

PERBANDINGAN ESTIMASI WAKTU PERJALANAN DARI INSTANTANEOUS MODEL DAN TIME SLICE MODEL DENGAN WAKTU PERJALANAN DARI METODE KENDARAAN BERGERAK

Indra Chrisdianto¹⁾, Amirotul MHM²⁾, Slamet Jauhari Legowo³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret

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

Jl. Ir Sutami 36 A, Kentingan Surakarta 57126. Telp (0271) 647069, Fax 662118

Email : iandrakula@gmail.com

Abstract

Determination error of travel route will result stuck in traffic jam and arriving delays at destination. Travel time information is one of reference to planning a trip. Therefore it is needed a reliable travel time estimation method. Travel time estimation models used namely instantaneous model and time slice model using time mean speed (TMS) and space mean speed (SMS) based on spot speed data then validated against actual travel time using moving observer car method and using 3 indicators reliability test namely Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Mean Absolute Relative Error (MARE). Reliability test result for instantaneous model based on TMS get RMSE value = 0.856 minutes; MAE = 0.785 minutes; MARE = 10.8 %, and based on SMS get RMSE value = 0.546 minutes; MAE = 0.401 minutes; MARE = 5.5 %. Whereas reliability test result for time slice model based on TMS get RMSE value = 0.867 minutes; MAE = 0.784 minutes; MARE = 10.8 %, and based on SMS get RMSE value = 0.562 minutes; MAE = 0.414 minutes; MARE = 5.6 %. Conclusion, instantaneous model based on SMS showed a better rate accuracy on mixed traffic characteristic at peak hour.

Keywords: *instantaneous model, time slice model, moving observer car*

Abstrak

Kesalahan penentuan rute perjalanan akan berakibat terjebak kemacetan dan keterlambatan tiba di tempat tujuan. Informasi waktu perjalanan merupakan salah satu acuan dalam merencanakan suatu perjalanan. Maka diperlukan suatu metode estimasi waktu perjalanan yang dapat diandalkan. Model estimasi waktu perjalanan yang digunakan adalah *instantaneous model* dan *time slice model* menggunakan 2 variabel kecepatan yaitu kecepatan rata-rata waktu (TMS) dan kecepatan rata-rata ruang (SMS) berdasarkan data kecepatan sesaat yang kemudian divalidasi terhadap waktu perjalanan aktual menggunakan metode kendaraan bergerak serta menggunakan 3 indikator uji keandalan yaitu *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Error* (MAE), dan *Mean Absolute Relative Error* (MARE). Hasil uji keandalan untuk *instantaneous model* berdasarkan TMS didapatkan nilai RMSE = 0,856 menit; MAE = 0,785 menit; MARE = 10,8 %; dan berdasarkan SMS didapatkan nilai RMSE = 0,546 menit; MAE = 0,401 menit; MARE = 5,5 %. Sedangkan hasil uji keandalan untuk *time slice model* berdasarkan TMS didapatkan nilai RMSE = 0,867 menit; MAE = 0,784 menit; MARE = 10,8 %; dan berdasarkan SMS didapatkan nilai RMSE = 0,562 menit; MAE = 0,414 menit; MARE = 5,6 %. Kesimpulannya bahwa *instantaneous model* berdasarkan SMS menunjukkan tingkat keakuratan yang lebih baik pada karakteristik lalu lintas campuran di jam puncak.

Kata Kunci : *instantaneous model, time slice model, metode kendaraan bergerak*

PENDAHULUAN

Merencanakan suatu perjalanan bukan perkara mudah, karena jika salah menentukan rute perjalanan akan mengakibatkan berbagai dampak negatif seperti terjebak kemacetan dan keterlambatan tiba di tempat tujuan. Banyaknya pilihan rute-rute alternatif untuk menuju suatu tempat akan cukup membingungkan jika tanpa ada dasar atau acuan dalam mempertimbangkannya. Waktu perjalanan dari suatu ruas jalan merupakan salah satu acuan yang dapat digunakan dalam merencanakan suatu perjalanan. Informasi tentang perkiraan waktu perjalanan dari sebuah ruas jalan sangat berguna bagi para pengguna jalan dalam hal memilih dan menentukan rute perjalanan yang akan dilaluinya. Maka dibutuhkan suatu metode estimasi waktu perjalanan yang dapat diandalkan. Waktu perjalanan dari sebuah ruas jalan dapat diperkirakan dengan survei secara langsung di lapangan dan dapat juga diperoleh dari model-model estimasi. Masing-masing model estimasi tersebut harus dilakukan uji keandalan terhadap waktu perjalanan yang sesungguhnya untuk mengetahui tingkat keakuratannya. Uji keandalan tersebut akan menghasilkan model estimasi yang sesuai untuk digunakan dalam mengestimasi waktu perjalanan pada suatu ruas jalan.

