

STUDI GELOMBANG KEJUT PADA PERSIMPANGAN JALAN DAN JALAN REL DENGAN MENGGUNAKAN EMP ATAS DASAR ANALISA HEADWAY (STUDI KASUS PERLINTASAN KERETA PURWOSARI JL. SLAMET RIYADI SURAKARTA)

Agus Sumarsono ¹⁾, Amirotul MHM ²⁾, Ika Noviyanti ³⁾

³⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{1),2)} Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: [yantiniika@gmail.com](mailto:yantinoviika@gmail.com)

Abstract

Cross plot between the highway with railway leads to queues and delays. This research is located at the cross rail Purwosari Jl. Slamet Riyadi Surakarta on the outside lane of traffic flow direction from west to east. Due to the cross This causes traffic to be disrupted and also the formation of a shock wave. This study aims to find the value of the PCE headway ratio method and analyze shock waves based on the value obtained from the PCE headway ratio method. The research was conducted on Wednesday with the data collection period morning (06:00 to 9:00 hours), day (hours 11:00 to 13:30) and evening (jam 15.30-18.00). calculations based on Greenshields linear model. Based on the analysis obtained value PCE for motorcycles (MC) 0.42, large vehicles (HV) 1.34. In the calculation ratiogenerated the greatest value $\omega_{ab} = 4.745 \text{ km/h}$, $\omega_{cb} = 10.641 \text{ km/h}$, and $\omega_{ac} = 6.977 \text{ km/h}$ with a delay of $Q = 0.264 \text{ km}$ and a normalization of $T = 3.76 \text{ minutes}$ for the outside lane. While the calculation for the inlane obtained $\omega_{ab} = 2.732 \text{ km/h}$, $\omega_{cb} = 12.201 \text{ km/h}$, and $\omega_{ac} = 11.771 \text{ km/h}$ with a delay of $Q = 0.274 \text{ km}$ and a normalization of $T = 2.74 \text{ minutes}$ for the inlane.

Keywords: Shock Wave, PCE, Headway Ratio, Linier Greenshields Method

Abstrak

Pertemuan antara jalan dengan jalan rel menyebabkan terjadinya antrian dan tundaan. Penelitian ini berlokasi di persilangan KA Purwosari Jl. Slamet Riyadi Surakarta pada lajur luar arah arus lalu lintas dari barat ke timur. Akibat adanya persilangan ini menyebabkan arus lalu lintas menjadi terganggu dan juga terbentuknya gelombang kejut (*Shock Wave*). Penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai emp dengan metode *rasio headway* dan menganalisis gelombang kejut berdasarkan nilai emp kendaraan yang didapatkan dari metode *rasio headway*. Penelitian ini dilakukan pada hari rabu dengan periode pengambilan data pagi (jam 06.00-09.00), siang (jam 11.00-13.30) dan sore (jam 15.30-18.00). Perhitungan berdasarkan model *linier Greenshields*. Berdasarkan analisis didapatkan nilai emp untuk sepeda motor (MC) 0,42 sementara untuk kendaraan besar (HV) 1,34. Pada perhitungan diperoleh nilai selombang kejut terbesar $\omega_{ab} = 4,745 \text{ km/jam}$, $\omega_{cb} = 10,641 \text{ km/jam}$, dan $\omega_{ac} = 6,977 \text{ km/jam}$ dengan tundaan $Q = 0.264 \text{ km}$ dan waktu penormalan $T = 3,76 \text{ menit}$ untuk lajur luar. Sedangkan perhitungan untuk lajur dalam diperoleh $\omega_{ab} = 2,732 \text{ km/jam}$, $\omega_{cb} = 12,201 \text{ km/jam}$, dan $\omega_{ac} = 11,771 \text{ km/jam}$ dengan tundaan $Q = 0.274 \text{ km}$ dan waktu penormalan $T = 2,74 \text{ menit}$ untuk lajur dalam.

Kata kunci: Gelombang Kejut, emp, Rasio *Headway*, Metode *Linier Greenshields*

PENDAHULUAN

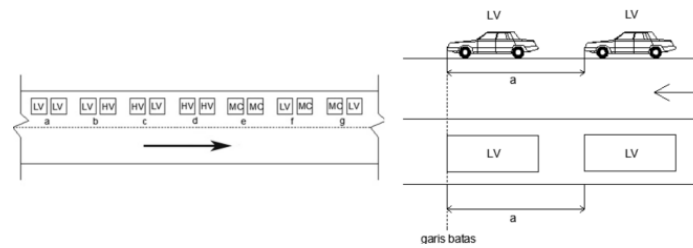
Jalan Slamet Riyadi adalah jalan yang teletak di kota Surakarta yang menghubungkan dengan kota Boyolali, Salatiga dan Semarang. Namun karena adanya perlintasan rel kereta api menyebabkan mobilitas menjadi terganggu yaitu kendaraan berhenti, kecepatan menurun, kerapatan meningkat sehingga terjadi antrian. Gerakan arus lalu lintas yang terjadi pada saat pintu perlintasan ditutup inilah yang disebut dengan gelombang kejut.

Penelitian dilakukan pada persimpangan antara jalan dan jalan rel Jl. Slamet Riyadi yaitu pada jalur ke Solo. Lokasi tersebut dipilih karena arus yang melintas jalan tersebut sangat padat terutama pada jam-jam sibuk. Pada penelitian ini peneliti menggunakan emp atas dasar metode rasio headway yaitu dengan menggunakan emp daerah yang diteliti. Penelitian ini dianalisis berdasarkan model linier *Greenshields* yang kemudian akan digunakan untuk perhitungan besar gelombang kejut yang terjadi lokasi penelitian.

LANDASAN TEORI

Metode Rasio *Headway*

Metode Rasio *Headway* adalah salah satu cara untuk menentukan nilai emp kendaraan. Menurut R.J. Salter dalam bukunya "*Highway Traffic Analysis and Design*", nilai emp didapat dengan mencatat waktu antara (*time headway*) antara kendaraan yang berurutan pada saat kendaraan-kendaraan tersebut melewati suatu titik yang telah ditentukan. Ilustrasi perhitungan *time headway* dapat dilihat dalam gambar 1, sedangkan untuk menghitung *time headway* dilakukan dengan langkah sebagai berikut:



Gambar 1. Kombinasi pasangan kendaraan yang ditinjau dan contoh cara pencatatan *time headway* LV-LV

Dimana pencatatan yang dilakukan adalah pencatatan *time headway* antara LV dengan LV yang berurutan, pencatatan *time headway* antara LV dengan HV yang berurutan, pencatatan *time headway* antara HV dengan LV yang berurutan, pencatatan *time headway* antara HV dengan HV yang berurutan, pencatatan *time headway* antara MC dengan MC yang berurutan, pencatatan *time headway* antara LV dengan MC yang berurutan dan pencatatan *time headway* antara MC dengan LV yang berurutan.

Selanjutnya, dari hasil pencatatan di atas dapat dihitung nilai *time headway* rata-rata sebagai berikut :

$$ta + td = tb + tc \dots\dots\dots (1)$$

ta nilai rata-rata *time headway* LV diikuti LV, tb nilai rata-rata *time headway* LV diikuti HV, tc nilai rata-rata *time headway* HV diikuti LV dan td nilai rata-rata *time headway* HV diikuti HV.

Keadaan yang dapat memenuhi persamaan diatas sulit diperoleh karena tiap kendaraan mempunyai karakteristik yang berbeda. Demikian juga pengemudi memiliki kemampuan berbeda dalam mengemudi. Oleh karena itu diperlukan koreksi terhadap nilai rata-rata *time headway* sebagai berikut :

$$\left[ta - \frac{k}{na} \right] + \left[td - \frac{k}{nd} \right] = \left[tb + \frac{k}{nb} \right] + \left[tc + \frac{k}{nc} \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$k = \frac{na.nb.nc.nd.[ta+td-tb-tc]}{na.nb.nc+na.nb.nd+na.nc.nd+nb.nc.nd} \dots\dots\dots (3)$$

(R.J. Salter, 1980)

na jumlah data *time headway* LV diikuti LV, nb jumlah data *time headway* LV diikuti HV, nc jumlah data *time headway* HV diikuti LV dan nd jumlah data *time headway* HV diikuti HV.

Dengan menggunakan nilai rata-rata *time headway* yang sudah dikoreksi maka dapat diperoleh nilai

$$ta_k + td_k = tb_k + tc_k \dots\dots\dots (4)$$

(R.J. Salter, 1980)

ta_k nilai rata-rata *time headway* LV-LV terkoreksi, tb_k nilai rata-rata *time headway* LV-HV terkoreksi, tc_k nilai rata-rata *time headway* HV-LV terkoreksi dan td_k nilai rata-rata *time headway* HV-HV terkoreksi.

