

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Waktu perjalanan (*Travel Time*, TT) merupakan kebutuhan bagi para pengguna jalan, yang fungsinya dapat mengoptimalkan alokasi waktu. Karena pentingnya waktu perjalanan, maka banyak jurnal, disertasi, maupun penelitian yang membahas hal tersebut. Pengembangan metode estimasi dan prediksi waktu perjalanan sedang menjadi perbincangan di beberapa negara maju, dan memperkecil kesalahan dari hasil estimasi yang lebih rendah merupakan tujuan utamanya. Ironisnya di Indonesia hal ini belum banyak berkembang dan belum menjadi bahasan dalam perkuliahan.

Pada tahun 2006 Rumin Li melakukan penelitian mengenai evaluasi model estimasi waktu perjalanan berdasarkan data kecepatan yang diperoleh melalui titik-titik detector di jalan raya Melbourne, Australia yang berlokasi di *South Eastern Freeway* dan di *City Link*. Di *South Eastern Freeway* data kecepatan di dapatkan melalui *Double Inductive loops* dengan jarak 500 m, sedangkan pada jalan *City Link* data kecepatan didapatkan dari kamera dan *inductive loops*. Evaluasi perjalanan menggunakan empat model yaitu *instantaneous model*, *time slice model*, *dynamic time slice model*, dan *linear model*. Dari semua hasil model estimasi waktu perjalanan dapat disimpulkan memiliki perbedaan kecepatan, yaitu lebih cepat dibandingkan dengan waktu perjalanan sebenarnya yang diperoleh melalui teknik survei plat nomer kendaraan dan karcis keluar masuk tol.

Wang Zhang (2006) pada hasil penelitiannya tentang estimasi waktu perjalanan pada jalan bebas hambatan untuk pendekatan *Time Mean Speed Travel* merupakan pendekatan yang layak untuk memperkirakan waktu perjalanan pada suatu jalur, tetapi memiliki syarat yaitu memperkirakan kepadatan penduduk. Disisi lain *Space Mean Speed* memiliki tingkat kesalahan yang lebih kecil dibandingkan dengan *Time Mean Speed*.

Di Korea Selatan tepatnya di Giheung-Dongtan Interchanges sampai Anseong Interchange pada tahun 2013, Kim Hyoungjoo melakukan penelitian mengenai penilaian estimasi waktu perjalanan berdasarkan perbedaan data kecepatan kendaraan antara *spot speed* dan *journey speed*. Data diperoleh dari dua cara, cara pertama yaitu menggunakan *loop detector* yang dipasang di trotoar jalan yang nantinya akan mendapatkan data *spot speed*, kemudian pada cara kedua menggunakan perangkat *Electronic Toll Collection* (ETC) untuk memperoleh data *journey speed*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil dari *loop detector* lebih akurat pada saat kondisi rendah sedangkan ETC kurang. Kemudian untuk hasil ETC dan *loop detector* terhadap waktu tempuh yang sebenarnya berkorelasi positif dan dapat membentuk hubungan linier.

Pada tahun 2014 Aan melakukan penelitian di jalan Ringroad Surakarta dengan menggunakan metode *Instantaneous Model* dan *Time Slice Model*. Dan hasilnya berdasarkan kecepatan sesaat data yang akurat adalah *Instantaneous Model*. Dan untuk hasil *survey* plat nomor kendaraan hasilnya lebih mendekati waktu perjalanan aktual.

Perbedaan pada penelitian ini adalah lokasi yang berada pada jalan Ringroad Utara Surakarta. Data yang diperoleh dengan melakukan *survey spot speed* dengan menggunakan *speed gun*. Penelitian ini membahas tentang analisis tingkat kesalahan estimasi waktu perjalanan (*travel time*) berdasarkan data kecepatan sesaat (*spot speed*) dengan menggunakan metode *Time Slice Model* dan *Linear Model*.

Tabel 2.1. Tabel Perbedaan Analisis Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya.

