

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

Retno Dwi Nurjanah ¹⁾, Agus Sumarsono ²⁾, Amirotul MHM, ³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: retnodwinurjanah@gmail.com

Abstract

Signalized Intersection at Urip Sumoharjo Road - Sutan Sjabrir Road - Ir. H. Juanda Road is one intersection that has a duration of flame red lights are large and small green flame. This study aims to determine the value of PCE use headway analysis and calculate the value of shock waves that occur at signalized intersection Urip Sumoharjo Road - Sutan Sjabrir Road - Ir. H. Juanda Road. This research was conducted on Thursday, November 20, 2014, in the morning hours of 06:00 to 8:00 pm, during the hours of 12:00 to 14:00 pm, and afternoon hours of 16:00 to 18:00 pm. Having analyzed the value obtained PCE MC = 0.48 and HV= 1.45. Then the value of the headway emp analysis results are used to convert the number of vehicles into passenger car unit (pcu). Shockwave calculation results obtained $\omega_{ab} = -0.660 \text{ km/h}$, $\omega_{cb} = -3.356 \text{ km/h}$, $\omega_{ac} = 2.694 \text{ km/h}$ for North Urip Sumoharjo Road, $\omega_{ab} = -0.664 \text{ km/h}$, $\omega_{cb} = -3.442 \text{ km/h}$, $\omega_{ac} = 2.776 \text{ km/h}$ for South Urip Sumoharjo Road, $\omega_{ab} = -0.571 \text{ km/h}$, $\omega_{cb} = -3.078 \text{ km/h}$, $\omega_{ac} = 2.429 \text{ km/h}$ for Sutan Sjabrir Road, $\omega_{ab} = -0.465 \text{ km/h}$, $\omega_{cb} = -2.98 \text{ km/h}$, $\omega_{ac} = 2.459 \text{ km/h}$ for Ir. H. Juanda Road. While for a time the highest normalization on North Urip Sumoharjo Road is 197 seconds, South Urip Sumoharjo Road 157 seconds, Sutan Syabrir Road 127 seconds, Ir. H. Juanda Road 140 seconds. Thus causing long queue and some vehicle will undergo a phase flame red light up twice.

Keywords: PCE, Shockwave, time normalization

Abstrak

Simpang bersinyal di Jl. Urip Sumoharjo – Jl. Sutan Syahrir – Jl. Ir. H. Juanda adalah salah satu simpang yang memiliki durasi nyala lampu merah yang besar dan nyala hijaunya kecil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai EMP menggunakan analisa *headway* dan menghitung nilai gelombang kejut yang terjadi di simpang bersinyal Jl Urip Sumoharjo – Jl. Sutan Syahrir – Jl. Ir. H. Juanda. Penelitian ini dilakukan hari Kamis, 20 November 2014, pagi jam 06.00-08.00 WIB, siang jam 12.00-14.00 WIB, dan sore jam 16.00-18.00 WIB. Setelah dianalisis didapat nilai EMP MC = 0,48 dan HV = 1,45. Kemudian nilai emp hasil analisa *headway* tersebut digunakan untuk mengkonversi jumlah kendaraan menjadi satuan mobil penumpang (smp). Hasil perhitungan gelombang kejut diperoleh $\omega_{ab} = -0,660 \text{ km/jam}$, $\omega_{cb} = -3,356 \text{ km/jam}$, $\omega_{ac} = 2,694 \text{ km/jam}$ untuk Jl. Urip Sumoharjo Utara, $\omega_{ab} = -0,664 \text{ km/jam}$, $\omega_{cb} = -3,442 \text{ km/jam}$, $\omega_{ac} = 2,776 \text{ km/jam}$ untuk Jl. Urip Sumoharjo Selatan, $\omega_{ab} = -0,571 \text{ km/jam}$, $\omega_{cb} = -3,078 \text{ km/jam}$, $\omega_{ac} = 2,429 \text{ km/jam}$ untuk Jl. Sutan Syahrir, $\omega_{ab} = -0,465 \text{ km/jam}$, $\omega_{cb} = -2,98 \text{ km/jam}$, $\omega_{ac} = 2,459 \text{ km/jam}$ untuk Jl. Ir. H. Djuanda. Sedangkan untuk waktu penormalan tertinggi pada Jl. Urip Sumoharjo Utara sebesar 197 detik, Jl. Urip Sumoharjo Selatan 157 detik, Jl. Sutan Syahrir 127 detik, Jl. Ir. H. Djuanda 140 detik. Dengan demikianakan menyebabkan antrian yang panjang serta ada beberapa kendaraan yang akan mengalami fase nyala lampu merah hingga dua kali.

