

Analisis Biaya Kemacetan Pada Simpang Jalan Raya Pos Pengumben Kota Jakarta Barat

Satria Setiawan¹⁾, Adita Utami^{1)*}

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Perencanaan Infrastruktur,
Universitas Pertamina, Jakarta Selatan, Indonesia
Email: adita.utami@universitaspertamina.ac.id

Received: 2025-03-11; Accepted: 2026-03-28; Published: 2026-03-31

Abstract

This study analyzes congestion costs at the intersection of Jl. Raya Pos Pengumben and Jl. Raya Sukabumi Selatan, frequently experiences traffic congestion, particularly during morning and evening rush hours. Traffic congestion at this location results in various negative impacts for road users, including prolonged travel times, increased risk of vehicle accidents, heightened air pollution, economic losses, and additional Vehicle Operational Costs (VOC) costs. The primary objectives of this study are to assess the degree of traffic saturation at the intersection, calculate the existing Vehicle Operational Costs (VOC), and estimate the overall congestion cost. The study methodology follows the 2023 Road Capacity Guidelines (PKJI) and the 1997 LAPI-ITB Method. The findings indicate that peak traffic occurs between 17:30 and 18:30 WIB, with a travel speed of 11.2 km/h on the East approach and a traffic volume of 2,563 vehicle/hour. The degree of saturation at this intersection is measured at 0.517, corresponding to a Level C road service classification. Furthermore, the total congestion costs were analyzed based on Vehicle Operating Costs (BOK) and time valuation. The results show the following congestion costs for different approaches North approach Rp 5,538.92, South approach: Rp 5,614.19, East approach: Rp 5,441.09, and West approach: Rp 5,104.10. These findings provide valuable insights into the economic impact of traffic congestion in the study area and can serve as a basis for future traffic management strategies.

Keywords: Congestion; Vehicle Operational Costs; Congestion Costs; Degree of Saturation.

Abstrak

Penelitian ini menganalisis biaya kemacetan di persimpangan Jl. Raya Pos Pengumben dan Jl. Raya Sukabumi Selatan, yang sering mengalami kemacetan lalu lintas, terutama pada jam sibuk pagi dan sore hari. Kemacetan lalu lintas di lokasi ini menimbulkan berbagai dampak negatif bagi pengguna jalan, termasuk waktu tempuh yang lebih lama, peningkatan risiko kecelakaan kendaraan, peningkatan polusi udara, kerugian ekonomi, serta tambahan biaya yang terkait dengan Biaya Operasional Kendaraan (BOK). Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menilai tingkat kejenuhan lalu lintas di persimpangan tersebut, menghitung Biaya Operasional Kendaraan (BOK) yang ada, serta memperkirakan total biaya kemacetan. Metodologi penelitian ini mengikuti Panduan Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 dan Metode LAPI-ITB 1997. Hasil penelitian menunjukkan bahwa puncak lalu lintas terjadi antara pukul 17.30 hingga 18.30 WIB, dengan kecepatan perjalanan sebesar 11,2 km/jam pada pendekatan timur dan volume lalu lintas mencapai 2.563 smp/jam. Tingkat kejenuhan di persimpangan ini diukur sebesar 0,517, yang diklasifikasikan dalam tingkat pelayanan jalan kategori C. Selanjutnya, total biaya kemacetan dianalisis berdasarkan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dan penilaian waktu. Hasilnya menunjukkan biaya kemacetan pada berbagai pendekatan sebagai berikut: Pendekatan utara: Rp 5.538,92, Pendekatan selatan: Rp 5.614,19, Pendekatan timur: Rp 5.441,09, dan Pendekatan barat: Rp 5.104,10. Temuan ini memberikan wawasan yang berharga mengenai dampak ekonomi dari kemacetan lalu lintas di area studi dan dapat menjadi dasar bagi strategi manajemen lalu lintas di masa depan..

Kata Kunci: Kemacetan; Biaya Operasional Kendaraan; Biaya Kemacetan; Derajat Kejenuhan.

PENDAHULUAN

Simpang Jalan Raya Pos Pengumben, Kota Jakarta Barat adalah simpang jalan yang memiliki tingkat kepadatan kendaraan di Jakarta yang terletak di Jakarta Barat dengan tipe jalan mayor 4/2 T dan jalan minor 2/2 TT. Simpang ini merupakan simpang bersinyal yang memiliki volume lalu lintas yang padat dan sering mengalami kemacetan di waktu tertentu terutama pada jam berangkat kerja dan pulang kerja. Persimpangan ini berlokasi di wilayah Kota Jakarta Barat bertepatan di Jalan Raya Pos Pengumben yang berdekatan dengan Halte TransJakarta Pos Pengumben, Jakarta Barat. Area yang dilalui persimpangan tersebut merupakan daerah komersial

dimana terdapat pusat perbelanjaan, Kantor Kelurahan Sukabumi Selatan, Kantor Kelurahan Kelapa Dua, Kantor BPJS Kesehatan Cabang Jakarta Barat, dan perumahan penduduk. Kemacetan pada simpang ini menyebabkan penurunan tingkat pelayanan ruas jalan pada persimpangan dan mengganggu aktivitas masyarakat. Penurunan tingkat pelayanan jalan akan menyebabkan arus kendaraan semakin banyak sehingga akan meningkatkan kemacetan yang terjadi serta menimbulkan kerugian ekonomi bagi pemerintahan (Syawaluddin Effendi Lubis, 2021).

