

STUDI GELOMBANG KEJUT PADA PERLINTASAN KERETA API DENGAN MENGGUNAKAN EMP ATAS DASAR ANALISIS *HEADWAY*

(Studi Kasus Pada Jalan R.M. Said Pasar Nangka Surakarta)

Dananjaya Putra Martha¹⁾, 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 : dananjayaputramartha@gmail.com

Abstract

The railway crossing at the R.M. Said street is one of railway cross in Surakarta which connects Balapan station with Purwosari station. Closure of doorstep at the railway crossing frequently occurs because the distance between the two stations is so near. The closure of the doorstep crossing result to queues of vehicles. Study of shock wave (ω) is done to get the queue and the necessary time release after queues until normal. This research was done on Thursday, September 22, 2016 at 05.30-08.30 A.M. This research use the PCE (Passenger Car Equivalence) based on the headway analysis to convert number of vehicles into units of passenger cars. Then we looked for the mathematical correlation between volume, speed and density using greenshield models. By using greenshield models, we obtained free flow speed (S_{ff}), saturated jam condition density (D_j) and maximum volume (V_m). The results are used to calculate the value of the shock wave, maximum queue, and release time. Looked for value of MAPE (Mean Absolute Percentage Error) to know the accuracy of the calculation by compared the results of the calculation of the maximum queue length and release time with that occurs in the field (real). The results of this study showed values of $\omega_{ab} = -5,23$ km/hour (backward forming shock wave); $\omega_{cb} = -18,62$ km/hour (backward recovery shock wave); dan $\omega_{ac} = 13,39$ km/hour (forward recovery shock wave), as well as the maximum queue length of 183,72 meter with average duration of doorstep closure of 90,91 seconds which needs release time of 161,95 second. The MAPE value is 2,69 %.

Keywords : Shock wave, headway, queue, PCE, MAPE.

Abstrak

Perlindungan Kereta Api (KA) pada jalan R M Said merupakan salah satu perlindungan KA di kota Surakarta yang menghubungkan stasiun Balapan dengan stasiun Purwosari. Pada perlindungan KA ini sering terjadi penutupan palang pintu karena perlindungan ini merupakan jalur utama KA di kota Surakarta. Penutupan palang pintu perlindungan mengakibatkan tundaan dan antrian. Studi gelombang kejut (ω) dilakukan di lokasi perlindungan KA tersebut untuk mendapatkan panjang antrian yang terjadi dan berapa lama waktu penormalan yang diperlukan lalu lintas kembali normal. Penelitian ini dilakukan pada hari Kamis, 22 September 2016 pukul 05.30-08.30. Penelitian ini menggunakan emp berdasarkan analisis *headway* untuk mengkonversi jumlah kendaraan menjadi satuan mobil penumpang (smp). Selanjutnya dicari hubungan matematis antara volume, kecepatan dan kepadatan menggunakan model *greenshield*. Dengan model *greenshield* didapatkan kecepatan arus bebas (S_{ff}), kepadatan pada kondisi mancat total (D_j), dan volume maksimal (V_m). Hasil tersebut sangat penting untuk menghitung nilai gelombang kejut, panjang antrian maksimum, dan waktu penormalan. Mencari nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) untuk mengetahui keakuratan perhitungan dengan cara membandingkan hasil perhitungan panjang antrian maksimum dan waktu penormalan dengan yang terjadi di lapangan. Hasil penelitian studi gelombang kejut dengan EMP berdasarkan analisis *headway* didapatkan nilai gelombang kejut $\omega_{ab} = -5,23$ km/jam (gelombang kejut mundur bentukan); $\omega_{cb} = -18,62$ km/jam (gelombang kejut mundur pemulihan); dan $\omega_{ac} = 13,39$ km/jam (gelombang kejut maju pemulihan), panjang antrian maksimum (QM) sebesar 183,72 meter dengan rata-rata durasi penutupan selama 90,91 detik dan membutuhkan waktu penormalan (T) selama 161,95 detik. Nilai MAPE yang dihasilkan sebesar 2,69 %.

