Evaluasi Kinerja dan Polusi Udara Simpang Tiga Tak Bersinyal Wagir–Kebonagung PKJI 2023

Putra Dwi Maulana[1], Nusa Sebayang [2], dan Annur Ma'ruf, ST., MT [3]

[1] *Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: putracao1@gmail.com
[2] *Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: nusasebayang@lecturer.itn.ac.id
[3]*Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: annur2017@lecture.itn.ac.id

ABSTRACT

The main problem at the Junction Three Unsignaled Wagir and Kebonagung Highways is congestion during peak hours due to the high volume of vehicles, which reduces intersection services and has the potential to have a bad impact on the surrounding community.This study aims to evaluate the performance of the intersection, analyze the air quality (CO and NO_2) around the intersection, offer improvement solutions, and predict performance over the next five years using the PKJI 2023 method. Data was collected through traffic surveys, queues, delays, and air quality measurements.As a result, the degree of saturation during the Sunday morning peak hour reached 0.94 (category C) with an average delay of 16.8 seconds per vehicle. The two solutions offered are the installation of three-phase traffic lights (APILL) and the widening of road approaches. Road widening is more effective, reducing the delay to 14.86 seconds and increasing the service to category B so it is recommended. According to the ISPU, air quality is still good, although the relationship between delays and air pollution is proven to be low. Predictions in the next five years show that congestion is getting worse, services drop to category D.In conclusion, this intersection is not optimal, widening the road approach is the best solution, and air pollution control must be considered to anticipate increasingly heavy traffic in the future
***Keywords*: :** Junction, PKJI, Delay, air quality

ABSTRAK

Permasalahan utama di Simpang Tiga Tak Bersinyal Jalan Raya Wagir dan Kebonagung adalah kemacetan pada jam sibuk akibat tingginya volume kendaraan, yang menurunkan pelayanan simpang dan berpotensi berdampak buruk pada masyarakat sekitar.Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja simpang, menganalisis kualitas udara (CO dan NO_2) di sekitar simpang, menawarkan solusi perbaikan, dan memprediksi kinerja selama lima tahun ke depan dengan metode PKJI 2023. Data dikumpulkan lewat survei lalu lintas, antrian, tundaan, serta pengukuran kualitas udara.Hasilnya, derajat kejenuhan saat jam puncak pagi hari Minggu mencapai 0,94 (kategori C) dengan rata-rata tundaan 16,8 detik per kendaraan. Dua solusi yang di tawarkan pemasangan lampu lalu lintas (APILL) tiga fase dan pelebaran pendekat jalan. Pelebaran jalan lebih efektif, menurunkan tundaan menjadi 14,86 detik dan meningkatkan pelayanan ke kategori B sehingga direkomendasikan. Kualitas udara menurut ISPU masih baik, meski hubungan antara tundaan dengan polusi udara terbukti rendah. Prediksi lima tahun ke depan menunjukkan kemacetan makin parah, pelayanan turun ke kategori D.Kesimpulannya, simpang ini belum optimal pelebaran pendekat jalan adalah solusi terbaik, dan pengendalian polusi udara harus diperhatikan untuk mengantisipasi lalu lintas yang makin padat di masa mendatang
***Kata Kunci*: :** Simpang, PKJI, Tundaan, kualitas udara

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Malang, sebagai salah satu wilayah penyangga utama Kota Malang, tengah mengalami pertumbuhan penduduk dan ekspansi kegiatan ekonomi yang pesat. Jumlah penduduk Kab. Malang adalah sebesar 2.730.000 jiwa. Salah satu wilayah yang terdampak langsung adalah Jalan Raya Wagir dan Jalan Raya Kebonagung, dua ruas jalan utama yang memiliki fungsi sebagai jalan kolektor primer dan sekunder. Jalan ini berperan penting dalam menghubungkan wilayah perdesaan di Kabupaten Malang bagian barat dengan kawasan perkotaan, termasuk akses langsung menuju Kota Malang. Di persimpangan antara Jalan Raya Wagir dan Jalan Raya Kebonagung, terdapat Simpang Tiga Tak Bersinyal Wagir–Kebonagung, yang menjadi titik temu arus kendaraan dari arah barat (Wagir), timur (Kebonagung), dan utara (arah Kota Malang). Simpang ini memiliki peran strategis karena lokasinya yang berada di dekat area dengan intensitas aktivitas

tinggi seperti pabrik, sekolah, perkantoran, pertokoan, dan permukiman padat penduduk.