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

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

(R.J. Salter, 1980)

Tinjauan Statistik Rasio Headway

Karena sampel dipilih acak maka dimungkinkan adanya suatu kesalahan standar deviasi dari distribusi yang dinyatakan sebagai *standard error* (E) sebagai berikut:

$$E = \frac{s}{n^{0.5}} \dots\dots\dots (6)$$

E standard error, s standar deviasi dan n jumlah sampel.
 Dan s adalah standard deviasi dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (7)$$

n jumlah sampel, x_i nilai *time headway* ke-i dan \bar{x} nilai rata-rata sampel *time headway*.

Untuk perkiraan nilai rata-rata *time headway* seluruh pasangan kendaraan (μ) dapat disesuaikan dengan tingkat kepastian atau keyakinan yang diinginkan (*desired level of confidence*). Perkiraan ini terletak dalam suatu interval yang disebut interval keyakinan (*confidence interval*) yang mempunyai batas toleransi kesalahan sebesar :

$$e = K.E \dots\dots\dots (8)$$

Nilai rata-rata *time headway* untuk distribusi normal ($n \geq 30$) :

$$\mu_{1,2} = \bar{x} \pm e \dots\dots\dots (9)$$

K tingkat kepastian distribusi normal, $\mu_{1,2}$ batas keyakinan atas dan bawah nilai rata-rata, \bar{x} nilai rata-rata *time headway* dan e batas toleransi kesalahan.

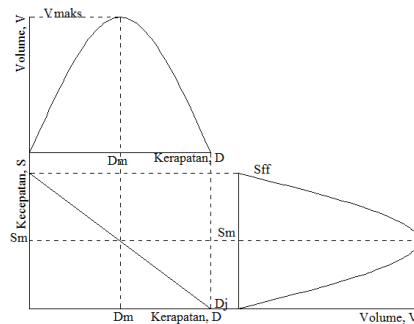
Hubungan Kecepatan, Volume dan Kepadatan

Hubungan antara kecepatan, volume dan kepadatan dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$V = D \times S \dots\dots\dots (10)$$

V volume (kend/jam), D kepadatan (kend/km) dan S kecepatan (km/jam).

Hubungan ini dapat juga digambarkan dengan Gambar 1. yang menunjukkan hubungan umum antara kecepatan-kepadatan (S-D), volume-kepadatan (V-D) dan volume-kecepatan (V-S).



Gambar 2. Hubungan kecepatan volume dan kepadatan
 Sumber: Tamin (2003)

Model Linier Greenshields

Greenshields (1934) yang mengadakan studi di jalan-jalan luar kota Ohio USA mengusulkan model linier antara space mean speed dengan kepadatan kendaraan. Dari penelitiannya *Greenshields* memodelkan persamaan sebagai berikut:

Tabel 1. Persamaan Model Linier *Greenshields*

Hubungan	Persamaan yang Dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S-D	$S = S_{ff} - \left(\frac{S_{ff}}{D_j}\right) D$	V_M	$V_m = \frac{D_j S_{ff}}{4}$
V-D	$V = D S_{ff} - \left(\frac{S_{ff}}{D_j}\right) D^2$	S_M	$S_m = \frac{D_j S_{ff}}{2}$
V-S	$V = S D_j - \left(\frac{D_j}{S_{ff}}\right) S^2$	D_M	$D_m = \frac{D_j}{2}$

Gelombang Kejut

Gelombang kejut didefinisikan sebagai batas kondisi berbasis ruang dan waktu ditandai dengan diskontinuitas antara arus padat dan tak padat (May, 1990). Sedangkan Lighthill dan Whitham seperti dikutip dari Wohl dan Martin (1967) menjelaskan bahwa gelombang kejut terbentuk ketika pada sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kerapatan rendah yang diikuti oleh arus dengan kerapatan tinggi, dimana kondisi ini mungkin diakibatkan oleh kecelakaan, pengurangan jumlah lajur, atau jalur masuk *ramp*.

Gelombang kejut pada persimpangan jalan dan jalan rel terjadi pada kondisi perlintasan dibuka dan ditutup. Pertama akibat tertutupnya badan jalan dan yang kedua karena perlambatan sebagai akibat dari pengurangan kecepatan kendaraan di depan kelompok kendaraan (*platoon*) untuk mengurangi ketidaknyamanan saat melintasi jalur rel yang tidak rata. Gelombang kejut yang terbentuk dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = - \frac{V_A}{D_B - D_A} \dots\dots\dots(11)$$

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

$$\omega_{AC} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} \dots\dots\dots(13)$$

ω_{AB} gelombang kejut mundur bentukan, ω_{CB} gelombang kejut mundur pemulihan dan ω_{AC} gelombang kejut maju pemulihan.

Interval waktu antara t_2 dan t_3 dapat dihitung sebagai berikut:

$$t_3 - t_2 = r \left| \frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| \dots\dots\dots(14)$$

Panjang antrian maksimum pada waktu t_3 dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Q_M = \frac{r}{3600} \cdot \left| \frac{\omega_{CB} - \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| \dots\dots\dots(15)$$

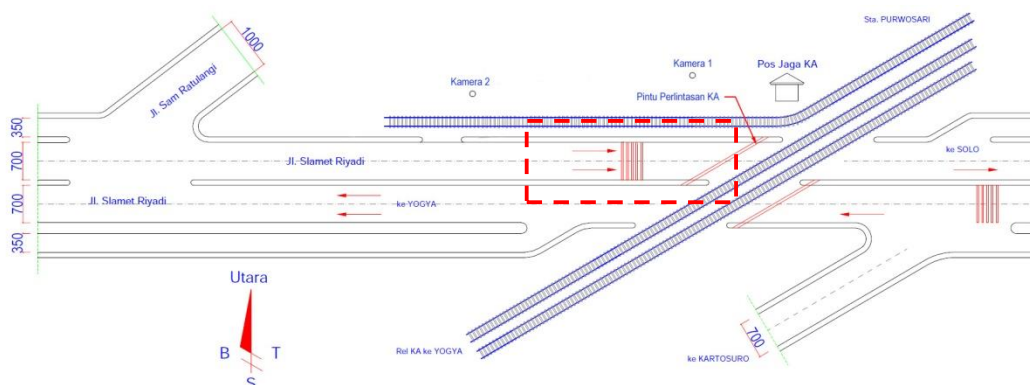
dimana r = lamanya waktu penutupan pintu perlintasan = $t_2 - t_1$

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

$(t_4 - t_2) = T$ merupakan waktu penormalan, yaitu total waktu antara sejak diberlakukannya penormalan lajur hingga antrian berakhir.

METODE PENELITIAN

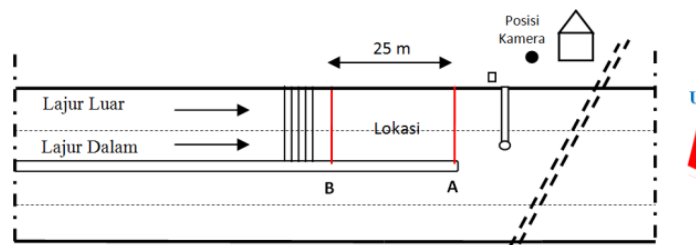
Penelitian mengambil lokasi di perlintasan kereta api Purwosari pada ruas Jalan Slamet Riyadi Surakarta. Lokasi pengambilan data adalah pada ruas barat (arah pergerakan dari barat ke timur). Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Denah lokasi penelitian

Periode pengamatan dilakukan pada waktu pagi hari (jam 06.00-09.00), siang hari (jam 11.00-13.30) dan sore hari (jam 15.30-18.00). Pemilihan periode pengamatan ini dilakukan berdasarkan survei pendahuluan. Pemilihan ini didasarkan pada kondisi dimana frekuensi kereta api yang lewat tinggi, sehingga dapat diketahui pengaruh penutupan perlintasan kereta terhadap lalu sedangkan internal pengamatan di lapangan adalah 15 menit.

Pengambilan data Kecepatan dihitung berdasarkan waktu selang pada jarak tertentu. Pengambilan data kecepatan ini dilakukan untuk semua jenis kendaraan yaitu MC, LV dan HV.