Topik	Penulis (Tahun)	Sumber Data <i>Spot Speed</i>	Kecepatan Rata-Rata		Model Estimasi Waktu Perjalanan	<i>Observed Method</i>
			<i>Time Mean Speed</i>	<i>Space Mean Speed</i>		
Evaluasi dari 4 metode estimasi waktu perjalanan	Ruimin Li, Geoffrey Rose, Majid Sarvi (2006)	<i>Loop Detectors</i>	X	√	<i>Instantaneous Model, Time-Slice Model, Dynamic Time-Slice Model, Linear Model</i>	Survei Plat Nomor Kendaraan
Penilaian estimasi waktu perjalanan pada jalan bebas hambatan berdasarkan pengukuran kecepatan sesaat	Wang Zang (2006)	<i>Loop Detector</i>	x	√	Algoritma	<i>VRI (Vehicle Re- Identification)</i>
Penilaian dari estimasi waktu perjalanan berdasarkan perbedaan data kecepatan kendaraan	Hyungjoo Kim (2013)	<i>Loop Detectors</i>	√	x	<i>Instantaneous Model</i>	<i>Electronic Toll Collection (ETC)</i>
Estimasi waktu perjalanan berdasarkan kecepatan sesaat dengan metode <i>instantaneous model</i> dan <i>time slice model</i>	Aan (2015)	Kamera video	√	√	<i>Instantaneous Model, Time-Slice Model,</i>	Survei Plat Nomor Kendaraan
Tingkat kesalahan estimasi waktu perjalanan (<i>travel time</i>) berdasarkan data kecepatan sesaat (<i>spot speed</i>) dengan menggunakan <i>linear model</i> dan <i>time slice model</i>		<i>Speed Gun dan manual</i>	√	x	<i>Time-Slice Model, Linear Model</i>	Survei Plat Nomor Kendaraan

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Studi Waktu Perjalanan dan Kecepatan

2.2.1.1. Waktu perjalanan

Waktu perjalanan (*travel time*, TT) dapat didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk menempuh suatu jarak tertentu dan akan mempunyai hubungan yang terkait dengan kecepatan rata-rata yang digunakan untuk menempuh jarak tertentu. Informasi tersebut sangat berguna bagi pengguna jalan karena pengguna jalan dapat memilih rute yang paling baik yang akan dilaluinya dan dapat lebih mengalokasikan waktunya lebih optimal.

Perjalanan waktu merupakan ukuran kinerja sistem yang penting dalam bidang transportasi. Sebenarnya waktu perjalanan yang masing-masing dibutuhkan pengguna jalan untuk melintasi ruas jalan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti volume lalu lintas, kondisi cuaca, perilaku pengemudi dan karakteristik kendaraan. Mustahil untuk memperkirakan atau memprediksi proses acak ini untuk semua para pengemudi. Akibatnya, waktu perjalanan didefinisikan sebagai waktu perjalanan rata-rata selama periode waktu tertentu. Estimasi waktu perjalanan merupakan proses perhitungan rata-rata pengguna jalan ke waktu berdasarkan pada kondisi lalu lintas. Secara umum, pengenalan kondisi dilakukan dengan cara pemantauan langsung ke lapangan (Yaxin Hu, 2013).

Linveld (2000) dan Bajwa (2003) yang dikutip oleh Ruimin Li (2006) menjelaskan 2 konteks kegunaan informasi waktu perjalanan, yaitu :

1. Dalam konteks *on-line*, model estimasi waktu perjalanan memberikan masukan yang diperlukan dalam informasi waktu perjalanan bagi pengguna jalan melalui *roadside signs*, internet, radio, ponsel, ataupun perangkat komunikasi pada kendaraan.
2. Dalam konteks *off-line*, model estimasi waktu perjalanan dapat digunakan dalam pembaharuan informasi waktu perjalanan dari data-data kecepatan terdahulu.

Dalam konteks ini, ketepatan waktu dianggap tidak penting. Perekayasa transportasi lalu lintas dapat menggunakan estimasi waktu perjalanan untuk memantau kinerja jaringan jalan dari waktu ke waktu. Estimasi waktu perjalanan juga sering digunakan oleh pengembang model lalu-lintas untuk menyediakan dasar dalam menilai akurasi pemodelan lalu-lintas yang diusulkan.

2.2.1.2. Kecepatan

Kecepatan merupakan besaran jarak yang ditempuh oleh suatu kendaraan yang dibagi waktu tempuh. Di Indonesia biasanya dinyatakan dalam kilometer per jam (km/jam). Semakin cepat kecepatan yang dapat disediakan suatu sistem, maka semakin singkat waktu yang diperlukan untuk mencapai tempat tujuan.

