

STUDI GELOMBANG KEJUT PADA SIMPANG BERSINYAL DENGAN MENGGUNAKAN EMP ATAS DASAR ANALISIS *HEADWAY*

(Studi Kasus Pada Simpang Bersinyal Jalan Ir. Sutami– Jalan HOS
Cokroaminoto–Jalan Petir)

Duncan Ambara¹⁾, Agus Sumarsono²⁾, Amirotul M.H.M.³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

²⁾³⁾ Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No. 36A Surakarta 57126 Telp: 0271647069. Email : d.ambara94@student.uns.ac.id

Abstract

Signalized Intersection of Ir. Sutami Street–HOS Cokroaminoto Street–Petir Street is one of 3 phases signalized intersection in Surakarta City that often encounter a traffic jam in rush hour, especially at intersection approachment of west and east section of Ir. Sutami street. Therefore, the shock wave study conducted at intersection approachment of west and east section of Ir. Sutami street use the value of PCE that use headway analysis.

The research is conducted on Thursday, September 15 2016 in the morning rush hour during 05:30-08:00 AM. The collection of traffic data such as volume, speed, headway time, and normalized time use video recording while the long queues use a manual measurement. The next step is to find the mathematical correlation between volume, speed, and density by using greenshield model, that obtain speed in free flow (free flow speed), density in traffic jam (D_j) and the maximal volume of vehicles (V_m). The results is used to calculate the value of shockwave.

Headway analysis obtains the value of PCE $MC= 0,41$ and $HV= 1,29$, after that the value used to convert the number of vehicles to passenger car unit (pcu). Therefore, calculation of shock wave value which the highest value is in the intersection approachment of left row of west Ir. Sutami with value $\omega_{AB}= -1,339$ kph, $\omega_{CB}= -13,697$ kph, $\omega_{AC}= 12,193$ kph. Therefore comparison of the average value of normalized time and long queues MAPE validation test by PCE based on headway analysis with PCE based on MKJI in every intersection approachment. The MAPE value of long queues by PCE based on headway analysis is smaller than the MAPE value by PCE based on MKJI, which is compared 5,00% to 5,76%. While the MAPE value of normalized time by PCE based on headway analysis is smaller too than the MAPE value by PCE based on MKJI, which is compared 3,65% to 4,20%. So the using of PCE based on headway is prefer than PCE based on MKJI.

Keywords: shock wave, signalized intersection, passenger car equivalent

Abstrak

Simpang bersinyal Jalan Ir. Sutami–Jalan HOS Cokroaminoto–Jalan Petir merupakan salah satu simpang bersinyal 3 fase yang ada di Kota Surakarta yang sering mengalami kemacetan pada jam sibuk, khususnya pada pendekatan simpang Jalan Ir. Sutami bagian barat dan timur. Untuk itu dilakukan studi gelombang kejut di pendekatan simpang Jalan Ir. Sutami bagian barat dan timur menggunakan nilai EMP dengan dasar analisis *headway*.

Penelitian dilakukan pada hari Kamis, 15 September 2016 pada jam puncak pagi jam 05.30-08.00 WIB. Pengambilan data arus, kecepatan, waktu *headway*, dan waktu penormalan menggunakan rekaman video sedangkan untuk pengambilan data panjang antrian menggunakan pengukuran manual. Langkah selanjutnya adalah mencari hubungan matematis antara arus, kecepatan dan kepadatan menggunakan model *greenshield*, yang menghasilkan kecepatan arus bebas (S_f), kepadatan saat macet (D_j), dan jumlah kendaraan maksimal (V_m). Hasil-hasil tersebut digunakan untuk menghitung nilai gelombang kejut.

