

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

## (Studi Kasus Pada Simpang Bersinyal Jalan Raya Wonogiri-Sukoharjo – Jalan Gedongan – Jalan Ciu Karangwuni)

Burhan Ghifari YS<sup>1)</sup>, Agus Sumarsono<sup>2)</sup>, Amirotul M.H.M.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

<sup>2)3)</sup> Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No. 36A Surakarta 57126 Telp: 0271647069. Email : [burhanghifari06@gmail.com](mailto:burhanghifari06@gmail.com)

### **Abstract**

*Signalized Intersection of Wonogiri-Sukoharjo Street – Ciu Karangwuni Street–Gedongan Street is one of 3 phases signalized intersection in Sukoharjo Regency. that often encounter a traffic jam in rush hour, especially at intersection approachment of South section of Wonogiri-Sukoharjo street. Therefore, the shock wave study conducted at intersection approachment of south section of Wonogiri-Sukoharjo street use the value of PCE that use headway analysis. The research is conducted on Thursday, Oktober 18 2018 in the morning rush hour during 05:30-08:00 AM. Headway analysis obtains the value of PCE MC= 0,45 and HV= 1,29 that after the value used to convert the number of vehicles to passenger car unit (pcu). The next step is to find the mathematical correlation between flow, speed, and density by using greenshield model, that obtain speed in free flow (free flow speed), density in traffic jam (Dj) and the maximal volume of vehicles (Vm). The results is conducted to calculate the shock wave value which the highest value is in the intersection approachment of left row of south Wonogiri-Sukoharjo with value  $\omega_{ab} = -1,42$  km/hour,  $\omega_{cb} = -13,75$  km/hour,  $\omega_{ac} = 12,15$  km/hour. The shock wave value is used to calculate the normalized time and the long queues at each of intersection approachment.*

*Keywords: shock wave, signalized intersection, greenshield, Passenger Car Equivalent (PCE), headway, long queues, normalized time.*

### **Abstrak**

Simpang bersinyal Jalan Raya Wonogiri-Sukoharj – Jalan Ciu Karangwuni – Jalan Gedongan merupakan salah satu simpang bersinyal 3 fase yang ada di Kabupaten Sukoharjo yang sering mengalami kemacetan pada jam sibuk, khususnya pada pendekatan simpang Jalan Raya Wonogiri-Sukoharjo Selatan. Untuk itu dilakukan studi gelombang kejut di pendekatan simpang Jalan Raya Wonogiri-Sukoharjo Selatan menggunakan nilai EMP dengan dasar analisis *headway*. Penelitian dilakukan pada hari Kamis, 18 Oktober 2018 pada jam puncak pagi jam 05.30-08.00 WIB. Analisis *Headway* menghasilkan nilai EMP MC= 0,45 dan HV= 1,29 yang selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk merubah jumlah kendaraan menjadi satuan mobil penumpang (smp). Langkah selanjutnya adalah mencari hubungan matematis antara arus, kecepatan dan kepadatan menggunakan model *greenshield*, yang menghasilkan kecepatan arus bebas (*S<sub>ff</sub>*), kepadatan saat macet (*D<sub>j</sub>*), dan Jumlah kendaraan maksimal (*V<sub>m</sub>*). Hasil-hasil tersebut digunakan untuk menghitung nilai gelombang kejut dengan nilai tertinggi yang terjadi pada pendekatan simpang Jl. Raya Wonogiri-Sukoharjo Selatan Lajur Luar dengan nilai  $\omega_{ab} = -1,42$  km/jam,  $\omega_{cb} = -13,75$  km/jam,  $\omega_{ac} = 12,15$  km/jam. Nilai gelombang kejut tersebut digunakan untuk menghitung waktu penormalan dan panjang antrian pada masing-masing pendekatan simpang.

Kata Kunci: gelombang kejut, simpang bersinyal, *greenshield*, emp, headway, panjang antrian, waktu penormalan

### **PENDAHULUAN**

Simpang bersinyal Jalan Raya Wonogiri-Sukoharjo – Jalan Ciu Karangwuni – Jalan Gedongan merupakan salah satu simpang bersinyal yang ada di Kabupaten Sukoharjo 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 60 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

### Ekuivalensi 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 :

$$t_a + t_b = t_c + t_d \quad (3)$$

dengan nilai koreksi  $k$ ,

$$k = \frac{na.nb.nc.nd.[ta+tb+tc+td]}{nb.nc.nd+na.nc.nd+na.nb.nd+na.nb.nc} \quad (4)$$

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

$$emp = \frac{td_k}{ta_k} \quad (5)$$

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

$$s = \sqrt{\left(\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right)} \quad (6)$$