Kondisi eksisting simpang saat ini menunjukkan beberapa permasalahan kritis, antara lain tidak adanya fasilitas pengaturan lalu lintas seperti lampu lalu lintas, menyebabkan kendaraan dari arah yang berbeda harus saling berebut prioritas jalan. Tingginya volume kendaraan pada jam puncak (pagi dan sore hari), khususnya kendaraan roda dua, kendaraan pribadi, dan kendaraan angkutan barang, yang menyebabkan antrean panjang dan kemacetan.

Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dapat digunakan untuk menganalisis kinerja simpang dan mengidentifikasi perbaikan yang diperlukan. Evaluasi ini bertujuan untuk menyediakan data dan informasi yang akurat untuk perencanaan dan pengembangan infrastruktur jalan yang lebih baik .Akibat meningkatnya jumlah kendaraan serta terbatasnya sumber daya untuk pembangunan jalan dan kurang optimalnya pengoperasian fasilitas umum yang ada, kemacetan lalu lintas terjadi di jalan perkotaan dan perdesaan.

Kualitas udara di sekitar Simpang Tiga Tak Bersinyal Jalan Raya Wagir dan Jalan Raya Kebonagung menunjukkan indikasi penurunan akibat tingginya volume lalu lintas, terutama pada jam sibuk pagi dan sore. Kemacetan yang terjadi menyebabkan banyak kendaraan dalam posisi idle dalam waktu lama, sehingga meningkatkan emisi gas buang seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_2) yang berasal dari kendaraan pribadi, truk, dan angkutan umum berbahan bakar diesel. Tanpa lampu lalu lintas, kendaraan kerap melakukan stop-and-go, memperparah efisiensi pembakaran bahan bakar dan menambah kadar polutan di udara. Simpang ini berada di lingkungan padat aktivitas seperti sekolah, pasar, dan permukiman, yang memperbesar risiko paparan polutan terhadap kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia.

2. DASAR TEORI

Pengertian Persimpangan

Simpang merupakan daerah pertemuan dua atau lebih ruas jalan, bergabung, berpotongan atau bersilang. Persimpangan juga dapat disebut 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.

Jenis Persimpangan

Jenis simpang berdasarkan cara pengaturannya dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) jenis yaitu :

Simpang jalan tanpa sinyal, 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.

Simpang jalan dengan sinyal, yaitu pemakai jalan dapat melewati simpang sesuai dengan pengoperasian sinyal lalu lintas. Jadi pemakai jalan hanya boleh lewat pada saat sinyal lalu lintas menunjukkan warna hijau pada lengan simpangnya.

Simpang Tak Bersinyal

Menurut PKJI Menurut PKJI 2023, simpang tak bersinyal (unsignalized intersection) adalah persimpangan antara dua atau lebih ruas jalan yang tidak dikendalikan oleh sinyal lalu lintas, melainkan berdasarkan aturan prioritas dan interaksi antar kendaraan yang datang dari berbagai pendekat.

Pada simpang ini, kendaraan dari jalan dengan prioritas lebih rendah (jalan minor) harus memberi jalan kepada kendaraan dari jalan prioritas lebih tinggi (jalan mayor). Prioritas ini ditentukan berdasarkan fungsi jalan, arus lalu lintas dominan, serta keberadaan rambu seperti rambu berhenti atau rambu beri jalan.

Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan pada persimpangan diklasifikasikan atas :

Tabel 2. 1 Kriteria Tingkat Pelayanan Simpang
Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015

Tingkat Pelayanan	Kondisi	Tundaan (det/kend)
A	Baik Sekali	<5
B	Baik	5-15
C	Sedang	15-25
D	Kurang	25-40
E	Buruk	40-60
F	Sangat Buruk	>60

a. Penetapan Tingkat Pelayanan Pada Persimpangan

- Tingkat pelayanan yang diinginkan pada ruas jalan pada sistem jaringan jalan primer sesuai fungsinya, meliputi:

1) jalan arteri primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B;
2) jalan kolektor primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B
3) jalan lokal primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C;
4) jalan tol,tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B

- Tingkat pelayanan yang diinginkan pada ruas jalan pada sistem jaringan jalan sekunder sesuai fungsinya meliputi:

1) jalan arteri sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C;
2) jalan kolektor sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C;
3) jalan lokal sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya D;
4) jalan lingkungan, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya D

ALAT PEMBERI ISYARAT LAMPU LALU LINTAS (APILL)

Alat Pemberi Isyarat lalu lintas adalah perangkat elektronik yang menggunakan isyarat lampu yang dapat dilengkapi dengan isyarat bunyi untutk

mengatur lalu lintas orang dan kendaraan di persimpangan atau ruas jalan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

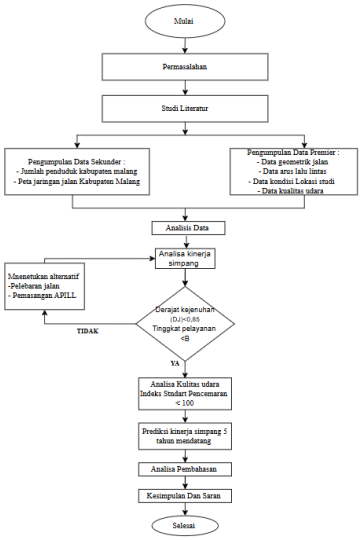
Penelitian dilaksanakan di Simpang Tiga Tak Bersinyal Jalan Raya Wagir–Kebonagung, Kabupaten Malang**,** dengan tujuan mengevaluasi kinerja simpang dan dampaknya terhadap kualitas udara menggunakan PKJI 2023**.**

Data primer meliputi:

- Geometri jalan (lebar pendekat, jumlah jalur/lajur, hambatan samping).
- Volume lalu lintas, tundaan, dan antrian pada jam puncak.
- Emisi gas buang (CO, NO_2) diukur menggunakan Smart Sensor AS8700A dan BOSEAN BH-90A.

Data sekunder mencakup pertumbuhan kendaraan, peta jalan, dan data penduduk Kabupaten Malang dari instansi terkait.

Survei dilakukan selama dua hari kerja dan satu hari libur (06:00–18:00 WIB, interval 15 menit). Data dianalisis untuk menentukan kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan rata-rata, panjang antrian, dan kualitas udara**,** serta diproyeksikan untuk lima tahun mendatang**.**



4. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter perhitungan volume lalu lintas disesuiakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Perhitungan dari kendaraan/jam menjadi smp/jam dihitung dengan jumlah interval 15 menit menjadi satujam ekivalen mobil penumpang(emp) yang terdapat pada PKJI 2023

Tabel 1 Volume lalu Lintas selama tiga hari

WAKTU	Volume Lalu Lintas Total Simpang (SMP/jam), Minggu 18 Mei 2025	Volume Lalu Lintas Total Simpang (SMP/jam), Senin 5 Mei 2025	Volume Lalu Lintas Total Simpang (SMP/jam), Kamis 8 Mei 2025
06.00-07.00	2109	2071,6	1769,3
06.15-07.15	2166,95	2125,75	1871,9
06.30-07.30	2129,95	2074,15	1928,9
06:45-07:45	2077	1997,8	1963,5
07.00-08.00	1998,2	1911,8	1872,4
11.00-12.00	2564,4	2223,4	1777,6
11.15-12.15	2501	2220	1771,6
11.30-12.30	2431,8	2218,8	1756
11.45-12.45	2376,4	2191,6	1729,2
12:00-13:00	2200,6	2143,2	1682
16.00-17.00	2194	2185,4	2339,8
16.15-17.15	2186,6	2167,4	2387,4
16.30-17.30	2103,4	1979,2	2228,4
16.45-17.45	1975	1858,2	2105,2
17:00-18:00	1817,2	1741,2	1947,4

Sumber : Hasil Analisa Data

Didapatkan arus kendaraan selama tiga hari survei dapat diketahui bahwa pada hari libur jumlah kendaraan yang melintas merupakan yang paling tinggi jumlah kendaraannya dibandingkan dengan hari kerja.