Kemacetan merupakan kondisi atau keadaan yang terjadi di suatu atau beberapa ruas lalu lintas jalan dimana arus kendaraan atau mobilitas kendaraan bergerak

sangat lambat tidak semestinya hingga terjadi stagnan/terhenti, hal ini disebabkan oleh ketidakseimbangan antara jumlah penduduk dengan pertambahan jumlah kendaraan bermotor dengan ketersediaan jalan raya yang tersedia, sehingga menyebabkan terganggunya arus atau aktivitas pemakai dan pengguna Jalan (Suherdianto, 2012). Kerugian ekonomi yang disebabkan oleh kemacetan menyebabkan penggunaan jumlah BBM (Bahan Bakar Minyak) menjadi lebih banyak dan waktu tempuh yang semakin lama. Nilai kerugian ekonomi yang disebabkan oleh kemacetan lalu lintas di DKI Jakarta mencapai Rp 65 triliun per tahun. Kerugian tersebut dihitung dari pemborosan energi yaitu BBM yang digunakan kendaraan bermotor menjadi lebih banyak untuk jarak yang tetap. Selain itu menurut kajian Badan Pengelola Transportasi Jabodetabek (BPTJ) Kementerian Perhubungan tahun 2021, bahwa kemacetan yang terjadi di daerah terpadat di Indonesia, Jakarta mengakibatkan kerugian ekonomi senilai Rp 71.4 triliun per tahun. Kerugian ini berasal dari pemborosan BBM dan menurunnya produktivitas karena hilangnya waktu masyarakat selama terjebak macet (Sulistiyono, 2022).

Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja simpang Jalan Raya Pos Pengumben, menghitung biaya operasional kendaraan, dan menghitung besarnya potensi biaya kemacetan pada simpang jalan tersebut. Hasil yang didapatkan diharapkan dapat menjadi evaluasi untuk mengembangkan ilmu di bidang transportasi yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

KAJIAN PUSTAKA

Volume Lalu Lintas (Q)

Volume lalu lintas adalah banyaknya kendaraan yang melintas pada suatu ruas jalan dalam waktu tertentu (PKJI, 2023). Jenis kendaraan pada volume lalu lintas antara lain Mobil Penumpang (MP), Kendaraan Sedang (KS), dan Sepeda Motor (SM).

Arus Jenuh (J)

Arus jenuh merupakan hasil perkalian antara arus jenuh dasar (J_0) dengan faktor-faktor koreksi untuk penyimpangan kondisi eksisting terhadap kondisi ideal (PKJI, 2023). Untuk menghitung arus jenuh dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$J = J_0 \times F_{HS} \times F_{UK} \times F_G \times F_P \times F_{BK_i} \times F_{BK_a} \quad (1)$$

- J = Arus jenuh (smp/jam)
- J_0 = Arus jenuh dasar (smp/jam)
- F_{HS} = Faktor koreksi hambatan samping
- F_{UK} = Faktor koreksi ukuran kota
- F_G = Faktor koreksi kelandaian memanjang pendekat
- F_P = Faktor koreksi jarak garis henti pada mulut pendekat terhadap kendaraan yang parkir pertama.
- F_{BK_i} = Faktor koreksi belok kiri
- F_{BK_a} = Faktor koreksi belok kanan

Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Waktu siklus merupakan waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus dalam sistem isyarat lampu lalu lintas. Waktu isyarat terdiri dari waktu siklus (s) dan waktu hijau (W_H). Penentuan waktu siklus dapat menggunakan rumus

Webster (1966), dengan tujuan meminimalkan tundaan total. Berikut adalah Tabel 1 waktu siklus yang disarankan.

Tipe Pengaturan	S yang layak (detik)
Pengaturan dua-fase	40-80
Pengaturan tiga-fase	50-100
Pengaturan empat-fase	80-130

Sumber: PKJI (2023)

Kapasitas Simpang

Kapasitas jalan adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat dilayani oleh ruas jalan pada waktu tertentu dengan tetap menjaga tingkat pelayanan yang dapat diterima. Kapasitas jalan terdiri dari kapasitas dasar dan kapasitas rencana. Pada kapasitas rencana dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor penyesuaian lebar jalur, faktor arah arus lalu lintas, faktor hambatan samping, dan faktor penyesuaian ukuran kota. Kapasitas jalan dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C = J \times \frac{W_H}{S} \quad (2)$$

Keterangan:

- C = Kapasitas simpang APILL (smp/jam)
- J = arus jenuh (smp/jam)
- W_H = Total waktu hijau dalam satu siklus (detik)
- S = Waktu siklus (detik)

Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan adalah rasio antara jumlah kendaraan yang melintas pada ruas jalan dengan kapasitas jalan tersebut. Derajat kejenuhan digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja ruas jalan yang dapat menggambarkan tentang tingkat pelayanan dari ruas jalan tersebut. Semakin tinggi nilai derajat kejenuhan maka jalan tersebut akan semakin padat, begitu pun sebaliknya. Menurut PKJI 2023 derajat kejenuhan didapatkan menggunakan persamaan berikut:

$$D_j = \frac{Q}{C} \quad (3)$$

- D_j = Derajat kejenuhan (%)
- Q = Volume arus lalu lintas (SMP/jam)
- C = Kapasitas segmen jalan (SMP/jam)

Tingkat Pelayanan Jalan (Level of Service)

Tingkat pelayanan jalan didefinisikan untuk mengetahui kualitas jalan yang dapat diterima oleh pengemudi kendaraan bermotor. Adapun kriteria jalan menurut MKJI 1997 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Tingkat Pelayanan Jalan

Derajat Kejenuhan (D _j)	Tingkat Pelayanan	Karakteristik Lalu Lintas
0-0.29	A	Arus bebas, volume rendah, kecepatan tinggi, kepadatan rendah
0.20-0.44	B	Arus Stabil dan mulai ada pembatasan kecepatan
0.45-0.69	C	Arus stabil, pergerakan dibatasi, dan tingginya volume lalu lintas
0.70-0.84	D	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan

0.85-1	E	mulai terganggu kondisi jalan Terjadi kemacetan lalu lintas
>1	F	Sering terjadi kemacetan dan antrean panjang

Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997)

Hambatan Samping

Hambatan samping merupakan hambatan terhadap kinerja lalu lintas dari aktivitas samping jalan, seperti pejalan kaki, kendaraan masuk, dan keluar sisi jalan, dan kendaraan bergerak lambat. Hambatan samping dapat mengakibatkan pengurangan kecepatan rata-rata yang secara langsung berpengaruh terhadap kinerja lalu lintas (Cici N. N. Tahir, 2022). Oleh karena itu, hambatan samping penting untuk dipertimbangkan dalam perencanaan desain jalan dan memastikan bahwa hambatan samping telah memenuhi standar keselamatan yang berlaku.

