL. Raya Suko	D (Jalan Mayor)	Selatan	Komersial	Sedang	Tidak

Tabel 5. Geometrik Eksisting pada simpang Angkringan Embong Malang

Simpang	Nama Jalan	Pendekat		Jumlah Lajur	L	Lm	Lk
		Kode	Arah				
Angkringan Embong Malang	Jl. Raya Cemeng Kalang	A (Jalan minor)	Timur	2	7	3,5	3,5
	Jl. Raya Sumput	B (Jalan Mayor)	Utara	2	8,4	4,2	4,2
	Jl. Raya Suko	D (Jalan Mayor)	Selatan	2	8,4	4,2	4,2

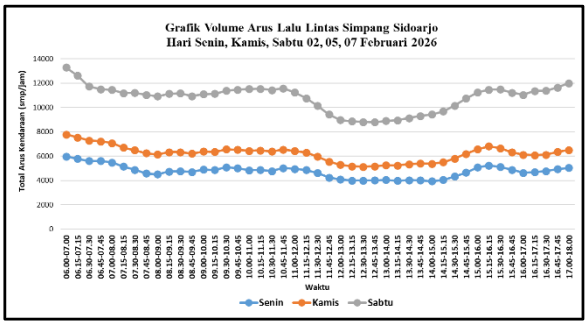
Analisis Volume Lalu Lintas

Arus lalu lintas (Q) dalam setiap pergerakan dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp) perjam dengan ekuivalensi mobil penumpang yang berbeda berdasarkan jenis kendaraannya. Data pada periode jam puncak digunakan sebagai dasar dalam analisis kinerja simpang yang dapat dilihat pada tabel 6. Berikut adalah hasil analisis volume lalu lintas pada simpang Angkringan Embong Malang.

Tabel 6. Data lalu lintas simpang akringan embong malang

NO	Waktu	Simpang Sidoarjo (Senin)	Simpang Sidoarjo (Kamis)	Simpang Sidoarjo (Sabtu)	TOTAL 3 HARI
1	**06.00-07.00**	**6173**	**1806,2**	**5513**	**13492,2**
2	06.15-07.15	5922	1770,2	5077	12769,2
3	06.30-07.30	5668	1689,6	4452	11809,6
4	06.45-07.45	5611	1614	4299	11524
5	07.00-08.00	5477	1600,6	4385	11462,6
6	07.15-08.15	5197	1566,6	4485	11248,6
7	07.30-08.30	4963	1615,6	4707	11285,6
8	07.45-08.45	4686	1651,4	4812	11149,4
9	08.00-09.00	4602	1632	4784	11018
10	08.15-09.15	4780	1594,4	4802	11176,4
11	08.30-09.30	4776	1582	4837	11195
12	08.45-09.45	4703	1499,6	4741	10943,6
13	09.00-10.00	4902	1487,2	4717	11106,2
14	09.15-10.15	4871	1485,6	4787	11143,6
15	09.30-10.30	5093	1471,4	4821	11385,4
16	09.45-10.45	5005	1532,8	4933	11470,8
17	10.00-11.00	4851	1598,8	5071	11520,8
18	10.15-11.15	4862	1607,6	5073	11542,6
19	10.30-11.30	4780	1606,2	5047	11433,2
20	**10.45-11.45**	**5027**	**1528**	**5023**	**11578**
21	11.00-12.00	4961	1464,4	4809	11234,4
22	11.15-12.15	4860	1433,8	4477	10770,8
23	11.30-12.30	4616	1355,4	4171	10142,4
24	11.45-12.45	4247	1311,2	3881	9439,2
25	12.00-13.00	4085	1202,8	3686	8973,8
26	12.15-13.15	3991	1173,4	3708	8872,4
27	12.30-13.30	4005	1132,4	3676	8813,4
28	12.45-13.45	4013	1146	3630	8789
29	13.00-14.00	4044	1208,4	3656	8908,4
30	13.15-14.15	3983	1253,2	3723	8959,2
31	13.30-14.30	4024	1327	3776	9127
32	13.45-14.45	4022	1369,6	3913	9304,6
33	14.00-15.00	3939	1436,8	4056	9431,8
34	14.15-15.15	4055	1440	4193	9688
35	14.30-15.30	4326	1473,6	4364	10163,6
36	14.45-15.45	4645	1549,4	4544	10738,4
37	15.00-16.00	5076	1486,6	4676	11238,6
38	**15.15-16.15**	**5232**	**1576**	**4657**	**11465**
39	15.30-16.30	5115	1540,2	4832	11487,2
40	15.45-16.45	4875	1443	4897	11215
41	16.00-17.00	4642	1478,4	4933	11053,4
42	16.15-17.15	4694	1396,6	5282	11372,6
43	16.30-17.30	4769	1360	5251	11380
44	16.45-17.45	4940	1411,8	5304	11655,8
45	17.00-18.00	5049	1458,6	5493	12000,6