Kata Kunci : Gelombang kejut, *headway*, antrian, EMP, MAPE.

PENDAHULUAN

Perlindungan kereta api dengan jalan R M Said terdapat volume lalu lintas yang tinggi dan bervariasi. Jalan R M Said berpotongan dengan rel kereta api jalur ganda (*double track*) yang merupakan jalur utama kereta api penghubung antara stasiun Balapan dan stasiun Purwosari. Perlindungan ini merupakan jalur utama kereta api di kota Surakarta, sehingga sering terjadi penutupan palang pintu perlindungan kereta api di jalan R M Said. Penutupan palang pintu perlindungan mengakibatkan terjadinya tundaan dan antrian. Gerakan arus lalu lintas yang terjadi pada saat terjadi penutupan disebut dengan gelombang kejut. Untuk menghitung gelombang kejut diperlukan beberapa parameter seperti kecepatan, arus lalu lintas dan kepadatan. Survey pergerakan kendaraan dilakukan untuk mendapatkan data-

data tersebut. Nilai antar jenis kendaraan disetarkan menggunakan ekuivalensi mobil penumpang (emp). Nilai emp pada penelitian ini dianalisis dengan menggunakan analisis rasio *headway*. Metode *greenshield* digunakan untuk mencari hubungan antara volume dan kepadatan. Selanjutnya hubungan antara volume dan kepadatan digunakan untuk menghitung gelombang kejut untuk memperoleh panjang antrian dan waktu penormalan yang terjadi. Uji validitas dilakukan untuk mencari simpangan antara hasil perhitungan dengan yang terjadi di lapangan.

DASAR TEORI

Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Nilai emp didapat dengan mencatat waktu (*time headway*) antara kendaraan 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 (smp/jam).
2. Kecepatan (*speed*)
Kecepatan didefinisikan sebagai laju dari suatu pergerakan kendaraan dihitung dalam jarak persatuan waktu. Sehingga kecepatan dirumuskan sebagai berikut :

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

Pengukuran kecepatan pada penelitian ini dengan cara manual, menurut *BINKOT No.001/T/BNKT/1990* bahwa panjang penggal jalan yang dipakai untuk mengukur waktu tempuh kendaraan 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

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). Kepadatan D dapat dihitung sebagai berikut :

$$D = \frac{V}{S} \quad (7)$$

Dalam bukunya Ofyar Z. Tamin, *Greenshields* merumuskan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan-Kepadatan (S-D) diasumsikan linier, sehingga persamaan yang dihasilkan 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	$S = D \cdot S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D^2$	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	$D_M = \frac{D_j}{2}$

Gelombang Kejut (*Shock Wave*)

Menurut Tamin, 2008 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 perlintasan kereta api dimulai ketika penutupan pintu kereta api sehingga mengakibatkan terjadi antrian dan proses pemulihannya setelah pintu terbuka.

Berdasarkan gambar 2, nilai gelombang kejut saat pintu perlintasan ditutup adalah sebagai berikut :

1. Ada tiga gelombang kejut yang terjadi pada saat perlintasan ditutup (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 pintu perlintasan terbuka (t_2). Sehingga terjadi arus lalu lintas dengan kondisi C diman 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 penutupan pintu KA (detik) panjang antrian maksimum dapat terjadi pada waktu t_3 dapat dihitung dengan persamaan :