Kata kunci: EMP, gelombang kejut, waktu penormalan

PENDAHULUAN

Gelombang kejut terjadi karena adanya pergantian nyala lampu lalu lintas. Ketika lampu lalu lintas berwarna merah, kendaraan akan berhenti, kepadatan lengan simpang sebelum lampu merah akan meningkat, kecepatan menurun, dan akhirnya terjadi antrian. Gerakan arus lalu lintas yang terjadi pada saat kondisi lampu merah inilah yang disebut dengan gelombang kejut. Perhitungan kapasitas jalan di Indonesia mengacu pada Manual Kapasitas Jalan di Indonesia (MKJI) yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga pada tahun 1997. Karena ketentuan yang ada di MKJI dilakukan tahun 1997 dan karakteristik jalan yang telah berbeda, maka perlu dilakukan pengkajian ulang terhadap nilai emp pada daerah yang akan disurvei. Nilai emp pada penelitian ini dianalisa dengan menggunakan metode *headway*. Tujuan selanjutnya dari penelitian adalah untuk menghitung nilai gelombang kejut yang terjadi di lokasi penelitian. Nilai gelombang kejut yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung waktu penormalan lampu lalu lintas.

LANDASAN TEORI

Parameter Arus Lalu Lintas

1. Kecepatan (*Speed*)

Kecepatan adalah jarak yang ditempuh persatuan waktu yang dipakai untuk melintasi jarak tersebut (km/jam). Kecepatan dirumuskan sebagai berikut:

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

2. Arus

Arus adalah jumlah kendaraan yang melintasi suatu ruas jalan persatuan waktu pada lokasi tertentu diukur dalam satuan kendaraan persatuan waktu.

3. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan adalah jumlah kendaraan yang menempati sepanjang ruas jalan tertentu atau lajur yang pada umumnya dinyatakan sebagai jumlah kendaraan tiap kilometer. Rumus kepadatan adalah sebagai berikut :

$$D = \frac{N}{L} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Perhitungan Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (Emp) dengan Metode Rasio *Headway*

Cara menentukan nilai emp dengan mencatat waktu antara (*time headway*) kendaraan yang berurutan saat kendaraan tersebut melewati suatu titik pengamatan yang telah ditentukan. Rasio *Headway* yang diperlukan mencakup 7 macam kombinasi kendaraan yaitu : LV-LV, LV-HV, HV-LV, HV-HV, MC-MC, LV-MC, MC-LV.

Nilai emp dihitung dengan cara membagi nilai rata-rata *time headway* pasangan kendaraan :

$$ta + td = tb + tc \quad \dots\dots\dots (3)$$

Keadaan yang dapat memenuhi keadaan tersebut sulit diperoleh karena setiap kendaraan mempunyai karakteristik yang berbeda oleh karena itu diperlukan koreksi terhadap nilai rata-rata *time headway* :

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

Apabila telah memenuhi syarat, maka nilai emp dapat dihitung dengan persamaan :

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

Kemudian dari data tersebut di uji statistik dengan rumus :

Standar eror : $E = \frac{s}{n^{0,5}}$ (6)

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

Model *Greenshields*

Greenshields merumuskan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan-Kepadatan (S-D) diasumsikan linier. Metode ini digunakan untuk menentukan hubungan matematis antara kecepatan-kepadatan-arus. Dari metode ini didapatkan nilai arus maksimum (V_m), kecepatan maksimu (S_m) dan kepadatan maksimum (D_m) dengan persamaan :

$$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$S_M = \frac{S_{ff}}{2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$D_M = \frac{D_j}{2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