Penelitian ini dilakukan pada jalan arteri primer menggunakan metode manual dalam pengambilan data *spot speed*, berbeda dengan penelitian “*Evaluation of Speed Based Travel Time Estimation Models*” oleh Ruimin Li yang mengambil jalan tol sebagai lokasi penelitiannya dan menggunakan *loop detector* dalam pengambilan data *spot speed*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui model estimasi yang memiliki tingkat akurasi lebih baik/dapat diandalkan antara *instantaneous model* dan *time slice model* terhadap metode kendaraan bergerak dalam mengestimasi waktu perjalanan pada Jalan Ring Road Utara Surakarta dari Simpang Ring Road Mojosongo (Surakarta) menuju Simpang Sroyo Jaten (Karanganyar). Lokasi yang ditinjau memiliki karakteristik lalu lintas campuran pada jam puncak yang didominasi sepeda motor dengan prosentase mencapai 82,3 %. Hasil yang diperoleh dapat digunakan oleh para pengguna jalan sebagai acuan dalam menentukan rute perjalanannya dan dapat pula digunakan oleh instansi yang berwenang sebagai masukan atau bahan pertimbangan dalam pengembangan dan perbaikan di bidang transportasi kota Surakarta pada waktu mendatang.

LANDASAN TEORI

Model Estimasi Waktu Perjalanan

Metode estimasi waktu perjalanan adalah metode atau cara yang dapat digunakan dalam menghitung atau memperkirakan waktu perjalanan untuk suatu panjang jalan tertentu yang selanjutnya dapat diinformasikan kepada para pengguna jalan sebagai dasar dalam penentuan rute perjalanan. Informasi tersebut dapat diperkirakan dengan mengukur waktu perjalanan secara langsung yang disebut dengan *Direct Methods* atau dengan mengukur variable lalu lintas seperti volume, kecepatan, dan arus lalu lintas untuk mengestimasi waktu perjalanan yang disebut dengan *Indirect Methods* (Angshuman Guin dan Jorge Laval, 2013). Model yang digunakan pada penelitian ini yang termasuk kedalam *indirect methods* adalah bagian dari *theoretical techniques*, meliputi :

1. *Instantaneous Model* (Model Seketika)

Instantaneous Model menggunakan data kecepatan setempat yang dikumpulkan dari setiap *link* pada saat k . Waktu tempuh untuk setiap *link* dihitung sebagai panjang *link* dibagi dengan rata-rata kecepatan sesaat di hulu dan hilir *link* seperti persamaan berikut :

$$t(i, k) = \frac{l_i}{v(i_a, k) + v(i_b, k)} \dots\dots\dots [2.1]$$

2. *Time Slice Model* (Model Irisan Waktu)

Pada *Time slice model*, untuk *link* pertama, waktu tempuh diperkirakan sebagai *instantaneous model* (model seketika). Kendaraan akan tiba di *link* ke-2 pada waktu $k + t(i, k)$, yaitu waktu masuk ditambah waktu untuk melintasi *link*. Secara umum, model dapat ditulis :

$$t(n, t_n) = \frac{l_n}{v(n_a, t_n) + v(n_b, t_n)} \dots\dots\dots [2.2]$$

Total waktu perjalanan kemudian dihitung dengan menjumlahkan estimasi waktu perjalanan dari n segmen seperti persamaan berikut :

$$T(k) = \sum_{i=1}^n t(i, k) \dots\dots\dots [2.3]$$

- Dimana:
- l_i / l_n = Panjang link (km)
 - $v(i_a, k)$ = Kecepatan di hulu *link* i pada waktu k (km/jam)
 - $v(i_b, k)$ = Kecepatan di hilir *link* i pada waktu k (km/jam)
 - $v(n_a, t_n)$ = Kecepatan di hulu *link* n pada waktu masuk ditambah waktu melintasi *link* n (km/jam)
 - $v(n_b, t_n)$ = Kecepatan di hilir *link* n pada waktu masuk ditambah waktu melintasi *link* n (km/jam)
 - $t(i, k)$ = Waktu perjalanan *link* i (jam)

