

Journal homepage: <http://jos-mrk.polinema.ac.id/> ISSN: 2722-9203 (media online/daring)

ANALISIS KINERJA SIMPANG BERSINYAL DAN BIAYA OPERASIONAL KENDARAAN PADA JALAN GALUNGGUNG – JALAN RAYA TIDAR – JALAN BONDOWOSO, KOTA MALANG PROVINSI JAWA TIMUR

Hanafi Wahyu Wicaksono¹, Rinto Sasongko², Udi Subagyo³,

Mahasiswa, Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang^{2,3}

wicaksonohanafi@gmail.com, rinto.sasongko@polinema.ac.id, udi.subagyo@polinema.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan arus lalu lintas pada persimpangan jalan yang tidak memiliki infrastruktur yang memadai tentunya dapat menyebabkan kepadatan kendaraan pada setiap ruas simpang. Kepadatan kendaraan yang terjadi juga berdampak pada tingginya biaya operasional kendaraan yang melewati ruas simpang. Dalam laman *malangchannel.com* mencantumkan simpang bersinyal yang mempertemukan Jalan Galunggung, Jalan Raya Tidar dan Jalan Bondowoso menjadi salah satu titik rawan kemacetan di Kota Malang. Kepadatan kendaraan terjadi karena banyak kendaraan bermotor menuju ke area tersebut, dimana di area sekitar persimpangan tersebut terdapat pusat kegiatan seperti pertokoan, mall, kampus, dan lain-lain. Penelitian ini bertujuan untuk dapat mengetahui berapa besar tingkat kinerja simpang dan biaya operasional kendaraan yang melawati simpang kemudian dapat memberikan solusi terbaik agar dapat memperbaiki kinerja simpang dan mengurangi biaya kemacetan simpang. Data yang digunakan mencakup kondisi geometrik simpang, sinyal lalu-lintas, hambatan samping, volume lalu-lintas pada jam puncak, kecepatan rata-rata kendaraan pada jam puncak dan komponen biaya operasional kendaraan. Perhitungan kinerja simpang menggunakan MKJI 1997, biaya operasional kendaraan menggunakan *Pacific Consultant International (PCI)* dan biaya kemacetan simpang menggunakan Tzedakis 1980. Hasil perhitungan yang didapat menunjukkan bahwa kondisi eksisting simpang tersebut sudah melewati titik jenuh dengan tingkat pelayanan (LOS) simpang F dari tundaan rata-rata sebesar 1013,6 det/smp dan biaya kemacetan sebesar Rp 86.744.635/jam untuk kendaraan ringan (LV) dan Rp 15.424.569/jam untuk kendaraan berat (HV). Penerapan alternatif perbaikan dengan pengaturan ulang fase menjadi 2 dari 4 fase, penyesuaian geometrik jalan dan penambahan *flyover*, biaya kemacetan dapat dikurangi menjadi Rp 1.319.498 /jam untuk kendaraan ringan (LV) dan Rp. 231.244/jam untuk kendaraan berat (HV) dengan tingkat pelayanan simpang (LOS) B dari tundaan rata-rata sebesar 14,5 det/smp.

Kata kunci: Simpang bersinyal, tundaan kendaraan, kinerja simpang, biaya operasional kendaraan

ABSTRACT

Increased traffic flow at crossroads that doesn't have a suitable infrastructure can cause traffic jam. The traffic jam that occurs also has an impact on vehicle operating cost that passing through the intersection. On the page malangchannel.com, the intersection at Jalan Galunggung, Jalan Raya Tidar and Jalan Bondowoso is one of the points in Malang City that have high frequently traffic jams. Congestion occurs because there are many motorized vehicles across to the area, where the area around the location has a shops, malls, campuses, and others. This study aims to find how much the intersection Level Of Service (LOS) and the vehicle operating costs that passing through the intersection and give the best solution in order to improve the performance of the intersection and reduce the vehicle operating cost. The data used include the geometric of intersection, traffic signals, side friction, traffic volume during peak hours, average speed of vehicles during peak hours and components of vehicle operating costs. The calculation of intersection performance using MKJI 1997, vehicle operating costs using Pacific Consultant International (PCI) and intersection congestion costs using Tzedakis 1980. The calculation results show that the existing condition of the intersection has passed the saturation point with the service level (LOS) F of and the average vehicle delay 1013.6 sec / pcu and the congestion cost Rp. 86,744,635 / hour for light vehicles (LV). and IDR 15,424,569 / hour for heavy vehicles (HV). Alternative improvements of intersection by resetting the phases from 2 to 4, road geometric adjustment and adding the flyovers, the congestion costs can be reduced to Rp. 1,319,498 / hour for light vehicles (LV) and Rp. 231,244 / hour for heavy vehicles (HV) with the Level Of Service (LOS) B from average delay of vehicle 14.5 sec / pcu.