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. Dalam hal ini terjadi akibat pergantian nyala lampu merah dan hijau pada simpang. Selama waktu antara t_0 sampai dengan t_1 ,

lampu hijau menyala sehingga arus lalu lintas pada lengan persimpangan bergerak melewati persimpangan ke arah hilir dengan arus kondisi A (V_A , D_A , dan S_A). Pada waktu t_1 , lampu lalu lintas berubah menjadi merah dan kondisi arus lalu lintas pada garis henti (*stop line*) berubah menjadi kondisi B, sedangkan kondisi arus lalu lintas setelah persimpangan ke arah hilir pada kondisi D. Arus lalu lintas dengan kondisi A, B, dan D menerus terjadi sampai dengan waktu t_2 lampu berubah dari merah ke hijau. Sebuah arus lalu lintas dengan kondisi baru akan terbentuk, yaitu arus lalu lintas pada kondisi C dimana pada waktu t_2 arus lalu lintas pada garis henti akan meningkat dari 0 (nol) menjadi jenuh (*saturated*). Arus lalu lintas dengan kondisi D, C, B, dan A menerus terjadi sampai dengan ω_{AB} dan ω_{CB} mencapai t_3 . Pada waktu t_3 , terbentuk 1 (satu) gelombang kejut baru, yaitu gelombang kejut gerak maju (ω_{AC}), sedangkan 2 (dua) buah gelombang kejut gerak maju ω_{AB} dan ω_{CB} berakhir. Besarnya gelombang kejut dapat dihitung dengan persamaan berikut.

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

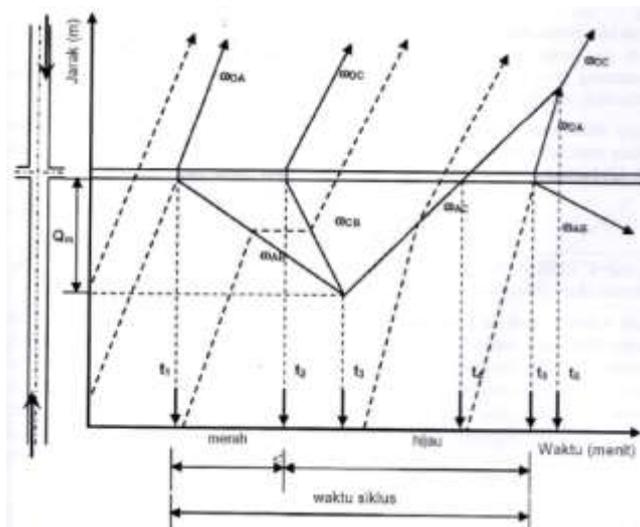
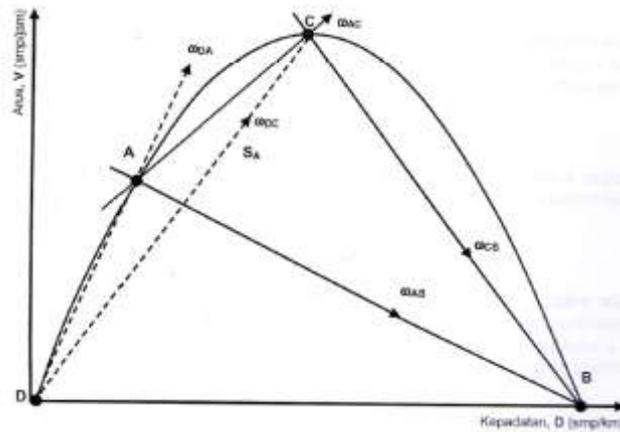
$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = - \frac{V_C}{D_B - D_C} \quad \dots\dots\dots (12)$$

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

Selang waktu antara t_2 sampai dengan t_3 : $t_2 - t_3 = r \cdot \left| \frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| \quad \dots\dots\dots (14)$