Model estimasi di atas selanjutnya akan divalidasi terhadap waktu perjalanan aktual hasil dari survei kendaraan bergerak. Survei kendaraan bergerak termasuk ke dalam *direct method* atau pelaksanaannya langsung di lapangan. Data yang didapat melalui survei langsung di lapangan selanjutnya akan diolah menggunakan rumus-rumus yang terdapat pada panduan survei dan perhitungan waktu perjalanan lalu lintas Direktorat Jenderal Bina Marga No. 001/T/BNKT/1990, antara lain:

a) Menghitung Volume Lalu Lintas Ke Arah Barat (Q_b)

$$Q_b = \frac{X_b + Y_b}{W_b + W_t} \dots\dots\dots [2.4]$$

b) Menghitung Waktu Perjalanan Rata-rata Ke Arah Barat (\overline{W}_b)

$$\overline{W}_b = W_b - \frac{Y_b}{Q_b} \dots\dots\dots [2.5]$$

c) Menghitung Kecepatan Lalu Lintas Rata-rata Ke Arah Barat ($\overline{K_b}$)

$$\overline{K_b} = \frac{J}{W_b} \dots \dots \dots [2.6]$$

- Dimana: Y_b = $O_b - P_b$
 O_b = Jumlah kendaraan yang menyiap pengamat
 P_b = Jumlah kendaraan yang disiap pengamat
 X_t = Jumlah kendaraan yang berlawanan dengan pengamat yaitu arus kendaraan yang menuju ke arah timur
 W_b = Waktu perjalanan ke arah barat (menit)
 W_t = Waktu perjalanan ke arah timur (menit)
 J = Panjang ruas jalan yang diamati (km)

Indikator Uji Keandalan

Keandalan estimasi waktu perjalanan dari hasil model dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa indikator uji keandalan, yaitu *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Error* (MAE), dan *Mean Absolute Relative Error* (MARE).

1. *Root Mean Square Error* (RMSE)

Akar kesalahan kuadrat rata-rata (*root mean square error*) merupakan suatu ukuran kesalahan yang didasarkan pada selisih antara dua buah nilai yang bersesuaian, yang didefinisikan sebagai :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_i - \hat{T}_i|^2} \dots \dots \dots [2.7]$$

2. *Mean Absolute Error* (MAE)

Nilai mutlak dari kesalahan rata-rata (*mean absolute error*) merupakan bentuk ukuran kesalahan yang paling sederhana, dan didefinisikan sebagai :

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |T_i - \hat{T}_i|}{n} \dots \dots \dots [2.8]$$

3. *Mean Absolute Relative Error* (MARE)

Mean Absolute Relative Error (MARE) akan lebih tepat digunakan untuk membandingkan atau memilih model apabila data T_i mempunyai nilai yang saling mendekati.

$$MARE = \frac{(\sum_{i=1}^n |T_i - \hat{T}_i|) / T_i}{n} \dots \dots \dots [2.9]$$

- Dimana : T_i = Waktu perjalanan sebenarnya (menit)
 \hat{T}_i = Estimasi waktu perjalanan dari model (menit)
 n = Jumlah sampel data

METODE

Penelitian ini menggunakan teknik pengumpulan data dengan riset lapangan. Penelitian ini merupakan studi kasus terhadap suatu perbandingan model estimasi waktu perjalanan menggunakan *instantaneous model* dan *time slice model* berdasarkan data kecepatan sesaat terhadap waktu perjalanan sebenarnya yang didapat dari survei kendaraan bergerak.

