

Analisis Biaya Akibat Kemacetan Menggunakan VISSIM 10 Pada Simpang APILL Pakualaman, Kota Yogyakarta, Yogyakarta

Analysis of Congestion Cost Using VISSIM 10 at Pakualaman Signalized Intersection, Kota Yogyakarta, Yogyakarta

Budi Suryo Wibowo, Noor Mahmudah, Muchlisin

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Semakin berkembangnya teknologi pada bidang transportasi mengakibatkan peningkatan pada penggunaan kendaraan pribadi oleh masyarakat. Bertambahnya pengguna kendaraan mengakibatkan kemacetan pada ruas jalan dan persimpangan. Salah satunya simpang APILL Pakualaman yang berada di Kota Yogyakarta yang sering mengalami kemacetan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kondisi eksisting, menganalisis biaya kemacetan, dan memberi alternatif solusi untuk meningkatkan kinerja simpang dan mengurangi biaya kemacetan. Metode yang digunakan untuk menganalisis kinerja simpang adalah software Vissim 10 dengan indikator nilai tundaan, antrian, tingkat pelayanan yang kemudian diperhitungkan untuk estimasi biaya kemacetan. Hasil yang didapat dari analisis kondisi eksisting yaitu tundaan rata-rata sebesar 96,41 detik/kendaraan, panjang antrian rata-rata 59,69 meter, dan tingkat pelayanan simpang (level of service) adalah F (sangat buruk). Biaya kemacetan pada kondisi eksisting adalah Rp. 2.835.134, -/jam. Alternatif solusi yang diberikan untuk meningkatkan kinerja simpang dan mengurangi biaya kemacetan yaitu, 1) Penambahan lajur jalan belok kiri jalan terus pada lengan utara dan selatan, dan 2) Pelebaran pada ruas jalan dan penambahan lajur belok kiri jalan terus pada lengan utara dan selatan. Hasil solusi yang terbaik adalah alternatif kedua dengan nilai tundaan rata-rata sebesar 85,75 detik/kendaraan, panjang antrian rata-rata 29,28 meter, dan tingkat pelayanan simpang (level of service) adalah F (sangat buruk) dengan biaya kemacetan turun menjadi Rp. 2.317.400, -/jam.

Kata kunci : Biaya Kemacetan, Vissim 10, Simpang APILL, Yogyakarta

Abstract. The development of transportation technology leads to the increasing of private vehicle uses. The increasing vehicle users causes congestion on each segment of roads and intersections which is one of them located at Pakualaman intersection of Yogyakarta city. The aims of this research are to reveal the condition existing, to analyze the cost of congestion, and to offer alternative solution to improve the intersection performance and to reduce the cost of congestion. The method used to analyze the performance of intersection is using Vissim 10 software to determine the value of delay, level of service and the cost of congestion. The results obtained for the existing condition is an average delay of 96,41 seconds/vehicle, the average of queue length is 59,69 meters, and the level of service is F (very bad). In addition, the congestion cost during the existing condition is Rp. 2.835.134, - / hour. The alternative solutions provided to improve the performance of intersections and to reduce the cost of congestion are: 1) Adding lane for turn left road continue on the north and south arms of the road, and 2) Widening the road segments and adding lane for turn left road continue on north and south arms. The best result of solution is alternative 2 with an average delay of 85,75 seconds / vehicle, the average of queue length is 29,28 meters, and the level of service is F (very bad) with congestion costs of Rp.2.317.400, - / hour.

Keywords: Congestion Cost, Vissim 10, Signalized Intersection, Yogyakarta

1. Pendahuluan

Semakin berkembangnya teknologi pada bidang transportasi banyak perusahaan yang saling bersaing untuk mengembangkan beberapa produk kendaraan yang memiliki spesifikasi yang cukup baik dan terjangkau oleh masyarakat. Pada tahun 2014-2016 jumlah kendaraan di Kota Yogyakarta selalu

mengalami peningkatan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik tahun 2016 kendaraan bermotor di Kota Yogyakarta sudah mencapai 491.805 unit. Meningkatnya jumlah kendaraan ini menimbulkan beberapa masalah yang terjadi di perkotaan, salah satunya adalah kemacetan. Kondisi ini terjadi peningkatan jumlah

kendaraan di jalan yang tidak sebanding dengan tingkat kapasitas jalan untuk kendaraan sehingga menimbulkan antrian.