Menurut *Hobbs, F.D. (1995)* kecepatan umumnya dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

- a. Kecepatan Sesaat (*spot speed*) adalah kecepatan kendaraan pada suatu saat diukur dari suatu tempat yang ditentukan.
- b. Kecepatan Bergerak (*running speed*) adalah kecepatan kendaraan rata-rata pada suatu jalur pada saat kendaraan bergerak dan didapat dengan membagi panjang jalur dibagi dengan lama waktu kendaraan bergerak menempuh jalur tersebut.
- c. Kecepatan Perjalanan (*journey speed*) adalah kecepatan efektif kendaraan yang sedang dalam perjalanan antara dua tempat, dan merupakan jarak antara dua tempat dibagi dengan lama waktu bagi kendaraan untuk menyelesaikan perjalanan antara dua tempat tersebut, dengan lama waktu ini mencakup setiap waktu berhenti oleh hambatan (penundaan) lalu lintas.

Hasil penelitian Steve Robinson tentang panduan survei dan perhitungan waktu perjalanan lalu lintas, terdapat dua kategori kecepatan rata-rata yaitu:

Time-mean-speed (TMS) di definisikan sebagai kecepatan rata-rata dari semua kendaraan yang melewati suatu titik selama periode waktu (Roess et al 1998 yang di kutip oleh Steve Robinson, 2005)

$$TMS = \frac{1}{n} \sum_i \frac{d}{t_i} \quad (2.1)$$

Dimana,

n = jumlah waktu perjalanan yang diamati

t_i = waktu tempuh untuk ke- i kendaraan

d = jarak yang di lalui

Jika kecepatan suatu kendaraan pada suatu titik, $v_{spot, i}$, telah dicatat maka kecepatan diberikan pada persamaan rata-rata aritmatika sebagai berikut

$$TMS = \frac{1}{n} \sum_i v_{spot, i} \quad (2.2)$$

Time mean speed (TMS) didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata semua kendaraan pada sepanjang jalan pada waktu yang sebentar. Dan dapat dinyatakan dalam bentuk verbose sebagai :

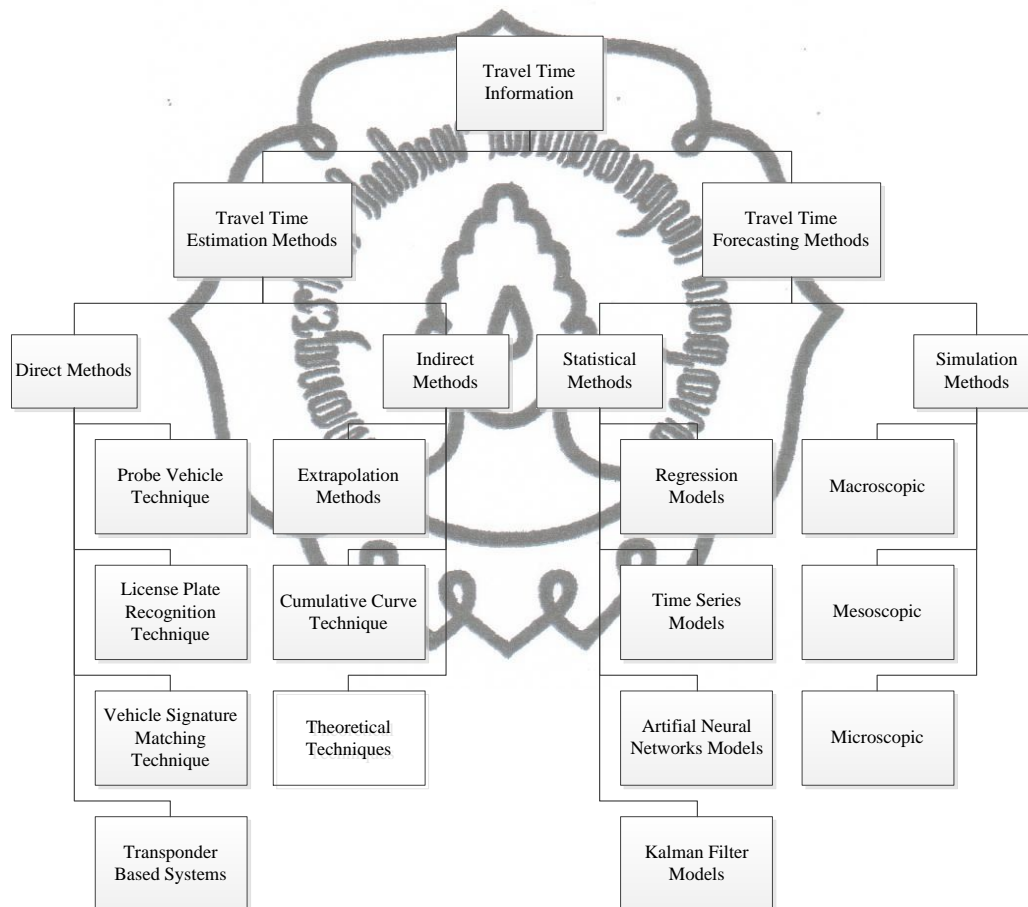
$$TMS = \frac{\text{Total Distance Travelled by All Vehicles}}{\text{Total Travel Time of All Vehicles}} \quad (2.3)$$