Panjang antrian dapat dihitung dengan rumus : $Q_M = \frac{r}{3600} \cdot \left| \frac{\omega_{CB} - \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| \quad \dots\dots\dots (15)$

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



Gambar 1. Pola Gelombang Kejut Pada Simpang Bersinyal

Uji Statistik

Uji statistik diperoleh dari uji korelasi $r = \frac{N \sum_{i=1}^N (X_i Y_i) - \sum_{i=1}^N (X_i) \cdot \sum_{i=1}^N (Y_i)}{\sqrt{[N \sum_{i=1}^N (X_i)^2 - (\sum_{i=1}^N (X_i))^2] \cdot [N \sum_{i=1}^N (Y_i)^2 - (\sum_{i=1}^N (Y_i))^2]}}$ (17)

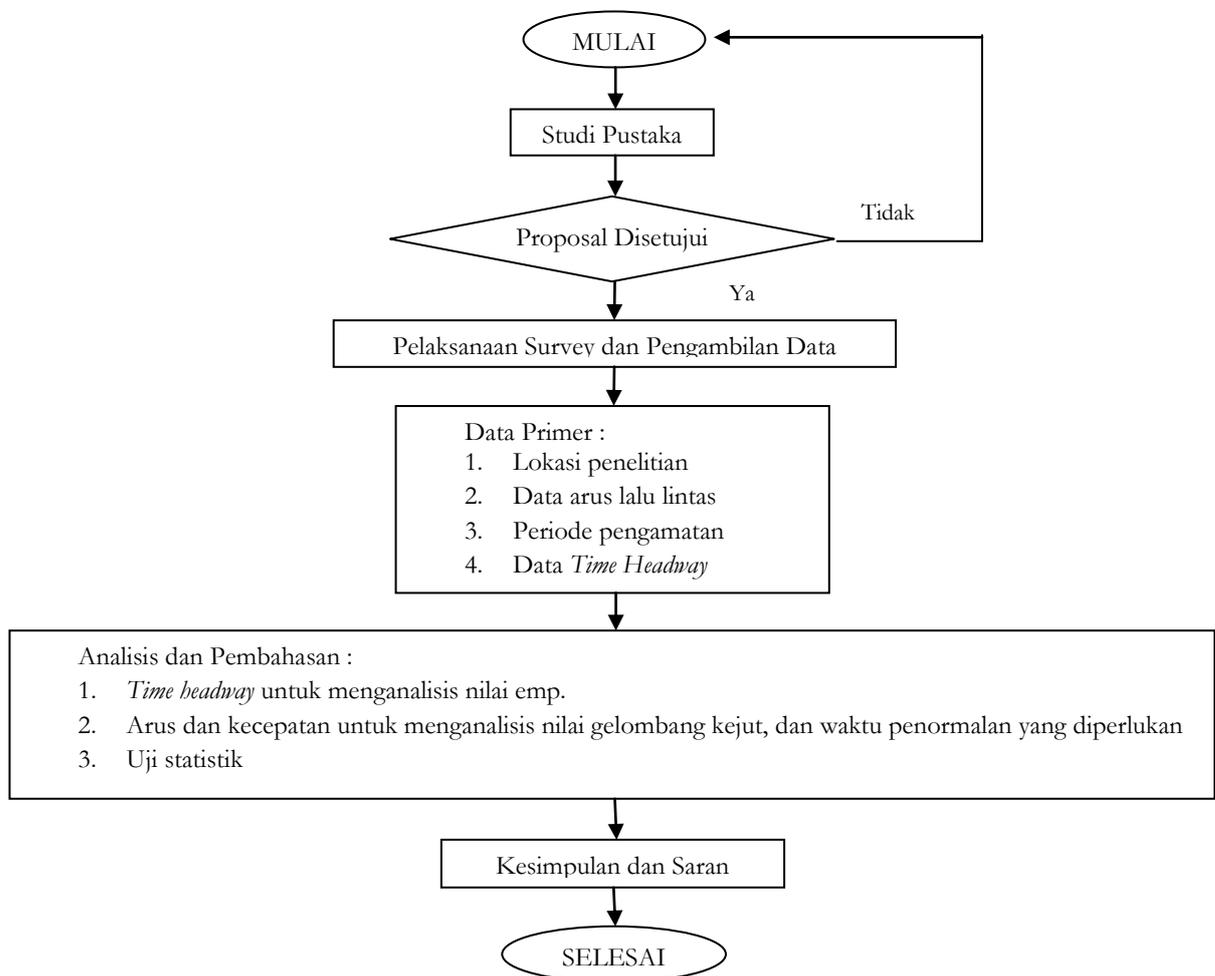
RMSE = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (b_i - a_i)^2}{n}}$ (18)