Analisis waktu *headway* menghasilkan nilai EMP $MC= 0,41$ dan $HV= 1,29$ yang selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk merubah jumlah kendaraan menjadi satuan mobil penumpang (smp). Setelah itu dilakukan perhitungan gelombang kejut dengan nilai tertinggi yang terjadi pada pendekatan simpang Jl. Ir. Sutami Barat Lajur Kiri dengan nilai $\omega_{AB}= -1,339$ km/jam, $\omega_{CB}= -13,697$ km/jam, $\omega_{AC}= 12,193$ km/jam. Selanjutnya dilakukan perbandingan rata-rata nilai uji validasi MAPE panjang antrian dan waktu penormalan dengan EMP atas dasar analisis headway dengan EMP atas dasar MKJI pada setiap pendekatan simpang. Nilai MAPE untuk panjang antrian dengan EMP *headway* lebih kecil dibandingkan nilai MAPE dengan EMP MKJI, yakni 5,00 % berbanding 5,76 %. Sedangkan Nilai MAPE untuk waktu penormalan dengan EMP *headway* juga lebih kecil dibandingkan nilai MAPE dengan EMP MKJI, yakni 3,65 % berbanding 4,20 %. Sehingga penggunaan EMP *headway* lebih baik daripada EMP MKJI.

Kata Kunci: gelombang kejut, simpang bersinyal, ekivalensi mobil penumpang

PENDAHULUAN

Simpang bersinyal Jalan Ir. Sutami– Jalan HOS Cokroaminoto–Jalan Petir merupakan salah satu simpang bersinyal yang ada di Kota Surakarta dengan arus kendaraan yang melintas di simpang bersinyal tersebut sangat padat terutama pada saat jam puncak. Hal ini mengakibatkan tundaan dan antrian yang cukup lama. Durasi waktu lampu

merah pada simpang tersebut mencapai 75 detik dengan waktu lampu hijau hanya 28 detik. Dengan data seperti di atas, peneliti mencoba menganalisis gelombang kejut dengan nilai *emp headway* yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung waktu penormalan dan panjang antrian efektif pada simpang bersinyal tersebut. Data yang didapat juga bisa digunakan untuk desain lalu lintas di lokasi tersebut, ataupun sebagai acuan untuk mendesain sarana yang baru. Untuk menguji keakuratan model yang dihasilkan juga perlu dilakukan uji validasi. Peneliti akan melakukan uji validasi dengan menghitung nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) yang dapat mengetahui tingkat kesalahan model dalam memprediksi.

LANDASAN TEORI

Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Nilai *emp* didapat dengan mencatat waktu antara kendaraan (*time headway*) yang berurutan pada saat kendaraan-kendaraan tersebut melewati suatu titik yang telah ditentukan. Kombinasi kendaraan yang diperlukan antara lain LV-LV, LV-HV, HV-LV, HV-HV, MC-MC, LV-MC, dan MC-LV. Nilai *emp* dihitung dengan cara membagi nilai rata-rata *time headway* pasangan kendaraan, dan hasil tersebut benar apabila memenuhi persamaan :

$$t_a + t_b = t_c + t_d \quad (1)$$

dengan nilai koreksi k :

$$k = \frac{na.nb.nc.nd.[ta+tb+tc+td]}{nb.nc.nd+na.nc.nd+na.nb.nd+na.nb.nc} \quad (2)$$

Apabila persaratan tersebut memenuhi syarat, maka nilai *emp* HV dapat dihitung dengan persamaan:

$$emp = \frac{td_k}{ta_k} \quad (3)$$

Karena sampel dipilih secara acak, maka dimungkinkan adanya suatu kesalahan standar deviasi dari distribusi ini dapat dinyatakan sebagai *standard error* (E), selanjutnya dapat dihitung :

Standar deviasi

$$s = \sqrt{\left(\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right)} \quad (4)$$

Standar error

$$E = \frac{s}{n^{0,5}} \quad (5)$$

Parameter Arus Lalu Lintas

1) Arus (*volume*)

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, arus lalu lintas (V) diartikan sebagai jumlah kendaraan bermotor yang melewati satu titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan per jam.

2) Kecepatan (*speed*)

Kecepatan didefinisikan sebagai laju dari suatu pergerakan kendaraan dihitung dalam jarak persatuan waktu. Sehingga kecepatan dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \frac{L}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

Dalam pengukuran kecepatan pada penelitian ini dengan vara manual, panjang penggal jalan yang dipakai untuk mengukur waktu tempuhnya adalah berdasarkan perkiraan kecepatan rata-rata pada tabel berikut :