Gambar 4. Denah lokasi survei data kecepatan

Selanjutnya diambil data lama penutupan pintu perlintasan. Data ini diperoleh dengan mencatat waktu pintu ditutup 45° sampai pintu dibuka 45° , dari selisih waktu ini kita dapatkan lama pintu perlintasan tersebut ditutup. Data selanjutnya yaitu data *time headway*. Data ini diperoleh dengan mengukur senjang waktu (*time headway*) dari tiap jenis pasangan kendaraan yang berurutan. Misalnya jarak antara HV dengan HV, LV dengan LV dan seterusnya. Pada lokasi survei diberi tanda pada penggal jalan tertentu dengan jarak tertentu.

PEMBAHASAN

Perhitungan Nilai emp

Dari hasil survey di lapangan, diperoleh data *time headway* sebagai berikut:

Tabel 2. Data *time headway* (detik) LV-MC lajur luar pada pagi hari

Jam	LV - LV				MC - MC								LV - MC				MC - LV	
06.00-06.15	4,66	3,25	4,63	0,94	2,27	3,21	1,01	2,51	0,87	2,7	2,41	2,87	3,02	1,87	1,65	2,99	3,52	
	7,85	4,51	7,16	0,42	2,31	0,85	2,88	7,3	0,59	0,8	0,57	3,21	0,98	2,12	2,98	2,83	3,44	
6.14	4,35	5,48	1,65	1,66	0,6	0,52	3,44	0,99	5,27	0,99	1,65	1,71	3,21	3,15	2,71	1,13		
	4,45	3,68	2,48	1,63	1,67	3,2	1,68	1,65	1,67	0,67	3,2	0,98	1,63	3,49	3,85	1,12	5,61	
5.56	4,69	5,44	1,05	1,05	3,19	1,62	0,88	0,44	1,64	1,63	1,68	1,66	2,47	2,63	3,21	3,41		
	5,1	3,15	2,45	0,85	1,65	0,68	3,69	0,56	0,76	1,05	6,21	1,62	1,71	4,15	3,11	1,52	6,15	
3.78	4,28		0,68	2,98	1,61	0,87	0,84	3,61	1,61	1,02	2,58	0,56	2,91	7,5	3,52	1,87		
			1,72	1,11	2,39	1,61	0,94	2,03	6,64	1,62	6,9	0,91	2,87	1,43	3,15	2,89		
			4,04	1,68	2,75	0,89	1,62	1,11	2,66	1,01	2,96	2,81	3,12	3,58	3,62	3,42		
			0,58	2,92	3,75	1,64	6,75	2,94	0,68	0,89	1,62	4,33	3,13	2,67	3,51	3,42		
			0,47	4,42	3,2	0,25	0,75	2,54	1,7	3,54	0,92	0,78						
			1,62	0,57	3,47	0,58	4,5	1,12	0,37	1,11	2,85	2,5						
			5,27	1,03	1,66	0,85	0,75	0,87	0,32	3,11	0,98	0,87						
			3,54	2,96	0,78	0,44	1,69	3,52	0,88	3,56	2,38							

Berikut ini merupakan contoh perhitungan nilai emp kendaraan:

(1) Jenis pasangan kendaraan

LV-LV = *Light Vehicle* diikuti *Light Vehicle*

MC-MC = *Motor Cycle* diikuti *Motor Cycle*

LV-MC = *Light Vehicle* diikuti *Motor Cycle*

MC-LV = *Motor Cycle* diikuti *Light Vehicle*

(2) Jumlah sampel *time headway*

LV-LV = 20

MC-MC = 139

LV-MC = 20

MC-LV = 20

- (3) Jumlah *time headway* pasangan kendaraan LV-LV
 $4,66 + 3,25 + 4,63 + 7,85 + 4,51 + 7,16 + 6,14 + 4,35 + 6,48 + 4,45 + 3,68 + 2,48 + 5,56 + 4,69 + 6,44 + 5,1 + 3,15 + 2,45 + 3,78 + 4,28 = 93,09$ detik
- (4) Rata-rata *time headway* pasangan kendaraan LV-LV
 $\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{93,09}{20} = 4,65$ detik
- (5) Deviasi standard pasangan kendaraan LV-LV

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{(20-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 1,39$$
- (6) Standard error pasangan kendaraan LV-LV
 $E = \frac{s}{n^{0,5}} = \frac{1,39}{20^{0,5}} = 0,31$
- (7) Batas toleransi kesalahan pasangan kendaraan LV-LV
 Dengan tingkat konfidensi 95% maka $K = 1,967$
 Sehingga $e = K \times E = 1,967 \times 0,31 = 0,61$
- (8) Batas keyakinan atas nilai rata-rata *time headway*
 $\mu_1 = \bar{x} + e = 4,65 + 0,61 = 5,27$ detik
- (9) Batas keyakinan bawah nilai rata-rata *time headway*
 $\mu_2 = \bar{x} - e = 4,65 - 0,61 = 4,04$ detik

Jadi, senjang rata-rata *time headway* seluruh pasangan kendaraan LV-LV terletak pada interval 5,27 – 4,04 detik. Hasil perhitungan pasangan kendaraan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan senjang rata-rata *time headway*

Jenis	N	Σx	\bar{x}	S	E	e	μ_1	μ_2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
LV - LV	20	93,09	4,65	1,39	0,31	0,61	5,27	4,04
MC - MC	139	274,38	1,97	1,46	0,12	0,24	2,22	1,14
LV - MC	20	61,89	3,09	1,25	0,28	0,55	3,64	2,54
MC - LV	20	63,04	3,15	1,23	0,28	0,54	3,69	2,61

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Data *time headway* pada tabel 3 di atas dicari yang memenuhi senjang rata-ratanya, untuk kemudian diperoleh *time headway* koreksi tiap iringan kendaraan seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai *time headway* terkoreksi

Jam	LV - LV			MC - MC			LV - MC			MC - LV		
06.00-06.15	4,66	4,63	4,51	1,65	1,66	1,65	2,98	3,21	3,15	2,99	3,52	2,83
	4,35	5,48	4,45	1,71	1,63	1,67	3,49	2,63	3,11	3,44	2,71	3,21
	4,69	5,1	4,28	1,68	1,65	1,67	2,91	2,87	3,12	3,41	3,52	3,15
				1,63	1,62	1,64	3,58	3,13	2,67	2,89	3,62	3,42
				1,63	1,68	1,66				3,51	3,42	
				1,65	1,62	1,71						
				1,61	1,61	1,72						
				1,61	1,62	1,68						
				1,62	1,69	1,64						
				1,62	1,7	1,62						
				1,66								

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Berikut adalah contoh perhitungan nilai emp MC:

- (1) Jenis pasangan kendaraan
- LV-LV = *Light Vehicle* diikuti *Light Vehicle*
- LV-MC = *Light Vehicle* diikuti *Motor Cycle*
- MC-LV = *Motor Cycle* diikuti *Light Vehicle*
- MC-MC = *Motor Cycle* diikuti *Motor Cycle*

- (2) Jumlah sampel *time headway* tekoreksi

LV-LV = 9

MC-MC = 31

LV-MC = 12

MC-LV = 14

- (3) Jumlah *time headway* pasangan kendaraan LV-LV
 $4,66 + 4,63 + 4,51 + 4,35 + 5,48 + 4,45 + 4,69 + 5,1 + 4,28 = 42,15$ detik

- (4) Rata-rata *time headway* tiap pasangan kendaraan

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x}_{LV-LV} = \frac{42,15}{9} = 4,68 \text{ detik}$$

$$\bar{x}_{MC-MC} = \frac{51,21}{31} = 1,65 \text{ detik}$$

$$\bar{x}_{LV-MC} = \frac{36,85}{12} = 3,07 \text{ detik}$$

$$\bar{x}_{MC-LV} = \frac{45,64}{14} = 3,26 \text{ detik}$$

- (5) Koefisien koreksi

$$k = \frac{na \times nb \times nc \times nd \times [ta + td - tb - tc]}{nd \times nb \times nc + na \times nb \times nc + na \times nd \times nc + na \times nd \times nb}$$

$$k = \frac{9 \times 31 \times 12 \times 14 \times [4,68 + 1,65 - 3,07 - 3,26]}{31 \times 12 \times 14 + 9 \times 12 \times 14 + 9 \times 31 \times 14 + 9 \times 14 \times 12}$$

$$k = 0,015$$

dengan :

- na = jumlah data *time headway* LV diikuti LV
- nb = jumlah data *time headway* LV diikuti MC
- nc = jumlah data *time headway* MC diikuti LV
- nd = jumlah data *time headway* MC diikuti MC