Berdasarkan tabel 6, volume lalu lintas dilokasi penelitian mengalami variasi setiap periode pengamatan. Perbedaan tersebut mencerminkan perubahan intensitas arus kendaraan yang dipengaruhi oleh aktivitas sekitar simpang.



Gambar 4. Grafik puncak dalam 3 hari

Pada grafik diatas diperoleh total arus kendaraan pada hari Senin, Kamis dan Sabtu tanggal 2, 5, dan 7 Februari 2026 pada simpang Sidoarjo yaitu pada pagi hari Senin pukul 06.00 – 07.00 WIB yang mana pada pukul tersebut terdapat aktivitas berangkat kerja dengan jumlah total arus kendaraan tertinggi sebesar 13492,2 smp/jam.

Evaluasi kinerja simpang berdasarkan PKJI 2023

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

Tabel 7. Derajat kejenuhan simpang saat jam puncak

Hari/Tanggal	Jam Puncak	Total Arus Lalu Lintas (Q) SMP/Jam	Kapasitas (C) SMP/Jam	Derajat Kejenuhan (DJ)
Senin, 02 Februari 2026	Pagi	2038	2337,590	0,87
	Siang	1884	2045,615	0,92
	Sore	2915	2300,444	1,27
Kamis, 05 Februari 2026	Pagi	2067	2133,701	0,97
	Siang	1733	1997,582	0,87
	Sore	1766	1844,200	0,96
Sabtu, 07 Februari 2026	Pagi	2181	2394,934	0,91
	Siang	1941	2335,935	0,83
	Sore	2051	2299,398	0,89

Untuk hasil pengolahan data survey selama 3 hari yaitu pada hari Senin 02 Februari 2026, Kamis 05 Februari 2026 dan Rabu 07 Februari 2026. Pada hari Senin 02 Februari 2026 terdapat derajat kejenuhan (DJ) tertinggi pada jam puncak Sore yaitu yaitu sebesar 1,27, kemudian derajat kejenuhan (DJ) tertinggi kedua yaitu pada hari Kamis dimana terdapat nilai derajat kejenuhan 0,97 yang terjadi pada jam puncak pagi hari. Selanjutnya derajat kejenuhan (DJ) tertinggi ketiga yaitu pada hari Sabtu dengan nilai derajat kejenuhan (DJ) sebesar 0,91terjadi pada jam puncak pagi. Rekomendasi Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 telah melampaui dalam kasus dimana sebagian besar nilai derajat kejenuhan telah melebihi 0,85. Rencana perbaikan diperlukan untuk mengurangi derajat kejenuhan jika nilai tersebut melebihi.