ANALISA KAPASITAS SIMPANG

Pada perhitungan kapasitas, diambil contoh perhitungan pada periode pagi sebagai berikut :

C = C0 × FUP × FM × FUK × FHS × FBKi × FBKa

= 2700 × 0,9295 × 1 × 1 × 0,95 × 1,09 × 0,93 × 1,03

= 2488 SMP/jam

Tabel 2 Perhitungan kapasitas (C) pada hari Minggu periode pagi,siang dan sore

Periode	Kapasitas dasar C0	Kinerja lalu lintas							Kapasitas C
		Lebar rata-rata pendekat	Median jalan mayor	Ukuran kota	Hambatan samping	Belok kiri	Belok kanan	Rasio minor/ Total	
	SMP/jam	FUP	FM	FUK	FHS	FBKi	FBKa	FRmi	SMP/jam
	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]
06.00-08.00	2700	0,92	1	1	0,95	1,097413	0,930001	1,033213	2488
11.00-13.00	2700	0,92	1	1	0,95	1,109995	0,925412	1,040173	2521
16.00-18.00	2700	0,92	1	1	0,95	1,125121	0,878966	1,021135	2383

Dengan melakukan perhitungan yang sama pada hari minggu, senin, kamis maka didapatkan Dj, T, PA dan LOS sebagai berikut:

$D_J = \frac{q_{Tot}}{C}$

$= \frac{2373,2}{2344}$

$= 0,94$

$T = T_{LL} + T_G$

$= 12,80 + 4$

$= 16,80$ Detik/SMP

Batas atas $= 47,71\ D_J + 24,68\ D_J^2 + 56,47\ D_J^3$

$= 47,71 \times 0,94 + 24,68 \times 0,94^2 + 56,47 \times 0,94^3$

$= 70,25\ \%$

Batas bawah $= 9,02\ D_J + 20,66\ D_J^2 + 10,49\ D_J^3$

$= 9,02 \times 0,94 + 20,66 \times 0,94^2 + 10,49 \times 0,94^3$

$= 35,60\ \%$

Tabel 3 Rekap hasil Perhitungan Dj, T, PA dan LOS

Hari Pengamatan	Jam Puncak	Tundaan Simpang Rata - rata (detik/SMP)	Derajat Kejenuhan (DJ)	Panjang Antrian (PA)			Tingkat Pelayanan (LOS)
Minggu, 18 Mei 2025	06.00-08.00	16,803	0,942	35,60	-	70,25	C
	11.00-13.00	15,841	0,910	33,19	-	65,47	C
	16.00-18.00	16,836	0,943	16,84	-	35,68	C
Senin, 5 Mei 2025	06.00-08.00	16,550	0,943	34,98	-	69,02	C
	11.00-13.00	15,200	0,913	31,44	-	62,04	C
	16.00-18.00	17,060	0,933	33,22	-	71,47	C
Kamis 8 Mei 2025	06.00-08.00	15,146	0,883	31,28	-	61,73	C
	11.00-13.00	15,901	0,912	33,35	-	65,78	C
	16.00-18.00	16,572	0,935	35,05	-	69,15	C

Sumber: Hasil Analisa

Dari hasil perhitungan pada tabel 3 di atas didapatkan derajat kejenuhan tertinggi terjadi pada jam puncak pada hari Minggu, pukul 16.00 – 18.00 nilai derajat kejenuhan sebesar 0,94 dengan nilai tundaan 16,83 dengan nilai tundaan tersebut makan tingkat pelayanan simpang termasuk C dimana kondisi simpang sudah mulai memburuk .

KUALITAS UDARA

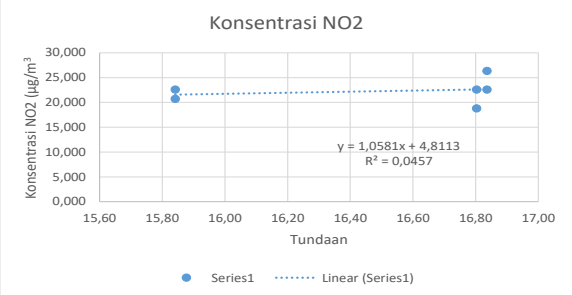
Aktifitas lalu lintas yang padat tidak hanya mempengaruhi kecepatan kendaraaan dan tingkat pelayanan, tetapi juga berdampak pada kualitas udara. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi CO dan NO_2 bervariasi sesuai dengan kondisi lalu lintas.