- (6) Rata-rata *time headway* terkoreksi

$$ta_k = ta - \frac{k}{na} = 4,68 - \frac{0,0015}{9} = 4,68 \text{ detik}$$

$$tb_k = tb - \frac{k}{nb} = 1,065 - \frac{0,0015}{31} = 1,65 \text{ detik}$$

$$tc_k = tc - \frac{k}{nc} = 3,07 - \frac{0,0015}{12} = 3,07 \text{ detik}$$

$$td_k = td - \frac{k}{nd} = 3,26 - \frac{0,0015}{12} = 3,26 \text{ detik}$$

- (7) Persamaan terkoreksi

$$ta_k + td_k = tb_k + tc_k$$

$$4,68 + 1,65 = 3,07 + 3,26$$

$$6,33 = 6,33 \text{ detik}$$

(8) Nilai emp MC

$$emp\ MC = \frac{td_k}{ta_k} = \frac{1,65}{4,68} = 0,35$$

Tabel 5. Perhitungan nilai emp MC

Waktu Survey	Jenis	n	Σx	\bar{x}	k	t koreksi	Jumlah	emp
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
06.00 - 07.15	LV - LV	9	42,15	4,68	0,015	4,68	6,33	0,35
	MC - MC	31	51,21	1,65		1,65		
	LV - MC	12	36,85	3,07		3,07		
	14	45,64	3,26	14		1,44	6,33	

Hasil perhitungan emp MC dan HV dengan metode rasio *headway* dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi nilai emp dengan analisa *headway*

No.	Lokasi Pengamatan	Nilai EMP		
		MC	LV	HV
1.	Lajur Luar	0,46	1,00	1,31
2.	Lajur Dalam	0,37	1,00	1,36
Jumlah		0,83	2,00	2,67
Rata-rata nilai EMP		0,42	1,00	1,34

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Perhitungan Arus, Kecepatan dan Kepadatan

Dari perhitungan nilai emp, kemudian digunakan untuk menghitung arus, kecepatan dan kepadatan. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

- (1) Volume kendaraan MC = 227 (tabel 7)
- (2) Volume kendaraan LV = 21 (tabel 7)
- (3) Volume kendaraan HV = 0 (tabel 7)
- (4) Nilai emp MC = 0,42 (tabel 6)
- (5) Nilai emp LV = 1,00 (tabel 6)
- (6) Nilai emp HV = 1,34 (tabel 6)
- (7) Volume kendaraan per 15 menit = $227 \times 0,42 + 21 \times 1,00 + 0 \times 1,34 = 115,21\ smp/15\ menit$
- (8) Volume kendaraan per jam = $115,21 \times 4 = 460,82\ smp/jam$
- (9) $S = \frac{L}{(t_2 - t_1)} = 20,32\ km/jam$
- (10) Kepadatan = $\frac{460,82}{20,32} = 22,68\ smp/km$

Perhitungan data Regresi:

- (1) Volume kendaraan perjam = 460,82 smp/jam (tabel 7)
- (2) Kecepatan kendaraan = 20,32 km/jam = Yi (tabel 7)
- (3) Kepadatan kendaraan = 22,68 smp/km = Xi (tabel 7)

Tabel 7. Perhitungan Arus, Kecepatan dan Kepadatan pada Lajur Luar Berdasarkan emp *Headway*

JAM	Volume (kend)			Nilai emp			Volume (smp/15menit)	Volume (smp/Jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)
	MC	LV	HV	MC	LV	HV				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)				
06.00 - 06.15	227	21	0	0,42	1,00	1,34	115,21	460,82	20,32	22,68
06.15 - 06.30	455	15	1	0,42	1,00	1,34	205,16	820,64	18,98	43,24
06.30 - 06.45	550	32	0	0,42	1,00	1,34	260,25	1041,00	17,19	60,56
06.45 - 07.00	760	83	4	0,42	1,00	1,34	403,74	1614,96	16,52	97,76
07.00 - 07.15	598	90	0	0,42	1,00	1,34	338,17	1352,68	17,15	78,87
07.15 - 07.30	503	80	2	0,42	1,00	1,34	291,42	1165,66	17,05	68,37
07.30 - 07.45	533	71	0	0,42	1,00	1,34	292,20	1168,78	18,02	64,86
07.45 - 08.00	570	69	1	0,42	1,00	1,34	306,89	197,69	21,13	9,36
08.00 - 08.15	859	155	0	0,42	1,00	1,34	511,49	367,27	22,03	16,67
08.15 - 08.30	230	203	0	0,42	1,00	1,34	298,45	326,86	22,61	14,46
08.30 - 08.45	303	25	2	0,42	1,00	1,34	153,42	91,34	21,15	4,32
08.45 - 09.00	398	72	6	0,42	1,00	1,34	245,18	181,76	21,45	8,47
11.00 - 11.15	393	101	1	0,42	1,00	1,34	265,43	1061,72	19,06	55,70
11.15 - 11.30	370	56	3	0,42	1,00	1,34	213,56	854,22	16,75	51,00
11.30 - 11.45	478	96	2	0,42	1,00	1,34	297,04	1188,16	16,27	73,03
11.45 - 12.00	400	102	1	0,42	1,00	1,34	269,34	1077,34	20,41	52,78
12.00 - 12.15	405	71	3	0,42	1,00	1,34	243,08	972,32	16,83	57,77
12.15 - 12.30	407	93	1	0,42	1,00	1,34	263,24	1052,96	21,18	49,71
12.30 - 12.45	380	83	1	0,42	1,00	1,34	242,04	968,14	21,64	44,74
12.45 - 13.00	347	92	1	0,42	1,00	1,34	237,34	949,36	17,24	55,07
13.00 - 13.15	397	98	1	0,42	1,00	1,34	264,09	1056,36	16,83	62,77
13.15 - 13.30	318	87	4	0,42	1,00	1,34	224,31	897,24	15,78	56,86
15.30 - 15.45	383	91	1	0,42	1,00	1,34	251,28	1005,12	17,50	57,44
15.45 - 16.00	472	85	3	0,42	1,00	1,34	284,89	1139,54	16,57	68,77
16.00 - 16.15	352	50	1	0,42	1,00	1,34	197,42	789,66	15,39	51,31
16.15 - 16.30	620	71	0	0,42	1,00	1,34	328,30	1313,20	13,18	99,64
16.30 - 16.45	253	18	4	0,42	1,00	1,34	128,34	513,34	14,10	36,41
16.45 - 17.00	872	201	1	0,42	1,00	1,34	564,22	2256,86	14,35	157,27
17.00 - 17.15	503	71	1	0,42	1,00	1,34	281,08	1124,32	13,46	83,53
17.15 - 17.30	415	136	1	0,42	1,00	1,34	309,56	1238,24	16,47	75,18
17.30 - 17.45	312	111	1	0,42	1,00	1,34	241,82	967,26	17,51	55,24
17.45 - 18.00	288	89	2	0,42	1,00	1,34	211,19	844,76	16,30	51,83
Jumlah	14.351	2.718	49	13,28	32,00	2,72	8.739,08	30.059,57		1.785,65
rata - rata emp				0,42	1,00	1,34				

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Dari tabel 7 dapat dihitung nilai konstanta (A) dan koefisiensi regresi (B), dengan menggunakan persamaan :

$$B = \frac{N \sum_{i=1}^N (X_i Y_i) - \sum_{i=1}^N X_i \cdot \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N (X_i^2) - (\sum_{i=1}^N X_i)^2}$$

$$A = \bar{Y} - B\bar{X}$$

$$B = \frac{(32).(30059,57) - (1785,65).(570,42)}{(32).(128228,84) - (1785,65)^2} = -0,0619$$

$$A = (17,83) - (-0,0619).(55,81) = 21,2823$$

Sehingga dihasilkan nilai :

$$S_{ff} = 21,2823 \text{ km/jam, dan}$$

$$D_j = -\frac{21,2823}{-0,0619} = 343,5655 \text{ smp/jam}$$

Selanjutnya menggunakan nilai A = 21,2823 dan B = -0,0619 maka dapat ditentukan hubungan matematis antar parameter sebagai berikut :

Hubungan Kecepatan – Kepadatan : $S = 21,2823 - 0,0619D$
 Hubungan Arus – Kepadatan : $V = 21,2823D - 0,0619D^2$
 Hubungan Arus – Kecepatan : $V = 343,5655 S - 16,1433S^2$

Arus maksimum didapat dari persamaan :

$$\begin{aligned}
 V_{maks} &= \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4} \\
 &= \frac{343,5655 \times 21,2823}{4} \\
 &= 1827,96 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