Kecepatan Kendaraan (V)

Pada perhitungan kecepatan terdapat 2 perhitungan, yaitu sebagai berikut:

1. Perhitungan Kecepatan Tempuh (V_T)

Kecepatan tempuh adalah kecepatan rata-rata suatu kendaraan dalam jarak persatuan waktu. Kecepatan tempuh dapat digunakan untuk mengukur kualitas perjalanan bagi pengguna kendaraan. Menurut PKJI 2023, kecepatan tempuh didapatkan menggunakan persamaan berikut:

$$W_T = \frac{P}{V_T} \quad (4)$$

Keterangan:

W_T = Waktu tempuh rata-rata kendaraan (jam)

P = Panjang segmen (Km)

V_T = Kecepatan tempuh kendaraan (Km/jam)

2. Perhitungan Kecepatan Arus Bebas (V_B)

Kecepatan arus bebas adalah kecepatan maksimum yang dapat dicapai oleh kendaraan tanpa dipengaruhi oleh kendaraan lain. Menurut PKJI 2023, besar kecepatan arus bebas dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_B = (V_{BD} + V_{BL}) \times FV_{BHS} \times FV_{BUK} \quad (5)$$

Keterangan:

V_B = Kecepatan arus bebas (Km/jam)

V_{BD} = Kecepatan arus bebas dasar (Km/jam)

V_{BL} = Nilai koreksi kecepatan akibat lebar jalur atau lajur jalan

FV_{BHS} = Faktor koreksi kecepatan bebas akibat hambatan samping pada jalan

FV_{BUK} = Faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat ukuran kota

Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

Biaya operasional kendaraan merupakan biaya yang ekonomis yang terjadi dengan dioperasikannya suatu kendaraan dalam kondisi normal untuk tujuan tertentu. Perhitungan biaya operasional kendaraan (BOK) dapat

dihitung dengan menggunakan metode LAPI-ITB (1997) yang bekerja sama dengan KBK Rekayasa Transportasi (Alkas, 2017).

a. Biaya Konsumsi BBM

$$KBB = KBB \text{ dasar} \times (1 \pm (K_k + K_1 + K_r)) \quad (6)$$

$$\text{Biaya KKB} = KBB \times \text{Harga BBM} \quad (7)$$

Keterangan:

$$KBB \text{ dasar Kend. Gol. I} = 0.0284V^2 - 3.0644V + 141.68$$

K_k = Faktor koreksi akibat kelandaian

K_1 = Faktor koreksi akibat kondisi arus lalu lintas

K_r = Faktor koreksi akibat kekasaran jalan

V = Kecepatan kendaraan (Km/jam)

KBB & KBB dasar = Konsumsi bahan bakar (Liter/1000 Km)

b. Biaya Konsumsi Minyak Pelumas (oli)

$$\text{Konsumsi Pelumas} = \text{konsumsi pelumas dasar} \times F_k \quad (8)$$

$$\text{Biaya KBBmi} = KBBmi \times \text{Harga Pelumas} \quad (9)$$

Keterangan:

F_k = Faktor koreksi kekasaran

$KBBmi$ dasar = Konsumsi minyak pelumas (Liter/1000 Km)

c. Biaya Pemakaian Ban

$$BBi = BBi \text{ dasar} \times \text{harga ban} \quad (10)$$

Keterangan:

$$BBi \text{ dasar kend. Gol. I} = 0.0008848V - 0.0045333$$

d. Biaya Pemeliharaan

- Suku Cadang

$$Bpi = Bpi \text{ dasar} \times \text{harga kendaraan} \quad (11)$$

Keterangan:

$$Bpi \text{ dasar kend. Gol. I} = 0.0000064V + 0.0005567$$

- Montir

$$Bui = Bui \text{ dasar} \times \text{upah kerja montir per jam} \quad (12)$$

Keterangan:

$$BUi \text{ dasar kend. Gol. I} = 0.00362V + 0.36267$$

e. Biaya Penyusutan

$$\text{Biaya penyusutan} = \text{biaya penyusutan dasar} \times \frac{1}{2} \text{ harga kendaraan} \quad (13)$$

Keterangan:

$$\text{Biaya penyusutan kend. Gol. I} = 1/(2.5V + 125)$$

f. Bunga Modal

$$\text{Bunga modal } \textit{small car} = 0.10\% \times \text{harga kendaraan baru} \quad (14)$$

$$\text{Bunga modal } \textit{medium car} = 0.12\% \times \text{harga kendaraan baru} \quad (15)$$

g. Biaya Asuransi

$$\text{Biaya asuransi} = \text{biaya asuransi dasar} \times \text{harga kendaraan} \quad (16)$$

Keterangan:

$$\text{Biaya asuransi dasar kend. Gol. I} = 38/500V$$

h. Biaya Polusi Udara

$$\text{Beban Emisi} = V_{kt} \times FE \times 10^{-6} \quad (17)$$

$$\text{Biaya polusi} = \text{Beban emisi} \times \text{biaya polutan} \quad (18)$$

Keterangan:

V_{kt} = Total panjang perjalanan yang dilewati (Km)

FE = Faktor emisi (g/Km/kendaraan)

Berikut adalah Tabel 3 faktor emisi gas buang kendaraan menurut peraturan menteri lingkungan hidup No. 12 tahun 2010.