Menurut Munawar (2005) sistem transportasi memiliki suatu tatanan terstruktur yang saling berkaitan satu sama lain antara variabel satu dengan variabel yang lain dalam suatu kegiatan perpindahan barang atau penumpang dari suatu tempat menuju tempat yang lain perpindahan inilah yang bisa mengakibatkan kemacetan. Kemacetan muncul karena volume lalu lintas yang melebihi kapasitas jalan atau simpang yang tersedia. Penambahan kendaraan ini menyebabkan tundaan dan menjadikan waktu perjalanan lebih lama serta mengakibatkan kenaikan biaya transportasi (Sugiyanto, 2011). Biaya kemacetan adalah biaya perjalanan yang diakibatkan oleh tundaan lalu lintas ataupun volume kendaraan yang mendekati atau melebihi kapasitas pelayanan jalan. Pada tahun 2011 Sugiyanto melakukan penelitian tentang biaya kemacetan bagi pengguna mobil di Kawasan Malioboro Yogyakarta. Penelitian yang serupa dilakukan oleh Caesariawan (2015), Hardiani (2015), Hamidi (2013), Sugiyanto (2012), Ritonga (2015), Basuki dan Siswandi (2008), Mahmudah (2017). Tingkat pelayanan adalah parameter untuk mengetahui kondisi operasional lalu lintas pada suatu ruas jalan. Tingkat pelayanan umumnya digunakan sebagai ukuran dari pengaruh yang membatasi akibat peningkatan volume setiap ruas jalan yang dapat digolongkan pada tingkat tertentu yaitu antara A sampai F (Wikrama, 2011).

Untuk mengetahui kinerja suatu simpang atau ruas jalan sering dilakukannya pemodelan yang dilakukan. Aryandi (2014) yang menggunakan *software Vissim* untuk menganalisis simpang bersinyal Mirota Kampus Terban Yogyakarta. Penelitian serupa dilakukan oleh Irawan (2015) dan Hormansyah (2016).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kondisi simpang APILL serta menghitung biaya kemacetan yang terjadi di simpang APILL. Kemudian, analisis yang di peroleh dapat untuk mencari alternatif solusi untuk meningkatkan kinerja simpang serta mengurangi biaya kemacetan yang terjadi.

Biaya Operasional Kendaraan

Biaya operasional kendaraan (BOK) adalah biaya yang timbul karena beroperasinya suatu kendaraan seperti biaya bahan bakar, oli, ban dan sebagainya. Biaya operasional berbanding terbalik dengan kecepatan. Beberapa faktor yang mempengaruhi suatu biaya operasional kendaraan yaitu kecepatan kendaraan, jenis kendaraan, geometrik jalan, kekasaran permukaan jalan, dan gaya mengemudi. Hasil penelitian Sugiyanto (2011) didapatkan grafik hubungan antara kecepatan dan biaya operasional kendaraan (BOK) dengan hasil akhir berupa nilai rupiah. Hasil dari grafik tersebut didapatkan persamaan:

$$\text{BOK} = 0,4937V^2 - 60,218V + 2991,9 \quad (1)$$

Kecepatan Kendaraan

Kecepatan adalah jarak tempuh suatu kendaraan dalam per satuan waktu. Biasanya dinyatakan dalam km/jam. Kecepatan eksisting (*spot speed*) merupakan kecepatan yang didapat dari hasil survei lapangan. Sedangkan kecepatan ideal (rencana) adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan yang memungkinkan kendaraan-kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lengang, dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti (Bina Marga, 1997).