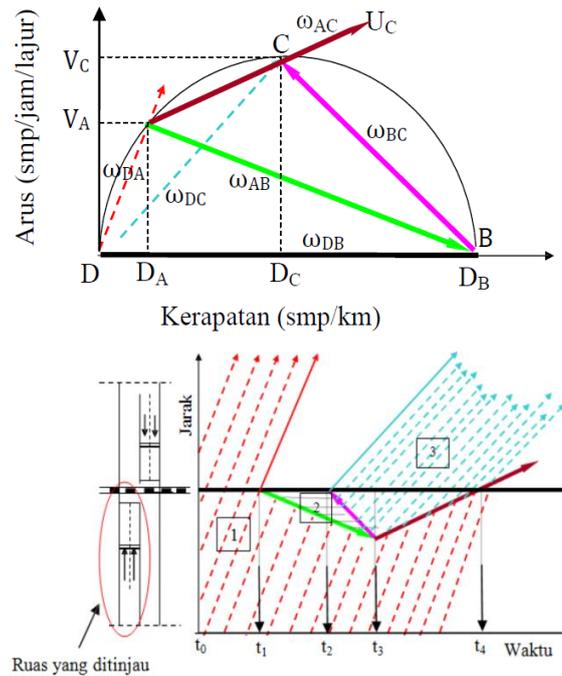
$$Q_M = \frac{r}{3600} \cdot \left| \frac{\omega_{CB} - \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| \quad (14)$$

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 :

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



Gambar 1. Gelombang Kejut Pada Perlintasan Jalan dan Rel Kereta Api

Uji Statistik

$$\text{Koefisien korelasi } (r) = \frac{N \sum_{i=1}^N (b_i \cdot a_i) - \sum_{i=1}^N (b_i) \cdot \sum_{i=1}^N (a_i)}{\sqrt{[N \sum_{i=1}^N (b_i)^2 - (\sum_{i=1}^N (b_i))^2] \cdot [N \sum_{i=1}^N (a_i)^2 - (\sum_{i=1}^N (a_i))^2]}} \quad (17)$$

$$\text{Root Mean Square Error (RMSE)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (b_i - a_i)^2}{n}} \quad (18)$$

$$\text{Mean Absolute Error (MAE)} = \frac{\sum |b_i - a_i|}{n} \quad (19)$$

$$\text{Mean Absolute Percentage Error (MAPE)} = \frac{1}{n} \sum \frac{|b_i - a_i|}{a_i} \times 100 \% \quad (20)$$

METODE

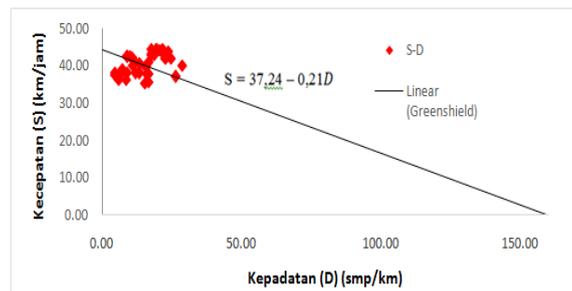
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kasus yaitu dengan melakukan survey di lapangan dan mengumpulkan keterangan dari buku atau jurnal. Tahapan metode penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Melakukan studi pustaka mengenai teori yang berkaitan dengan penelitian ini, kemudian dilakukan penyusunan metodologi penelitian.
2. Melakukan survey pendahuluan untuk mengetahui situasi di lapangan dan menetapkan waktu survey yang sesuai.
3. Melakukan survey dengan merekam jalannya lalu lintas di lapangan untuk mendapatkan data primer, antara lain jumlah kendaraan untuk menghitung volume, kecepatan, durasi penutupan palang pintu, panjang antrian, dan waktu penormalan.
4. Menganalisis dan mengolah data hasil survey di lapangan.
5. Melakukan perbandingan dari hasil analisis dengan data yang terjadi di lapangan (*real*), serta mencari simpangannya.
6. Kesimpulan dan saran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

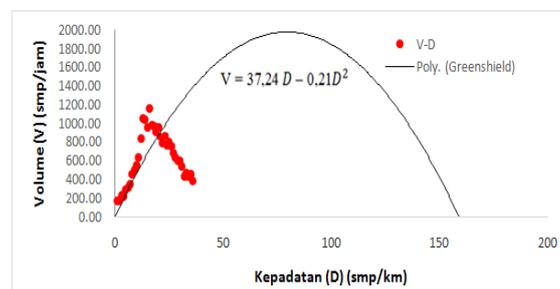
Dari hasil perhitungan nilai emp di jalan R.M Said dengan analisis *headway* didapatkan nilai emp MC sebesar 0,28; emp LV sebesar 1; dan emp HV sebesar 1,57. Sedangkan emp berdasarkan MKJI (Manual Kapasitas Jalan Indonesia) 1997 yang merupakan standar baku pedoman perhitungan jalan dan lalu lintas di Indonesia, diperoleh nilai emp kendaraan MC sebesar 1,4; LV sebesar 1; dan HV sebesar 1,3.