Tabel 3. Faktor Emisi Gas Buang

Kategori Kend.	Sepeda	Mobil	Mobil
----------------	--------	-------	-------

	Motor	Bensin	Solar
CO (g/km)	14	40	2.8
HC (g/km)	5.9	4	0.2
NOx (g/km)	0.29	2	3.5
PM ₁₀ (g/km)	0.24	0.01	0.53
CO ₂ (g/km)	3180	3180	3172
SO ₂ (g/km)	0.008	0.026	0.44

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup (2010)

Nilai Waktu (*Value of Time*)

Perhitungan nilai waktu bertujuan untuk mengetahui kehilangan biaya yang dikeluarkan setiap orang. Kehilangan waktu menyebabkan kerugian biaya atau uang dan juga waktu. Pada penelitian ini, dilakukan survei wawancara terlebih dahulu terhadap pengguna jalan pada simpang Jalan Raya Pos Pengumben-Jalan Raya Sukabumi Selatan guna mendapatkan nilai waktu berdasarkan penghasilan per bulan responden.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan pada simpang Jalan Raya Pos Pengumben-Jalan Raya Sukabumi Selatan, Jakarta Barat. Metode yang digunakan dalam analisis perhitungan kinerja simpang menggunakan metode PKJI 2023, metode untuk perhitungan biaya operasional kendaraan menggunakan metode LAPI ITB 1997. Langkah awal yang dilakukan ialah melakukan survei lalu lintas dengan merekam video lalu lintas selama 10 jam dengan 3 sesi yaitu sesi pagi, siang, dan sore-malam, lalu dilakukan perhitungan terhadap banyaknya kendaraan yang melintas pada simpang yang ditinjau. Alat yang digunakan untuk rekaman yaitu *handphone* penulis dan alat *counter* dengan interval selama 15 menit sehingga data yang didapatkan berupa volume lalu lintas. Selanjutnya dilakukan survei kelas hambatan sehingga didapatkan kelas hambatan samping. Selain itu, dilakukan survei kecepatan kendaraan, panjang antrian, dan wawancara guna mendapatkan pendapatan per bulan setiap responden yang melintasi simpang yang ditinjau. Kemudian dilakukan pengumpulan data yang diperoleh dari beberapa referensi dan instansi terkait yaitu berupa data geometrik simpang dan data harga satuan kendaraan. Selanjutnya dilakukan perhitungan dan analisis sehingga didapatkan hasil volume lalu lintas, kapasitas jalan, derajat kejenuhan, hambatan samping, tingkat pelayanan, dan Biaya Operasional Kendaraan (BOK).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geometrik Jalan

Data geometrik Simpang Jalan Raya Pos Pengumben didapatkan dengan cara survei langsung ke lokasi penelitian dan dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut:

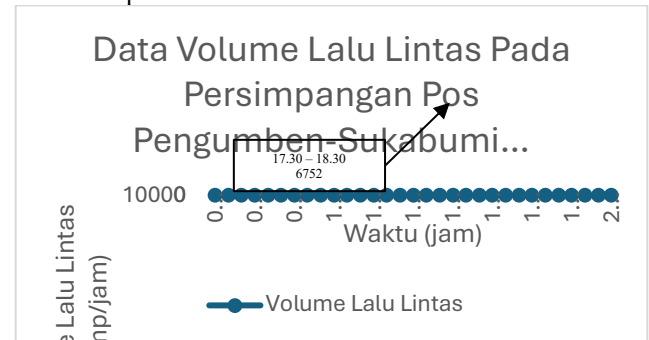
Tabel 4. Data Geometrik Simpang Jalan Raya Pos Pengumben

Tipe Jalan Mayor	4/2 T
Tipe Jalan Minor	2/2 TT
Jumlah Penduduk	2,611,515 Jiwa
Bahu Jalan Minor	1 m/ jalan
Lebar Trotoar Jalan Mayor	2 m/ jalan

Lebar Jalan Mayor	6 m
Lebar Jalan Minor	3 m

Volume Lalu Lintas (*Q*)

Hasil analisis pada perhitungan volume kendaraan pada simpang Jalan Raya Pos Pengumben dilakukan 3 sesi yaitu sesi pagi pada pukul 06:00 – 09:00 WIB, pada sesi siang pada pukul 11:00 – 14:00 WIB, dan pada sesi sore-malam pada pukul 17:00 – 21:00 WIB. Didapatkan waktu *peak hour* pada pukul 17:30 – 18:30 WIB sebesar 6752 smp/jam berdasarkan pada Gambar 1 Grafik hasil volume lalu lintas puncak.



Gambar 1. Grafik Volume Lalu Lintas Saat *Peak Hour*

Arus Jenuh

Perhitungan arus jenuh didapatkan dengan mengkalikan nilai arus dasar dengan faktor-faktor penyesuaian. Adapun hasil yang diperoleh seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Arus Jenuh

Lengan Simpang	(J ₀) smp/jam	Faktor Penyesuaian					F _p
		F _{HS}	F _{UK}	F _G	F _{BKI}	F _{BKa}	
Utara	1573	0.94	1	1	1	1	1
Selatan	1121	0.94	1	1	1	1	1
Timur	2751	0.94	1	1	1	1	1
Barat	3021	0.94	1	1	1	1	1

Lengan Simpang	(J) smp/jam
Utara	1479
Selatan	1054
Timur	2586
Barat	2840

Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Perhitungan waktu siklus pada penelitian ini dilakukan penyesuaian pada perhitungan waktu siklus karena simpang mengalami kondisi *early start*. Kondisi dimana terdapat salah satu simpang yang mengalami hijau bersamaan pada kedua lengan simpang. Hasil waktu siklus dan waktu hijau dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Lengan Simpang	Sebelum Penyesuaian		Setelah Penyesuaian	
	Waktu Siklus	Waktu Hijau	Waktu Siklus	Waktu Hijau
Utara	298	120.533	363.995	148.641
Selatan	298	120.533	363.995	148.641
Timur	109	53.964	363.995	200.354
Barat	109	53.964	363.995	200.354

Kapasitas Simpang

Kapasitas simpang adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat dilayani pada suatu bagian jalan pada saat tertentu yang dinyatakan dalam smp/jam. Hasil rekapitulasi kapasitas simpang diperoleh terdapat pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Rekapitulasi Kapasitas Simpang

Lengan Simpang	Kapasitas (smp/jam)
Utara	2837
Selatan	2022
Timur	4959
Barat	5446

Derajat Kejenuhan

Berikut merupakan hasil dari derajat kejenuhan pada simpang Jalan Raya Pos Pengumben-Jalan Raya Sukabumi Selatan.