Nilai Waktu Perjalanan

Sugiyanto (2010) nilai waktu dihitung dengan menggunakan studi *Indonesian Highway Capacity Manual (IHCM)* 1995 dengan dua pendekatan yang digunakan untuk menghitung nilai waktu yaitu berdasarkan Produk Domestik Bruto (PDB) dan berdasarkan tingkat kesejahteraan (*welfare maximation*). Dari dua pendekatan ini perbedaannya adalah metode tingkat kesejahteraan mengikut sertakan nilai waktu santai sedangkan metode PDB tidak mengikutsertakan waktu santai dalam analisis. Nilai waktu setiap jenis kendaraan berdasarkan hasil studi *IHCM* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai Waktu Per Jenis Kendaraan (IHCM 1995)

Jenis Kendaraan	Nilai waktu per kendaraan/jam (Rp)	
	PDB	welfare maximation
Sepeda Motor	315	736
Mobil	1.925	3.281
Bus Kecil	7.385	12.572
Bus Besar	9.800	18.212
Truk Kecil	4.970	5.605
Truk Sedang	4.970	5.605
Truk Besar	4.970	736

Biaya Kemacetan

Biaya kemacetan terjadi karena adanya kemacetan kendaraan pada suatu ruas atau simpang yang menimbulkan kerugian dalam bentuk material dan non material. Biaya kemacetan adalah biaya perjalanan yang diakibatkan oleh tundaan lalu lintas ataupun volume kendaraan yang mendekati atau melebihi kapasitas pelayanan jalan (Sugiyanto 2008). Dalam penelitian ini untuk menghitung biaya kemacetan menggunakan teori Tzedakis 1980 dengan asumsi model : a). Perbedaan tingkat kecepatan kendaraan (lambat dan cepat), b) Kecepatan tiap kendaraan tidak dibuat berdasarkan tingkat (keadaan) lalu lintas, c) Tidak menggunakan satuan masa penumpang, d) Biaya kemacetan cenderung nol jika kecepatannya sama, e) Mempertimbangkan kendaraan yang bersifat stokastik, dan f)Kendaraan tidak dapat saling mendahului. Rumus model

$$C = N * [G A + (1 - \frac{A}{B}) V'] T \quad (2)$$

Dimana :

C = Biaya Kemacetan (Rupiah/Jam)

N = Jumlah Kendaraan (Kendaraan/Jam)

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 Cepat (Rp/Kend.Jam)

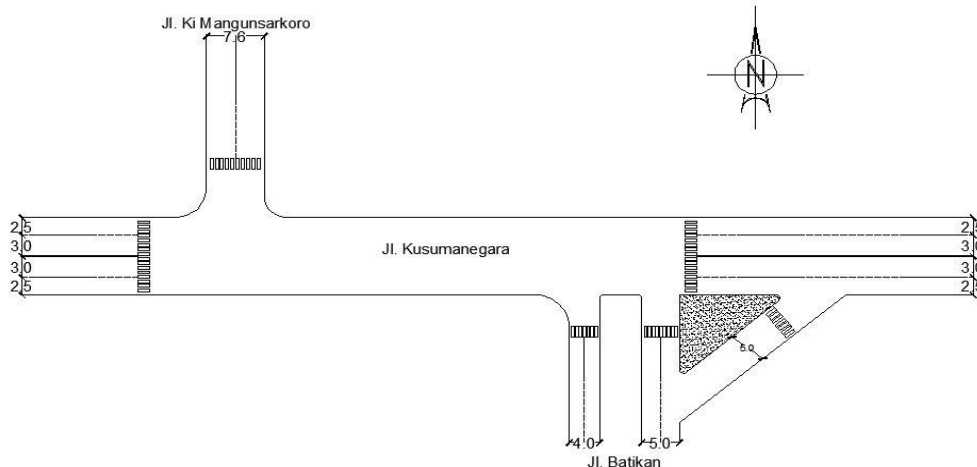
T = Waktu Antrian Kendaraan (Jam)

2. Metode Penelitian

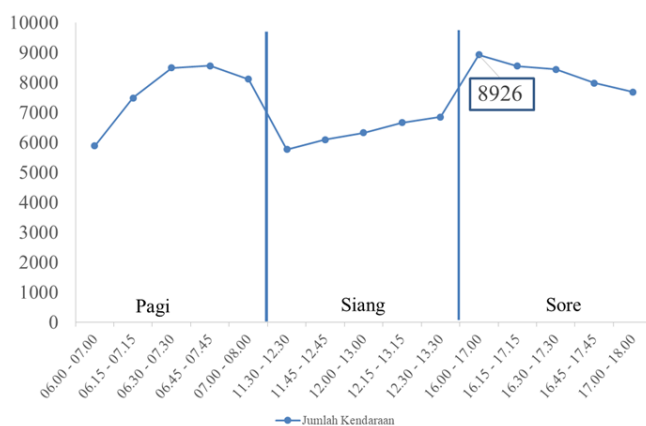
Metode penelitian yang digunakan adalah dengan pemodelan simpang APILL menggunakan *software Vissim 10*. Lokasi penelitian berada pada simpang APILL Pakualaman, Kota Yogyakarta, Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data survei kendaraan saat jam puncak (*peak hour*). Lokasi penelitian di simpang APILL Pakualaman jam puncak lalu lintas terjadi jam 16.00 – 17.00 WIB dengan kendaraan yang lewat mencapai 8926 kendaraan. Untuk melihat volume lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 1.