Keyword: Signalized intersection, vehicle delay, intersection performance, vehicle operational costs

1. PENDAHULUAN

Kota Malang merupakan kota pendidikan karena banyaknya perguruan tinggi negeri dan swasta yang ada di kota ini. Menurut laman *merdeka.com* terdapat setidaknya lebih dari 80 perguruan tinggi yang tersebar di seluruh wilayah Kota Malang. Hal ini menyebabkan jumlah populasi di kota ini semakin meningkat. Tingginya pertumbuhan populasi, kenaikan jumlah kendaraan bermotor di Kota Malang. Berdasarkan data dari BPS Kota Malang, dalam kurun waktu empat tahun terdapat penambahan 65.848 unit kendaraan bermotor atau rata-rata 16.462 unit kendaraan per tahun. Pertumbuhan angka kendaraan bermotor dengan fasilitas jalan yang kurang memadai berdampak pada kepadatan kendaraan di jalan, terutama pada pertemuan ruas persimpangan. Dalam laman *malangchannel.com* mencantumkan simpang bersinyal Jalan Galunggung - Jalan Raya Tidar - Jalan Bondowoso menjadi salah satu titik rawan terjadi kemacetan di Kota Malang. kemacetan terjadi karena banyak kendaraan bermotor menuju ke area tersebut, dimana di area sekitar persimpangan tersebut terdapat pusat kegiatan, seperti pertokoan, mall, kampus, dan lain-lain. Berdasarkan latar belakang masalah tersebut maka penulis melakukan penelitian agar dapat mengetahui tingkat kinerja dan biaya kemacetan simpang kemudian memberikan solusi terbaik agar dapat mengurangi biaya kemacetan pada simpang.

2. METODE

Dalam penelitian ini untuk memperoleh tingkat kinerja simpang menggunakan metode MKJI 1997 dengan data diperoleh dari survei langsung pada lapangan yaitu mencatat data geometrik simpang, pengaturan fase, waktu sinyal, arus lalu lintas, hambatan samping dan kecepatan kendaraan yang kemudian dimasukkan pada formulir. Setelah data eksisting diperoleh kemudian tahapan pengolahan data sesuai dengan prosedur MKJI 1997. Pengolahan data geometrik yaitu menentukan klasifikasi fungsi jalan, tipe jalan, kelandaian jalan dan tipe lingkungan jalan. Pengolahan data lalu lintas yaitu pengelompokan data volume kendaraan sesuai dengan golongan, penjumlahan data volume kendaraan menjadi smp/jam, penentuan volume kendaraan pada jam puncak dan membuat gambar arah pergerakan arus lalu lintas pada kondisi jam puncak. Pengolahan data hambatan samping yaitu penjumlahan data hambatan samping dan penentuan faktor hambatan samping. Pengolahan data fase dan waktu sinyal yaitu menggambar diagram fase dan waktu sinyal dan menghitung waktu siklus. Pengolahan data kecepatan kendaraan pada jam puncak dengan mengambil rata-rata kecepatan kendaraan pada setiap ruas simpang.

Setelah data telah diolah kemudian langkah perhitungan kinerja simpang menggunakan menggunakan formulir SIG-I, SIG-II, SIG-III, SIG-IV dan SIG-V pada MKJI 1997. Pada formulir SIG I akan dianalisis dengan mengisi kondisi geometrik jalan, pengaturan lalu - lintas dan kondisi lingkungan. Pada formulir SIG-II akan diisi dengan data arus lalu lintas. Pada formulir SIG-III akan diisi dengan data waktu antar hijau dan waktu hilang. Pada formulir SIG-IV akan diisi dengan data penentuan waktu sinyal dan kapasitas. Pada formulir SIG-V diisi tundaan, panjang antrian dan jumlah kendaraan terhenti pada simpang.