Dengan metode *greenshield* didapatkan hubungan antar parameter lalu lintas sebagai berikut :
 Hubungan Kecepatan-Kepadatan : $S = 37,24 - 0,208 D$ (21)



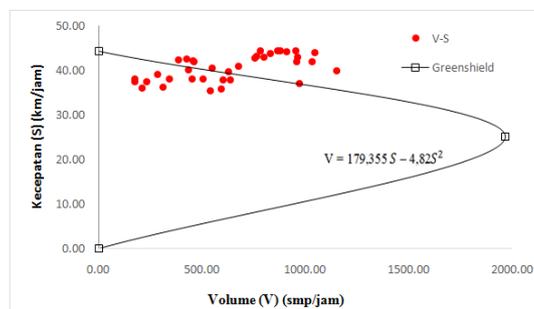
Gambar 2. Grafik Hubungan antara Kecepatan dan Kepadatan di jalan R.M Said

Hubungan Volume-Kepadatan : $V = 179,36 D - 4,816 D^2$ (22)



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Volume dan Kepadatan di jalan R.M Said

Hubungan Volume-Kecepatan : $V = 37,24 S - 0,208 S^2$ (23)



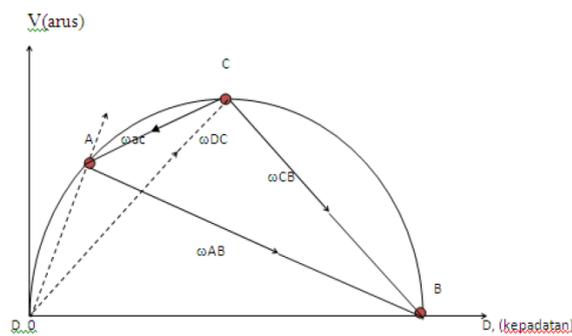
Gambar 4. Grafik Hubungan antara Volume dan Kecepatan di jalan R.M Said

Gelombang kejut yang terjadi pada perlintasan jalan dan kereta api 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 penutupan palang pintu perlintasan dan waktu penormalan yang dibutuhkan sampai keadaan volume lalu lintas dari jenuh menjadi normal kembali.

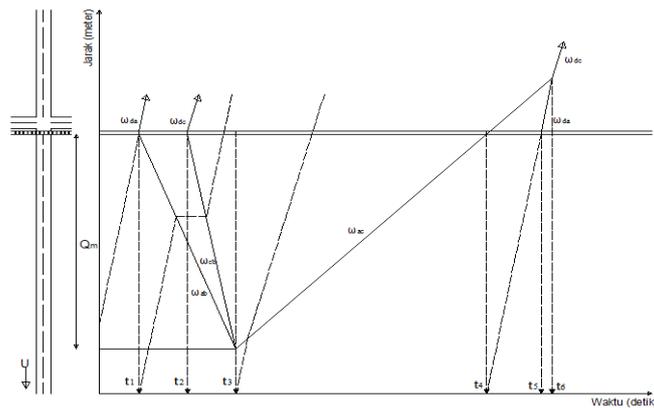
Waktu Penutupan Palang		Va						r	t3-t2	QM	T
		ωda	ωdb	ωab	ωdc	ωcb	ωac				
Tertutup	Terbuka	(km/jam)						(detik)	(detik)	(meter)	(detik)
5:36:42	5:37:45	35.63	0.00	-1.61	18.62	-18.62	17.01	63.00	5.98	30.92	12.52
5:50:36	5:51:46	35.97	0.00	-1.27	18.62	-18.62	17.35	70.00	5.12	26.49	10.62
6:18:00	6:20:00	34.48	0.00	-2.76	18.62	-18.62	15.86	85.00	14.82	76.65	32.22
6:48:20	6:50:20	27.92	0.00	-9.32	18.62	-18.62	9.30	120.00	120.29	622.18	361.17
7:01:30	7:03:00	27.24	0.00	-10.00	18.62	-18.62	8.62	90.00	104.47	540.36	330.22