Standar error

$$E = \frac{s}{n^{0.5}} \quad (7)$$

### 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 :

$$S = \frac{L}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

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

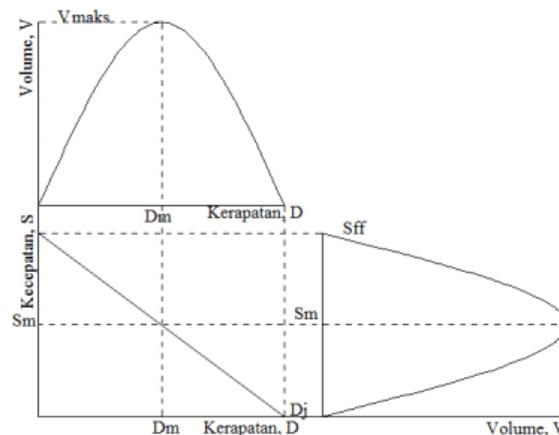
No.	Kecepatan rata-rata (km/jam)	Panjang penggal jalan (m)
1.	≤ 40	25
2.	40 – 65	50
3.	≥ 65	75

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 :

$$D = \frac{N}{L} \tag{2}$$



**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 : Ofyazar 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.

(Ofyizar 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  $\omega_{AB}$  dan  $\omega_{BC}$  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

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

### 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

Dari hasil perhitungan nilai emp di simpang bersinyal Jalan Raya Wonogiri-Sukoharjo - Jalan Ciu Karangwuni - Jalan Gedongan dengan analisis *headway* didapatkan nilai emp MC sebesar 0,45 dan emp HV sebesar 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* didapatkan hubungan antar parameter lalu lintas dengan nilai tertinggi sebagai berikut :

$$\text{Hubungan Kecepatan-Kepadatan} \quad S = 27.499 - 0.1005D \quad (21)$$

$$\text{Hubungan Volume-Kepadatan} \quad V = 27.499 D - 0,1005D^2 \quad (22)$$

$$\text{Hubungan Volume-Kecepatan} \quad V = 273.49 S - 9.95S^2 \quad (23)$$

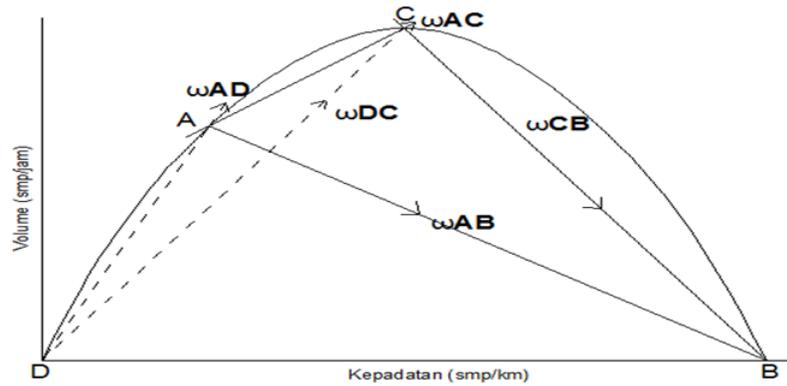
Gelombang kejut yang terjadi pada simpang bersinyal dapat dianalisis apabila hubungan matematis antara volume-kepadatan telah diketahui dan kondisi volume lalu lintas telah ditentukan. Gelombang kejut mengakibatkan kemacetan sehingga terdapat panjang antrian maksimum yang terjadi selama lampu merah dan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