Dalam metode ini dibutuhkan data primer dan data sekunder. Data primer berupa data yang didapat dilapangan secara langsung seperti data geometrik simpang APILL yang ditunjukkan pada Gambar 2, kondisi lingkungan, kecepatan kendaraan, dan waktu siklus APILL. Sedangkan data sekunder didapat dari instansi-instansi atau penelitian sebelumnya. Data sekunder yang digunakan adalah data parameter *driving behavior* program *Vissim* untuk kondisi Indonesia.

Kemudian setelah diperoleh data primer dan sekunder dilakukanlah pemodelan dengan menggunakan *software Vissim 10*.



Gambar 2 Geometrik jalan simpang APILL Pakualaman



Gambar 1 Volume kendaraan simpang Pakualaman.

Jumlah Kendaraan

Jumlah kendaraan didapatkan dari jumlah volume kendaraan pada jam puncak dikurangi volume kendaraan hasil *output Vissim*. Hasil pengurangan tersebut kemudian dikali dengan nilai ekuivalen untuk merubah satuan dari kend/jam menjadi skr/jam. Jumlah kendaraan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Jumlah kendaraan

Lengan	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan Jam Puncak (kend/jam)	Jumlah Output Kendaraan (kend)	skr Terlindung	Jumlah Kendaraan Total (skr/jam)
Utara	KB	1	0	1.3	1.3
	KR	311	25	1	286
	SM	1515	142	0.15	205.95
Timur	KB	31	1	1.3	39
	KR	491	36	1	455
	SM	3070	191	0.15	431.85
Barat	KB	18	1	1.3	22.1
	KR	317	28	1	289
	SM	2017	209	0.15	271.2
Selatan	KB	3	0	1.3	3.9
	KR	184	15	1	169
	SM	903	121	0.15	117.3

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini untuk perhitungan biaya kemacetan menggunakan teori Tzedakis 1980 dengan menggunakan rumus pada persamaan 2. Variabel-variabel yang diperlukan untuk perhitungan diantaranya sebagai berikut.

Kecepatan Eksisting

Kecepatan eksisting didapat dari hasil survei pada jam puncak. Kecepatan eksisting digunakan untuk perhitungan biaya kemacetan dan kecepatan kendaraan di pemodelan *Vissim* 10.

Kecepatan Ideal

Kecepatan ideal yang digunakan dalam penelitian ini menurut Permen PU No.19 tahun 2011 kecepatan yang digunakan oleh jalan raya sebesar 60 km/jam

Nilai Waktu Perjalanan

Nilai waktu perjalanan yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan nilai kendaraan ringan Rp. 1.925.

Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

Perhitungan biaya operasional kendaraan digunakan persamaan 1. Hasil perhitungan untuk BOK pada tiap lengan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil perhitungan BOK

No	Lengan	BOK (Rp/Kend.Km)
1	Utara	1530.513742
2	Timur	1692.779077
3	Barat	1731.340714
4	Selatan	1621.013303

Jumlah Waktu Antrian

Jumlah waktu antrian didapat pada hasil *output* pemodelan *Vissim*. Jumlah waktu antrian pada tiap lengan dapat ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Waktu antrian

No.	Lengan	Waktu Antrian (detik)	Jumlah Waktu Antrian (Jam)
1	Utara	135,72	0,0377
2	Timur	77,96	0,0217
3	Barat	83,44	0,0232
4	Selatan	63,30	0,0176

Hasil analisis pemodelan dan perhitungan biaya kemacetan untuk kondisi eksisting dapat nilai tundaan rata-rata 96,41 detik/kendaraan, panjang antrian rata-rata 59,69 meter, tingkat pelayanan bernilai F dan biaya kemacetan mencapai angka Rp 2.835.134, -/jam. Untuk mengatasi kemacetan pada simpang APILL Pakualaman diberikan 2 alternatif solusi untuk meningkatkan kinerja simpang dan mengurangi biaya kemacetan. Dua alternatif tersebut diantaranya sebagai berikut.