Tabel 1. Rekomendasi Panjang Jalan untuk Studi Kecepatan

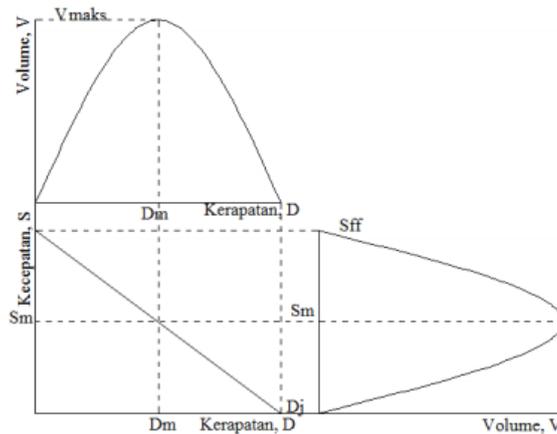
No.	Kecepatan rata-rata (km/jam)	Panjang penggal jalan (m)
1.	≤ 40	25
2.	40 - 65	50
3.	≥ 65	75

Sumber : BINKOT No.001/T/BNKT/1990

3) Kepadatan (*density*)

Kepadatan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur, secara umum dinyatakan dalam kendaraan per kilometer (kend/km) atau satuan mobil penumpang per kilo meter (smp/km). Jika panjang ruas jalan yang diamati adalah L, dan terdapat N kendaraan, maka kepadatan D dapat dihitung sebagai berikut :

$$D = \frac{N}{L} \quad (7)$$



Gambar 1. Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan
Sumber : Khisty (1990)

Metode *Greenshield*

Greenshields merumuskan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan- Kepadatan (S-D) diasumsikan linier, sehingga persamaan yang dihasilkan dari model *Greenshields* diperlihatkan pada tabel berikut :

Tabel 2. Rangkuman Persamaan Model *Greenshields*

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S-D	$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D$	V_M	$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4}$
V-D	$S = D \cdot S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D$	S_M	$S_M = \frac{S_{ff}}{2}$
V-S	$V = D_j \cdot S_{ff} - \frac{D_j}{S_{ff}} \cdot S^2$	D_M	$D_M = \frac{D_j}{2}$

Sumber : Ofyzar Z Tamin 2008

Gelombang Kejut (*Shock Wave*)

Gelombang kejut dapat digambarkan sebagai gerakan pada arus lalu lintas akibat adanya perubahan nilai kepadatan dan arus lalu lintas. Apabila arus dan kepadatan relatif tinggi, titik pada saat kendaraan harus mengurangi kecepatannya ditandai dengan nyala lampu rem, dan titik tersebut akan bergerak ke arah datangnya lalu lintas. Gerakan lampu rem menyala relatif terhadap jalan sebenarnya merupakan gerakan gelombang kejut. Gelombang kejut pada simpang bersinyal dimulai ketika mulai waktu lampu merah sehingga mengakibatkan terjadi antrian dan proses pemulihannya setelah mulai waktu lampu hijau.

(Ofyzar Z Tamin, 2008)

Berdasarkan gambar 2, nilai gelombang kejut saat mulai waktu lampu merah adalah sebagai berikut :

- 1) Ada tiga gelombang kejut yang terjadi pada saat lampu merah mulai menyala (t_1), yaitu :

$$\omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} = S_A \quad (8)$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = 0 \quad (9)$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = - \frac{V_A}{D_B - D_A} \quad (10)$$

- 2) Arus lalu lintas dengan kondisi A, B dan D akan terus terjadi sampai saat waktu lampu hijau menyala (t_2). Sehingga terjadi arus lalu lintas dengan kondisi C dimana arus akan meningkat dari 0 sampai jenuh. Ada dua gelombang kejut yang terbentuk, yaitu :

$$\omega_{DC} = \frac{V_C - V_D}{D_C - D_D} \quad (11)$$

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = - \frac{V_C}{D_B - D_C} \quad (12)$$

- 3) Arus lalu lintas dengan kondisi D, C, B dan A terus terjadi sampai sampai ω_{AB} dan ω_{BC} mencapai t_3 . Selang waktu antara t_2 sampai dengan t_3 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$t_3 - t_2 = r \cdot \left| \frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| \quad (13)$$

Dengan r adalah durasi efektif waktu lampu merah (detik) panjang antrian maksimum dapat terjadi pada waktu t_3 dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_M = \frac{r}{3600} \cdot \left| \frac{\omega_{CB} - \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| \quad (14)$$