MAE = $\frac{\sum |b_i - a_i|}{n}$ (19)

MAPE = $\frac{1}{n} \frac{\sum |b_i - a_i|}{a_i} \times 100 \%$ (20)

METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian :



Gambar 2. Diagram alir Penelitian

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan nilai emp di simpang bersinyal Jalan Urip Sumoharjo - jalan Ir. Juanda - Jalan Sutan Syahrir :

Tabel 1. Rekapitulasi nilai emp dengan analisa *Headway*

No.	Lokasi Pengamatan	Nilai EMP		
		MC	LV	HV
1.	Jl. Urip Sumoharjo Utara	0,50	1,00	1,53
2.	Jl. Urip Sumoharjo Selatan	0,51	1,00	1,56
3.	Jl. Sutan Syahrir	0,47	1,00	1,38
4.	Jl. Ir. H. Djuanda	0,45	1,00	1,35
Jumlah		1,92	4,00	5,81
Rata-rata nilai EMP		0,48	1,00	1,45

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa perhitungan emp dengan metode *headway* didapatkan nilai emp MC sebesar 0,48 dan nilai emp untuk HV sebesar 1,45.

Hubungan matematis antar parameter :

$$\text{Hubungan Kecepatan – Kepadatan : } S = 6,7125 - 0,0064 D \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$\text{Hubungan Arus – Kepadatan : } V = 6,7125 D - 0,0064 D^2 \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\text{Hubungan Arus – Kecepatan : } V = 1.049,16 S - 156,299 S^2 \quad \dots\dots\dots (23)$$

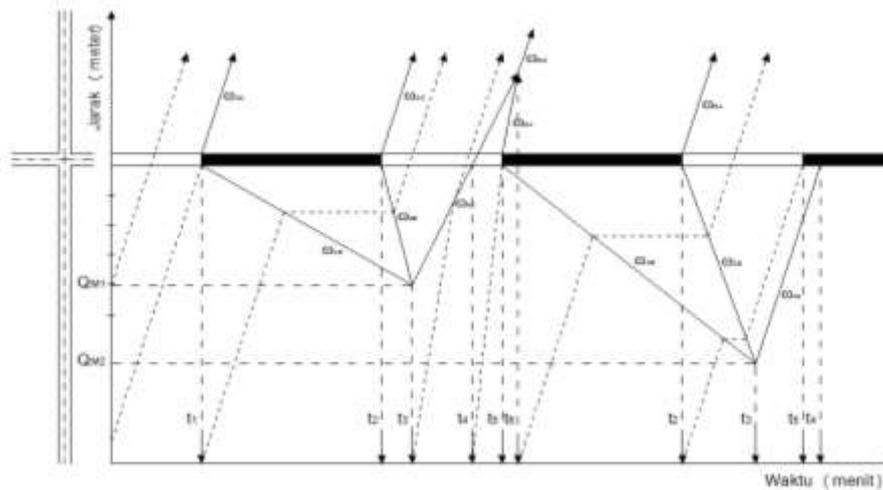
Gelombang kejut pada persimpangan bersinyal dapat dianalisis setelah mengetahui hubungan matematis antara arus-kepadatan pada lengan persimpangan. Dari hasil analisa dapat dilihat gelombang kejut yang dihasilkan ω_{ab} dan ω_{cb} bernilai negatif karena bergerak mundur, sedangkan ω_{ac} bernilai positif karena bergerak maju. Dengan adanya fenomena gelombang kejut yang terjadi pada simpang bersinyal ini, maka juga dapat diketahui panjang antrian maksimum yang terjadi (Q_m) selama lampu merah menyala dan juga waktu penormalan yang dibutuhkan (T) sejak diberlakukannya penormalan lajur hingga antrian berakhir.