Tabel 7. Tundaan pada kondisi eksisting simpang Angkringan Embong Malang Senin 02 Februari 2026

Hari/Tanggal	Jam Puncak	Derajat Kejenuhan (DJ)	Kondisi Eksisting		Tingkat Pelayanan
			Kapasitas (C)	Tundaan det/smp	
Senin, 02 Februari 2026	Pagi	0,87	2337,590	15,1621	C
	Siang	0,92	2045,615	16,3442	C
	Sore	1,27	2300,444	71,2705	F

Tabel 9. Tundaan pada kondisi eksisting simpang Angkringan Embong Malang Kamis 05 Februari 2026

Hari/Tanggal	Jam Puncak	Derajat Kejenuhan (DJ)	Kondisi Eksisting		Tingkat Pelayanan
			Kapasitas (C)	Tundaan det/smp	
Kamis, 05 Februari 2026	Pagi	0,97	2133,701	17,8132	C
	Siang	0,87	1997,582	15,0689	B
	Sore	0,96	1844,200	17,4334	C

Tabel 10. Tundaan pada kondisi eksisting simpang Angkringan Embong Malang Sabtu 07 Februari 2026

Hari/Tanggal	Jam Puncak	Derajat Kejenuhan (DJ)	Kondisi Eksisting		Tingkat Pelayanan
			Kapasitas (C)	Tundaan det/smp	
Sabtu, 07 Februari 2026	Pagi	0,91	2394,934	16,0723	C
	Siang	0,83	2335,935	14,3605	B
	Sore	0,89	2299,398	15,6165	C

Pada tabel diatas didapatkan hasil tundaan rata – rata selama 3 hari pengamatan, diketahui sebagian nilai tingkat pelayanan selama 3 hari belom memenuhi syarat PM No. 96 tahun 2015 yaitu dengan tingkat pelayanan F. Karena Jl. Raya Cemeng Kalang – Jl.

Raya Sumput – Jl. Raya Suko merupakan jalan arteri primer sebagaimana standar Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 bahwa jalan arteri primer seminim – minim tingkat pelayanan B (5 – 15 det/smp), maka perlu dilakukan perbaikan.

Analisis kualitas udara

Berdasarkan hasil survey disimpang tak bersinyal dengan menggunakan alat ukur Carbon Monoxide Meter dan Gas Detector yang meliputi parameter CO dan NO_2 dengan pengamatan setiap 1 jam di tiga titik pada Simpang Tiga Tak Bersinyal. Berikut adalah hasil data kualitas udara pada hari Senin, 02 Februari 2026.

Tabel 11. Data kualitas udara Senin 02 Februari 2026

Pengukuran Waktu	KONSENTRASI PARTIKULAT	
	NO_2	CO
	ppm	ppm
06.00-07.00	12	120
07.00-08.00	10	112
08.00-09.00	12	146
09.00-10.00	10	125
10.00-11.00	12	124
11.00-12.00	11	144
12.00-13.00	10	100
13.00-14.00	10	99
14.00-15.00	10	102
15.00-16.00	8	125
16.00-17.00	9	98
17.00-18.00	13	119

Perhitungan data kualitas udara

Perhitungan parameter nitrogen dioksida (NO_2)

Berdasarkan data pengamatan, nilai NO_2 masih dalam satuan ppm maka perlu dilakukan konversi nilai ppm ke µg/m^3 pada parameter NO_2. Berikut adalah contoh perhitungan konversi ppm ke µg/m^3

Nilai Konversi NO_2

N (Sulfur) = 14,01 g/mol

O2 (Oksigen x 2) = 2 x 16 g/mol

Volume Molar (Suhu 25°C) = 24,45 g/mol

NO_2 =(14,01)+(2x16)

= 46,01 g/mol

Konsentrasi (µg/m^3)

$$= \text{Konsentrasi(ppm)} \times \frac{Massa\ Molar}{Volume\ Moral}$$

$$= 12 \times \frac{46,01}{24,45}$$

= 22,582 µ/m^3

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai Indeks Standar Pencemar Udara untuk setiap parameter untuk mengetahui tingkat konsentrasi pencemar uadara serta menentukan kategori kualitas udara berdasarkan nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang dihasilkan. Contoh perhitungan nilai ISPU gas NO_2 untuk hari senin adalah sebagai berikut.