- 4) Pada kondisi t_3 , akan terbentuk satu gelombang kejut baru, yaitu :

$$\omega_{Ac} = \frac{V_c - V_A}{D_C - D_A} \quad (15)$$

- 5) Selanjutnya untuk waktu penormalan yaitu selang waktu t_2-t_4 dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$T = t_4 - t_2 = \frac{r \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \cdot \left| \frac{\omega_{CB}}{\omega_{AC}} + 1 \right| \quad (16)$$

Uji Statistik

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|b_i - a_i|}{a_i} \times 100 \% \quad (17)$$

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kasus yaitu dengan melakukan survei di lapangan dan mengumpulkan keterangan dari buku atau jurnal. Tahapan metode penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Melakukan studi pustaka mengenai teori yang berkaitan dengan penelitian ini, kemudian dilakukan penyusunan metodologi penelitian.
2. Melakukan survei pendahuluan untuk mengetahui situasi sesungguhnya di lapangan dan menetapkan waktu survei yang sesuai.
3. Melakukan survei dengan merekam lalu lintas menggunakan kamera untuk mendapatkan data primer, antara lain jumlah kendaraan untuk menghitung volume, kecepatan, durasi lampu merah, waktu *headway* panjang antrian, dan waktu penormalan.
4. Menganalisis dan mengolah data hasil survey menggunakan aplikasi Microsoft Excel.
5. Melakukan perbandingan dari hasil analisis dengan data yang terjadi di lapangan (*real*), serta mencari korelasinya.
6. Memberikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah contoh hasil pencatatan *time headway* kendaraan di Simpang Bersinyal Jalan Ir. Sutami Lajur Kiri pukul 05.30-05.35 dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 3. Data *time headway* (detik) di Jalan Ir. Sutami Barat Lajur Kiri Pukul 05.30-05.35.

LV-LV	MC-MC				LV-MC	MC-LV	HV-HV	LV-HV	HV-LV	
2.56	3.61	0.78	1.45	2.57	1.82	5.63	2.00	0.85	5.61	7.22
1.89	8.7	1.86	2.43	1.27	3.78	4.00	1.44			
	2.85	1.86	0.53	2.33	3.62	4.66				
		3.78	1.28	3.43	1.50					
					1.99					

Data di atas diolah menggunakan persamaan-persamaan yang tercantum pada Landasan Teori mengenai Ekuivalensi Mobil Penumpang, didapatkan nilai EMP MC dan HV sebagai berikut:

Tabel 4. Perhitungan nilai EMP MC dan HV

Jenis	N	Σx	\bar{x}	k	tkoreksi	jumlah	EMP
LV-LV	4	10.9	2.73	-	3.131	4.92	0.57
LV-MC	2	9.63	4.82	1.61	4.008		
MC-LV	2	3.44	1.72		0.913	4.92	
MC-MC	13	21.7	1.67		1.79		
LV-LV	4	10.9	2.73	-	3.439	7.14	1.08
LV-HV	1	5.61	5.61	2.85	2.764		
HV-LV	1	7.22	7.22		4.374	7.14	
HV-HV	1	0.85	0.85		3.7		

Berikut adalah rekapitulasi nilai EMP di Simpang Bersinyal Jalan Ir. Sutami dengan analisis *Headway*:

Tabel 5. Perhitungan Nilai EMP berdasarkan Analisis *Headway*

No.	Lokasi Pengamatan	Nilai EMP		
		MC	LV	HV
1	Jalan Ir. Sutami Barat Lajur Kiri	0.41	1	1.27
2	Jalan Ir. Sutami Barat Lajur Kanan	0.49	1	1.37
3	Jalan Ir. Sutami Timur Lajur Kiri	0.39	1	1.17
4	Jalan Ir. Sutami Timur Lajur Kanan	0.38	1	1.36
Rerata Nilai EMP		0.41	1.00	1.29

Sedangkan emp berdasarkan MKJI (Manual Kapasitas Jalan Indonesia) 1997 yang merupakan standar baku pedoman perhitungan jalan dan lalu lintas di Indonesia, diperoleh nilai emp kendaraan MC sebesar 0,2 dan HV sebesar 1,3.