Langkah selanjutnya perhitungan biaya operasional kendaraan (BOK) kendaraan yang melewati simpang dengan metode *Pacific Consultant International* dengan cara menghitung konsumsi bahan bakar, oli mesin, biaya perawatan suku cadang, biaya mekanik, perhitungan depresiasi nilai kendaraan, biaya asuransi dan total BOK dari komponen – komponen tersebut.

Y = Beban biaya komponen BOK (Rupiah/1000km)

S = Kecepatan kendaraan (km/jam)

Pemakaian bahan bakar

LV : $Y = 0,05693 \times S^2 - 6,42593 \times S + 269,18576$

HV : $Y = 0,21692 \times S^2 - 24,15490 \times S + 954,78624$

Pemakaian Minyak Pelumas (Oli)

LV : $Y = 0,00037 \times S^2 - 0,04070 \times S + 2,20403$

HV : $Y = 0,00209 \times S^2 - 0,24413 \times S + 13,29445$

Pemakaian Ban

LV : $Y = 0,0008848 \times S - 0,0045333$

HV : $Y = 0,0012356 \times S - 0,00064667$

Biaya Suku Cadang

LV : $Y = 0,0000064 \times S + 0,0005567$

HV : $Y = 0,0000332 \times S + 0,0005567$

Biaya Mekanik/montir

LV : $Y = 0,00362 \times S + 0,36267$

HV : $Y = 0,02311 \times S + 1,97733$

Biaya Penyusutan (Depresiasi)

LV : $Y = 1 / 2,5 \times S - 100$

HV : $Y = 1 / 9,0 \times S - 315$

Bunga modal

LV : $Y = 150 / (500 \times S)$

HV : $Y = 150 / (2571,4287 \times S)$

Biaya Asuransi

LV : $Y = 38 / 500 \times S$

HV : $Y = 60 / (25 \times 1,4285 \times S)$

Setelah BOK simpang diperoleh kemudian menghitung biaya kemacetan simpang. Perhitungan biaya kemacetan menggunakan persamaan dari Tzedakis 1980 dengan cara memasukkan jumlah setiap jenis kendaraan (LV dan HV)

pada jam puncak. memasukkan biaya operasional setiap jenis kendaraan, memasukkan data rata-rata kecepatan kendaraan setiap lengan, menghitung kecepatan ideal kendaraan, menghitung nilai waktu kendaraan (menggunakan data PDRB, jumlah penduduk kota dan jam kerja efektif tahunan), memasukkan nilai tundaan simpang kondisi eksisting smp/detik kemudian dikonversi menjadi smp/jam dan menghitung nilai kemacetan kendaraan pada simpang.

$$C = N \left[GA + \left(1 - \frac{A}{B}\right) V \right] T$$

Keterangan:

C = Biaya Kemacetan (Rupiah),

N = Jumlah Kendaraan (Kendaraan),

G = Biaya Operasional Kendaraan (Rp/Kend.Km),

A = Kendaraan dengan Kecepatan eksisting (Km/Jam),

B = Kendaraan dengan Kecepatan Ideal (Km/Jam),

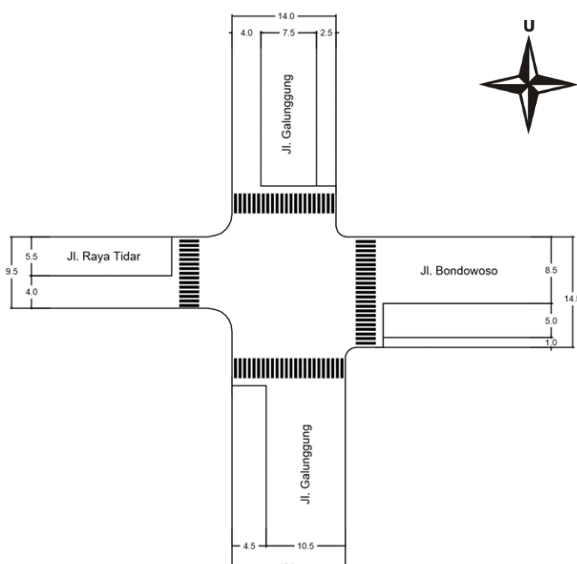
V = Nilai Waktu Perjalanan Kendaraan (Rp/Kend.Jam),