Diketahui :

Ia = 50

Ib = 0

Xa = 80

Xb = 0

Xx = 37,636 µg/m^3

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

$$= \frac{50 - 0}{80 - 0}(22,582 - 0) + 0$$

= 14,113

Tabel 12. Hasil analisis perhitungan NO_2

Waktu Pengukuran	Konsentrasi Polutan			Nilai Standar ISPU	Ket.
	NO2				
	ppm	(µg/m3)	Nilai ISPU		
06.00-07.00	12	22,582	14,113	1 – 50	Baik
07.00-08.00	10	18,818	11,761	1 – 50	Baik
08.00-09.00	12	22,582	14,113	1 – 50	Baik
09.00-10.00	10	18,818	11,761	1 – 50	Baik
10.00-11.00	12	22,582	14,113	1 – 50	Baik
11.00-12.00	11	20,700	12,937	1 – 50	Baik
12.00-13.00	10	18,818	11,761	1 – 50	Baik
13.00-14.00	10	18,818	11,761	1 – 50	Baik
14.00-15.00	10	18,818	11,761	1 – 50	Baik
15.00-16.00	8	15,054	9,409	1 – 50	Baik
16.00-17.00	9	16,936	10,585	1 – 50	Baik
17.00-18.00	13	24,463	15,290	1 – 50	Baik

Pada tabel 12 kadar gas NO_2 yang terukur di Simpang Angkringan Embong Malang masih berada pada rentang ISPU kategori **BAIK** (1 – 50), yang menunjukan bahwa kondisi kualitas udara di lokasi tersebut tergolong aman dan belom melebihi batas baku mutu yang ditetapkan. Namun demikian, evaluasi kualitas lingkungan tetap perlu dilakukan secara lebih lanjut dengan meninjau nilai konsentrasi NO_2 tertinggi yang tercatat, guna mengidentifikasi kemungkinan terjadinya peningkatan pencemaran udara pada waktu tertentu.

Tabel 13. Hasil analisis perhitungan CO

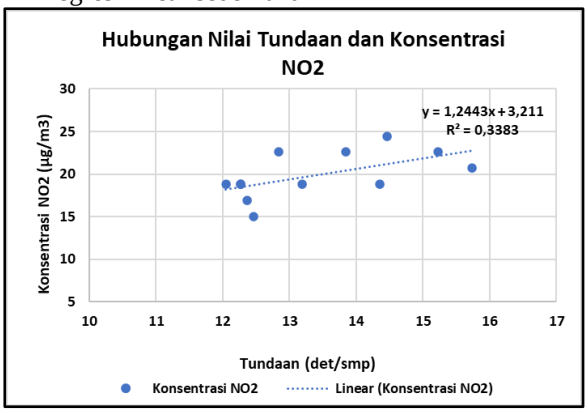
Waktu Pengukuran	Konsentrasi Polutan			Nilai Standar ISPU	Ket.
	CO				
	ppm	(µg/m3)	Nilai ISPU		
06.00-07.00	120	137,472	1,718	1 – 50	Baik
07.00-08.00	112	128,308	1,604	1 – 50	Baik
08.00-09.00	146	167,258	2,091	1 – 50	Baik
09.00-10.00	125	143,200	1,790	1 – 50	Baik
10.00-11.00	124	142,055	1,776	1 – 50	Baik
11.00-12.00	144	164,967	2,062	1 – 50	Baik
12.00-13.00	100	114,560	1,432	1 – 50	Baik
13.00-14.00	99	113,415	1,418	1 – 50	Baik
14.00-15.00	102	116,852	1,461	1 – 50	Baik
15.00-16.00	125	143,200	1,790	1 – 50	Baik
16.00-17.00	98	112,269	1,403	1 – 50	Baik
17.00-18.00	119	136,327	1,704	1 – 50	Baik

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis parameter karbon monoksida (CO) pada lokasi penelitian di simpang Angkringan Embong Malang, diperoleh nilai konsentrasi CO yang masih berada di bawah ambang batas baku mutu udara ambien. Berdasarkan hasil perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), parameter CO termasuk dalam kategori (**BAIK**) dengan rentang nilai 1-50. Kondisi tersebut menunjukan bahwa tingkat pencemaran udara akibat emisi karbon monoksida di lokasi penelitian masih tergolong rendah dan memberikan dampak yang signifikan terhadap kualitas udara ambien. Namun demikian, evaluasi kualitas lingkungan tetap perlu dilakukan secara berkelanjutan melalui analisis konsentrasi CO tertinggi berdasarkan Standar ISPU untuk mengetahui potensi peningkatan pencemaran udara akibat pertumbuhan volume lalu lintas kendaraan bermotor.