**Tabel 3.** Perhitungan Panjang Antrian Dan Waktu Penormalan Maksimum di Jl. Raya Wonogiri-Sukoharjo Lajur Luar

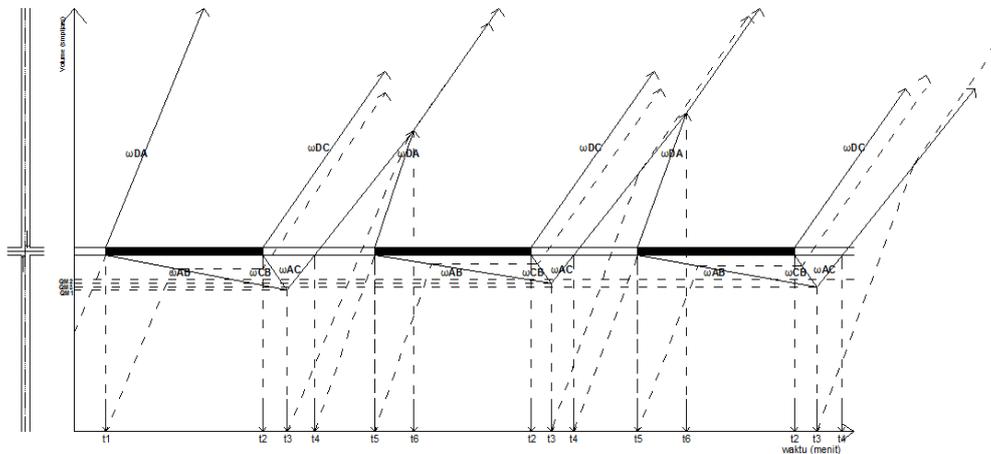
No	Jam	Kecepatan Gelombang Kejut			R	t <sub>2</sub> -t <sub>3</sub>	Q <sub>m</sub>	T
		Ω <sub>ab</sub>	ω <sub>cb</sub>	ω <sub>ac</sub>				
			Km/Jam			(detik)	Km	Detik
1	05.30-05.33	-2.05	-13.75	11.91	60	10.49	0.040	1.62
2	05.33-05.36	-1.63	-13.75	11.98	60	8.07	0.031	1.19
3	05.36-05.39	-1.88	-13.75	11.81	60	9.51	0.036	1.56
4	05.39-05.42	-1.42	-13.75	12.15	60	6.91	0.026	0.91
5	05.42-05.45	-1.84	-13.75	11.95	60	9.25	0.035	1.39
6	05.45-05.48	-1.67	-13.75	11.97	60	8.27	0.032	1.23
7	05.48-05.51	-1.45	-13.75	12.32	60	7.09	0.027	0.82
8	05.51-05.54	-2.05	-13.75	12.06	60	10.50	0.040	1.47
9	05.54-05.57	-1.67	-13.75	12.37	60	8.29	0.032	0.93
10	05.57-06.00	-2.63	-13.75	11.22	60	14.21	0.054	3.20
11	06.00-06.03	-3.20	-13.75	10.48	60	18.18	0.069	5.67
12	06.03-06.06	-2.96	-13.75	10.74	60	16.49	0.063	4.63
13	06.06-06.09	-3.26	-13.75	10.45	60	18.67	0.071	5.91
14	06.09-06.12	-4.53	-13.75	9.50	60	29.51	0.113	13.22
15	06.12-06.15	-3.24	-13.75	10.48	60	18.49	0.071	5.77
16	06.15-06.18	-3.28	-13.75	10.98	60	18.76	0.072	4.74
17	06.18-06.21	-4.41	-13.75	9.25	60	28.33	0.108	13.80
18	06.21-06.24	-3.46	-13.75	10.54	60	20.19	0.077	6.15
19	06.24-06.27	-4.09	-13.75	9.90	60	25.38	0.097	9.89
20	06.27-06.30	-4.89	-13.75	9.38	60	33.13	0.127	15.41
21	06.30-06.33	-4.49	-13.75	8.84	60	29.12	0.111	16.15
22	06.33-06.36	-4.68	-13.75	8.39	60	30.93	0.118	19.78
23	06.36-06.39	-4.37	-13.75	9.09	60	27.98	0.107	14.34

24	06.36-06.42	-6.34	-13.75	7.54	60	51.34	0.196	42.30
25	06.42-06.45	-5.29	-13.75	7.98	60	37.58	0.144	27.16
26	06.45-06.48	-5.27	-13.75	8.30	60	37.25	0.142	24.44
27	06.48-06.51	-4.01	-13.75	9.90	60	24.68	0.094	9.59
28	06.51-06.54	-4.68	-13.75	8.95	60	31.00	0.118	16.64
29	06.54-06.57	-4.77	-13.75	8.82	60	31.91	0.122	17.82
30	06.57-07.00	-3.80	-13.75	10.00	60	22.95	0.088	8.62
31	07.00-07.03	-3.32	-13.75	10.33	60	19.11	0.073	6.34
32	07.03-07.06	-2.85	-13.75	10.87	60	15.66	0.060	4.16
33	07.06-07.09	-3.35	-13.75	10.35	60	19.31	0.074	6.34
34	07.09-07.12	-4.44	-13.75	9.61	60	28.60	0.109	12.32
35	07.12-07.15	-3.29	-13.75	10.43	60	18.89	0.072	6.02
36	07.15-07.18	-3.21	-13.75	11.07	60	18.24	0.070	4.42
37	07.18-07.21	-4.32	-13.75	9.36	60	27.53	0.105	12.91
38	07.21-07.24	-3.42	-13.75	10.59	60	19.86	0.076	5.93
39	07.24-07.27	-3.80	-13.75	9.57	60	22.95	0.088	10.04
40	07.27-07.30	-4.83	-13.75	9.44	60	32.47	0.124	14.80
41	07.30-07.33	-4.64	-13.75	8.65	60	30.58	0.117	18.03
42	07.33-07.36	-4.64	-13.75	8.44	60	30.59	0.117	19.24
43	07.36-07.39	-4.44	-13.75	9.32	60	28.59	0.109	13.59
44	07.39-07.42	-6.00	-13.75	8.02	60	46.43	0.177	33.22
45	07.42-07.45	-5.49	-13.75	7.71	60	39.94	0.153	31.28
46	07.45-07.48	-5.26	-13.75	8.32	60	37.13	0.142	24.23
47	07.48-07.51	-4.11	-13.75	9.79	60	25.58	0.098	10.35
48	07.51-07.54	-4.68	-13.75	8.94	60	30.98	0.118	16.68
49	07.54-07.57	-4.76	-13.75	8.86	60	31.77	0.121	17.54
50	07.57-08.00	-4.00	-13.75	9.77	60	24.61	0.094	10.03