Van Lint dan Van der Zijpp (2003) tingkat waktu perjalanan dapat diperkirakan cukup akurat menggunakan asumsi kecepatan konstan, mengingat bahwa kita menggunakan (atau setidaknya perkiraan) kecepatan rata-rata waktu harmonik di lokasi detektor bukannya aritmatika waktu rata-rata.

Berdasarkan pernyataan tersebut, maka dalam penelitian ini menggunakan kecepatan rata-rata waktu (*time mean speed*). Selanjutnya data TMS pada penelitian ini didapat dari survei *spot speed* dengan alat *speed gun* dan cara manual.

2.2.2. Model Estimasi Waktu Perjalanan

Metode estimasi waktu perjalanan memberikan informasi untuk memahami kondisi arus lalu lintas di jalan raya. Waktu Perjalanan dapat diperkirakan dengan diukur secara langsung yang disebut dengan *Direct Methods* atau dengan mengukur variable lalu lintas seperti kecepatan, hunian, dan aliran untuk mengestimasi waktu perjalanan yang disebut dengan *Indirect Methods* (Angshuman Guin dan Jorge Laval, 2013) pada gambar 2.1.



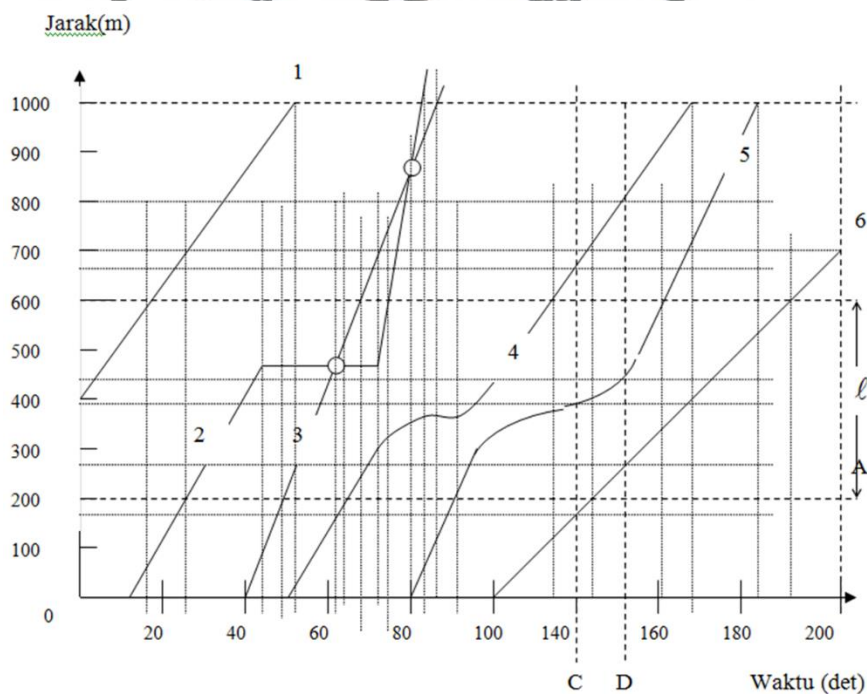
Gambar 2.1 Metode Estimasi dan Prediksi Waktu Perjalanan

Sumber : Georgia Department of Transport (GDOT) Research Project 10-01; TO 02-60.

Model yang digunakan pada penelitian ini yang termasuk kedalam *indirect methods* adalah bagian dari *theoretical techniques*, meliputi :

1. Time Slice Model

Time slice model adalah model yang mencoba menjelaskan variasi kecepatan dari waktu ke waktu dengan membangun *vehicle trajectory* menggunakan kecepatan pada ujung hilir *link* yang sesuai dengan periode waktu ketika kendaraan akan melintasi setiap *link*. *Trajectory diagram* (diagram jejak) yang menjadi dasar dari *Time slice model* adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara lokasi kendaraan dalam arus lalu lintas dan waktu kendaraan melintasi koridor. Kecepatan akan mempengaruhi perubahan posisi kendaraan dalam satuan jarak. Andaikan terdapat 5 kendaraan yang bergerak dalam satu ruas jalan tertentu. Posisi setiap kendaraan di ruas jalan tersebut pada waktu-waktu tertentu kemudian digambarkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Posisi 5 buah kendaraan dalam diagram waktu-ruang.