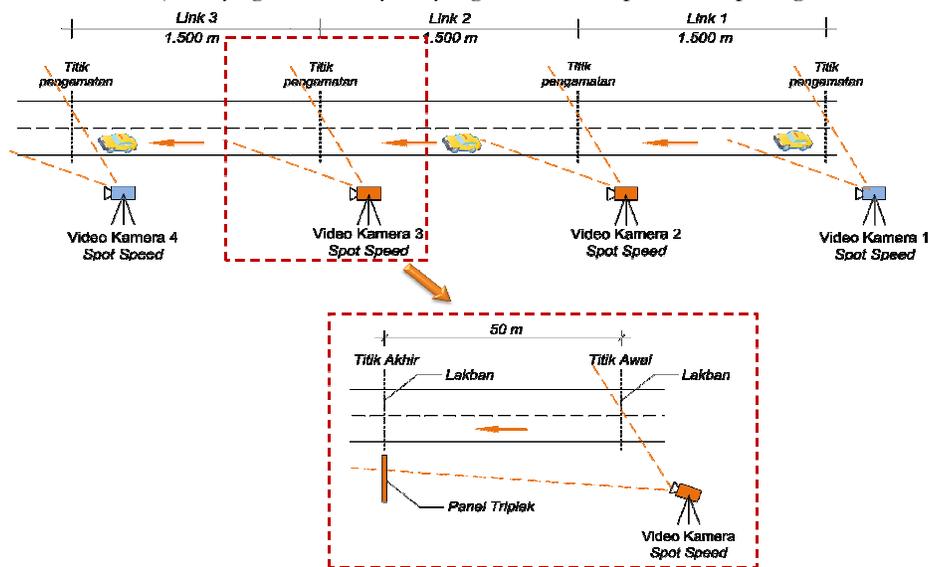
Penentuan lokasi pengamatan berdasarkan pada kriteria jalan dan kondisi lalu lintas layaknya jalan bebas hambatan dimana tidak memiliki tundaan/hambatan yang berarti dan memiliki lalu lintas yang lancar serta memiliki lebar jalan yang memadai dan kondisi perkerasan yang baik. Lokasi yang dipilih dalam penelitian ini adalah jalan Ring Road Utara Surakarta yaitu berawal dari simpang Ring Road Mojosongo Kota Surakarta hingga simpang Sroyo Jaten Kabupaten Karanganyar yang merupakan jalan arteri primer luar kota. Berdasarkan data yang diperoleh pada saat survei pendahuluan bahwa arus lalu lintas yang akan ditinjau adalah arus lalu lintas ke arah barat yaitu dari Simpang Sroyo (Karanganyar) sampai dengan Simpang Mojosongo (Surakarta), dengan kata lain arus lalu lintas ke arah barat dinilai merupakan arus terbesar selama waktu pengamatan. Ruas Jalan Ring Road Utara Surakarta dibagi menjadi 3 *link* dengan jarak yang sama yaitu 1500 m sehingga panjang total koridor jalan yang diteliti adalah 4.500 m, lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1. Pada penelitian ini, kondisi penampang melintang jalan yang tidak seragam dianggap tidak berpengaruh pada kecepatan lalu lintas karena volume kendaraan di bawah kapasitas jalan.



Gambar 1. Tampak Ruas Jalan Ring Road Utara Surakarta

1. Desain Survei Kecepatan Sesaat (*Spot Speed*)

Survei *spot speed* dilakukan di titik awal dan akhir pada setiap *link* dari rute yang telah ditentukan. Berdasarkan survei pendahuluan, kecepatan kendaraan rata-rata diketahui berkisar 40 km/jam maka jarak pengamatan untuk survei *spot speed* (sesuai dengan aturan Bina Marga No. 001/T/BNKT/1990) adalah 50 m. Rencana awal Survei *spot speed* dilakukan secara digital, yaitu dengan menempatkan 4 kamera video pada *upstream* dan *downstream* masing-masing *link*. Jarak 50 m pada setiap *link* ditandai menggunakan lakban putih. Kamera video diletakkan pada bahu jalan menghadap ke arah barat agar tidak melawan sinar matahari dan diusahakan rekaman pada kamera video mencakup jarak 50 m sehingga dapat melihat pergerakan kendaraan dan mencatat waktu kendaraan ketika melintasi penggal jalan tersebut. Namun setelah dilakukan *pilot survey*, diketahui bahwa jauhnya jarak kamera video dengan batas akhir pengamatan membuat garis berupa lakban putih tidak begitu jelas terlihat sehingga diperlukan tambahan alat bantu berupa panel triplek yang diletakkan di tepi jalan sejajar dengan titik akhir pengamatan. Sebagai antisipasi dilakukan juga survei *spot speed* secara manual yaitu menggunakan surveyor yang diposisikan di titik awal dan titik akhir pengamatan pada masing-masing *link*. Untuk lebih jelasnya gambaran layout yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 2.



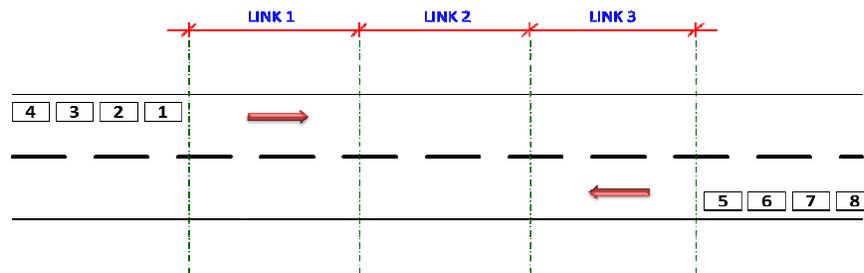
Gambar 2. Layout Pelaksanaan Survei *Spot Speed*