Dengan metode *greenshield* yang rumusnya didapat pada tabel 2, didapatkan hubungan antar parameter lalu lintas dengan nilai tertinggi sebagai berikut :

$$\text{Hubungan Kecepatan-Kepadatan} : S = 27.39 - 0.17D \quad (21)$$

$$\text{Hubungan Volume-Kepadatan} : V = 27.39 D - 0.17D^2 \quad (22)$$

$$\text{Hubungan Volume-Kecepatan} : V = 156.15 S - 5.70S^2 \quad (23)$$

Gelombang kejut yang terjadi pada simpang bersinyal dapat dianalisis apabila hubungan matematis antara volume-kepadatan telah diketahui dan kondisi volume lalu lintas telah ditentukan. Gelombang kejut mengakibatkan kemacetan sehingga terdapat panjang antrian maksimum yang terjadi selama lampu merah dan waktu penormalan yang dibutuhkan sampai keadaan volume lalu lintas dari jenuh menjadi normal kembali.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Panjang Antrian Dan Waktu Penormalan Maksimum di Jl. Ir. Sutami Barat Lajur Kiri dengan EMP_{Headway}

No	Jam	Kecepatan Gelombang Kejut			r	t2-t3	Qm	T
		ω_{ab}	ω_{cb}	ω_{ac}				
		Km/Jam			(detik)	Km	detik	
1	05.30-05.35	-1.85	-13.70	12.05	60	9.36	0.036	1.28
2	05.35-05.40	-1.53	-13.70	12.04	60	7.53	0.029	1.04
3	05.40-05.45	-1.68	-13.70	11.97	60	8.41	0.032	1.21
4	05.45-05.50	-1.34	-13.70	12.19	60	6.51	0.025	0.80
5	05.50-05.55	-1.72	-13.70	12.02	60	8.59	0.033	1.20
6	05.55-06.00	-1.52	-13.70	12.07	60	7.51	0.029	1.01
7	06.00-06.05	-1.43	-13.70	12.29	60	7.02	0.027	0.81
8	06.05-06.10	-2.20	-13.70	11.85	60	11.50	0.044	1.79
9	06.10-06.15	-1.46	-13.70	12.50	60	7.15	0.027	0.69

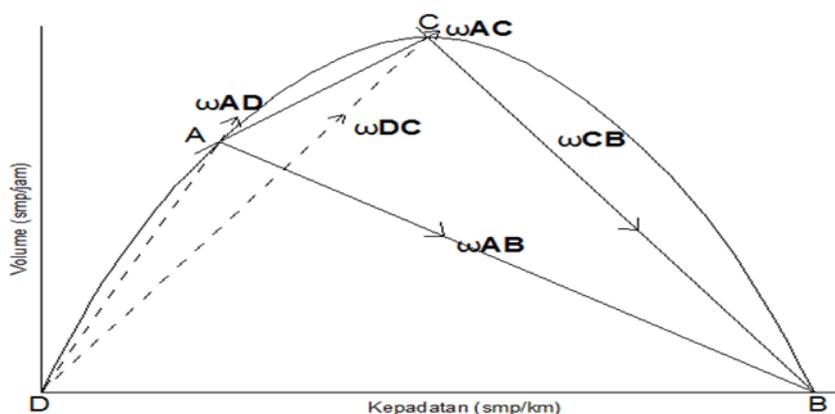
No	Jam	Kecepatan Gelombang Kejut			r	t2-t3	Qm	T
		ω_{ab}	ω_{cb}	ω_{ac}				
		Km/Jam						
10	06.15-06.20	-2.37	-13.70	11.44	60	12.53	0.048	2.48
11	06.20-06.25	-3.20	-13.70	10.42	60	18.27	0.070	5.76
12	06.25-06.30	-2.81	-13.70	10.84	60	15.46	0.059	4.07
13	06.30-06.35	-3.28	-13.70	10.37	60	18.87	0.072	6.05
14	06.35-06.40	-4.50	-13.70	9.46	60	29.39	0.112	13.19
15	06.40-06.45	-3.25	-13.70	10.40	60	18.66	0.071	5.91
16	06.45-06.50	-3.28	-13.70	10.90	60	18.91	0.072	4.85
17	06.50-06.55	-4.39	-13.70	9.20	60	28.27	0.108	13.81
18	06.55-07.00	-3.46	-13.70	10.47	60	20.30	0.077	6.27
19	07.00-07.05	-3.99	-13.70	9.94	60	24.62	0.094	9.32
20	07.05-07.10	-4.89	-13.70	9.33	60	33.26	0.127	15.56
21	07.10-07.15	-4.48	-13.70	8.80	60	29.16	0.111	16.23
22	07.15-07.20	-4.51	-13.70	8.55	60	29.46	0.112	17.75
23	07.20-07.25	-4.36	-13.70	9.05	60	28.06	0.107	14.43
24	07.25-07.30	-6.28	-13.70	7.53	60	50.83	0.193	41.64
25	07.30-07.35	-5.28	-13.70	7.93	60	37.63	0.143	27.39
26	07.35-07.40	-5.25	-13.70	8.24	60	37.26	0.142	24.64
27	07.40-07.45	-3.97	-13.70	9.88	60	24.48	0.093	9.47
28	07.45-07.50	-4.68	-13.70	8.88	60	31.11	0.118	16.89
29	07.50-07.55	-4.71	-13.70	8.83	60	31.45	0.120	17.35
30	07.55-08.00	-3.80	-13.70	9.94	60	23.07	0.088	8.74