Seperti terlihat pada Gambar 2.2 tersebut, kita dapat mengetahui posisi setiap kendaraan di ruas jalan tersebut untuk waktu-waktu tertentu. Informasi posisi kendaraan sebagai fungsi dari waktu tersebut sering disebut dengan *trajectory diagram* (diagram jejak).

$$t(2, t_2) = \frac{2 l_2}{v[2_a, k + t(l, k)] + v[2_b, k + t(l, k)]} \quad (2.7)$$

Secara umum, model dapat ditulis :

$$t(n, t_n) = \frac{2 l_n}{v[n_a, t_n] + v[n_b, t_n]} \quad (2.8)$$

$$t_n = k + t(l, k) + \sum_{i=2}^{n-1} t(i, t_i) \quad (2.9)$$

Dimana :

l_n = Panjang *link* (km)

$v(n_a, t_n)$ = 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)

Sama seperti pada *Instantaneous Model*, total waktu perjalanan $T(k)$ untuk setiap kendaraan pada waktu k kemudian dihitung dengan menjumlahkan estimasi dari setiap link n , yaitu menggunakan Persamaa 2.4.

2. Linear Model

Menurut Van Lint dan Van der Zijpp (2003) Ketika estimasi waktu perjalanan di sajikan sebelumnya pada tingkat perjalanan yang menghasilkan tentang kebijakan lintasan *linear*. Pada perhitungan *linear*, kendaraan dididuga mengalami perubahan secara seketika ketika memasuki bagian baru. Pada kenyataannya, perubahan ini akan terjadi dengan cara yang lebih baik : kendaraan cenderung akan mengurangi (2.10) kecepatannya lebih lambat atau lebih cepat secara bertahap. Kami bertujuan untuk mengurangi kecepatan secara konstan, dan mempertimbangkan kecepatan $v_i(t)$ pada kendaraan i yang melintasi sebuah bagian antara lokasi detektor d dan $d+1$ sebagai fungsi jarak dari kendaraan yang berada di detektor lainnya pada x_d dan x_{d+1} dapat kita peroleh :

$$v_i(t) = V(d, p) + \frac{x_i - x_d}{x_{d+1} - x_d} (V(d+1, p) - V(d, p))$$

x_{ikp}^0 menunjukan lokasi masuk kendaraan i di bagian k $[x_d, x_{d+1}]$ pada waktu t_{ikp}^0 sehingga menjadi

$$x_i(t_{ikp}^0) = \begin{cases} x_{ikp}^0, t_{ikp}^0 = t_0 \\ x_0, t_i^0 > t_0 \end{cases} \quad (2.11)$$

Dimana

$$x_d \leq x_i(t) \leq x_{d+1}$$

Persamaan (2.10) akan di deferensial kan menjadi persamaan biasa, yang menjadi:

$$x_i(t) = x_{ikp}^0 + \left(\frac{V(d, p)}{A} + x_{ikp}^0 - x_d \right) \cdot (e^{A \cdot (t - t_{ikp}^0)} - 1)$$

$$A = \frac{V(d+1, p) - V(d, p)}{x_{d+1} - x_d} \quad (2.12)$$

2.2.3. Metode Survei Kecepatan Sesaat dan Waktu Perjalanan

Penilaian terhadap akurasi model estimasi yang diusulkan adalah berdasarkan seberapa baik kecocokan estimasi waktu perjalanan (Ruimin Li, 2006). Asumsi implisit dengan menggunakan $T_{est} = T$. Data lapangan digunakan sebagai penilaian keabsahan dari asumsi implisit dengan berfokus seberapa baik model-model estimasi waktu perjalanan dalam merekonstruksi waktu perjalanan sebenarnya.

Survei *spot speed* atau di sebut kecepatan sesaat dan survei plat nomor kendaraan merupakan metode survei dan perhitungan waktu perjalanan yang digunakan pada penelitian ini.