Tabel 4 Rekapitulasi Analisa Korelasi No_2

No	Nama Jalan	Periode pengukuran		Tundaan (X)	NO2 (Y)	X2	Y2	X.Y
1	Jl Raya Kebonagung Jl Raya Wagir.	Pagi	06.00 - 07.00	16,80	18,814	282,34	353,963	316,132
			07.00-08.00	16,80	22,577	282,34	509,707	379,359
2		Siang	11.00-12.00	15,84	20,695	250,95	428,295	327,842
			12.00-13.00	15,84	22,577	250,95	509,707	357,645
3		Sore	16.00-18.00	16,84	26,339	283,46	693,768	443,456
			17.00-18.00	16,84	22,577	283,46	509,707	380,105
Total				98,96	133,58	1633,50	3005,15	2204,54

Sumber : Hasil Analisa Data

Kemacetan meningkatkan emisi gas buang kendaraan dan menurunkan kualitas udara di sekitar ruas jalan, paparan polutan berdampak pada kesehatan pernapasan. Kondisi arus lalu lintas tinggi cenderung menghasuilakan polutan seperti CO dan NO_2 di udara.

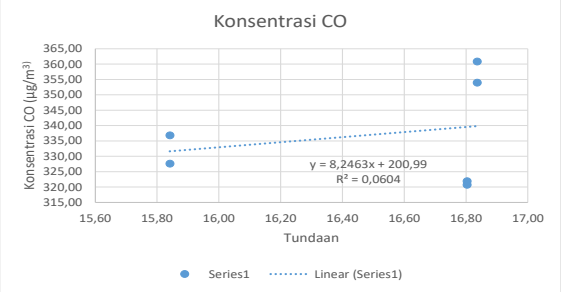


Gambar 1 Grafik Hubungan Kecepatan dan NO_2

Sumber: Hasil Analisa Data

Tabel 5 Rekapitulasi Analisa Korelasi CO

No	Nama Jalan	Periode pengukuran		Kecepatan (X	CO (Y)	X2	Y2	X.Y
1	Jl Raya Kebonagung Jl Raya Wagir.	Pagi	06.00 - 07.00	16,80	320,77	282,34	102893,73	5389,95
			07.00-08.00	16,80	321,92	282,34	103629,99	5409,20
2		Siang	11.00-12.00	15,84	327,64	250,95	107350,70	5190,33
			12.00-13.00	15,84	336,81	250,95	113440,33	5335,51
3		Sore	16.00-18.00	16,84	360,87	283,46	130224,87	6075,61
			17.00-18.00	16,84	353,99	283,46	125311,17	5959,89
Total				98,96	2022,00	1633,50	682850,80	33360,49



Gambar 2 Grafik Hubungan Kecepatan dan CO

Sumber : Hasil Analisa Data

Berdasarkan gambar 2 dalam pengamatan di lapangan, diketahui nilai tundaan pada jam 07.00 – 08.00 WIB sebesar 16,80 det/smp dengan nilai CO sebesar 320,77 µg/m3 , dan dapat dilihat bahwa nilai konstanta (a) sebesar 200,99 dan nilai koefisien arah regresi (b) sebesar 8,246 dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0, 245. Sehingga diketahui model hubungan antar variabel Rendah.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa kinerja simpang menunjukkan derajat kejenuhan (DJ) simpang mencapai 0,91–0,94 dengan tundaan 15,84–16,84 det/SMP sehingga tingkat pelayanan berada pada kategori C. Dari dua alternatif perbaikan, pelebaran geometrik (Alternatif II) lebih efektif dengan tundaan 14,86 det/SMP dan tingkat pelayanan B**,** dibandingkan pemasangan APILL yang justru meningkatkan tundaan. Kualitas udara berada dalam kategori baik (ISPU CO: 4,71; ISPU NO_2: 16,47) dengan korelasi rendah antara kinerja simpang dan polusi udara. Prediksi lima tahun mendatang menunjukkan penurunan kinerja signifikan (DJ >1,10; tingkat pelayanan D) jika tidak dilakukan perbaikan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan di masa mendatang. Pertama, diperlukan adanya koordinasi pengaturan lalu lintas pada simpang tiga Jalan Raya Wagir–Kebonagung agar arus kendaraan lebih tertib dan lancar. Kedua, perlu dilakukan pelebaran pada setiap pendekat simpang guna meningkatkan kapasitas serta memperbaiki tingkat pelayanan simpang. Selanjutnya, bagi peneliti berikutnya disarankan untuk melakukan inovasi terbaru serta mengombinasikan dengan penggunaan perangkat lunak terkini agar hasil analisis yang diperoleh lebih optimal, mengingat jumlah kendaraan dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan.