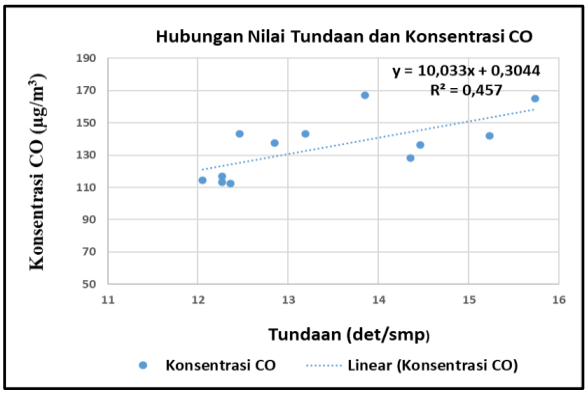
Model hubungan kinerja lalu lintas dengan kualitas udara

Berikut adalah model hubungan antara kinerja lalu lintas dengan kualitas udara sesuai dengan perhitungan menggunakan uji korelasi dan model persamaan regresi linear sederhana dan polynomial.

- Regresi linear sederhana



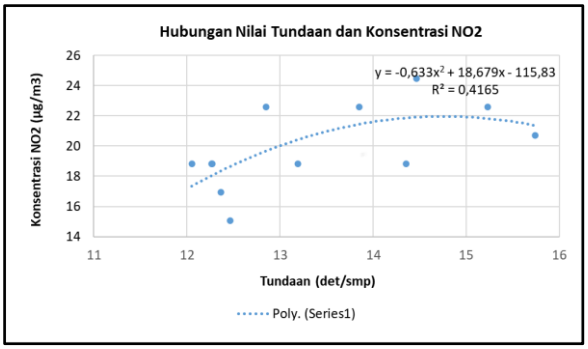
Gambar 5. Grafik model hubungan tundaan dan NO_2



Gambar 6. Grafik model hubungan tundaan dan CO

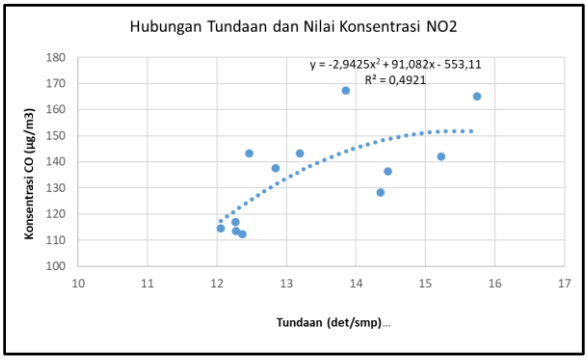
Berdasarkan grafik pada gambar 5-6 diperoleh persamaan regresi linear untuk nilai NO_2 yaitu Y = 1,2443 + 3,211 dengan nilai determinasi (R^2) sebesar 0,3383 dan nilai CO Y = 10,033x + 0,3044 dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,4575. Hal ini menunjukan bahwa sekitar 33,8% variasi konsentrasi NO_2 dapat dipengaruhi oleh variabel tundaan, sedangkan 66,2% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model dan 45,75% variasi konsentrasi CO dapat dijelaskan oleh variabel tundaan, sedangkan 54,25% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model

- Regresi polynomial



Gambar 7. Grafik hubungan tundaan dan nilai NO2

Berdasarkan gambar 5 diperoleh persamaan regresi polinomial Y = -115,831 + 18,678x – 0,633x^2 dengan nilai koefisien determinasi R^2 = 0,4165 mengindikasikan bahwa sebesar 40% variasi konsentrasi NO_2 dapat dijelaskna oleh perubahan nilai tundaan, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model.