Tabel 2. Hasil Analisa Gelombang Kejut

Kecepatan Gelombang Kejut			r	t3-t2	Qm	T
ω_{ab}	ω_{cb}	ω_{ac}				
(km/jam)	(km/jam)	(km/jam)	(detik)	(detik)	(km)	(detik)
-0,465	-2,980	2,459	90	16,63	0,01377	3,07
-0,599	-2,980	2,399	90	22,63	0,01873	5,69
-0,949	-2,980	2,141	90	42,04	0,03480	19,63
-1,412	-2,980	1,820	90	81,08	0,06712	73,05
-1,790	-2,980	1,026	90	135,46	0,11213	203,89
-1,807	-2,980	1,166	90	138,59	0,11472	213,41
-1,375	-2,980	1,646	90	77,14	0,06386	66,12
-1,201	-2,980	1,971	90	60,78	0,05031	41,04

Hasil perhitungan waktu penormalan menunjukkan angka yang berbeda-beda, terdapat hasil yang lebih besar dari durasi nyala lampu merah dan adapula hasil waktu penormalan yang lebih kecil dari durasi nyala lampu merah. Adanya perbedaan durasi waktu penormalan ini diimbangi dengan adanya perbedaan nilai panjang antrian maksimum, semakin besar nilai panjang antrian maksimum, semakin besar pula waktu penormalan yang dihasilkan. Ketika waktu penormalan menunjukkan angka yang lebih kecil dari durasi nyala lampu merah yang ada, seluruh kendaraan yang antri dapat terurai, namun ketika waktu penormalan menunjukkan nilai yang lebih besar dari durasi nyala lampu merah yang ada, serta panjang antrian yang menunjukkan angka yang sangat tinggi, hal ini menyebabkan antrian tidak terurai seluruhnya, akan ada beberapa kendaraan yang akan tertahan pada fase nyala lampu merah berikutnya. Untuk lebih jelasnya gambar berikut menunjukkan diagram jarak-waktu serta gelombang kejut yang

terjadi, untuk mengetahui perbedaan pola ketika waktu penormalan lebih kecil dari durasi nyala lampu merah dengan waktu penormalan yang lebih besar dari durasi nyala lampu merah :



Gambar 3. Diagram jarak-waktu

Dikarenakan hasil analisa didapatkan beberapa nilai panjang antrian maksimum dan waktu penormalan yang sangat tinggi. Untuk itu perlu dianalisa lebih lanjut dan diuji statistik . Setelah dianalisa nilai perbandingan estimasi kesalahan waktu penormalan yang diperoleh menunjukkan angka kesalahan yang jauh lebih besar dari nilai waktu penormalan *real*. Sehingga pada penelitian ini hasil analisa gelombang kejut kurang akurat untuk memprediksi waktu penormalan yang terjadi.

Begitu juga dengan hasil analisa pada lengan simpang yang lain, menunjukkan waktu penormalan yang nilainya tinggi. Analisa menggunakan nilai EMP analisa *headway* menunjukkan tingkat kesalahan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan EMP MKJI. Tingkat kesalahan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* masing-masing lengan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. Perbandingan Nilai MAPE hasil analisa *Headway* dengan MKJI

No.	Lokasi Pengamatan	Nilai MAPE (%)	
		Analisa <i>Headway</i>	MKJI
1.	Jl. Urip Sumoharjo Utara	11,98	69,12
2.	Jl. Urip Sumoharjo Selatan	21,71	8,96
3.	Jl. Sutan Syahrir	17,16	10,70
4.	Jl. Ir. H. Djuanda	4,30	1,96
Rata-rata nilai MAPE (%)		13,79	22,69

Sedangkan dari uji korelasi menunjukkan hasil koefien korelasi $r = 0,40$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa korelasi antara waktu penormalan hasil hitungan dengan waktu penormalan asli cukup kuat.