Gelombang kejut yang terjadi pada Jalan Raya Wonogiri-Sukoharjo - Jalan Ciu Karangwuni - Jalan Gedongan diperlihatkan pada gambar 3 kurva volume - kepadatan. Pada gambar 3 diperlihatkan terdapat beberapa gelombang kejut yang terjadi yaitu *wda* (gelombang kejut maju bentukan), *wdb* (gelombang kejut diam depan), *wab* (gelombang kejut mundur bentukan), *wdc* (gelombang kejut maju pemulihan), *wcb* (gelombang kejut mundur pemulihan), dan *wac* (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 pendekat simpang Jalan Raya Wonogiri-Sukoharjo Lajur Luar.



Gambar 2. Kurva Volume – Kepadatan



Gambar 3. Diagram Jarak – Waktu

Pada tabel hasil perhitungan gelombang kejut didapatkan panjang antrian maksimum dan waktu penormalan yang cukup tinggi dibandingkan dengan yang terjadi dilapangan (*real*), sehingga diperlukan uji validasi antara hasil perhitungan dan lapangan.

Tabel 4. Perbandingan Uji Validasi) Waktu Penormalan (I) 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 Raya Wonogiri-Sukoharjo Lajur Luar	0.48	0.31	1.94	2.33
2	Jalan Raya Wonogiri-Sukoharjo Lajur Dalam	0.96	0.76	1.24	1.55
	Rata-rata	0.72	0.49	1.59	1.94

Hasil uji validasi pada tabel menunjukkan bahwa analisis gelombang kejut kurang akurat dalam memprediksi panjang antrian dan waktu penormalan yang terjadi dengan tingkat kesalahan yang cukup besar. Analisis menggunakan  $emp_{MKJI1997}$  menunjukkan tingkat kesalahan yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan  $emp_{Headway}$ .

## KESIMPULAN

1. Perhitungan emp menggunakan analisis *headway* di simpang bersinyal Jalan Raya Wonogiri-Sukoharjo – Jalan Ciu Karangwuni – Jalan Gedongan didapatkan emp MC = 0,45 dan emp HV = 1,29.

2. Gelombang kejut yang terjadi di simpang bersinyal Jalan Raya Wonogiri-Sukoharjo – Jalan Ciu Karangwuni – Jalan Gedongan adalah sebagai berikut :  $w_{ab} = -1,42$  km/jam,  $w_{cb} = -13,75$  km/jam,  $w_{ac} = 12,15$  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 3 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.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Ir. Agus Sumarsono, MT dan Amirotul M.H.M., MSc yang telah membimbing dan memberikan bantuan dalam penelitian ini sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir dan jurnal ini.

## REFERENSI

- Andiani, Christy A. 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 SoloSragen Km.12)*. Surakarta: Jurnal Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- 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.
- Jannah, Nur Retno. 2015. *Studi Gelombang Kejut pada Simpang Bersinyal Menggunakan EMP atas Dasar Analisa Headway (Studi Kasus Simpang Bersinyal Jalan Urip Sumobarjo-Jalan Sutan Syabrir-Jalan Insinyur H. Juanda)*. Surakarta: Jurnal Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ambara, Duncan. 2016. *Studi Gelombang Kejut pada Simpang Bersinyal Dengan Menggunakan EMP atas Dasar Analisis Headway (Studi Kasus Simpang Bersinyal Jl. Ir Sutami – Jl. HOS Cokroaminoto – Jl. Petir)*. Surakarta: Jurnal Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Malau, H. Rikki dan Medis S Surbakti. 2014. *Aplikasi Shockwave Analysis Dan Queueing Analysis untuk Menghitung Panjang Antrian pada Perlintasan Sebidang*. Medan: Jurnal Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatra Utara, Medan
- Morlok, Edward K. 1978. *Introducing to Transportation Engineering and Planning*. Mc Graw-Hill, Inc.
- Salter, R.J. 1980. *Highway Traffic Analysis and Design*. The Macmillan Press Ltd.
- Tamin, Ofyar Z. 2003. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi: Contoh Soal dan Aplikasi*. ITB. Bandung