Gambar 8. Grafik hubungan tundaan dan nilai CO

Berdasarkan gambar 6 diperoleh persamaan regresi polinomial Y = -553,11 + 91,082 – 2,9425x^2 dengan nilai koefisien determinasi R^2 = 0,4921 mengindikasikan bahwa sebesar 40% variasi konsentrasi NO_2 dapat dijelaskna oleh perubahan nilai tundaan, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model.

Alternatif perbaikan kinerja lalu lintas pada simpang Angkringan Embong Malang

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil kinerja simpang melebihi syarat yang telah ditentukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan perbaikan kinerja simpang dengan tujuan untuk meningkatkan tingkat pelayanan simpang pada simpang Angkringan Embong Malang. Untuk menyempurnakan sistem pengendalian simpang ada beberapa alternatif perbaikan yang akan direncanakan yaitu:

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

Berdasarkan hasil evaluasi beberapa alternatif perbaikan, strategi yang direkomendasikan untuk mengatasi permasalahan lalu lintas pada Simpang Tiga Tak Bersinyal Jl. Raya Suko – Jl. Raya Sumput – Jl. Raya Cemeng Kalang adalah penerapan alternatif perencanaan simpang bersinyal 3 fase dengan di kombinasikan dengan pelebaran geometrik jalan dimana dihasilkan kinerja simpang yang lebih baik dibandingkan kondisi eksisting, dengan nilai derajat kejenuhan (DJ) sebesar 0,73, tundaan rata – rata sebesar 24,899 det/smp, peluang antrian (PA) sebesar 27,39 % dengan tingkat pelayanan (C).

Prediksi kualitas udara setelah dilakukan perbaikan kinerja simpang

Setelah dilakukan alternatif pada Simpang Tiga Angkringan Embong Malang, didaptkan nilai tundaan maka dapat diprediksi nilai konsentrasi NO_2 dan CO.

Nilai tundaan (x) sebesar 24,989 det/smp, kemudian daat diprediksi nilai NO_2 dan CO dengan menggunakan model hubungan persamaan regresi yang ada pada tabel dibawah ini:

Tabel 14. Kualitas udara setelah dipilih Alternatif Perbaikan Pada Simpang Angkringan Embong Malang

Partikulat	Persamaan	Tundaan (X) Det/smp	Nilai Konsentrasi	Nilai ISPU
NO2	9,774 + 0,489	24,989	22,582	14,113
CO	60,697 + 3,585		137,472	1,718