Alternatif I

Pada alternatif I dibuat penambahan lajur belok kiri jalan terus sebesar 2,5 meter pada lengan utara dan selatan serta melebarkan lajur pada lengan utara sebesar 1 meter dan lengan selatan 1,5 meter, untuk geometrik jalan dapat dilihat pada Gambar 3.

Perhitungan biaya kemacetan, nilai variabel-variabel yang dibutuhkan sama dengan perhitungan pada kondisi eksisting akan tetapi untuk nilai pada jumlah kendaraan diperoleh dari jumlah kendaraan pada jam puncak dikurangi dengan jumlah kendaraan hasil *output* pada pemodelan. Hasil pengurangan tersebut kemudian dikali dengan nilai ekivalen untuk merubah satuan dari kend/jam menjadi skr/jam. Sedangkan jumlah waktu antrian didapatkan hasil *output* pada pemodelan alternatif I. Jumlah waktu antrian dan jumlah kendaraan dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

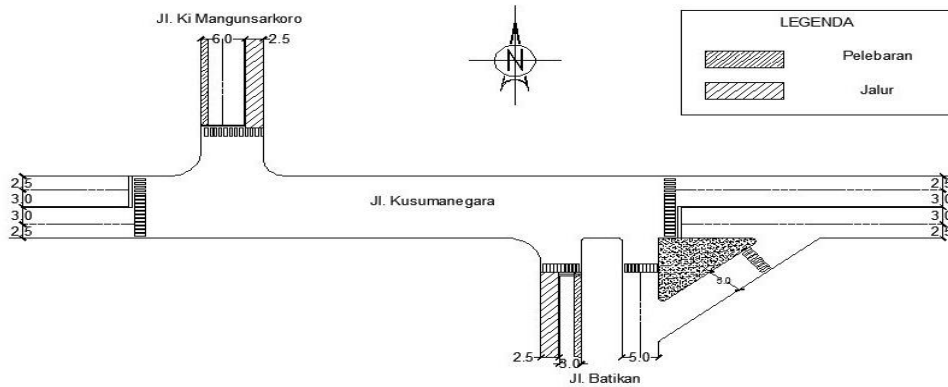
Tabel 5 Waktu antrian alternatif I

No.	Lengan	Waktu Antrian (detik)	Jumlah Waktu Antrian (Jam)
1	Utara	103,00	0,0286
2	Timur	84,67	0,0235
3	Barat	96,41	0,0268
4	Selatan	26,76	0,0074

Tabel 6 Jumlah kendaraan alternatif I

Lengan	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan Jam Puncak (kend/jam)	Jumlah Output Kendaraan (kend)	skr Terindung	Jumlah Kendaraan Total (skr/jam)
Utara	KB	1	0	1.3	1.3
	KR	311	26	1	285
	SM	1515	153	0.15	204.3
Timur	KB	31	1	1.3	39
	KR	491	41	1	450
	SM	3070	225	0.15	426.75
Barat	KB	18	1	1.3	22.1
	KR	317	20	1	297
	SM	2017	200	0.15	272.55
Selatan	KB	3	0	1.3	3.9
	KR	184	23	1	161
	SM	903	129	0.15	116.1