2. Desain Survei Kendaraan Bergerak (*Moving Observer Car*)

Metode kendaraan bergerak dimaksudkan untuk mendapatkan waktu perjalanan yang sebenarnya sebagai acuan validitas terhadap model estimasi yang digunakan. Survei kendaraan bergerak (*moving observer car*) dilakukan pada hari yang sama dengan survei kecepatan sesaat (*spot speed*). Survei kendaraan bergerak dilakukan menggunakan 8 kendaraan uji berupa mobil dengan penempatan mobil dibagi menjadi 2 kelompok yaitu 4 mobil berada di ujung barat dan 4 mobil lainnya berada di ujung timur. Satu kendaraan uji dibutuhkan minimal 4 surveyor terdiri dari pengemudi, pengamat 1, pengamat 2, pengamat 3 dengan tugas masing-masing berbeda-beda yaitu:

- Seorang pengemudi harus mempertahankan kendaraan bergerak pada kecepatan konstan. Usahakan kendaraan yang disiap sama dengan kendaraan yang menyiap.
- Ketika kendaraan uji mulai bergerak dari titik awal survei, pengamat pertama bertugas untuk menghidupkan *stopwatch* sebagai acuan untuk mendapatkan waktu perjalanan.
- Pengamat kedua bertugas untuk mencatat banyaknya kendaraan yang disiap dan menyiap kendaraan uji selama kendaraan uji melewati rute survei yang telah ditentukan.
- Pengamat terakhir bertugas untuk mencatat banyaknya kendaraan yang berlawanan arah dengan kendaraan uji selama kendaraan uji melewati rute survei yang telah ditentukan.

Interval keberangkatan tiap mobil uji adalah per 2 menit keberangkatan sehingga waktu yang disediakan untuk masing-masing mobil uji menyelesaikan satu rute perjalanan adalah 8 menit. Waktu ini sudah termasuk waktu untuk berputar balik hingga siap kembali untuk melakukan perjalanan. Dengan kata lain, bila mobil uji memerlukan waktu 7 menit untuk menyelesaikan perjalanannya hingga putar balik, maka mobil uji tersebut harus menunggu selama 1 menit pada bahu jalan kemudian baru melanjutkan perjalanannya kembali. Survei kendaraan bergerak dilaksanakan untuk 2 arah yaitu arah timur ke barat dan arah barat ke timur walaupun dalam penelitian ini yang ditinjau hanya arah dari timur ke barat. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Layout Pelaksanaan Survei Kendaraan Bergerak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data primer dikumpulkan melalui survei langsung di lapangan menggunakan metode *spot speed* dan metode kendaraan bergerak yang dilakukan pada hari yang sama dan pada jam puncak pagi yaitu antara jam 06.00 – 08.10 WIB dengan interval pengambilan data per 2 menit dan berlangsung selama waktu pengamatan.

Hasil

Data primer yang telah diperoleh selanjutnya diolah menggunakan rumus-rumus hingga mendapat hasil sesuai yang diharapkan. Hasil yang didapatkan antara lain:

1. Kecepatan Rata-rata Setiap Link

Waktu perjalanan setiap titik yang diperoleh melalui survei *spot speed* selanjutnya diolah menggunakan rumus TMS dan SMS hingga mendapatkan kecepatan rata-rata setiap link. Contoh perhitungan kecepatan rata-rata berdasarkan TMS dan SMS pada interval pertama yaitu pukul 06.00-06.02 WIB pada *upstream* link 1 disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan TMS dan SMS untuk *upstream* link 1 pada interval 06.00-06.02 WIB

Interval Waktu	Sample (n)	Jarak (m)	Jenis Kendaraan	Waktu Tempuh (detik)	Kecepatan (km/jam)	TMS (km/jam)	SMS (km/jam)
06.00 - 06.02	7	50	MC	3,14	57,325	46,115	45,291
			MC	3,35	53,731		
			MC	4,16	43,269		
			MC	4,38	41,096		
			MC	3,83	46,997		
			LV	4,39	41,002		
			HV	4,57	39,387		
			Σ	322,808			

Sumber : Hasil Perhitungan

2. Estimasi Waktu Perjalanan

Kecepatan rata-rata tiap link dijadikan masukan/input ke dalam rumus *instantaneous model* dan *time slice model* sehingga akan didapatkan waktu perjalanan hasil estimasi. Rekapitulasi estimasi waktu perjalanan berdasarkan TMS disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Estimasi Waktu Perjalanan berdasarkan TMS