Berdasarkan hasil diatas, pada nilai tundaan 24,989 det/smp diperoleh nilai ISPU untuk NO2 sebesar 14,113 dan nilai ISPU CO sebesar 1,718. 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 perhitungan yang telah dilakukan pada Simpang Angkringan Embong Malang Maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis perhitungan kondisi eksisting kinerja Simpang Angkringan Embong Malang pada jam puncak didapat hasil nilai DJ (Derajat Kejenuhan) tertinggi pada jam puncak sore hari Senin sebesar 1,27, dengan peluang antrian sebesar 135,688 dan nilai tundaan sebesar 71,270 det/smp sehingga tingkat pelayanan simpang dikategorikan F (Sangat Buruk).
2. Berdasarkan hasil analisis kualitas udara di Simpang Tiga Tak Bersinyal Jl. Raya Suko – Jl. Raya Sumput – Jl. Raya Cemeng Kalang, diperoleh bahwa konsentrasi polutan NO_2 dan CO masih berada di bawah baku mutu udara ambien serta termasuk dalam kategori ISPU ”Baik” (1 – 50).
3. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh model hubungan antara tundaan dan kualitas udara pada simpang Angkringan Embong Malang yang direpresentasikan oleh tundaan dengan kualitas udara pada parameter NO_2 dan CO. Nilai koefisien korelasi NO_2 berturut – turut sebesar 0,582; 0,697; dan 0,543, sedangkan nilai koefisien CO sebesar 0,676; 0,427; dan 0,603 pada hari Senin, Kamis, dan Sabtu. Dengan persamaan untuk konsentrasi NO_2 yaitu Y = 3,210 + 1,244x dan konsentrasi CO adalah Y = 0,3044 + 10,032x. Hasil tersebut menunjukan bahwa hubungan antara tundaan lalu lintas dan kualitas udara berada pada kategori **sedang** hingga **kuat.**
4. Berdasarkan hasil evaluasi beberapa alternatif perbaikan, strategi yang direkomendasikan untuk mengatasi permasalahan lalu lintas pada Simpang Tiga Tak Bersinyal Jl. Raya Suko – Jl. Raya Sumput – Jl. Raya Cemeng Kalang adalah penerapan alternatif perencanaan simpang bersinyal 3 fase dengan di kombinasikan dengan pelebaran geometrik jalan dimana dihasilkan kinerja simpang yang lebih baik dibandingkan kondisi eksisting, dengan nilai derajat kejenuhan (DJ) sebesar 0,73, tundaan rata – rata sebesar 24,899 det/smp, peluang antrian (PA) sebesar 27,39 % dengan tingkat pelayanan (C).

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 Sidoarjo 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. Pemerintah Kabupaten Sidoarjo diharapkan mempertimbangkan penerapan alternatif pelebaran geometrik jalan yang direkomendasikan dalam penelitian ini, karena selain mampu meningkatkan kinerja Simpang Angkringan Embong Malang melalui penurunan derajat kejenuhan dan tundaan, alternatif ini juga berpotensi memperbaiki kualitas udara di sekitar simpang.

DAFTAR PUSTAKA

Alamsyah, A. A. (2008). Rekayasa Lalu Lintas.

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.

Barth, M., & Boriboonsomsin, K. (2008). Real-World CO2 Impacts of Traffic Congestion. Transportation Research Record, 951, 1–23.

Bina Marga, D. J. (2023). Pedoman Kapasitas jalan Indonesia. Panduan Kapasitas Jalan Indonesia, 021, 68.

Dwi Maulana, P. (2025). Evaluasi Kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal Serta Polusi Udara Di Jalan Raya Wagir-Jalan Raya Kebonagung Kabupaten Malang Menggunakan Metode Pkji 2023.

Huliselan, R., & Rusmin, M. (2019). Analisa Kapasitas Dan Kinerja Persimpangan Tak Bersinyal R.A. Kartini. Jurnal Teknik Sipil : Rancang Bangun, 5(1), 29.

M. Kamali Zaman, M. (n.d.). Kesehatan Lingkungan Perspektif Kesehatan Masyarakat.

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

No.14, P. (2020). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara. 1–16.

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, 41. (1999). Peraturan Pemerintah No . 41 Tahun 1999 Tentang : Pengendalian Pencemaran Udara. 41.

Prakoso, J. (2025). Studi Kinerja Simpang Tak Bersinyal Terhadap Kualitas Udara Dan Kebisingan (Studi Kasus: Jl. S. Supriadi, Jl. Kebonsari, Jl. Satsui Tubun Kota Malang). 44(8), 1689–1699.

Ratnani, R. D. (2008). Teknik Pengendalian Pencemaran Udara Yang Diakibatkan oleh Partikel. Universitas Wahid Hasyim, 4, 27–32.

Saputro, H. I., Martanto, E. A., & Yuminarti, U. (2022). Analisis emisi gas buang kendaraan bermotor (angkutan umum penumpang) di Kabupaten Manokwari. Cassowary, 5(1), 35–47.

SASTRAWAN, E. (2024). Studi Evaluasi Kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal dan Dampak Kemacetan Lalu Lintas terhadap Kualitas Udara (Studi Kasus: Simpang Montong, Kecamatan Batulayar, Lombok Barat). 65.