T = Jumlah Waktu Antrian (Jam).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari lapangan kemudian diolah agar dapat digunakan untuk tahapan perhitungan. Sketsa kondisi eksisting geometrik simpang bersinyal di Jl. Galunggung – Jl. Raya Tidar – Jl. Bondowoso Kota Malang dapat dilihat pada gambar 1 dan geometrik simpang kondisi eksisting pada tabel 1.

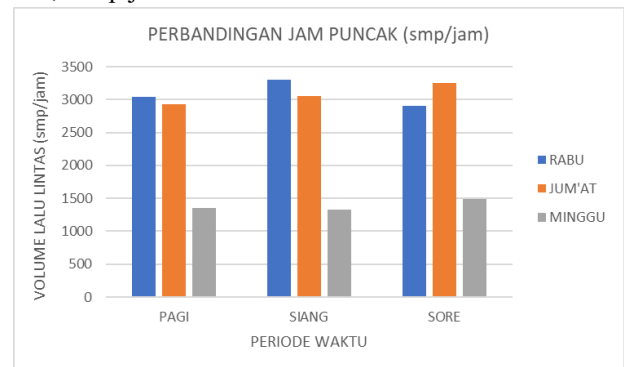


Gambar 1. Geomterik simpang kondisi eksisting

Tabel 1. Geometrik simpang kondisi eksisting

Kode Pen dekat	Nama Jalan	Lebar Jalan	Median (Ya/Tidak)	Tipe Jalan Persimpangan
Utara	Jl. Galunggung	15 m	Tidak	2/2 UD
Selatan	Jl. Galunggung	14 m	Tidak	2/2 UD
Timur	Jl. Raya Tidar	9,5 m	Tidak	2/2 UD
Barat	Jl. Bondowoso	14,5 m	Tidak	2/2 UD

Pengolahan data lalu lintas dengan cara dilakukan perbandingan jam puncak pagi, siang dan sore, selama 3 hari penelitian didapatkan jam puncak tertinggi simpang pada tanggal 15 Juli 2020 periode waktu siang selama pukul 13.30-14.30 WIB dengan volume arus lalu lintas sebesar 3303,5 smp/jam.



Gambar 2. Diagram perbandingan jam puncak

Perhitungan data hambatan samping pada simpang kondisi eksisting dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan kelas hambatan samping

Tipe Hambatan Samping	Faktor Bobot	Frekuensi Kejadian	Frekuensi Bobot
Pejalan kaki	0,5	121 /Jam, 200 m	60,5
Parkir, kendaraan berhenti	1	68 /Jam, 200 m	68
Kendaraan masuk & keluar	0,7	51 /Jam, 200 m	35,7
Kendaraan lambat	0,4	39 /Jam, 200 m	15,6

Total Frekuensi Bobot	179,8
Kelas Hambatan	L / rendah [100 - 299]
Samping	(Permukiman, angkutan umum, dll.)

Data kecepatan kendaraan diperoleh dari survei lapangan dengan menggunakan aplikasi *speed gun*. Data kecepatan kendaraan saat jam puncak yaitu yang diambil pada jam 13.30 – 14.30 pada simpang bersinyal kondisi eksisting kemudian diambil rata – rata kecepatan kendaraan setiap lengan simpang. Berikut kecepatan rata – rata kendaraan pada jam puncak:

Tabel 3. Kecepatan Rata-Rata Kendaraan

Lengan Simpang	Kecepatan Rata – Rata Kendaraan
Jl. Galunggung (Selatan)	27 Km/jam
Jl. Galunggung (Utara)	49 Km/jam
Jl. Raya Tidar (Barat)	38 Km/jam
Jl. Bondowoso (Timur)	27 Km/jam

b. Analisa Kinerja Simpang dan Biaya Kemacetan Pada Simpang Kondisi Eksisting.