KESIMPULAN

- Perhitungan EMP menggunakan analisa *Headway* di simpang bersinyal Jalan. Urip Sumoharjo – Jalan. Sutan Syahrir – Jalan. Ir. H. Juanda didapatkan nilai EMP MC = 0,48 dan HV = 1,45.
- Nilai gelombang kejut yang diperoleh pada masing – masing pendekatan simpang adalah sebagai berikut :
 - Jl. Urip Sumoharjo Utara di peroleh nilai gelombang kejut terbesar terjadi pukul 06.00-06.15 WIB dengan nilai $\omega_{ab} = -0,660$ km/jam, $\omega_{cb} = -3,356$ km/jam, $\omega_{ac} = 2,694$ km/jam.
 - Jl. Urip Sumoharjo Selatan, gelombang kejut tertinggi terjadi pada pukul 06.00 – 06.15 WIB dengan nilai $\omega_{ab} = -0,664$ km/jam, $\omega_{cb} = -3,442$ km/jam, $\omega_{ac} = 2,776$ km/jam.
 - Jl. Sutan Syahrir, gelombang kejut tertinggi terjadi pada pukul 06.00 – 06.15 WIB dengan nilai $\omega_{ab} = -0,571$ km/jam, $\omega_{cb} = -3,078$ km/jam, $\omega_{ac} = 2,429$ km/jam.

- d. Jl. Ir. H Juanda, gelombang kejut tertinggi terjadi pada pukul 06.00 – 06.15 WIB dengan nilai $\omega_{ab} = -0,465$ km/jam, $\omega_{cb} = -2,98$ km/jam, $\omega_{ac} = 2,459$ km/jam.
3. Waktu penormalan di Jl. Urip Sumoharjo Utara sebesar 197 detik, Jl. Urip Sumoharjo Selatan 157 detik, Jl. Sutan Syahrir 127 detik, Jl. Ir. H. Djuanda 140 detik.

REKOMENDASI

1. Perhitungan dengan gelombang kejut menghasilkan waktu penormalan yang sangat jauh dari kenyataan di lokasi penelitian. Agar mendapatkan hasil lebih baik, sebaiknya pengambilan data dilakukan minimal selama 12 jam dari jam 06.00 – 18.00 WIB. Agar hasil perhitungan semakin akurat, sebaiknya pembagian interval tidak hanya 15 menit, namun dibagi lagi menjadi interval yang lebih pendek agar data yang didapat tidak mengumpul pada kondisi tertentu.
2. Penelitian sebaiknya dilakukan perlahan untuk masing- masing pendekatan simpang.
3. Kendaraan yang belok kiri langsung seharusnya tidak dihitung karena mempengaruhi tingkat kesalahan analisa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Ir. Agus Sumarsono. MT dan Amirotul MHM, ST, MSc yang telah membimbing dan memberi arahan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Adam, Octaviani L. 2013. Analisa Gelombang Kejut Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas di Jalan Walanda Maramis Bitung : Thesis Program Pascasarjana S2 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi.
- 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
- Anonim. 2005. *Buku Pedoman Penulisan Tugas Akhir*. Surakarta : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Direktorat Jenderal 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 Pingi, Yogyakarta)* : Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Bengkalis.
- Indraswari, Anisa S. 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 Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Kasenda, Natalie Diane. 2013. *Analisa Gelombang Kejut dan Pengaruhnya terhadap Arus Lalan Lintas di Jalan Sarapung Manado* Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol. 3. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Morlok, Edward K. 1978. *Introducing to Transportation Engineering and Planning*. McGraw-Hill, Inc.
- Salter, R.J. 1980. *Highway Traffic Analysis and Design*. The Macmillan Press Ltd.
- Tamin, Ofyzar Z. 2003. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi : Contoh Soal dan Aplikasi*. ITB. Bandung.