Waktu Penutupan Palang		Va						r	t3-t2	QM	T
		ω_{da}	ω_{db}	ω_{ab}	ω_{dc}	ω_{cb}	ω_{ac}				
Tertutup	Terbuka	(km/jam)						(detik)	(detik)	(meter)	(detik)
7:09:15	7:11:55	31.17	0.00	-6.07	18.62	-18.62	12.55	160.00	77.40	400.32	192.24
7:17:00	7:18:35	30.32	0.00	-6.92	18.62	-18.62	11.70	95.00	56.19	290.62	145.61
7:36:00	7:37:10	31.31	0.00	-5.93	18.62	-18.62	12.69	70.00	32.72	169.22	80.73
8:02:45	8:04:15	29.71	0.00	-7.53	18.62	-18.62	11.09	90.00	61.13	316.20	163.80
8:14:33	8:15:35	35.29	0.00	-1.95	18.62	-18.62	16.67	62.00	7.24	37.44	15.32
8:24:37	8:25:15	33.07	0.00	-4.17	18.62	-18.62	14.45	95.00	27.44	141.91	62.80
Jumlah		352.09	0.00	-57.54	204.82	-204.82	147.28	1000.00	512.80	2652.30	1407.25
Rata-rata		32.01	0.00	-5.23	18.62	-18.62	13.39	90.91	46.62	241.12	127.93

Gelombang kejut yang terjadi pada perlintasan kereta api di jalan R.M Said diperlihatkan pada gambar 4.5 kurva volume - kepadatan. Pada gambar 4.5 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). Sedangkan gambar 4.6 – 4.15 memperlihatkan diagram hubungan panjang antrian, gelombang kejut, dan waktu saat mulainya penutupan palang hingga waktu penormalan yang terjadi.



Gambar 5. Kurva Volume – Kepadatan



Gambar 6. 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 validitas antara hasil perhitungan dan lapangan.

Tabel 4.15. Perbandingan Uji Validasi Panjang Antrian Maksimum (Q_M) dan Waktu Penormalan (T) Berdasarkan $Emp^{Headway}$

Uji Validasi	Perbandingan Q_M di lapangan dan hasil perhitungan	Perbandingan T di lapangan dan hasil perhitungan
RMSE	244,68 meter	49,92 detik
MAE	179,57 meter	34,33 detik
MAPE (%)	26,52 %	2,69 %

Tabel 4.16. Perbandingan Uji Validasi Panjang Antrian Maksimum (Q_M) dan Waktu Penormalan (T) Berdasarkan $Emp^{MKJI1997}$

Uji Validasi	Perbandingan Q_M di lapangan dan hasil perhitungan	Perbandingan T di lapangan dan hasil perhitungan
RMSE	214,46 meter	34,34 detik
MAE	160,45 meter	22,69 detik
MAPE (%)	23,70 %	1,79 %