Kecepatan dan kepadatan ada saat arus maksimum didapat dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}
 S &= S_M = S_{ff} / 2 = 21,2823 / 2 = 10,64 \text{ km/jam} \\
 D_M &= D = D_j / 2 = 343,5655 / 2 = 171,78 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 8. Perhitungan Arus, Kecepatan dan Kepadatan pada Lajur Dalam Berdasarkan emp *Headway*

JAM	Volume (kend)			Nilai emp			Volume (smp/15menit)	Volume (smp/Jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)
	MC	LV	HV	MC	LV	HV				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
06.00 - 06.15	89	58	1	0,42	1,00	1,34	96,27	385,08	36,87	10,44
06.15 - 06.30	228	97	1	0,42	1,00	1,34	192,96	771,82	20,55	37,56
06.30 - 06.45	192	150	3	0,42	1,00	1,34	233,69	934,74	19,54	47,84
06.45 - 07.00	383	175	2	0,42	1,00	1,34	336,62	1346,46	17,41	77,34
07.00 - 07.15	308	133	1	0,42	1,00	1,34	262,16	1048,62	16,98	61,76
07.15 - 07.30	274	121	3	0,42	1,00	1,34	238,72	954,86	16,05	59,49
07.30 - 07.45	227	113	3	0,42	1,00	1,34	211,21	844,84	17,12	49,35
07.45 - 08.00	229	118	5	0,42	1,00	1,34	219,71	215,85	18,62	11,59
08.00 - 08.15	409	220	8	0,42	1,00	1,34	400,42	396,85	28,74	13,81
08.15 - 08.30	210	184	1	0,42	1,00	1,34	272,49	298,42	24,25	12,31
08.30 - 08.45	131	77	4	0,42	1,00	1,34	136,71	139,07	21,98	6,33
08.45 - 09.00	172	132	6	0,42	1,00	1,34	211,39	227,74	25,61	8,89
11.00 - 11.15	166	148	7	0,42	1,00	1,34	226,24	904,94	20,45	44,25
11.15 - 11.30	159	123	2	0,42	1,00	1,34	191,66	766,62	17,32	44,26
11.30 - 11.45	156	68	3	0,42	1,00	1,34	136,75	546,98	15,31	35,73
11.45 - 12.00	174	166	5	0,42	1,00	1,34	244,89	979,54	17,55	55,81
12.00 - 12.15	234	134	2	0,42	1,00	1,34	233,78	935,12	15,98	58,52
12.15 - 12.30	167	114	2	0,42	1,00	1,34	185,98	743,90	18,24	40,78
12.30 - 12.45	168	136	2	0,42	1,00	1,34	208,39	833,56	20,66	40,35
12.45 - 13.00	147	145	3	0,42	1,00	1,34	210,01	840,04	15,61	53,81
13.00 - 13.15	142	157	4	0,42	1,00	1,34	221,27	885,08	18,56	47,69
13.15 - 13.30	206	142	5	0,42	1,00	1,34	234,17	936,66	19,74	47,45
15.30 - 15.45	134	149	0	0,42	1,00	1,34	204,61	818,44	15,41	53,11
15.45 - 16.00	201	157	3	0,42	1,00	1,34	244,42	977,68	14,61	66,92
16.00 - 16.15	177	135	2	0,42	1,00	1,34	211,13	844,50	13,01	64,91
16.15 - 16.30	202	230	6	0,42	1,00	1,34	321,84	1287,36	12,96	99,33
16.30 - 16.45	291	210	2	0,42	1,00	1,34	333,44	1333,74	13,58	98,21
16.45 - 17.00	255	374	1	0,42	1,00	1,34	481,16	1924,64	12,31	156,35
17.00 - 17.15	122	141	2	0,42	1,00	1,34	194,30	777,20	12,61	61,63
17.15 - 17.30	274	237	3	0,42	1,00	1,34	354,72	1418,86	15,12	93,84
17.30 - 17.45	134	276	1	0,42	1,00	1,34	332,95	1331,78	15,89	83,81
17.45 - 18.00	176	223	0	0,42	1,00	1,34	296,04	1184,16	16,59	71,38
Jumlah	6,537	5,043	93	3,28	2,00	42,72	7.880,01	27.835,15		1.714,86
rata - rata emp				0,42	1,00	1,34				

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Perhitungan hubungan antara arus, kecepatan dan kepadatan berdasarkan metode linear *Greenshield* untuk lajur luar dan lajur dalam disajikan pada tabel 9.

Tabel 9. Hubungan arus –kecepatan- kepadatan emp *headway*

Parameter	Rumus	emp headway	
		Lajur luar	Lajur dalam
Vm (smp/jam)	$\frac{D_j S_{ff}}{4}$	1827,96	1304,89
Sm (km/jam)	$\frac{D_j S_{ff}}{2}$	10,64	12,2
Dm (smp/km)	$\frac{D_j}{2}$	171,78	106,95
S-D	$S_{ff} - \left(\frac{S_{ff}}{D_j}\right) D$	21,2823 – 0,0619 D	21,2735– 0,0634 D
V-D	$D S_{ff} - \left(\frac{S_{ff}}{D_j}\right) D^2$	21,2823 D – 0,0619 D ²	21,2735 D – 0,0634D ²
V-S	$S D_j - \left(\frac{D_j}{S_{ff}}\right) S^2$	343,5655S – 16,1433 S ²	335,5628 S – 15,7737S ²

Perhitungan Gelombang Kejut

Untuk menghitung nilai gelombang kejut maka perlu diketahui data penutupan pintu perlintasan kereta yang terjadi serta arus kendaraan yang tertunda. Dihitung berdasarkan arus kendaraan yang terhenti saat pintu perlintasan tertutup hingga arus menjadi normal.

Tabel 10. Perhitungan Arus pada saat terjadi penutupan pintu perlintasan Pada lajur luar dengan emp *Headway*

JAM	Volume (kend)			Nilai emp			Volume (smp/15menit)	Volume (SMP/Jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)
	MC	LV	HV	MC	LV	HV				
06.17.33 - 06.19.16	87	4	0	0,42	1,00	1,34	40,11	160,42	18,98	8,45
06.41.57 - 06.43.47	460	30	1	0,42	1,00	1,34	222,24	888,94	16,95	52,43
07.8.49 - 07.10.33	251	50	0	0,42	1,00	1,34	154,17	616,66	17,15	35,96
07.19.1 - 07.20.43	140	21	0	0,42	1,00	1,34	79,10	316,40	17,05	18,56
07.23.42 - 07.25.36	202	30	0	0,42	1,00	1,34	113,83	455,32	18,02	25,27
07.34.33 - 07.37.16	363	59	0	0,42	1,00	1,34	209,65	838,58	18,02	46,54
07.44.44 - 07.47.48	230	24	0	0,42	1,00	1,34	119,45	477,80	19,58	24,41
08.1.56 - 08.3.37	221	43	0	0,42	1,00	1,34	134,72	538,86	22,03	24,46
08.9.19 - 08.11.11	519	97	0	0,42	1,00	1,34	312,39	1249,54	22,03	56,72
08.34.19 - 08.35.56	147	17	1	0,42	1,00	1,34	79,34	317,36	21,15	15,01
08.41.17 - 08.42.57	138	17	2	0,42	1,00	1,34	76,94	307,76	21,15	14,55
11.24.28 - 11.27.8	192	26	1	0,42	1,00	1,34	107,02	428,06	16,75	25,56
12.5.21 - 12.7.31	186	45	1	0,42	1,00	1,34	123,53	494,10	16,83	29,36
12.49.2 - 12.51.21	201	55	1	0,42	1,00	1,34	139,75	559,00	17,24	32,42
13.0.9 - 13.2.0	125	31	0	0,42	1,00	1,34	82,88	331,50	16,83	19,70
13.17.2 - 13.19.1	190	51	0	0,42	1,00	1,34	129,85	519,40	15,78	32,92
15.30.0 - 15.30.40	89	11	0	0,42	1,00	1,34	47,94	191,74	17,50	10,96
15.56.6 - 15.58.37	193	31	0	0,42	1,00	1,34	111,10	444,38	16,57	26,82
16.1.11 - 16.4.46	345	45	1	0,42	1,00	1,34	189,51	758,04	15,39	49,26
16.8.21 - 16.11.1	99	7	0	0,42	1,00	1,34	48,09	192,34	15,39	12,50
16.18.51 - 16.22.26	381	47	0	0,42	1,00	1,34	205,12	820,46	13,18	62,25
16.30.0 - 16.31.27	88	12	1	0,42	1,00	1,34	49,86	199,42	14,10	14,14
16.34.4 - 16.35.16	98	5	3	0,42	1,00	1,34	49,68	198,70	14,10	14,09
16.39.31 - 16.41.49	116	12	0	0,42	1,00	1,34	60,14	240,56	14,10	17,06
16.48.31 - 16.50.22	432	127	0	0,42	1,00	1,34	306,28	1225,12	14,35	85,37
17.0.0 - 17.0.52	155	42	1	0,42	1,00	1,34	107,66	430,64	13,46	31,99
17.9.28 - 17.11.46	162	85	0	0,42	1,00	1,34	152,23	608,92	13,46	45,24
17.12.50 - 17.14.36	142	33	0	0,42	1,00	1,34	91,93	367,72	13,46	27,32
17.52.18 - 17.54.27	81	25	0	0,42	1,00	1,34	58,62	234,46	16,30	14,38
Jumlah	6,033	1,082	13	12,04	29,00	38,72	3.603,05	14.412,20	486,90	873,69
rata - rata emp				0,42	1,00	1,34				