Metode perhitungan waktu perjalanan lalu lintas dilakukan sesuai dengan Panduan Bina Marga No. 001/T/BNKT/1990 yang dipertimbangkan karena sesuai untuk dipakai di Indonesia yang pada dasarnya dipilih berdasarkan ketepatan secara matematis, kemudahan pelaksanaan dan hasil survei yang mendekati sasaran yang diharapkan.

2.2.3.1. Metode Plat Nomor Kendaraan

a. Pengertian

Pada metode ini waktu dan nomor kendaraan pada titik masuk dan keluar dicatat dan dicocokkan untuk mendapatkan waktu perjalanan. Rute yang akan di survey nantinya diharapkan memiliki sedikit simpangan. Apabila terdapat persimpangan besar yang banyak pada rute tersebut, maka satu *team* diperlukan untuk mengamati kendaraan-kendaraan yang keluar dari arus di persimpangan-persimpangan tersebut. Informasi ini selanjutnya akan memberikan pola waktu perjalanan pada ruas-ruas jalan di sepanjang rute yang diamati. Akan tetapi *team* tersebut tidak diperlukan apabila jumlah sampel yang diamati hanya yang berada pada titik-titik masuk dan titik-titik keluar saja.

b. Tata Cara Survei

Sebelum pengamatan dimulai, *team* survei mengikuti kendaraan dan mengaktifkan *stopwatch* sampai di titik keluar. *Stopwatch* dihentikan pada titik keluar dan kemudian waktu dan jarak tempuh dicatat pada lembar survei lapangan. Apabila terdapat beberapa titik keluar, maka waktu dan jarak tempuh ke masing-masing titik keluar tersebut dicatat.

Apabila lalu lintas sangat padat, maka dapat diambil sampel kendaraan-kendaraan yang mempunyai tiga angka akhir tertentu. Masing-masing angka akhir dapat memberikan sekitar 10 persen sampel kendaraan. Formulir untuk kendaraan masuk dan keluar sebaiknya dibedakan, supaya lebih mudah untuk mengelompokkan informasi.

c. Perhitungan Hasil Survei

Dengan cara ini hanya akan diperoleh kecepatan perjalanan rata-rata sepanjang rute. Setelah nomor kendaraan dicocokkan, maka waktu tempuh telah didapatkan dari

selisih waktu antara kendaraan masuk dan kendaraan keluar pada rute yang sedang di survey.

Waktu tempuh dapat dihitung, apabila data kendaraan keluar juga dicatat pada titik-titik diantara titik masuk dan keluar dengan cara mengurangi waktu masuk dan waktu keluar pada titik-titik lain yang diamati.

2.2.3.2. Metode Kecepatan Sesaat

a. Pengertian

Metode kecepatan sesaat didapat dari waktu perjalanan bergerak dapat diperoleh. Tujuan dari metode kecepatan sesaat ialah untuk mengukur kecepatan kendaraan pada lokasi dan kondisi lingkungan yang ada pada saat di lakukan survey. Sejumlah kecepatan ini perlu diambil, agar dapat diperoleh hasil yang dapat diterima secara statistik.

Pada penelitian ini, kecepatan kendaraan didapat dengan cara menggunakan *speed gun* dan manual. *Speed gun* merupakan alat pengukur kecepatan yang dapat ditembakkan ke plat nomor kendaraan. Sedangkan dengan cara manual, kecepatan dihitung berdasarkan waktu selang pada jarak tertentu. Sebaiknya penelitian ini dilakukan pada saat cuaca cerah dan kondisi lalu lintas yang normal.

b. Tata Cara Survei

Untuk mengukur kecepatan kendaraan bermotor pada penelitian kali ini, akan menggunakan alat *speed gun*. Alat ini merupakan alat bantu untuk mengukur kecepatan suatu kendaraan dengan cara menembakan radar tepat ke arah pelat nomer yang ingin di hitung kecepatannya. Biasanya alat ini digunakan oleh polisi untuk mengukur kecepatan suatu kendaraan apakah sesuai dengan peraturan maksimal kecepatan pada jalur tersebut, atau tidak. Cara kerja *speed gun* berdasarkan efek Dopler, dimana alat tersebut memancarkan gelombang radar yang diarahkan pada

suatu objek yang bergerak (kendaraan bermotor) dan di pantulkan kembali ke alat untuk kemudian oleh perangkat ini diukur kecepatan objek tersebut (Cindy Irene Kawulur,2013). Selanjutnya pada tata cara manual sampel yang perlu dipenuhi saat melakukan survei adalah :

1. Kendaraan yang paling depan dari suatu arus hendaknya diambil sebagai sampel dengan pertimbangan bahwa kendaraan kedua dan selanjutnya mempunyai kecepatan yang sama dan kemungkinan tidak dapat menyiap.
2. Sampel untuk truk hendaknya diambil sesuai dengan proporsinya.