Tabel 8. Rekapitulasi Derajat Kejenuhan Simpang

Lengan Simpang	Derajat Kejenuhan
Utara	0.240
Selatan	0.383
Timur	0.517
Barat	0.502

Didapatkan nilai derajat kejenuhan tertinggi sebesar 0.517, secara teoritis standar yang disarankan berada pada <0.85 dikatakan dalam keadaan macet, meskipun nilai Dj didapatkan di bawah standar akan tetapi kondisi nyata pada simpang menunjukkan sebaliknya dengan kondisi yang cukup jenuh dan dapat menyebabkan kemacetan. Oleh karena itu, untuk dapat membuktikan secara empiris, dilakukan perhitungan kecepatan tempuh dibandingkan dengan kecepatan arus bebas agar dapat menggambarkan bagaimana tundaan yang terjadi pada simpang.

Tingkat Pelayanan

Berikut merupakan hasil dari tingkat pelayanan pada simpang Jalan Raya Pos Pengumben-Jalan Raya Sukabumi Selatan berdasarkan derajat kejenuhan.

Tabel 9. Rekapitulasi Tingkat Pelayanan Simpang

Lengan Simpang	Tingkat Pelayanan
Utara	B
Selatan	B
Timur	C
Barat	C

Didapatkan tingkat pelayanan terburuk dengan tingkat pelayanan C. Hal ini menunjukkan bahwa simpang jalan tersebut memiliki pergerakan dibatasi dan tingginya volume lalu lintas yang dapat mengakibatkan kemacetan.

Kecepatan Kendaraan (V)

1. Kecepatan Tempuh

Kecepatan tempuh kendaraan dilakukan dengan metode travel speed yaitu mengikuti kendaraan yang melewati simpang dan mencatat kecepatan tempuhnya. Untuk memastikan bahwa keceootan yang didapatkan sesuai, maka dilakukan perhitungan dengan cara melakukan perekaman video langsung pada simpang menggunakan kamera yang telah diatur ketinggiannya agar dapat merekam arus lalu lintas pada sumpang. Selanjutnya di lapangan dilakukan

perhitungan jarak sepanjang 100 meter. Sehingga perhitungan kecepatan tempuh diperoleh dengan membagi antara jarak dibagi dengan waktu tempuh. Berikut hasil pengamatan atau survei dari waktu tempuh kecepatan pada kendaraan yang melewati simpang sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil Survei Waktu Tempuh Menggunakan *Travel Speed*

Lengan Simpang	Jarak (m)	Kecepatan (Km/jam)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
Utara	250	4	7	7	8	7	6.6
Selatan	250	5	7	6	7	7	6.4
Timur	350	9	9	14	11	13	11.2
Barat	350	16	12	15	9	10	12.4

Lengan Simpang	Jarak (m)	Waktu Tempuh (detik)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
Utara	250	181	113	114	107	116	126.2
Selatan	250	145	113	132	121	121	126.4
Timur	350	128	132	87	106	90	108.6
Barat	350	108	111	81	123	112	107

Didapatkan hasil waktu tempuh kendaraan tertinggi dari setiap lengan sebesar 12.4 Km/jam dan waktu terendah pada setiap lengan sebesar 6.4 Km/jam. Hasil ini menunjukkan bahwa kecepatan waktu tempuh lebih kecil dari hasil kecepatan arus bebas pada simpang yang ditinjau.

2. Kecepatan Arus Bebas

Kecepatan arus bebas pada simpang dihitung untuk mengetahui kecepatan ideal pada kondisi normal. Berikut hasil perhitungan kecepatan arus bebas pada simpang yang ditinjau.

Tabel 11. Rekapitulasi Kecepatan Arus Bebas Simpang

Keterangan	Utara	Selatan	Timur	Barat
V _{BD}	42	42	57	57
V _{BL}	-3	-3	-4	-4
FV _{BHS}	0.93	0.93	0.99	0.99
FV _{BUK}	0.93	0.93	0.93	0.93
V _B	33.7311	33.7311	48.7971	48.7971

$$V_B = (V_{BD} + V_{BL}) \times FV_{BHS} \times FV_{BUK}$$

$$= (42 + (-3)) \times 0.931 \times 0.93$$

$$= 33.7311 \text{ Km/jam}$$

Didapatkan kecepatan arus bebas kendaraan pada arah Utara sebesar 33.7311 Km/jam, pada arah Selatan sebesar 33.7311 Km/jam, pada Arah Timur sebesar 48.7971 Km/jam, dan pada arah Barat sebesar 48.7971 Km/jam.

Hambatan Samping

Didapatkan aktivitas hambatan samping pada simpang yang ditinjau seperti pejalan kaki, kendaraan umum dan kendaraan lainnya yang berhenti, kendaraan keluar atau masuk sisi atau lahan samping jalan, dan arus kendaraan lambat (kendaraan tak bermotor). Berikut hasil hambatan samping pada simpang yang ditinjau.

Tabel 12. Rekapitulasi Hambatan Samping

Tipe Kejadian Hambatan Samping	Jumlah	Bobot	Nilai	Total
Pejalan Kaki	636	0.5	318	429.5
Kendaraan umum dan kendaraan lainnya yang berhenti	19	1	19	

Kendaraan keluar/masuk sisi atau lahan samping jalan	59	0.7	41.3
Arus kendaraan lambat (kendaraan tak bermotor)	128	0.4	51.2

Didapatkan hasil hambatan samping sebesar 429.5. Nilai hambatan samping yang didapatkan berada pada rentang kelas hambatan samping sedang yaitu sebesar 300 sampai 499.

Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

Tabel 13 sampai Tabel 24 menunjukkan rekapitulasi hasil dari perhitungan komponen BOK menggunakan metode LAPI ITB 1997 pada simpang yang ditinjau berdasarkan jenis kendaraan LCGC, MPV, dan SUV. Hasil perhitungan BOK pada kecepatan tempuh dan kecepatan arus bebas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 13. Rekapitulasi BOK Mobil LCGC Toyota Agya pada Arah Utara

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
6.6	Rp2,359.46	Rp611.20	Rp0.87	Rp102.36	Rp10.01
33.7311	Rp1,358.22	Rp534.80	Rp16.83	Rp132.03	Rp12.55

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
6.6	Rp603.89	Rp170.90	Rp1,967.94	Rp10,711.23	Rp16,537.85
33.7311	Rp408.21	Rp170.90	Rp385.06	Rp10,711.23	Rp13,729.84

Tabel 14. Rekapitulasi BOK Mobil MPV Toyota Avanza pada Arah Utara

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
6.6	Rp2,359.46	Rp352.00	Rp0.89	Rp143.57	Rp10.01
33.7311	Rp1,358.22	Rp308.00	Rp17.21	Rp185.19	Rp12.55

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
6.6	Rp847.00	Rp287.64	Rp2,760.18	Rp10,711.23	Rp17,471.97
33.7311	Rp572.55	Rp287.64	Rp540.07	Rp10,711.23	Rp13,992.66

Tabel 15. Rekapitulasi BOK Mobil SUV Fortuner pada Arah Utara

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
6.6	Rp2,650.98	Rp281.60	Rp4.18	Rp343.61	Rp10.01
33.7311	Rp1,526.03	Rp246.40	Rp81.00	Rp443.23	Rp12.55

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
6.6	Rp2,027.21	Rp688.44	Rp6,606.24	Rp10,588.02	Rp23,200.29
33.7311	Rp1,370.34	Rp688.44	Rp1,292.61	Rp10,588.02	Rp16,248.63

Tabel 16. Rekapitulasi BOK Mobil LCGC Toyota Agya pada Arah Selatan

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
6.4	Rp2,369.83	Rp611.20	Rp0.75	Rp102.14	Rp9.99
33.7311	Rp1,358.22	Rp534.80	Rp16.83	Rp132.03	Rp12.55

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
6.4	Rp606.03	Rp170.90	Rp2,029.44	Rp10,711.23	Rp16,611.50
33.7311	Rp408.21	Rp170.90	Rp385.06	Rp10,711.23	Rp13,729.84

Tabel 17. Rekapitulasi BOK Mobil MPV Toyota Avanza pada Arah Selatan

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
6.4	Rp2,369.83	Rp352.00	Rp0.77	Rp143.26	Rp9.99
33.7311	Rp1,358.22	Rp308.00	Rp17.21	Rp185.19	Rp12.55

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
6.4	Rp850.00	Rp287.64	Rp2,846.44	Rp10,711.23	Rp17,571.15
33.7311	Rp572.55	Rp287.64	Rp540.07	Rp10,711.23	Rp13,992.66

Tabel 18. Rekapitulasi BOK Mobil SUV Fortuner pada Arah Selatan

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
6.4	Rp2,662.62	Rp281.60	Rp3.61	Rp342.88	Rp9.99
33.7311	Rp1,526.03	Rp246.40	Rp81.00	Rp443.23	Rp12.55

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
6.4	Rp2,034.40	Rp688.44	Rp6,812.69	Rp10,588.02	Rp23,424.25
33.7311	Rp1,370.34	Rp688.44	Rp1,292.61	Rp10,588.02	Rp16,248.63

Tabel 19. Rekapitulasi BOK Mobil LCGC Toyota Agya pada Arah Timur

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
11.2	Rp2,133.10	Rp611.20	Rp3.58	Rp107.39	Rp10.44
48.7971	Rp1,149.44	Rp515.70	Rp25.70	Rp148.51	Rp13.96

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
11.2	Rp558.50	Rp170.90	Rp1,159.68	Rp10,711.23	Rp15,466.01
48.7971	Rp345.96	Rp170.90	Rp266.17	Rp10,711.23	Rp13,347.58

Tabel 20. Rekapitulasi BOK Mobil MPV Toyota Avanza pada Arah Timur

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
11.2	Rp2,133.10	Rp352.00	Rp3.66	Rp150.62	Rp10.44
48.7971	Rp1,149.44	Rp297.00	Rp26.28	Rp208.30	Rp13.96

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
11.2	Rp783.33	Rp287.64	Rp1,626.54	Rp10,711.23	Rp16,058.56
48.7971	Rp485.24	Rp287.64	Rp373.33	Rp10,711.23	Rp13,552.41

Tabel 21. Rekapitulasi BOK Mobil SUV Fortuner pada Arah Timur

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
11.2	Rp2,396.65	Rp281.60	Rp17.20	Rp360.50	Rp10.44
48.7971	Rp1,291.46	Rp237.60	Rp123.66	Rp498.55	Rp13.96

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
11.2	Rp1,874.84	Rp688.44	Rp3,892.96	Rp10,588.02	Rp20,110.66
48.7971	Rp1,161.37	Rp688.44	Rp893.52	Rp10,588.02	Rp15,496.58

Tabel 22. Rekapitulasi BOK Mobil LCGC Toyota Agya pada Arah Barat

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
12.4	Rp2,077.85	Rp611.20	Rp4.28	Rp108.70	Rp10.55
48.7971	Rp1,149.44	Rp515.70	Rp25.70	Rp148.51	Rp13.96

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
12.4	Rp547.76	Rp170.90	Rp1,047.45	Rp10,711.23	Rp15,289.92
48.7971	Rp345.96	Rp170.90	Rp266.17	Rp10,711.23	Rp13,347.58

Tabel 23. Rekapitulasi BOK Mobil MPV Toyota Avanza pada Arah Barat

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
12.4	Rp2,077.85	Rp352.00	Rp4.38	Rp152.46	Rp10.55
48.7971	Rp1,149.44	Rp297.00	Rp26.28	Rp208.30	Rp13.96

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
12.4	Rp768.27	Rp287.64	Rp1,469.13	Rp10,711.23	Rp15,833.51
48.7971	Rp485.24	Rp287.64	Rp373.33	Rp10,711.23	Rp13,552.41

Tabel 24. Rekapitulasi BOK Mobil SUV Fortuner pada Arah Barat

Kecepatan (Km/jam)	Konsumsi BBM (Rp/Km)	Konsumsi Minyak Pelumas (Rp/Km)	Konsumsi Ban (Rp/Km)	Biaya Suku Cadang (Rp/Km)	Biaya Montir (Rp/Km)
12.4	Rp2,334.57	Rp281.60	Rp20.60	Rp364.91	Rp10.55
48.7971	Rp1,291.46	Rp237.60	Rp123.66	Rp498.55	Rp13.96