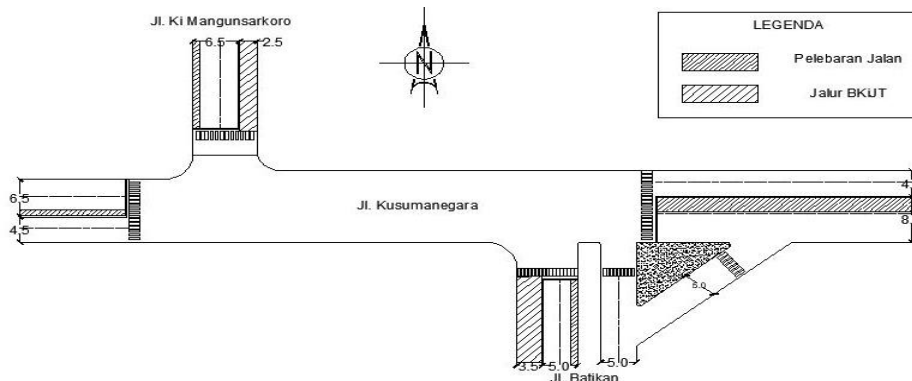
Hasil analisis pemodelan dan perhitungan biaya kemacetan untuk alternatif I dapat panjang antrian rata-rata berkurang menjadi 44,4 meter, tundaan rata-rata 91,19 detik/kendaraan. Akan tetapi untuk tingkat pelayanan tidak meningkat dari kondisi eksisting yang masih bernilai F. Untuk biaya kemacetan turun menjadi Rp 2.630.885, -/jam dibandingkan kondisi eksisting.



Gambar 3 Geometrik jalan alternatif I

Tabel 7 Alternatif II pelebaran tiap ruas lengan jalan

Lengan	Kondisi Eksisting				Perancangan Ulang			
	Pendekat (m)				Pendekat (m)			
	Lebar Pendekat (L)	Lebar Masuk (LM)	Lebar Keluar (LK)	Lebar BKiJT	Lebar Pendekat (L)	Lebar Masuk (LM)	Lebar Keluar (LK)	Lebar BKiJT
Utara	7,6	7,6	0	2,5	8,5	6,5	0	2,5
Timur	5,5	3	5,5	0	8	5,5	4,5	2,5
Barat	5,5	5,5	5,5	0	11	6,5	4,5	0
Selatan	4	4	5,5	0	8,5	5	5,5	3,5



Gambar 4 Geometrik jalan alternatif II

Alternatif II

Untuk alternatif II dilakukan pelebaran ruas pada tiap lengan jalan dan pembuatan lajur belok kiri jalan terus pada lengan utara dan selatan. Geometrik jalan dapat dilihat pada Gambar 5 dan untuk pelebaran dapat dilihat pada Tabel 9.

Perhitungan biaya kemacetan nilai variabel-variabel yang dibutuhkan sama dengan kondisi eksisting dan alternatif I, dengan nilai variabel jumlah kendaraan yang didapat dengan jumlah kendaraan jam puncak dikurangi dengan jumlah kendaraan yang

didapat dari *output* pemodelan dan jumlah waktu antrian. Untuk hasil dari jumlah kendaraan dapat dilihat pada Tabel 10 dan 11

Tabel 8 Waktu antrian alternatif II

No.	Lengan	Waktu Antrian (detik)	Jumlah Waktu Antrian (Jam)
1	Utara	100,38	0,0279
2	Timur	69,92	0,0194
3	Barat	89,28	0,0248
4	Selatan	21,76	0,0060

Tabel 9 Jumlah kendaraan alternatif II

Lengan	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	Jumlah Output	skr	Jumlah
		Jam Puncak (kend/jam)	Kendaraan (kend)	Terlindung	Kendaraan Total (skr/jam)
Utara	KB	1	0	1.3	1.3
	KR	311	25	1	286
	SM	1515	155	0.15	204
Timur	KB	31	2	1.3	37.7
	KR	491	57	1	434
	SM	3070	334	0.15	410.4
Barat	KB	18	0	1.3	23.4
	KR	317	26	1	291
	SM	2017	207	0.15	271.5
Selatan	KB	3	0	1.3	3.9
	KR	184	25	1	159
	SM	903	128	0.15	116.25

Hasil analisis pemodelan dan perhitungan biaya kemacetan untuk alternatif II dapat nilai tundaan turun dibandingkan dengan kondisi eksisting menjadi 49 detik/kendaraan, penjang antrian sebesar 28,87 meter. Tingkat pelayanan bernilai F. Untuk biaya kemacetan alternatif II sebesar Rp. 1.518.980, -/jam, nilai biaya kemacetan ini turun sebesar Rp. 245.124,- dibandingkan dengan kondisi eksisting.