Dari hasil perhitungan data eksisting simpang dengan menggunakan prosedur perhitungan MKJI 1997 nilai tundaan rata – rata belum memenuhi syarat yang telah ditentukan oleh PM No. 96 tahun 2015. Pada simpang kondisi eksisting tingkat pelayanan atau Level Of Service (LOS) F dengan nilai tundaan rata – rata 1013,6 det/kend. Untuk jalan kolektor sekunder tingkat pelayanan (LOS) yang di tentukan berdasarkan PM 96 Tahun 2015 minimum adalah C dengan tundaan lebih dari 15 sampai 25 det/kend. Berdasarkan nilai kinerja simpang bersinyal kondisi eksisting maka perlu dilakukan alternatif perbaikan lalu lintas agar dapat memperbaiki kualitas pelayanan simpang.

Tabel 4. Hasil analisa kinerja simpang kondisi eksisting

Kode Pende kat	Tipe Pende kat	C smp/ jam	DS = Q/C	QL (m)	Tundaan rata - rata (det/smp)	L O S
S	P	581,0	1,7	355,6		
U	P	998,0	0,7	27,0	1013,6	F
B	P/O	772,7	1,3	290,9		
T	O	413,9	2,0	266,7		

Hasil perhitungan seluruh komponen biaya operasional kendaraan menggunakan metode *Pacific Consultant International (PCI)* adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Total Komponen BOK Kendaraan Ringan (LV)

Lengan Simpang	Total BOK	Total BOK/Km
Jl. Galunggung (S)	Rp 5.549.344	Rp 5.549
Jl. Galunggung (U)	Rp 3.596.920	Rp 3.597
Jl. Raya Tidar (B)	Rp 4.329.403	Rp 4.329
Jl. Bondowoso (T)	Rp 5.511.535	Rp 5.512

Tabel 6. Total Komponen BOK Kendaraan Berat (HV)

Lengan Simpang	Total BOK	Total BOK/Km
Jl. Galunggung (S)	Rp 8.770.766	Rp 8.771
Jl. Galunggung (U)	Rp 6.806.199	Rp 6.806
Jl. Raya Tidar (B)	Rp 7.445.759	Rp 7.446
Jl. Bondowoso (T)	Rp 8.730.674	Rp 8.731

Hasil perhitungan Biaya Operasional Kendaraan kondisi eksisting digunakan juga untuk perhitungan biaya kemacetan kondisi simpang setelah penerapan alternatif perbaikan.

Perhitungan biaya kemacetan pada simpang menggunakan persamaan tzedakis 1980. Berikut contoh perhitungan biaya kemacetan kendaraan ringan (LV) pada Jl. Galunggung Selatan:

$$C = N \left[GA + \left(1 - \frac{A}{B} \right) V' \right] T$$

Keterangan :

N = Jumlah kendaraan : 515

G = Biaya operasional kendaraan : Rp 5.549 kend./jam

A = Kendaraan dengan kecepatan eksisting : 27 km/jam

B = Kendaraan dengan kecepatan ideal: 45,5 km/jam

V' = Nilai waktu perjalanan kendaraan: Rp 43.246 kend/jam

T = Jumlah waktu antrian : 0,282 smp/jam

$$C = 515 \left[5.549 \times 27 + \left(1 - \frac{27}{45,5} \right) \times 43.246 \right] \times 0,282$$

$$C = \text{Rp } 24.195.077 / \text{jam}$$

Berikut hasil keseluruhan perhitungan biaya kemacetan simpang pada kondisi eksisting:

Tabel 7. Biaya kemacetan simpang kondisi eksisting

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Total Biaya Kemacetan
LV	1820	Rp 86.744.638
HV	197	Rp 15.424.569

c. Analisa Kinerja Simpang dan Biaya Kemacetan Pada Simpang Kondisi Alternatif Perbaikan 1.