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Tabel 11. Perhitungan Arus pada saat terjadi penutupan pintu perlintasan Pada lajur dalam dengan emp *Headway*

JAM	Volume (kend)			Nilai emp			Volume (smp/15menit)	Volume (SMP/Jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)
	MC	LV	HV	MC	LV	HV				
06.17.33 - 06.19.16	24	15	0	0,42	1,00	1,34	24,96	99,84	20,55	4,86
06.41.57 - 06.43.47	146	134	0	0,42	1,00	1,34	194,59	778,36	17,98	43,30
07.8.49 - 07.10.33	63	72	3	0,42	1,00	1,34	102,15	408,60	16,98	24,06
07.19.1 - 07.20.43	53	52	0	0,42	1,00	1,34	74,00	295,98	16,05	18,44
07.23.42 - 07.25.36	42	36	0	0,42	1,00	1,34	53,43	213,72	17,12	12,48
07.34.33 - 07.37.16	138	68	0	0,42	1,00	1,34	125,27	501,08	17,12	29,27
07.44.44 - 07.47.48	63	45	0	0,42	1,00	1,34	71,15	284,58	17,87	15,93
08.1.56 - 08.3.37	55	36	0	0,42	1,00	1,34	58,83	235,30	28,74	8,19
08.9.19 - 08.11.11	57	41	0	0,42	1,00	1,34	64,66	258,62	28,74	9,00
08.34.19 - 08.35.56	34	22	1	0,42	1,00	1,34	37,45	149,78	21,98	6,81
08.41.17 - 08.42.57	47	48	2	0,42	1,00	1,34	70,18	280,70	21,98	12,77
11.24.28 - 11.27.8	102	80	0	0,42	1,00	1,34	122,33	489,32	17,32	28,25
12.5.21 - 12.7.31	67	60	1	0,42	1,00	1,34	89,14	356,56	15,98	22,31
12.49.2 - 12.51.21	25	49	2	0,42	1,00	1,34	62,05	248,18	15,61	15,90
13.0.9 - 13.2.0	48	62	0	0,42	1,00	1,34	81,92	327,68	18,56	17,66
13.17.2 - 13.19.1	102	84	3	0,42	1,00	1,34	130,34	521,34	19,74	26,41
15.30.0 - 15.30.40	11	16	0	0,42	1,00	1,34	20,57	82,26	15,41	5,34
15.56.6 - 15.58.37	35	24	1	0,42	1,00	1,34	39,86	159,44	14,61	10,91
16.1.11 - 16.4.46	86	69	0	0,42	1,00	1,34	104,69	418,76	13,01	32,19
16.8.21 - 16.11.1	103	78	0	0,42	1,00	1,34	120,75	482,98	13,01	37,12
16.18.51 - 16.22.26	77	56	0	0,42	1,00	1,34	87,96	351,82	12,96	27,15
16.30.0 - 16.31.27	44	30	2	0,42	1,00	1,34	50,93	203,72	13,58	15,00
16.34.4 - 16.35.16	48	37	0	0,42	1,00	1,34	56,92	227,68	13,58	16,77
16.39.31 - 16.41.49	66	63	0	0,42	1,00	1,34	90,39	361,56	13,58	26,62
16.48.31 - 16.50.22	44	46	0	0,42	1,00	1,34	64,26	257,04	12,31	20,88
17.0.0 - 17.0.52	76	68	2	0,42	1,00	1,34	102,21	408,84	12,61	32,42
17.9.28 - 17.11.46	54	78	0	0,42	1,00	1,34	100,41	401,64	12,61	31,85
17.12.50 - 17.14.36	66	71	2	0,42	1,00	1,34	101,06	404,24	12,61	32,06
17.52.18 - 17.54.27	13	16	0	0,42	1,00	1,34	21,40	85,58	16,59	5,16
Jumlah	1,789	1,556	19	12,04	29,00	38,72	2.323,80	9.295,20	488,79	589,11
rata - rata emp				0,42	1,00	1,34				

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Berikut adalah contoh pengisian tabel perhitungan gelombang kejut, diambil contoh pada pukul 06.17.33 - 06.19.16 lajur luar

- (1) Volume kendaraan saat pintu perlintasan dibuka

$$V_a = 160,42 \text{ smp/jam} \quad (\text{tabel 10})$$
- (2) Volume kendaraan saat pintu perlintasan ditutup

$$V_b = 0 \text{ smp/jam} \quad (\text{tabel 10})$$
- (3) Volume maksimum pada lajur luar di peroleh dengan metode *Greenshield*

$$V_c = V_M = 1827,96 \text{ smp/jam}$$
- (4) Kerapatan kendaraan saat pintu perlintasan dibuka

$$D_a = 8,45 \text{ smp/km} \quad (\text{tabel 10})$$
- (5) Kerapatan jenuh pada lajur luar di peroleh dengan metode *Greenshield*

$$D_b = D_j = 343,57 \text{ smp/km}$$
- (6) Volume maksimum pada lajur luar di peroleh dengan metode *Greenshield*

$$D_c = D_M = 171,78 \text{ smp/km}$$
- (7) Kecepatan gelombang kejut ω_{ab} :

$$\omega_{AB} = -\frac{V_A}{D_B - D_A} = -\frac{160,42}{343,57 - 8,45} = -0,4787 \text{ km/jam}$$

(8) Kecepatan gelombang kejut ω_{cb} :

$$\omega_{CB} = -\frac{V_C}{D_B - D_C} = -\frac{1827,96}{343,57 - 171,78} = -10,6411 \text{ km/jam}$$

(9) Kecepatan gelombang kejut ω_{ac} :

$$\omega_{AC} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} = \frac{1827,96 - 160,42}{171,78 - 8,45} = 10,2096 \text{ km/jam}$$

(10) Durasi penutupan pintu perlintasan:

$$r = 103 \text{ detik} \quad (\text{diperoleh dari survey lapangan})$$

(11) Interval waktu antara $t_2 - t_3 = t_a$:

$$t_a = r \left| \frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| = 103 \left| \frac{-0,4787}{-10,6411 + 0,4787} \right| = 4,85 \text{ detik}$$

(12) Panjang antrian maksimum:

$$Q_M = \frac{r}{3600} \cdot \left| \frac{\omega_{CB} - \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| = 0,014 \text{ km}$$

(13) Waktu penormalan $t_2 - t_4$:

$$T = \frac{r \cdot \omega_{AB}}{(\omega_{CB} - \omega_{AB})} \cdot \left| \frac{\omega_{CB}}{\omega_{AC}} + 1 \right| = 9,91 \text{ detik}$$