Tingkat pelayanan (*level of service*) pada kondisi eksisting dan alternatif tidak mengalami kenaikan level. Hal ini bisa

dikarenakan tundaan rata-rata lebih dari sama dengan 80 det/kend (HCM,2010) dan tundaan dipengaruhi oleh waktu siklus. Waktu siklus yang layak untuk empat fase antara 80-130 detik sedangkan pada lokasi penelitian waktu siklus lebih dari 130 detik (Kementrian Pekerjaan Umum, 2014).

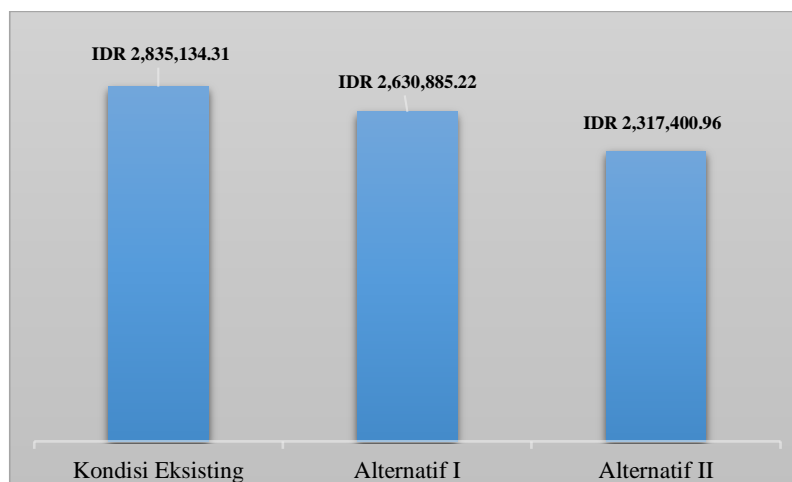
4. Kesimpulan.

Hasil penelitian tentang Analisis Biaya Akibat Kemacetan menggunakan *Vissim 10* pada Simpang APILL Pakualaman didapatkan kesimpulan, antara lain:

1. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja dan biaya akibat kemacetan Simpang APILL Pakualaman, serta memberikan rekomendasi untuk meningkatkan pelayanan dan mengurangi biaya kemacetan.
2. Kondisi eksisting simpang APILL Pakualaman mengalami nilai tundaan rata-rata sebesar 96,41 detik/kendaraan, panjang antrian rata-rata 59,69 meter, dan tingkat pelayanan simpang (*level of service*) adalah F (sangat buruk) dengan biaya kemacetan Rp. 2.835.134, -/jam

Tabel 10 Perbandingan Hasil Kondisi Eksisting dan Perbaikan Alternatif

No	Analisis	Kinerja Simpang APILL		
		Panjang Antrian rata-rata (m)	Tundaan rata-rata (det/kend)	Level of Service
1	Kondisi Eksisting	59,69	96,41	F
2	Alternatif I	44,4	91,19	F
3	Alternatif II	29,28	85,75	F



Gambar 5 Perbandingan Biaya Kemacetan

3. Hasil analisis untuk alternatif I didapatkan nilai tundaan rata-rata 91,19 detik/kendaraan, panjang antrian rata-rata 44,4 meter, tingkat pelayanan yang sangat buruk bernilai F dengan biaya kemacetan sebesar Rp. 2.630.885, -/jam.
4. Hasil alternatif II didapatkan nilai tundaan rata-rata sebesar 85,75 detik/kendaraan, panjang antrian rata-rata 29,28 meter, dan tingkat pelayanan simpang adalah F (sangat buruk).Biaya kemacetan Rp. 2.317.400, -/jam.
5. Berdasarkan hasil analisis didapatkan alternatif II merupakan rekomendasi yang terbaik, ditunjukkan dengan menurunnya nilai tundaan menjadi 85,75detik/kendaraan dan panjang antrian 29,28 meter dengan biaya kemacetan Rp. 2.317.400, -/jam.