No	Interval	Kecepatan Rata-rata Waktu (\bar{U}_{TMS})				Estimasi TT	
		<i>Upstream Link 1</i> (km/jam)	<i>Upstream Link 2</i> (km/jam)	<i>Upstream Link 3</i> (km/jam)	<i>Downstream Link 3</i> (km/jam)	<i>Instantaneous Model</i> (Menit)	<i>Time Slice Model</i> (Menit)
1	06.00 - 06.02	46,115	44,917	44,683	41,729	6,069	6,194
2	06.02 - 06.04	43,171	43,429	44,692	41,069	6,220	6,161
3	06.04 - 06.06	42,631	45,672	42,840	43,238	6,163	6,248
4	06.06 - 06.08	40,259	44,238	43,727	42,976	6,253	6,431
5	06.08 - 06.10	46,877	42,565	43,659	41,127	6,223	5,961
..
59	07.56 - 07.58	42,585	45,472	41,284	45,845	6,185	6,325
60	07.58 - 08.00	43,115	42,685	42,983	43,593	6,278	6,120

Sumber : Hasil Perhitungan

3. Waktu Perjalanan Aktual

Waktu perjalanan aktual digunakan sebagai acuan validitas dari waktu perjalanan hasil estimasi. Rekapitulasi perhitungan waktu perjalanan aktual dengan metode kendaraan bergerak disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Waktu Perjalanan Aktual dengan Metode Kendaraan Bergerak

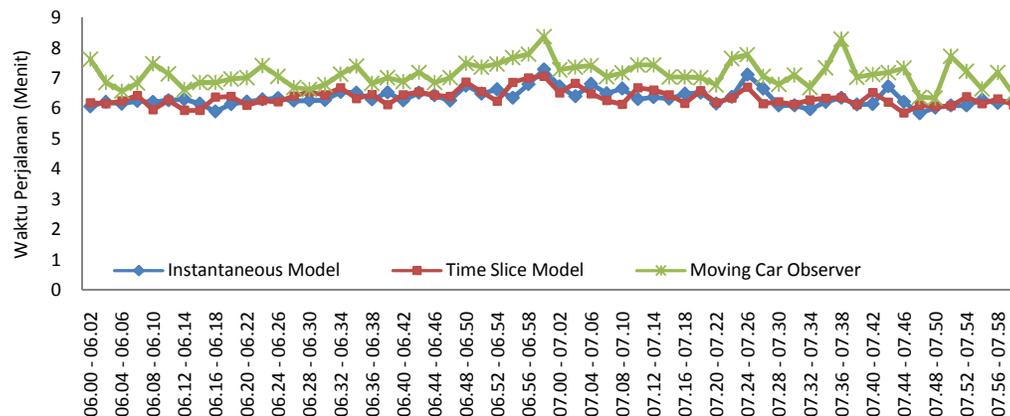
No.	Interval	O _b	P _b	X _b	W _b menit	W _t menit	J km	Y _b	Q _b kend/s	W _b menit	K _b km/jam	Mobil
1	06.00 - 06.02	26	15	419	8.03	7.56	4.50	11	27.58	7.63	35.38	1 - 5
2	06.02 - 06.04	26	19	499	7.06	7.35	4.50	7	35.11	6.86	39.35	2 - 6
3	06.04 - 06.06	43	19	517	7.17	6.21	4.50	24	40.43	6.58	41.06	3 - 7
4	06.06 - 06.08	30	12	447	7.41	7.24	4.50	18	31.74	6.84	39.46	4 - 8
5	06.08 - 06.10	26	23	596	7.56	7.25	4.50	3	40.45	7.49	36.07	5 - 1
....
59	07.56 - 07.58	17	15	266	7.31	8.00	4.50	2	17.50	7.20	37.52	6 - 3
60	07.58 - 08.00	30	14	373	7.06	7.07	4.50	16	27.53	6.48	41.67	7 - 5