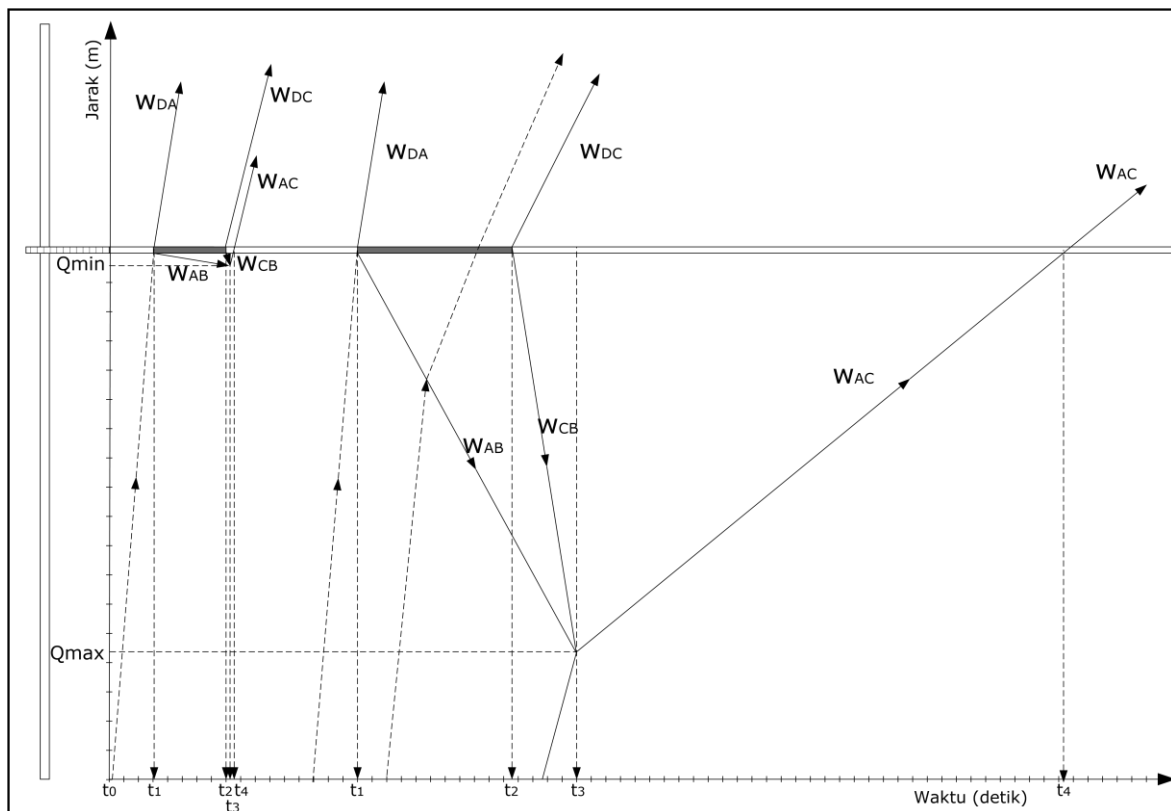
Selanjutnya disajikan pada tabel 12 dan tabel 13.

Tabel 12. Hasil Analisa Gelombang Kejut (*Shock Wave*) pada lajur luar dengan emp *Headway*

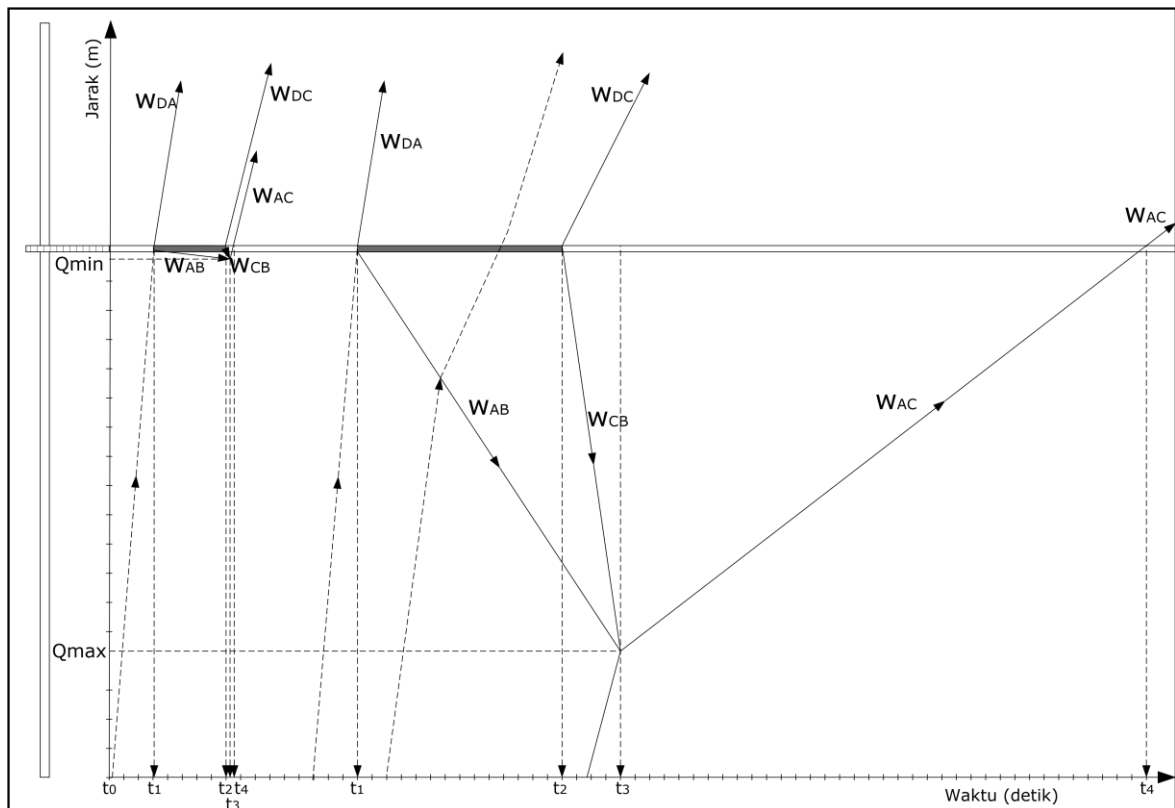
Jam	Kecepatan Gelombang Kejut			r (t ₁ -t ₂) (detik)	t _a (t ₂ -t ₃) (detik)	Q _m (km)	T (t ₂ -t ₄) (detik)
	ω_{ab} (km/jam)	ω_{cb} (km/jam)	ω_{ac} (km/jam)				
06.17.33 - 06.19.16	-0,4787	-10,6411	10,2096	103	4,85	0,014	9,91
06.41.57 - 06.43.47	-3,0534	-10,6411	7,8679	110	44,27	0,131	104,13
07.08.49 - 07.10.33	-2,0047	-10,6411	8,9181	104	24,14	0,071	52,95
07.19.01 - 07.20.43	-0,9603	-10,6411	9,5849	102	10,12	0,030	21,35
07.23.42 - 07.25.36	-1,4411	-10,6411	9,5215	114	17,86	0,053	37,81
07.34.33 - 07.37.16	-2,8232	-10,6411	7,8995	163	58,86	0,174	138,16
07.44.44 - 07.47.48	-1,4971	-10,6411	9,1615	184	30,12	0,089	65,11
08.01.56 - 08.03.37	-1,6887	-10,6411	8,7502	101	19,05	0,056	42,22
08.09.19 - 08.11.11	-4,3561	-10,6411	5,0270	112	77,63	0,229	241,95
08.34.19 - 08.35.56	-0,9659	-10,6411	9,6353	97	9,68	0,029	20,38
08.41.17 - 08.42.57	-0,9354	-10,6411	9,6686	100	9,64	0,028	20,24
11.24.28 - 11.27.08	-1,3461	-10,6411	9,5735	160	23,17	0,068	48,92
12.05.21 - 12.07.31	-1,5725	-10,6411	9,3654	130	22,54	0,067	48,16
12.49.02 - 12.51.21	-1,7966	-10,6411	9,1058	139	28,24	0,083	61,23
13.00.09 - 13.02.00	-1,0236	-10,6411	9,8396	111	11,81	0,035	24,59
13.17.02 - 13.19.01	-1,6720	-10,6411	9,4231	119	22,18	0,066	47,23
15.30.00 - 15.30.40	-0,5765	-10,6411	10,1739	40	2,29	0,007	4,69
15.56.06 - 15.58.37	-1,4029	-10,6411	9,5443	151	22,93	0,068	48,50
16.01.11 - 16.04.46	-2,5757	-10,6411	8,7321	275	87,82	0,260	194,84
16.08.21 - 16.11.01	-0,5810	-10,6411	10,2685	280	16,17	0,048	32,93
16.18.51 - 16.22.26	-2,9165	-10,6411	9,1982	215	81,18	0,240	175,09
16.30.00 - 16.31.27	-0,6054	-10,6411	10,3308	207	12,49	0,037	25,35
16.34.04 - 16.35.16	-0,6031	-10,6411	10,3320	104	6,25	0,018	12,68
16.39.31 - 16.41.49	-0,7368	-10,6411	10,2597	138	10,27	0,030	20,91
16.48.31 - 16.50.22	-4,7450	-10,6411	6,9767	111	89,33	0,264	225,58
17.00.00 - 17.00.52	-1,3822	-10,6411	9,9960	217	32,39	0,096	66,88
17.09.28 - 17.11.46	-2,0411	-10,6411	9,6334	138	32,75	0,097	68,93
17.12.50 - 17.14.36	-1,1628	-10,6411	10,1081	106	13,00	0,038	26,69
17.52.18 - 17.54.27	-0,7123	-10,6411	10,1240	129	9,25	0,027	18,98