Dari hasil analisa data kinerja simpang dengan alternatif pengaturan ulang fase dan geometrik jalan dengan menggunakan prosedur perhitungan MKJI 1997 nilai tundaan rata – rata masih belum memenuhi syarat yang telah ditentukan oleh PM No. 96 tahun 2015. Pada simpang kondisi setelah penerapan alternatif penanganan pertama tingkat pelayanan atau level of service (LOS) F dengan nilai tundaan rata – rata 117,3 det/kend. Untuk jalan kolektor sekunder tingkan pelayanan (LOS) yang di tentukan berdasarkan PM 96 Tahun 2015 minimum adalah C dengan kondisi tundaan lebih dari 15 sampai 25 det/kend. Berdasarkan hasil dari kinerja simpang bersinyal pada kondisi penerapan alternatif pertama maka perlu dilakukan alternatif perbaikan lalu lintas lainnya agar dapat memperbaiki kualitas pelayanan simpang.

Tabel 8. Hasil analisa kinerja simpang alternatif 1

Kode Pende kat	Tipe Pende kat	C smp/ jam	DS = Q/C	QL (m)	Tundaan rata - rata (det/smp)	L O S
S	O	1084,0	0,98	228,6		
U	O	721,5	0,94	266,7	117,3	F
B	O	1035,3	0,82	363,6		
T	O	643,7	0,98	400,0		

Perhitungan biaya kemacetan pada simpang setelah penerapan alternatif perbaikan 1 menggunakan persamaan tzedakis 1980. Berikut contoh perhitungan biaya kemacetan kendaraan ringan (LV) pada Jl. Galunggung Selatan:

$$C = N \left[GA + \left(1 - \frac{A}{B}\right) V' \right] T$$

Keterangan :

N = Jumlah kendaraan : 515

G = Biaya operasional kendaraan : Rp 5.549 kend./jam

A = Kendaraan dengan kecepatan eksisting : 27 km/jam

B = Kendaraan dengan kecepatan ideal: 45,5 km/jam

V' = Nilai waktu perjalanan kendaraan: Rp 43.246 kend/jam

T = Jumlah waktu antrian : 0,033 smp/jam

$$C = 515 \left[5.549 \times 27 + \left(1 - \frac{27}{45,5}\right) \times 43.246 \right] \times 0,033$$

$$C = \text{Rp } 2.800.837 /\text{jam}$$

Berikut hasil keseluruhan perhitungan biaya kemacetan simpang pada kondisi penerapan alternatif 1 :

Tabel 9. Biaya kemacetan simpang kondisi alternatif 1

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Total Biaya Kemacetan
LV	1820	Rp 10.041.611
HV	197	Rp 1.785.557

d. Analisa Kinerja Simpang dan Biaya Kemacetan Pada Simpang Kondisi Alternatif Perbaikan 2.

Alternatif 2 menunjukkan bahwasannya dengan diterapkannya flyover dapat memecah kemacetan dan memperbaiki kinerja simpang bersinyal Jl. Galunggung – Jl. Raya Tidar – Jl. Bondowoso Kota Malang. Hal tersebut ditunjukkan dengan tingkat pelayanan B dengan besar tundaan 14,9 det/smp. Untuk jalan kolektor sekunder tingkan pelayanan (LOS) yang di tentukan berdasarkan PM 96 Tahun 2015 minimum adalah C dengan kondisi tundaan lebih dari 15 sampai 25 det/kend.

Tabel 10. Hasil analisa kinerja simpang alternatif 2

Kode Pende kat	Tipe Pende kat	C smp/ jam	DS = Q/C	QL (m)	Tundaan rata - rata (det/smp)	L O S
S	O	327,8	0,7	32,7		
U	O	247,7	0,5	22,2	14,9	B
B	O	1208,2	0,7	68,2		
T	O	751,2	0,8	80,0		

Perhitungan kemacetan pada simpang setelah penerapan alternatif 2 menggunakan persamaan tzedakis 1980. Berikut contoh perhitungan biaya kemacetan kendaraan ringan (LV) pada Jl. Galunggung Selatan:

$$C = N \left[GA + \left(1 - \frac{A}{B}\right) V' \right] T$$

Keterangan :