Sumber : Hasil Perhitungan

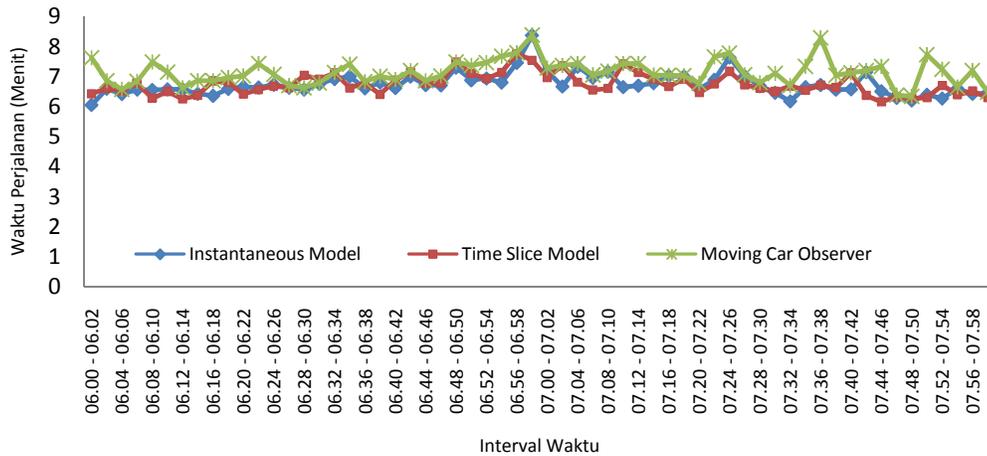
Pembahasan

a. Perbandingan Waktu Perjalanan

Dari hasil perhitungan estimasi waktu perjalanan dengan *instantaneous model* dan *time slice model* berdasarkan TMS dan SMS, serta waktu perjalanan aktual yang diperoleh menggunakan metode kendaraan bergerak, perbandingan hasil perhitungan dapat dilihat dari grafik berikut :



Gambar 4. Grafik Waktu Perjalanan Metode Kendaraan Bergerak, *Instantaneous Model* dan *Time Slice Model* Berdasarkan TMS



Gambar 5. Grafik Waktu Perjalanan Metode Kendaraan Bergerak, *Instantaneous Model* dan *Time Slice Model* Berdasarkan SMS

Dari gambar 4 dan 5 dapat dilihat secara umum waktu perjalanan hasil dari *Instantaneous Model* dan *Time Slice Model* baik berdasarkan TMS maupun SMS mengalami perbedaan dan lebih cepat dibanding waktu perjalanan aktual yang diperoleh dari metode kendaraan bergerak. Hasil ini sama dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ruimin Li (2006), dimana hasil estimasi waktu perjalanan dari semua model estimasi waktu perjalanan lebih cepat dibanding waktu perjalanan aktual.

b. Uji Keandalan

Estimasi waktu perjalanan dari hasil *Instantaneous Model* dan *Time Slice Model* divalidasi dengan hasil survei kendaraan bergerak. Beberapa indikator uji keandalan yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat keandalan dari estimasi waktu perjalanan hasil *Instantaneous Model* dan *Time Slice Model* terhadap waktu perjalanan aktual hasil metode kendaraan bergerak adalah *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolut Error* (MAE), dan *Mean Absolut Relative Error* (MARE).

Hasil perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolut Error* (MAE), dan *Mean Absolut Relative Error* (MARE) berdasarkan data TMS dan SMS dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut :

Tabel 4. Validasi *Instantaneous* dan *Time Slice Model* Berdasarkan Data Kecepatan Rata-rata Waktu (TMS)

	<i>Instantaneous Model</i>	<i>Time Slice Model</i>
RMSE	0,856 menit	0,867 menit
MAE	0,785 menit	0,784 menit
MARE	10,8 %	10,8 %

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. Validasi *Instantaneous* dan *Time Slice Model* Berdasarkan Data Kecepatan Rata-rata Ruang (SMS)

	<i>Instantaneous Model</i>	<i>Time Slice Model</i>
RMSE	0,546 menit	0,562 menit
MAE	0,401 menit	0,414 menit
MARE	5,5 %	5,6 %

Sumber : Hasil Perhitungan

Selisih antara *instantaneous model* dan *time slice model* dikarenakan adanya perbedaan asumsi yang digunakan. *Instantaneous model* mengasumsikan bahwa kecepatan kendaraan tidak mengalami perubahan yang signifikan/stabil pada saat masuk maupun keluar koridor, dengan kata lain model ini hanya dapat digunakan

pada kondisi lalu lintas yang bebas tanpa hambatan (*uncongested*) dan akan mengalami kesalahan jika terjadi kemacetan (*congested*) (Angshuman Guin dan Jorge Laval, 2013), sedangkan *time slice model* mencoba menjelaskan tentang variasi kecepatan dari waktu ke waktu dengan membangun *vehicle trajectory* untuk menunjukkan karakteristik yang tidak seragam dari masing-masing kendaraan karena adanya perbedaan kecepatan, perilaku pengemudi, karakteristik kendaraan.