DAFTAR PUSTAKA

Adha, S. A., Endro Wibisono, R., Sabrina, M. A., & Putri, O. E. (2023). *Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Simpang Tak Bersinyal Jalan Pulo Wonokromo Kota Surabaya Menggunakan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023*. Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi, 1(3), 383–391.

Anggoro, Bondan.(2024). *Evaluasi Kinerja Simpang Dan Rencana Desain Geometrik Pada Simpang Polsek Karangploso Kabupaten Malang.* Student Journal GELAGAR

Adolph, R. (2016). *済無No Title No Title No Title*. 1–23.

Alhafiz, M. A. (2024). *Analisis hubungan kinerja simpang terhadap emisi gas buang kendaraan bermotor pada jalan simpang bersinyal di kota banjarmasin*. Teknik Sipil, 1-10.

Bina Marga Direktorat Jendral. (2023). *Panduan Kapasitas Jalan Indonesia 2023.* Panduan Kapasitas Jalan Indonesia, 68.

Bekti Pangestu, Yunar (2023) *Analisis Kinerja Simpang Tidak Bersinyal Jl. Raya Wagir dan Jl. Raya Kebonagung Kabupaten Malang* . Student Journal GELAGAR

Daffa Habiballoh, M., Nainggolan, T. H., & Ma, A. (2023). *Evaluasi Kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal (Studi Kasus : Simpang Tiga Jl. Raya Mojokerto-Lamongan-Jl.Raya Gedeg-Ploso)*. Student Journal GELAGAR, 5(1), 1–9.

Firdausy, E. F., Utomo, D. M., & Hariyani, S. (2020). *Aktivitas transportasi yang mempengaruhi kadar co di udara pada kawasan perumahan sawojajar*. *Planning for Urban Region and Environment*, *9*(0341), 69–76.

James L. Pline. (1991). *Traffic Engineering Handbook*. Prentice Hall.USA

Kusnandar, M. (2020). *Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020. Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)*, 1–16.

Lalu, M., & Aplikasi, T. (2018). i (*Issue January*).

Morlok, Edward K diter: Ir. Johan Kelanaputra Hainim (1998). *Pengantar dan Perencanaan Transportasi*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

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

Putra, F. A., Herianto, D., Putra, S., & Sulistyorini, R. (2024). *Anlisis Kinerja Simpang Tiga Tak Bersinyal Jalan Lintas Barat Sumatera (Studi Kasus Jalan Ahmad Yani - Jalan Pemuda Pringsewu)*. Jurnal Momen Teknik Sipil, 7(1), 27.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No.14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta.

RA Dinasty Purnomoasri, et all. (2023). *Analisis Emisi CO dan NO2 pada Simpang Bersinyal bejen Kabupaten Karanganyar*. Journal of Tropical Environmental Research, 24-33.

Ruktiningsih, R. (2014). *Kajian Hubungan Volume Lalu LIntas Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan di Ruas Jalan Semarang Majapahit (Studi Kasus : Kadar CO dan PM10*. Semarang: Unika Soegijapranata.

Sari, et dkk. (2021). E*valuasi Kinerja Simpang Kaitannya dengan Emisi C02 Simpang Paal 10 JAmbi*. Jurnal Talenta Sipil, 149-154.