Kecepatan (Km/jam)	Biaya Penyusutan (Rp/Km)	Bunga Modal (Rp/Km)	Biaya Asuransi (Rp/Km)	Biaya Polusi (Rp/Km)	BOK (Rp/Km)
12.4	Rp1,838.78	Rp688.44	Rp3,516.23	Rp10,588.02	Rp19,643.71
48.7971	Rp1,161.37	Rp688.44	Rp893.52	Rp10,588.02	Rp15,496.58

Nilai Waktu (Value of Time)

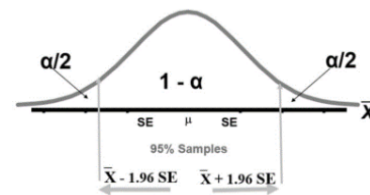
Untuk penentuan nilai waktu, dilakukan wawancara terhadap 58 responden. Metode yang digunakan adalah purposive sampling dengan kriteria: responden melewati simpang dengan frekuensi minimal 3 kali dalam seminggu serta tujuan melewati simpang untuk bekerja. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh nilai waktu berdasarkan pendapatan per bulan setiap responden dapat dilihat pada Tabel 25 berikut.

Tabel 25. Rekapitulasi Pendapatan per Bulan Pengguna Jalan dan Nilai Waktu per Jam

Pendapatan Per Bulan	Jumlah	Persentase	Nilai Waktu/jam
Rp1,000,000.00	1	1.72%	Rp6,593.41
Rp1,200,000.00	1	1.72%	Rp7,912.09
Rp1,500,000.00	2	3.45%	Rp9,890.11
Rp2,000,000.00	2	3.45%	Rp13,186.81
Rp2,500,000.00	1	1.72%	Rp16,483.52
Rp3,000,000.00	4	6.90%	Rp19,780.22
Rp4,000,000.00	2	3.45%	Rp26,373.63
Rp4,500,000.00	1	1.72%	Rp29,670.33
Rp5,000,000.00	10	17.24%	Rp32,967.03
Rp6,000,000.00	13	22.41%	Rp39,560.44

Rp7,000,000.00	9	15.52%	Rp46,153.85
Rp8,000,000.00	4	6.90%	Rp52,747.25
Rp9,000,000.00	4	6.90%	Rp59,340.66
Rp10,000,000.00	1	1.72%	Rp65,934.07
Rp12,000,000.00	1	1.72%	Rp79,120.88
Rp13,000,000.00	1	1.72%	Rp85,714.29
Rp14,000,000.00	1	1.72%	Rp92,307.69
Nilai waktu rata-rata berdasarkan pendapatan			Rp39,128.46

Didapatkan nilai waktu rata-rata dengan pendapatan per bulan responden yaitu sebesar Rp 39,128.46 /jam. Berdasarkan hasil tersebut, dilakukan pengujian hipotesis dengan uji statistik inferensial untuk mengetahui hasil perhitungan nilai waktu sudah akurat dan tepat. Uji statistik inferensial dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Uji Statistik Inferensial Nilai Waktu Perjalanan

Dari gambar didapatkan nilai waktu rata-rata berdasarkan penghasilan terletak di antara Rp34,550.95 dan Rp43,705.97. hasil ini dapat disimpulkan bahwa nilai waktu sebesar Rp39,128.46 dapat digunakan dalam perhitungan.

Kehilangan Biaya Akibat Kemacetan

Analisis biaya kemacetan dilakukan untuk mengukur besarnya kerugian pengguna jalan dari kemacetan yang disebabkan oleh kendaraan di suatu daerah atau kawasan tertentu. Sebelum didapatkan biaya kemacetan, terlebih dahulu menghitung nilai waktu. Berdasarkan perhitungan, didapatkan nilai waktu Kota Jakarta Barat adalah sebesar Rp 39,128.46 jam/ orang. Setelah didapatkan nilai waktu, selanjutnya dilakukan perhitungan biaya kemacetan. Berikut merupakan rekapitulasi kehilangan biaya akibat kemacetan jenis kendaraan LCGC, MPV, dan SUV yang melewati simpang Jalan Raya Pos Pengumben.

Tabel 26. Rekapitulasi Total Biaya Kemacetan Pada Setiap Lengan Simpang

Lengan Simpang	LCGC	MPV	SUV	Total
Utara	Rp1,568.21	Rp1,684.53	Rp2,286.18	Rp5,538.92
Selatan	Rp1,583.15	Rp1,703.89	Rp2,327.16	Rp5,614.19
Timur	Rp1,521.57	Rp1,635.38	Rp2,254.14	Rp5,411.09
Barat	Rp1,452.49	Rp1,551.93	Rp2,099.68	Rp5,104.10

Berdasarkan tabel di atas diperoleh total biaya kemacetan pada pendekatan arah Utara sebesar Rp5,538.92, pada pendekatan arah Selatan sebesar Rp5,614.19, pada pendekatan arah Timur sebesar Rp5,411.09, dan pada pendekatan arah Barat sebesar Rp5,104.10.

KESIMPULAN

Dari Hasil survei volume lalu lintas pada hari Kamis didapatkan *peak hour* pada pukul 17:30 – 18:30 dengan nilai derajat kejenuhan simpang pada arah Utara,

Selatan, Timur, dan Barat berturut-turut sebesar 0.240, 0.383, 0.517, dan 0.502. Dengan tingkat pelayanan simpang pada arah Utara, Selatan, Timur, dan Barat berturut-turut yaitu B, B, C, dan C. Hal ini disimpulkan bahwa simpang yang ditinjau memiliki Arus stabil, pergerakan dibatasi, dan tingginya volume lalu lintas. Walaupun tidak tergolong dalam macet, akan tetapi kondisi nyata pada simpang menunjukkan sebaliknya dengan kondisi yang cukup jenuh dan menyebabkan kemacetan.