Dalam pengukuran kecepatan setempat, panjang jalan diambil sesuai dengan perkiraan kecepatan, seperti direkomendasikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Rekomendasi Panjang Jalan untuk Studi Kecepatan Setempat

Perkiraan Kecepatan rata-rata Arus Lalu-lintas (km/jam)	Penggal jalan (m)
< 40	25
40 – 65	50
> 65	75

Sumber : *Panduan survey dan Perhitungan Waktu Perjalanan Lalu Lintas No.001/T/BNKT/1990*

c. Perhitungan Hasil Survei

Perhitungan survei pada penelitian ini sangat mudah, karena menggunakan alat bantu *speed gun*, maka angka kecepatan kendaraan langsung bisa di lihat. Sedangkan untuk kecepatan sesaat dengan cara manual, hasil dari kecepatan kendaraan diperoleh dengan menggunakan rumus yang sama pada metode plat nomer kendaraan yaitu persamaan (2.13).

2.2.4. Uji Signifikansi

Untuk membandingkan dua variable dalam penelitian komparasional digunakan uji-T atau *T-Test*. Apakah memang secara signifikan dua variabel yang diperbandingkan atau dicari perbedaannya itu memang berbeda, atautkah perbedaan itu terjadi karena kebetulan saja (*by change*).

Uji-T merupakan salah satu tes statistik yang dipergunakan untuk menguji kebenaran atau kepalsuan hipotesis nol/nihil yang menyatakan bahwa di antara dua buah mean sampel yang diambil secara acak dari populasi yang sama tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Untuk menentukan apakah kecepatan rata-rata antara 2 link pada satu ruas jalan yang sama berbeda antara satu dengan yang lainnya maka perlu dianalisa dengan Uji-T, untuk membuat asumsi yang beralasan bahwa varians dari dua set data mewakili dari satu populasi yang sama. Rumus Uji-T adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum a_i^2) - \frac{(\sum a_i)^2}{n_a} + \sum (b_i^2) - \frac{(\sum (b_i))^2}{n_b}}{n_a + n_b - 2}} \quad (2.13)$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{a} - \bar{b}}{\sigma} \sqrt{\frac{n_a * n_b}{n_a + n_b}} \quad (2.14)$$

Keterangan :

$\Sigma (a_i^2)$ = Total dari data yang sudah dikuadratkan pada *link a*.

$\Sigma (b_i^2)$ = Total dari data yang sudah dikuadratkan pada *link b*.

$(\Sigma(a_i))^2$ = Kuadrat dari data yang sudah di total pada *link a*.

$(\Sigma(b_i))^2$ = Kuadrat dari data yang sudah di total pada *link b*.

$n_a = n_b$ = Jumlah data.

\bar{a} = Rata-rata dari total data pada *link a*.

\bar{b} = Rata-rata dari total data pada *link b*.

2.2.5. Teori *Sampling*

Sampel merupakan bagian dari populasi yang ingin diteliti, dipandang sebagai suatu pendugaan terhadap populasi, namun bukan populasi itu sendiri. Sugiyono (2007:90) berpendapat bahwa, populasi adalah wilayah generalisasi yang terdiri atas objek/subjek yang mempunyai kuantitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya.

Yang dimaksud populasi dalam penelitian ini merupakan kendaraan yang melintasi ruas Jalan Ringroad Utara Surakarta pada jam puncak pagi 06.00 WIB – 08.10 WIB dari Simpang Sroyo (Karanganyar) menuju Simpang Mojosongo (Surakarta).

Dalam menentukan ukuran sampel, terdapat beberapa syarat, antara lain :

- a. Ukuran populasi (N) diketahui.
- b. Pilih taraf signifikansi α yang diinginkan

Ada tiga metode praktis, yaitu:

- Tabel Krecjie
- Nomogram Harry King (Sugiyono, 2007)
- Rumus Slovin

Dalam menentukan jumlah sampel minimal, pada penelitian ini digunakan Tabel *Krejcic* sebagai salah satu teknik untuk menghitung jumlah sampel minimal yang harus dijadikan sasaran penelitian. *Krejcic* dalam melakukan perhitungan ukuran sampel didasarkan atas kesalahan 5%. Jadi Sampel yang diperoleh itu mempunyai tingkat kepercayaan 95% terhadap populasi.