Tabel 13. Hasil Analisa Gelombang Kejut (*Shock Wave*) pada lajur dalam dengan emp *Headway*

Jam	Kecepatan Gelombang Kejut			r (t_1-t_2) (detik)	ta (t_2-t_3) (detik)	Q _m (km)	T (t_2-t_4) (detik)
	ω_{ab} (km/jam)	ω_{cb} (km/jam)	ω_{ac} (km/jam)				
06.17.33 - 06.19.16	-0,4776	-12,2010	11,8037	103	4,20	0,014	8,53
06.41.57 - 06.43.47	-4,5625	-12,2010	8,2721	110	65,70	0,223	162,61
07.08.49 - 07.10.33	-2,1524	-12,2010	10,8135	104	22,28	0,075	47,41
07.19.01 - 07.20.43	-1,5143	-12,2010	11,3990	102	14,45	0,049	29,92
07.23.42 - 07.25.36	-1,0611	-12,2010	11,5509	114	10,86	0,037	22,33
07.34.33 - 07.37.16	-2,7140	-12,2010	10,3476	163	46,63	0,158	101,61
07.44.44 - 07.47.48	-1,4375	-12,2010	11,2092	184	24,57	0,083	51,32
08.01.56 - 08.03.37	-1,1438	-12,2010	10,8299	101	10,45	0,035	22,22
08.09.19 - 08.11.11	-1,2622	-12,2010	10,6816	112	12,92	0,044	27,68
08.34.19 - 08.35.56	-0,7233	-12,2010	11,5355	97	6,11	0,021	12,58
08.41.17 - 08.42.57	-1,3956	-12,2010	10,8750	100	12,92	0,044	27,41
11.24.28 - 11.27.08	-2,6357	-12,2010	10,3633	160	44,09	0,149	96,00
12.05.21 - 12.07.31	-1,8611	-12,2010	11,2047	130	23,40	0,079	48,88
12.49.02 - 12.51.21	-1,2534	-12,2010	11,6057	139	15,91	0,054	32,65
13.00.09 - 13.02.00	-1,6698	-12,2010	10,9437	111	17,60	0,060	37,22
13.17.02 - 13.19.01	-2,7806	-12,2010	9,7288	119	35,13	0,119	79,18
15.30.00 - 15.30.40	-0,3944	-12,2010	12,0324	40	1,34	0,005	2,69
15.56.06 - 15.58.37	-0,7855	-12,2010	11,9272	151	10,39	0,035	21,02
16.01.11 - 16.04.46	-2,3045	-12,2010	11,8527	275	64,04	0,217	129,96
16.08.21 - 16.11.01	-2,7322	-12,2010	11,7709	280	80,79	0,274	164,54
16.18.51 - 16.22.26	-1,8839	-12,2010	11,9428	215	39,26	0,133	79,37
16.30.00 - 16.31.27	-1,0242	-12,2010	11,9760	207	18,97	0,064	38,30
16.34.04 - 16.35.16	-1,1550	-12,2010	11,9446	72	7,53	0,026	15,22
16.39.31 - 16.41.49	-1,9306	-12,2010	11,7439	138	25,94	0,088	52,89
16.48.31 - 16.50.22	-1,3317	-12,2010	12,1745	111	13,60	0,046	27,23
17.00.00 - 17.00.52	-2,2528	-12,2010	12,0231	217	49,14	0,167	99,01
17.09.28 - 17.11.46	-2,2062	-12,2010	12,0275	138	30,46	0,103	61,36
17.12.50 - 17.14.36	-2,2230	-12,2010	12,0259	106	23,62	0,080	47,58
17.52.18 - 17.54.27	-0,4100	-12,2010	11,9786	129	4,49	0,015	9,05



Gambar 5. Diagram jarak dan waktu lajur luar emp *headway*



Gambar 6. Diagram jarak dan waktu lajur dalam emp *headway*

Dari gambar 5 dan 6 dapat dijelaskan bahwa pada saat $t_0 - t_1$ yaitu pada saat belum adanya hambatan terdapat arus A dan terbentuk gelombang kejut ω_{DA} (gelombang kejut maju bentukan). Arus sampai pada t_1 (pintu perlintasan ditutup), terbentuk arus baru yaitu arus B, di sini terbentuk gelombang kejut ω_{AB} (gelombang kejut mundur bentukan) yang terus ada hingga arus B mencapai t_3 . Pada saat arus B mencapai t_2 (pintu perlintasan dibuka) terjadi arus baru, yaitu arus C disini terbentuk gelombang kejut baru yaitu gelombang kejut ω_{CB} (gelombang kejut mundur pemulihan) dan gelombang kejut ω_{DC} (gelombang kejut maju pemulihan). Kemudian saat ω_{AB} dan ω_{CB} mencapai t_3 , terbentuk gelombang kejut baru yaitu gelombang kejut ω_{AC} (gelombang kejut maju pemulihan). Kondisi arus akan tetap sama hingga mencapai pintu perlintasan ditutup kembali.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa dapat diambil kesimpulan :

1. Perhitungan emp menggunakan analisa *Headway* di perlintasan kereta api Purwosari (arah pergerakan lalu lintas dari barat ke timur) pada ruas Jalan Slamet Riyadi Surakarta mendapatkan nilai emp MC = 0,42 dan HV = 1,34.
2. Permodelan matematis antara arus, kecepatan dan kepadatan dengan metode *greenshield* diperoleh hasil:
 - a. Lajur luar emp medote rasio *headway*

Hubungan Kecepatan – Kepadatan	:	$S = 21,2823 - 0,0619 D$
Hubungan Volume – Kepadatan	:	$V = 21,2823 D - 0,0619 D^2$
Hubungan Volume – Kecepatan	:	$V = 343,5655 S - 16,1433 S^2$
 - b. Lajur dalam emp medote rasio *headway*

Hubungan Kecepatan – Kepadatan	:	$S = 24,4020 - 0,1141 D$
Hubungan Volume – Kepadatan	:	$V = 24,4020 D - 0,1141 D^2$
Hubungan Volume – Kecepatan	:	$V = 213,8997 S - 8,7657 S^2$
3. Dengan metode *greenshield* diperoleh hubungan matematis antara arus, kecepatan, dan kepadatan. Selanjutnya dari data tersebut digunakan untuk menghitung nilai gelombang kejut ω_{ab} , ω_{cb} , ω_{ac} . Nilai gelombang kejut yang diperoleh adalah sebahai berikut:

- a. Pada lajur luar perhitungan menggunakan emp *headway* gelombang kejut terbesar terjadi pada pukul 16.48.31 dengan nilai $\omega_{ab} = -4,745$ km/jam, $\omega_{cb} = -10,641$ km/jam dan $\omega_{ac} = 6,977$ km/jam dengan tundaan sebesar 0,264 km dan waktu penormalan sebesar 3.76 menit.
- b. Pada lajur dalam perhitungan menggunakan emp *headway* gelombang kejut terbesar terjadi pada pukul 16.08.21 dengan nilai $\omega_{ab} = -2.732$ km/jam, $\omega_{cb} = -12.201$ km/jam dan $\omega_{ac} = 11,771$ km/jam dengan tundaan sebesar 0,274 km dan waktu penormalan sebesar 2,74 menit.

Saran

1. Perlu dilakukan rekayasa lalu lintas untuk memperkecil gelombang kejut yang terjadi dan mengurangi kemacetan yang terjadi di lokasi penelitian.

REFERENSI

- Anisa, Satningtyas Indraswari. 2014. *Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalu lintas (Studi Kasus : Pembangunan Fly Over Di Jalan Raya Palur KM 7,5)*. Surakarta : Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Anonim. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum RI.
- Christy, Alty Andiani. 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)*. Surakarta : Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Depdikbud. 1993. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka
- Ofyar, Z Tamin. 2000. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung : ITB.
- Salter, R.J. 1983. *Highway Traffic Analysis and Design*. Macmillan Press Ltd. London and Basingstoke.
- Said. 2004. *Kajian Satu Persimpangan Sebidang jalan dan Jalan Rel*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Setianingsih, Ika. 2007. *Karakteristik Lalu Lintas pada Persilangan Sebidang Jalan dan Jalan Rel*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Pratiwi, Lintang Ayu. 2015. *Studi Gelombang Kejut pada Silang KA Jalan Letjen S. Parman, Balapan dengan Menggunakan EMP atas Dasar Analisa Headway*. Surakarta : Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.