Tabel 7. Hasil Perhitungan Panjang Antrian Dan Waktu Penormalan Maksimum di Jl. Ir. Sutami Barat Lajur Kiri dengan EMP_{MKJI}

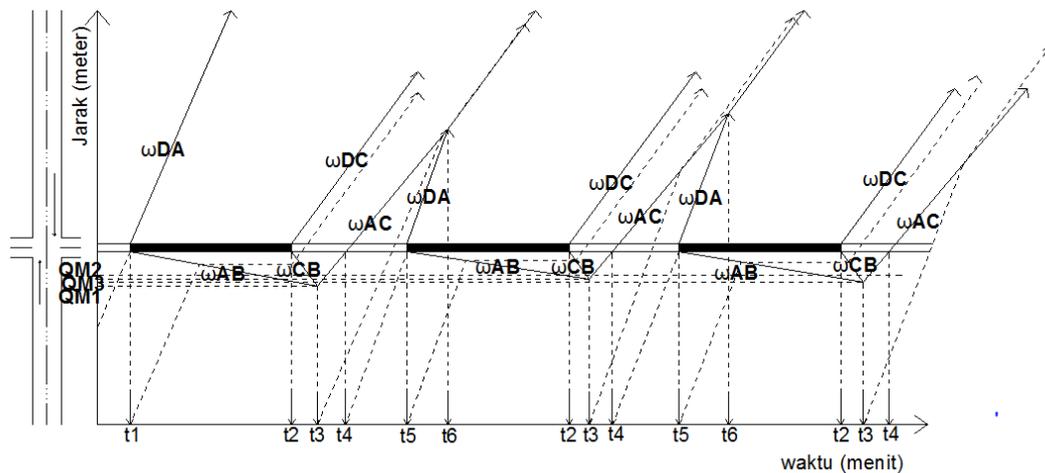
No	Jam	Kecepatan Gelombang Kejut			r	t2-t3	Qm	T
		ω_{ab}	ω_{cb}	ω_{ac}				
		Km/Jam						
1	05.30-05.35	-2.04	-13.78	11.97	60	10.40	0.040	1.58
2	05.35-05.40	-1.79	-13.78	11.82	60	8.98	0.034	1.49
3	05.40-05.45	-1.77	-13.78	11.96	60	8.87	0.034	1.35
4	05.45-05.50	-1.43	-13.78	12.17	60	6.97	0.027	0.92
5	05.50-05.55	-1.82	-13.78	12.01	60	9.15	0.035	1.35
6	05.55-06.00	-1.70	-13.78	11.96	60	8.44	0.032	1.28
7	06.00-06.05	-1.38	-13.78	12.44	60	6.65	0.025	0.72
8	06.05-06.10	-2.68	-13.78	11.50	60	14.49	0.055	2.87
9	06.10-06.15	-1.34	-13.78	12.69	60	6.49	0.025	0.56
10	06.15-06.20	-2.56	-13.78	11.33	60	13.70	0.052	2.96
11	06.20-06.25	-3.45	-13.78	10.22	60	20.05	0.077	6.98
12	06.25-06.30	-3.09	-13.78	10.62	60	17.31	0.066	5.14
13	06.30-06.35	-3.68	-13.78	9.99	60	21.90	0.084	8.29
14	06.35-06.40	-4.62	-13.78	9.44	60	30.30	0.116	13.94
15	06.40-06.45	-3.60	-13.78	10.09	60	21.24	0.081	7.76
16	06.45-06.50	-3.60	-13.78	10.70	60	21.18	0.081	6.10