Tabel 2.4. Tabel *Krejcie*

Populasi (N)	Sampel (n)	Populasi (N)	Sampel (n)	Populasi (N)	Sampel (n)
10	10	220	140	1200	291
15	14	230	144	1300	297
20	19	240	148	1400	302
25	24	250	152	1500	306
30	28	260	155	1600	310
35	32	270	159	1700	313
40	36	280	162	1800	317
45	40	290	165	1900	320
50	44	300	169	2000	322
55	48	320	175	2200	327
60	52	340	181	2400	331
65	56	360	186	2600	335
70	59	380	191	2800	338
75	63	400	196	3000	341
80	66	420	201	3500	346
85	70	440	205	4000	351
90	73	460	210	4500	354
95	76	480	214	5000	357
100	80	500	217	6000	361
110	86	550	226	7000	364
120	92	600	234	8000	367
130	97	650	242	9000	368
140	103	700	248	10000	370
150	108	750	254	15000	375
160	113	800	260	20000	377
170	118	850	265	30000	379
180	123	900	269	40000	380
190	127	950	274	50000	381
200	132	1000	278	75000	382
210	136	1100	285	1000000	384

Sumber : teorionline.files.wordpress.com/2011/04/tabel-sampel-krejcie-dan-morgan.pdf

Uji kecukupan data digunakan untuk menentukan bahwa jumlah sampel data yang diambil telah cukup untuk proses inferensi ataupun pengolahan data pada proses selanjutnya. Roscoe (1975) yang dikutip Uma Sekaran (2006) memberikan acuan umum untuk menentukan ukuran sampel :

1. Ukuran sampel lebih dari 30 dan kurang dari 500 adalah tepat untuk kebanyakan penelitian.

2. Jika sampel dipecah ke dalam subsampel (pria/wanita, junior/senior, dan sebagainya), ukuran sampel minimum 30 untuk tiap kategori adalah tepat.
3. Dalam penelitian multivariate (termasuk analisis regresi berganda), ukuran sampel sebaiknya 10 kali lebih besar dari jumlah variabel dalam penelitian.
4. Untuk penelitian eksperimental sederhana dengan kontrol eksperimen yang ketat, penelitian yang sukses adalah dengan ukuran sampel kecil antara 10 sampai dengan 20.

2.2.6. Indikator Uji Tingkat Kesalahan

Tujuan dari penelitian ini, untuk mengetahui berapakah tingkat kesalahan estimasi waktu perjalanan (*travel time*) berdasarkan data kecepatan sesaat (*spot speed*) dengan menggunakan metode *Time Slice Model* dan *Linear Model*. Untuk itu dibutuhkan cara yang dapat digunakan untuk dapat membandingkan estimasi waktu perjalanan hasil dari model dengan waktu perjalanan aktual hasil dari survei plat nomor kendaraan. Akurasi estimasi waktu perjalanan dari hasil model dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa indikator uji statistik, 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 :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (w_o - w_p)^2} \quad (2.15)$$

Dimana : w_o = Waktu perjalanan sebenarnya

w_p = Estimasi waktu perjalanan dari model

n = Jumlah sampel data

Semakin besar nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) maka semakin tidak akurat estimasi waktu perjalanan hasil model dibandingkan waktu perjalanan aktual.

2. *Mean Absolute Error* (MAE)

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

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |W_o - W_p|}{n} \quad (2.16)$$

Dimana : W_o = Waktu perjalanan sebenarnya

W_p = Estimasi waktu perjalanan dari model

n = Jumlah sampel data

Semakin besar nilai *Mean Absolute Error* (MAE) maka semakin tidak akurat estimasi waktu perjalanan hasil model dibandingkan waktu perjalanan aktual.

3. *Mean Absolute Relative Error* (MARE)

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

$$MARE = \frac{(\sum_{i=1}^n |W_o - W_p|) / W_o}{n} \quad (2.17)$$

Dimana : W_o = Waktu perjalanan sebenarnya

W_p = Estimasi waktu perjalanan dari model

n = Jumlah sampel data

Semakin besar nilai *Mean Absolute Relative Error* (MARE) maka semakin tidak akurat estimasi waktu perjalanan hasil model dibandingkan waktu perjalanan aktual (Aan Febrian, 2015).