N = Jumlah kendaraan : 515

G = Biaya operasional kendaraan : Rp 5.549 kend./jam

A = Kendaraan dengan kecepatan eksisting : 27 km/jam

B = Kendaraan dengan kecepatan ideal: 54,5 km/jam

V' = Nilai waktu perjalanan kendaraan: Rp 43.246 kend/jam

T = Jumlah waktu antrian : 0,004 smp/jam

$$C = 515 \left[5.549 \times 27 + \left(1 - \frac{27}{54,5} \right) \times 43.246 \right] \times 0,004$$

$$C = \text{Rp } 365.259 / \text{jam}$$

Berikut hasil keseluruhan perhitungan biaya kemacetan simpang pada kondisi alternatif 2:

Tabel 11. Biaya kemacetan simpang kondisi alternatif 2

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Total Biaya Kemacetan
LV	1820	Rp 1.319.498
HV	197	Rp 231.244

4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian analisis kinerja simpang bersinyal yang dilakukan pada simpang bersinyal Jl. Galunggung – Jl. Raya Tidar – Jl. Bondowoso Kota Malang, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kinerja simpang bersinyal berdasarkan metode manual kapasitas jalan Indonesia 1997 pada kondisi eksisting diperoleh tundaan rata-rata simpang pada jam puncak sebesar 1013,6 detik/smp., sehingga dapat diketahui bahwa kinerja Simpang bersinyal Jl. Galunggung – Jl. Raya Tidar – Jl. Bondowoso Kota Malang tersebut tidak baik dan tidak sesuai dengan peraturan yang tertera pada Peraturan Menteri No. 96 tahun 2015 tentang klasifikasi jalan, dengan tingkat pelayanan jalan (LOS) dikategorikan pada tingkat F.
2. Biaya operasional kendaraan berdasarkan nilai kemacetan total di semua lengan untuk keadaan eksisting sebesar Rp 86.744.635/jam untuk kendaraan ringan (LV) dan Rp 15.424.569/jam untuk kendaraan berat (HV).
3. Penerapan alternatif 2 pengaturan ulang fase dan geometrik jalan serta penggunaan flyover dari arah selatan ke utara diperoleh tundaan rata-rata simpang sebesar 14,9 detik/smp., sehingga dapat diketahui bahwa standar tingkat pelayanan (*Level Of Service*) simpang yang mengacu pada PM No. 96 tahun 2015 telah tercapai yaitu dengan tingkat pelayanan B.
4. Biaya operasioanal kendaraan terhadap nilai kemacetan pada simpang setelah penerapan alternatif 2, nilainya dapat diperkecil menjadi Rp 1.319.498 /jam untuk kendaraan ringan (LV) dan Rp. 231.244/jam untuk kendaraan berat (HV).

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anonim. (2000). Metode Perhitungan Biaya Operasional Kendaraan. Pacific Consultant International (PCI).

[2] Bolla, M. E., Yappy, R. A., & Sir, T. M. (2017). Biaya Kemacetan Ruas Jalan Kota Kupang Ditinjau dari Segi Biaya Operasional Kendaraan. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 61-74.

[3] Clarkson, H., Oglesby, R., & Hicks, G. (1998). *Teknik Jalan Raya Edisi ke-4*. Jakarta: Erlangga.

[4] Djakfar, L., & Wicaksono, A. (2015). Manajemen Lalu Lintas Pada Simpang Borobudur Kota Malang. *Rekayasa Sipil*, 8(3), 166-173.

[5] Indonesia, M. K. J. (1997). Direktorat Jenderal Bina Marga. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

[6] Khisty, C. J., & Lall, B. K. (2005). *Dasar-dasar rekayasa transportasi*. Erlangga, Jakarta.

[7] Morlok Edward, K. (1991). *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*. (Terjemahan) Erlangga, Jakarta.

[8] Munawar, A. (2004). *Manajemen lalu lintas perkotaan*. Yogyakarta: Beta Offset.

[9] Peraturan Menteri Pehubungan Republik Indonesia. (2015). Nomor PM 96 Tahun 2015, Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen Lalu Lintas.

[10] Susanti, S., & Magdalena, M. (2017). Estimasi Biaya Kemacetan di Kota Medan. *Jurnal Transportasi Multimoda*, 13(1), 21-30.

[11] Tzedakis, A. (1980). Different vehicle speeds and congestion costs. *Journal of Transport Economics and Policy*, 81-1