Berdasarkan hasil analisis biaya operasional kendaraan didapatkan BOK tertinggi pada jenis kendaraan LCGC, MPV, dan SUV berturut-turut menggunakan metode LAPI ITB 1997 yaitu sebesar Rp16,611.50 pada arah Selatan dengan kecepatan tempuh 6.4 Km/jam, Rp17,571.15 pada arah selatan dengan kecepatan tempuh 6.4 Km/jam, dan Rp23.424.25 pada arah selatan dengan kecepatan tempuh 6.4 Km/jam.

Berdasarkan hasil analisis didapatkan total biaya akibat kemacetan pada simpang yang ditinjau berdasarkan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dan nilai waktu untuk pendekat arah Utara sebesar Rp5,538.92, pada arah Selatan sebesar Rp5,614.19, pada arah Timur sebesar Rp5,411.09, dan pada arah Barat sebesar Rp5,104.10.

Berdasarkan hasil analisis kinerja simpang, derajat kejenuhan, tingkat pelayanan, serta biaya kemacetan, implikasi kebijakan yang dapat diambil adalah perlunya optimalisasi manajemen lalu lintas simpang melalui penyesuaian waktu siklus sinyal dan penerapan *adaptive traffic signal control* terutama pada jam puncak (17:30–18:30) guna menurunkan kejenuhan dan meningkatkan kelancaran arus. Pendekat arah Selatan perlu menjadi prioritas penanganan karena memiliki derajat kejenuhan, kecepatan rendah, dan biaya operasional kendaraan (BOK) tertinggi, sehingga memerlukan intervensi berupa peningkatan kapasitas atau rekayasa lalu lintas. Selain itu, pengendalian permintaan lalu lintas melalui pembatasan kendaraan pribadi, peningkatan layanan transportasi umum, serta penerapan manajemen perjalanan menjadi penting untuk menekan beban lalu lintas. Temuan terkait besarnya biaya kemacetan juga menunjukkan bahwa indikator ekonomi seperti BOK dan nilai waktu perlu dijadikan dasar dalam penentuan prioritas investasi transportasi melalui pendekatan analisis biaya-manfaat. Lebih lanjut, implementasi sistem transportasi cerdas berbasis data real-time seperti CCTV dan sensor lalu lintas diperlukan untuk menjembatani kesenjangan antara kondisi kinerja teoritis dan kondisi aktual di lapangan, sehingga pengelolaan lalu lintas dapat dilakukan secara lebih adaptif dan efektif.

SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan untuk dijadikan referensi bagi peneliti selanjutnya adalah terkait perlu dilakukan survei kecepatan yang lebih akurat dengan menggunakan alat survei seperti *speed gun*, agar hasil dari survei kecepatan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Alkas, M. J. (2017). “Analisis Biaya Perjalanan Akibat Tundaan Lalu Lintas pada Perjalanan ke Pusat

Perbelanjaan Berbasis Rumah di Kota Samarinda”. Samarinda.

- Andrew A Walean, M. K. (2019). “Strategi Dinas Perhubungan dalam Mengatasi Kemacetan di Kota Manado Provinsi Sulawesi”. Manado, Sulawesi Utara: Universitas Sam Ratulangi.
- Azhar, R. F. (2022). “Analisis Biaya Kerugian Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Akibat Volume Lalu Lintas di Ruas Jalan Kota Bandar Lampung”. Bandar Lampung.
- Cici N. N. Tahir, L. I. (2022). “Analisis Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kinerja Lalu Lintas pada Jalan Satu Arah”. Manado, Sulawesi Utara: Universitas Sam Ratulangi.
- Hayati, F. M. (2013). “Biaya Kemacetan dan Polusi Karbon Monoksida pada Lalu Lintas Akibat Adanya Pembangunan Fly-Over”. Malang: Universitas Brawijaya.
- Jinca, A. S. (2012). “Kinerja Transportasi Penyeberangan Trans Maluku dalam Menunjang Aktivitas Sosial Ekonomi Masyarakat”. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Karels, D. W. (2018). “Indeks Permukaan Perkerasan Jalan di Kompleks Kampus Undana dengan Pemeriksaan Visual Menggunakan Metode PCI dan RCI”. Kupang: FST Undana.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2010). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah*. DKI Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Lerinsah Sinaga, T. L. (2019). “Evaluasi Geometrik Jalan Berdasarkan Standar Perencanaan Bina Marga”. Manado, Sulawesi Utara: Universitas Sam Ratulangi.
- Marga, D. J. (2021). *Pedoman Desain Geometrik Jalan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- MKJI. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- PKJI. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Praja, M. A. (2021). “Tinjauan Efektivitas Penerapan Simpang Bersinyal di Simpang By Pass Manggus Kota Bukittinggi”. Bukittinggi: Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.
- Setiawan, I. K. (2022). “Analisis Perbandingan dengan Pengaturan Tiga Fase Sinyal Lalu Lintas pada Simpang Jalan Gunung Sanghyang-Jl. Kesambi di Kabupaten Badung Sebelum dan Sesudah Covid-19”. Denpasar: Universitas Mahasaraswati Denpasar.
- Suherdiyanto, W. M. (2012). “Analisis Faktor Faktor Penyebab Kemacetan Lalu Lintas di Sepanjang Jalan H. Rais A Rahman (Sui Jawi) Kota Pontianak”. Pontianak: Jurnal Edukasi.
- Sulistyo. (2022). “Kemacetan Kendaraan Pengguna BBM Fosil dan Dampaknya Terhadap Kerugian Ekonomi dan Lingkungan”. Cepu, Jawa Tengah: PPSDM Migas.

- Syawaluddin Effendi Lubis, A. W. (2021). “Analisis Kinerja Ruas Jalan Luar Kota di Kabupaten Jombang”. Jawa Timur: Universitas Hasyim As’ary.
- Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan & Pemodelan Transportasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Thalib, M. T. (2018). “Analisis Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan Arus Lalu Lintas pada Ruas Jalan Prof. Dr. H. B. Jassin dengan Membandingkan Metode Greenshield dan Metode Greenberg”. Gorontalo: Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo Volume 6 No. 1, 61.
- Wibisana, H. (2007). “Studi Hubungan Arus Lalu Lintas di Ruas Jalan Rungkut Asri Kota Madya Surabaya dengan Metode Underwood”. Jawa Timur: Universitas Pembangunan Nasional Veteran.