No	Jam	Kecepatan Gelombang Kejut			r	t2-t3	Qm	T
		ω_{ab}	ω_{cb}	ω_{ac}				
		Km/Jam			(detik)	Km	detik	
17	06.50-06.55	-4.51	-13.78	9.17	60	29.15	0.112	14.64
18	06.55-07.00	-3.76	-13.78	10.25	60	22.53	0.086	7.77
19	07.00-07.05	-3.77	-13.78	10.30	60	22.60	0.086	7.64
20	07.05-07.10	-5.26	-13.78	9.02	60	37.05	0.142	19.54
21	07.10-07.15	-4.72	-13.78	8.60	60	31.25	0.120	18.85
22	07.15-07.20	-4.24	-13.78	9.03	60	26.68	0.102	14.04
23	07.20-07.25	-4.60	-13.78	8.86	60	30.03	0.115	16.68
24	07.25-07.30	-6.28	-13.78	7.68	60	50.26	0.192	39.89
25	07.30-07.35	-5.58	-13.78	7.63	60	40.78	0.156	32.82
26	07.35-07.40	-5.54	-13.78	7.98	60	40.33	0.154	29.32
27	07.40-07.45	-3.89	-13.78	10.08	60	23.64	0.090	8.68
28	07.45-07.50	-5.01	-13.78	8.56	60	34.31	0.131	20.90
29	07.50-07.55	-4.49	-13.78	9.22	60	29.04	0.111	14.34
30	07.55-08.00	-4.11	-13.78	9.68	60	25.52	0.098	10.80

Gelombang kejut yang terjadi pada Jalan Ir. Sutami-Jalan HOS Cokroaminoto-Jalan Petir diperlihatkan pada gambar 3 kurva volume - kepadatan. Pada gambar 3 diperlihatkan terdapat beberapa gelombang kejut yang terjadi yaitu ω_{da} (gelombang kejut maju bentukan), ω_{db} (gelombang kejut diam depan), ω_{ab} (gelombang kejut mundur bentukan), ω_{dc} (gelombang kejut maju pemulihan), ω_{cb} (gelombang kejut mundur pemulihan), dan ω_{ac} (gelombang kejut maju pemulihan) diambil contoh gambar kurva arus-kepadatan gelombang kejut dengan waktu penormalan terbesar. Sedangkan gambar 5 memperlihatkan diagram hubungan panjang antrian, gelombang kejut, dan waktu saat mulainya lampu merah hingga waktu penormalan yang terjadi, diambil contoh gambar diagram jarak-waktu pukul 05.30-05.45 pada pendekatan simpang Jalan Ir. Sutami Barat Lajur Kiri.



Gambar 3. Kurva Volume – Kepadatan



Gambar 4. Diagram Jarak – Waktu Pukul 05.30-05.45 pada Pendekat Simpang Jalan Ir. Sutami Barat Lajur Kiri

Pada tabel 6 hasil perhitungan gelombang kejut menggunakan $Emp_{Headway}$ didapatkan panjang antrian maksimum dan waktu penormalan yang cukup tinggi dibandingkan dengan yang terjadi di lapangan (*real*), sehingga diperlukan uji validasi antara hasil perhitungan dan lapangan. Hasil yang diperoleh, dibandingkan lagi dengan perhitungan gelombang kejut menggunakan EMP_{MKJI} , untuk mengetahui EMP mana yang lebih baik untuk analisis.