Estimasi waktu perjalanan dari *Instantaneous Model* dan *Time Slice Model* berdasarkan data kecepatan rata-rata ruang (SMS) menghasilkan waktu perjalanan yang lebih mendekati waktu perjalanan aktual dibandingkan dengan hasil dari data kecepatan rata-rata waktu (TMS).

Dari semua hasil uji keandalan, dapat ditarik kesimpulan bahwa *Instantaneous Model* mempunyai tingkat keandalan yang lebih tinggi, walaupun demikian perbedaan diantara kedua model estimasi tidak cukup besar baik berdasarkan data kecepatan TMS maupun SMS terhadap variabel validator survei kendaraan bergerak. Dengan demikian *Instantaneous Model* dapat direkomendasikan untuk digunakan dalam mengestimasi waktu perjalanan pada ruas Jalan Ring Road Utara Surakarta.

SIMPULAN

Dari hasil uji keandalan didapatkan kesimpulan yaitu model yang mempunyai tingkat keandalan lebih tinggi untuk mengestimasi waktu perjalanan berdasarkan data kecepatan sesaat adalah *Instantaneous Model* jika dibandingkan dengan *Time Slice Model*, dimana hasil uji keandalan yang diperoleh untuk *Instantaneous Model* adalah RMSE = 0,856 menit; MAE = 0,785 menit; dan MARE = 10,8 % untuk analisis berdasarkan TMS, sedangkan untuk analisis berdasarkan SMS diperoleh nilai RMSE = 0,546 menit; MAE = 0,401 menit; dan MARE = 5,5 %.

Hasil uji keandalan tersebut menunjukkan bahwa estimasi waktu perjalanan dari *Instantaneous Model* dengan menggunakan kecepatan rata-rata ruang (SMS) menghasilkan waktu perjalanan yang lebih mendekati waktu perjalanan aktual (hasil metode kendaraan bergerak) jika dibandingkan dengan menggunakan kecepatan rata-rata waktu (TMS).

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan rasa terimakasih yang tidak terhingga kepada dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya dalam membimbing hingga terselesaikannya penelitian ini dan juga kepada seluruh rekan yang telah membantu pengambilan data waktu perjalanan kendaraan pada penelitian ini.

REFERENSI

- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1990, *Panduan Penentuan Klasifikasi Fungsi Jalan Di Wilayah Perkotaan*, No. 010/T/BNKT/1990, Direktur Pembinaan Jalan Kota, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1990, *Panduan Survei dan Perhitungan Waktu Perjalanan Lalu Lintas*, No. 001/T/BNKT/1990, Direktur Pembinaan Jalan Kota, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997, *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*, No. 038/TBM/1997, Pgs. Direktur Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Guin, A. 2013. *Freeway Travel-time Estimation and Forecasting*, GDOT Research Project 10-01; TO 02-60. Georgia Institute of Technology.
- Hobbs, F.D. 1995. *Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas*. Yogyakarta : UGM Press
- Holt, Russel B., Dr. Brian L. Smith., Dr. B. "Brian" Park, 2003, *An Investigation of Travel Time Estimation Based on Point Sensors*, Transport, STL-2003-03.
- KIM, Hyungjoo, 2013, *Assessment of Travel Time Estimates based on Different Vehicle Speed Data: Spot Speed vs. Sampled Journey Speed in South Korean expressways*, the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 9.
- Li, Ruimin, 2006, *Evaluation of Speed-Based Travel Time Estimation Models*, Transport, 10.1061/(ASCE)0733-947X(2006)132:7(540).
- Republik Indonesia, 2006, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 34 Tahun 2006 Tentang Jalan*, Lembaran Negara RI No. 4655, Presiden Republik Indonesia, Jakarta.
- Republik Indonesia, 2009, *Undang-undang No. 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan*, Lembaran Negara RI No. 5025, Sekretariat Negara, Jakarta.
- Sekaran, Uma. 2006. *Metodologi Penelitian Bisnis*. Jilid 1. Edisi 4. Salemba Empat, Jakarta.
- Wijayanto, Yudha, 2009, *Analisis Kecepatan Kendaraan Pada Ruas Jalan Brigjen Sudiarto (Majapahit) Kota Semarang dan Pengaruhnya Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM)*, Tesis, Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.

Zhang, W., 2006, *Freeway Travel Time Estimation Based on Soft Speed*, PhD Thesis Virginia Polytechnic Institute and State University.