Setelah melakukan analisis nilai perbandingan perkiraan kesalahan yang hasilnya disajikan dalam Tabel 4.16 dan Tabel 4.17, pada Tabel 4.16 nilai MAPE hasil perbandingan antara panjang antrian maksimum yang diperoleh dari $emp^{headway}$ dengan yang terjadi di lapangan sebesar 26,52 %, sedangkan nilai MAPE untuk perbandingan waktu penormalan hanya 2,69 %. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup besar antara panjang antrian yang terjadi di lapangan dengan hasil perhitungan, namun perbedaan waktu penormalan yang terjadi di lapangan dengan hasil perhitungan tidak terlalu besar. Sehingga hasil analisis gelombang kejut kurang akurat dalam memprediksi panjang antrian maksimum yang terjadi. Nilai MAPE yang diperoleh dari $emp^{headway}$, angka kesalahannya lebih besar dibandingkan dengan yang diperoleh dari $emp^{MKJI1997}$ dengan selisih sebesar 2,82 % untuk perbandingan panjang antrian dan 0,9 % untuk waktu penormalan. Dalam hal ini, perhitungan dengan menggunakan $emp^{MKJI1997}$ lebih baik karena terdapat perbedaan hasil perhitungan dengan yang terjadi di lapangan yang lebih kecil. Dan nilai MAPE waktu penormalan hasil pengambilan data dari 25 meter penggal kedua dan periode *time headway* 5 menit hasilnya lebih kecil dibandingkan nilai MAPE dari pengambilan data dari 25 meter penggal pertama dan periode *time headway* 15 menit.

SIMPULAN

1. Perhitungan emp menggunakan analisis *headway* di perlintasan kereta api jalan R M Said didapatkan $emp^{MC} = 0,28$; $emp^{LV} = 1$; dan $emp^{HV} = 1,57$.
2. Gelombang kejut yang terjadi di perlintasan kereta api jalan R M Said adalah sebagai berikut : $\omega_{ab} = -5,23$ km/jam; $\omega_{cb} = -18,62$ km/jam; dan $\omega_{ac} = 13,39$ km/jam, $Q_M = 183,72$ meter, $r = 90,91$ detik, dan $T = 161,95$ detik.
3. Hasil perhitungan gelombang kejut cukup akurat dalam memperkirakan waktu penormalan dengan tingkat kesalahan yang kecil dibandingkan dengan dalam memperkirakan panjang antrian yang memiliki tingkat kesalahan yang cukup besar.

REKOMENDASI

Periode pengamatan dan pengambilan data yang lebih panjang diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Ir. Agus Sumarsono, MT dan Amirotul M.H.M., MSc yang telah membimbing dan member arahan dalam penelitian 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 Solo Sragen Km.12)*. Surakarta: Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Armstrong, J. Scott. 1985. *Long-Range Forecasting*. Wiley, New York.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997*. Jakarta.

- Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. 2005. *Buku Pedoman Penulisan Tugas Akhir*. Surakarta.
- Lee, Chris dan Volpatti, Steven. 2010. *Effect of Shock Waves on Freeway Crash Likelihood*. Canada : The Open Transportation Journal.
- Kasenda, Natalia Diane. 2013. *Analisa Gelombang Kejut dan Pengaruhnya Terhadap Arus Lalu Lintas di Jalan Sarapung Manado*. Manado : Pascasarjana S2 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi.
- Khisty, Jotin C., 1990. *Transportation Engineering, an Introduction*. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall.
- Malau, R.H., Surbakti, M.S. 2013. *Aplikasi Shock Wave dan Queuing Analysis untuk Menghitung Panjang Antrian pada Perlintasan Sebidang*. Medan : Tugas Akhir Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.
- Morlok, Edward K. 1978. *Introducing to Transportation Engineering and Planning*. Mc Graw-Hill, Inc.
- Nurjanah, Retno Dwi. 2015. *Studi Gelombang Kejut pada Simpang Bersinyal Menggunakan EMP atas Dasar Analisa Headway (Studi Kasus Simpang Bersinyal Jalan Urip Sumoharjo-Jalan Sutan Syabir-Jalan Insinyur H. Juanda)*. Surakarta : Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Pratiwi, Lintang Ayu. 2015. *Studi Gelombang Kejut pada Silang KA Jalan S. Parman Balapan Dengan Menggunakan EMP atas Dasar Analisa Headway*. Surakarta : Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Salter, R.J. 1980. *Highway Traffic Analysis and Design*. The Macmillan Press Ltd.
- Setyaningsih, Ika. 2007. *Karakteristik Lalu Lintas Pada Persilangan Sebidang Jalan dan Jalan Rel*. Bandung : Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.