Tabel 8. Perbandingan Uji Validasi) Waktu Penormalan (T) dan Panjang Antrian Maksimum (Q_M) Berdasarkan $Emp_{Headway}$ dengan Emp_{MKJI}

No.	Lokasi Penelitian	Nilai MAPE (%)			
		Waktu Penormalan		Panjang Antrian	
		$EMP_{Headway}$	EMP_{MKJI}	$EMP_{Headway}$	EMP_{MKJI}
1	Jalan Ir. Sutami Barat Lajur Kiri	1.09	0.87	3.05	3.44
2	Jalan Ir. Sutami Barat Lajur Kanan	2.22	1.99	1.41	1.92
3	Jalan Ir. Sutami Timur Lajur Kiri	2.88	3.00	7.33	7.99
4	Jalan Ir. Sutami Timur Lajur Kanan	8.42	10.95	8.19	9.69
	Rata-rata	3.65	4.20	5.00	5.76

Hasil uji validasi pada tabel menunjukkan bahwa analisis gelombang kejut cukup akurat dalam memprediksi panjang antrian dan waktu penormalan yang terjadi dengan tingkat kesalahan yang cukup kecil dengan rata-rata nilai 5,00% dan 3,65%. Analisis menggunakan $EMP_{MKJI1997}$ menunjukkan tingkat kesalahan yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan $EMP_{Headway}$ dengan rata-rata nilai 3,65% berbanding 4,20% untuk waktu penormalan dan 5,00% berbanding 5,76% untuk panjang antrian..

KESIMPULAN

1. Perhitungan emp menggunakan analisis *headway* di simpang bersinyal Jalan Ir. Sutami – Jalan HOS Tjokroaminoto – Jalan Petir didapatkan emp MC = 0,41 dan emp HV = 1,29. Jika dibandingkan, nilai EMP MC dengan analisis *headway* lebih besar daripada nilai EMP MC berdasarkan MKJI, sedangkan nilai EMP HV dengan analisis *headway* lebih kecil daripada nilai EMP berdasarkan MKJI.
2. Gelombang kejut yang terjadi di simpang bersinyal Jalan Ir. Sutami – Jalan HOS Tjokroaminoto – Jalan Petir adalah sebagai berikut : $\omega_{ab} = -1,339$ km/jam, $\omega_{cb} = -13,697$ km/jam, $\omega_{ac} = 12,193$ km/jam.
3. Hasil perhitungan gelombang kejut cukup akurat dalam memperkirakan waktu penormalan dan panjang antrian dengan tingkat kesalahan yang kecil.

REKOMENDASI

1. Durasi penelitian perlu ditambah minimal dari pagi sampai siang (arus bebas pagi sampai jam puncak siang).
2. Pembagian interval yang 5 menitan, perlu dikurangi menjadi lebih pendek agar data yang didapat menjadi semakin akurat. Misalnya mengubah interval menjadi sesuai dengan waktu siklus lampu merah.

3. Perlu dilakukan evaluasi ulang mengenai durasi lama waktu lampu merah dan hijau, agar kinerja simpang menjadi lebih efisien.

REFERENSI

- Andiani, C. A., Sumarsono, A., & Djumari, D. (2013). Studi Penetapan Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (Emp) Kendaraan Bermotor Menggunakan Metode Time Headway Dan Aplikasinya Untuk Menghitung Kinerja Ruas Jalan (Kasus Pada Ruas Jalan Raya Solo-Sragen Km. 12). *Matriks Teknik Sipil*, 1(2).
- Anonim. 2005. *Buku Pedoman Penulisan Tugas Akhir*, Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga, 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997*, Jakarta.
- Idham, Muhammad. 2010. Analisis Gelombang Kejut Pada Persimpangan Berlampu Lalu Lintas (Studi Kasus Jalan Diponegoro, Simpang Empat Pingit, Yogyakarta) . Jurnal Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Bengkalis.
- Malau, R. H. (2014). Aplikasi Shock Wave Analysis Dan Queueing Analysis Untuk Menghitung Panjang Antrian Pada Perlintasan Sebidang. *Jurnal Teknik Sipil Usu*, 2(3).
- Morlok, E. K. (1978). *Introduction to transportation engineering and planning* (pp. 657-658). New York: McGraw-Hill.
- Nurjanah, R. D., Sumarsono, A., & Mahmudah, A. M. (2015). Studi Gelombang Kejut Pada Simpang Bersinyal Dengan Menggunakan Emp Atas Dasar Analisa Headway. *Matriks Teknik Sipil*, 3(3).
- Salter, R. J. (1989). *Highway traffic analysis and design*. Springer.
- Tamin, Ofyar Z. 2003. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi: Contoh Soal dan Aplikasi*. ITB. Bandung