5. Daftar Pustaka

- Aryandi, R.D., dan Munawar A, 2014, Penggunaan Software Vissim Untuk Analisis Simpang Bersinyal (Studi Kasus Simpang Mirota Kampus Terban Yogyakarta), *Proceeding of The 17th Symposium*, Jember, 22-24 Agustus 2014, 338-347.
- Badan Pusat staistik, 2016, *Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Dalam Angka*, Badan Pusat Statistik, Yogyakarta.
- Basuki, I., dan Siswadi, 2008, Biaya Kemacetan Ruas Jalan Kota Yogyakarta, *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 71-80.
- Bina Marga, 1995, *Indonesian Highway Capacity Manual*, Jakarta.
- Caesariawan, I., Rizky, D.N., Ismiyati., dan Yulipriyono E., 2015, Pengaruh Nilai Waktu pada Biaya Operasional Kendaraan (BOK) Mobil Penumpang Dalam Pemilihan Rute Jalan Eksisting dan Jalan Lingkar Ambarawa.Semarang, *Jurnal Karya Teknik Sipil* 4(4), 304-312.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997, *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Hamidi, G.W.,Frederika, A., dan Winaya, P.K., 2013, Analisis Biaya Perjalanan Akibat Tundaan Lalu Lintas.Denpasar, *Jurnal Ilmiah Elektronik Insfrastruktur Teknik Sipil*, 2(1), XII (1-6).
- Hardiani, 2015, Analisis Derajat Kejenuhan dan Biaya Kemacetan pada Ruas Jalan Utama di Kota Jambi, *Jurnal Perspektif Pembiayaan dan Pembangunan Daerah*, 2(4), 181-192.
- Hormansyah, D.S., Sugiarto, V., dan Amalia E.L., 2016, Penggunaan Vissim Model pada Jalur Lalu Lintas Empat Ruas, *Jurnal Teknologi Informasi* 7(1), 57-67.
- Irawan, M.Z., dan Putri, N.H., 2015, Kalibrasi Vissim Untuk Mikrosimulasi Arus Lalu Lintas Tercampur Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus : Simpang Tugu, Yogyakarta), *Jurnal Transportasi Multimoda*, 13(3), 97-106.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015, *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) Kapasitas Simpang APILL*, Jakarta.
- Mahmudah, N., Akbar, R dan Muchlisin, 2017, Analysis of Congestion Cost Signalized Intersection Using Vissim (Case Study At Demak Ijo Intersection, Sleman), *Proceeding of the 1st Internasional Symposium on Transportation Studies in Developing Countries (ISTSDC 2017)*, In *Matec Web of Conferences*, Volume 181, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818106001>.
- Munawar, A., 2005, *Dasar-dasar Transportasi*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Ritonga, D., Timboeleng, J.A., dan Kaseke, O.H., 2015, Analisis Biaya Transportasi Angkutan Umum dalam Kota Manado Akibat Kemacetan Lalu Lintas, *Jurnal Sipil Statik*, 3(1), 58-67.
- Sugiyanto, G., 2008, Biaya Kemacetan (Congestion Cost) Mobil Pribadi di Central Business District, *Media Teknik Sipil*, 59-66.

- Sugiyanto, G, 2010, *Bahan Pembelajaran Mata Kuliah Ekonomi Transportasi*, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.
- Sugiyanto, G., Malkhamah, S., Munawar, A., dan Sutomo, H., 2011a, Pengembangan Model Biaya Kemacetan Bagi Pengguna Mobil Pribadi di Daerah Pusat Perkantoran Yogyakarta, *Jurnal Transportasi* 11(1), 81-86.
- Sugiyanto, G., Malkhamah, S., Munawar, A., dan Sutomo, H., 2011b, Pengembangan Model Biaya Kemacetan Bagi Pengguna Mobil Pribadi di Daerah Pusat Perkantoran Yogyakarta. *Jurnal Transportasi*, 11(2), 87-94.
- Sugiyanto, G., 2012, Pemodelan Biaya Kemacetan Pengguna Mobil Pribadi Dengan Variasi Nilai Aktual Kecepatan Kendaraan, *Jurnal Transportasi*, 12 (2), 123-132.
- Transportation Research Board, 2010, *Highway Capacity Manual*, United States of America.
- Tzedakis, A., 1980, Different Vehicle Speeds and Congestion Cost, *Journal of Transport Economics and Policy*, 14 (1), 81-103
- Wikrama, A.N.A.J., 2011. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal (Studi Kasus Jalan Teuku Umar Barat – Jalan Gunung Salak), *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 15(1), 58-71.