



Analisis Pengaruh Manajemen Kecepatan Terhadap Antrian Kendaraan Pada Exit Gerbang Tol Periode Liburan

Yohanes Andika Suryo Negoro*, Ahmad Munawar dan Muhammad Zudhy Irawan

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Teknik Utara No. 3, Yogyakarta, Indonesia
*yohanesandika47@gmail.com

Diterima: 3 Mei 2018, Direvisi: 17 Mei 2018, Disetujui: 24 Mei 2018

ABSTRACT

Analysis of The Effect of Speed Management on Vehicle Queue at Toll Gate Exit in Holiday Period: Based on data from the Central Bureau of Statistics in 2016 number of passenger car ownership in the area of Jakarta Province reached 3,525,925 units, resulting in high volume of travel from Jakarta and surrounding areas during the long holiday which impact on the queue of vehicles at the Exit Gate Palimanan Toll. According to data from Cipali Toll Road management in 2015, 35 percent of vehicles drove over 100 km/h, with the characteristics of drivers who tend to drive vehicles with high speed and high vehicle volume causing problems queue of vehicles at exit toll gate. This study aims to identify whether speed management can reduce the queue at toll gate Exit, with the help of Vissim software. Data collection by survey of road segment inventory, traffic congregation and spot speed. Analysis using Vissim simulation software with data input stage, calibration, running model and out put data to be validated with statistical test, then conducted running model on 5 speed management scenario. The result of the research shows that speed management influence to queue of vehicle at exit of toll gate during vacation period with scenario 1 result can decrease vehicle queue amount 45.56%, scenario 2 is 50.85%, scenario 3 is 65.55%, scenario 4 is 3.71% and scenario 5 is 9.51%.

Keywords: traffic simulation; speed management; queue of vehicles.

ABSTRAK

Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2016 jumlah kepemilikan mobil penumpang di wilayah Provinsi DKI Jakarta mencapai 3.525.925 unit, mengakibatkan tingginya volume perjalanan dari wilayah Jakarta dan sekitarnya pada masa libur panjang yang berimbas pada antrian kendaraan pada Exit Gerbang Tol Palimanan. Data pengelola Jalan Tol Cipali tahun 2015 sebesar 35 persen kendaraan melaju di atas 100 km/jam, dengan karakteristik pengemudi yang cenderung untuk memacu kendaraan dengan kecepatan tinggi dan volume kendaraan yang tinggi menyebabkan permasalahan antrian kendaraan pada exit gerbang tol. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi apakah manajemen kecepatan dapat mengurangi antrian pada exit gerbang tol, dengan bantuan perangkat lunak Vissim. Pengambilan data dengan survei inventarisasi ruas jalan, pencacahan lalu lintas dan kecepatan sesaat (spot speed). Analisis menggunakan simulasi software Vissim dengan tahapan input data, kalibrasi, running model dan output data yang akan divalidasi dengan uji statistik, selanjutnya dilakukan running model pada 5 skenario manajemen kecepatan. Hasil penelitian menunjukkan manajemen kecepatan berpengaruh terhadap antrian kendaraan pada exit gerbang tol pada periode liburan dengan hasil skenario 1 dapat mengurangi jumlah antrian kendaraan sebesar 45,56%, skenario 2 sebesar 50,85%, skenario 3 sebesar 65,55%, skenario 4 sebesar 3,71% dan skenario 5 sebesar 9,51%.

Kata Kunci: simulasi lalu lintas; manajemen kecepatan; antrian kendaraan.

I. Pendahuluan

Hari libur atau liburan adalah suatu masa di mana orang-orang meluangkan waktu yang bebas dari pekerjaan atau dunia persekolahan. Umumnya liburan terjadi pada pertengahan tahun atau akhir tahun, juga pada hari raya dan terkadang hari libur resmi dijadwalkan atau secara kebetulan membentuk akhir pekan panjang. Pada masa libur panjang yang melakukan perjalanan ke luar kota dari wilayah DKI Jakarta dan sekitarnya sangat tinggi, sehingga menyebabkan kepadatan lalu lintas pada ruas jalan tol dalam kota sampai dengan ruas Jalan Tol Cikampek yang berimbas pada antrian kendaraan pada Exit Gerbang Tol Palimanan, seperti yang telah terjadi pada Hari Libur peringatan Kenaikan Isa Almasih yang jatuh pada Hari Kamis 5 Mei dan Isra Miraj yang jatuh Hari Jum'at 6 Mei 2016 terjadi

antrian kendaraan sepanjang 10 km pada Exit Tol Palimanan (Kepala Kesatuan Lalu Lintas Polres Cirebon, 2016).

Ruas Jalan Tol Cipali yang merupakan bagian dari Jalan Tol Trans Jawa mengalami kepadatan yang sangat tinggi pada saat periode liburan khususnya pada libur panjang. Ruas Jalan Tol Cikopo-Palimanan, atau disingkat dengan Tol Cipali adalah sebuah jalan tol yang terbentang sepanjang 116 kilometer yang menghubungkan daerah Cikopo, Purwakarta dengan Palimanan, Cirebon, Jawa Barat. Jalan tol ini merupakan kelanjutan dari Jalan Tol Jakarta-Cikampek yang menghubungkan dengan Jalan Tol Palimanan-Kanci. Jalan tol ini juga sekaligus merupakan bagian dari Jalan Tol Trans Jawa yang akan menghubungkan Merak, Banten hingga Banyuwangi, Jawa Timur. Jalan tol ini

memperpendek jarak tempuh sejauh 40 km dan diprediksi akan memotong waktu tempuh 1.5 sampai 2 jam dibandingkan melewati Jalur Pantura Jawa Barat. Jalan Tol Cipali sendiri adalah bagian dari Jalan Tol Jakarta-Palimanan, kilometer 0 berada di Cawang, Jakarta, dan berakhir di Kilometer 189 di Palimanan.

Untuk mengatasi masalah antrian kendaraan di *Exit* Gerbang Tol Palimanan pada periode mudik Lebaran tahun 2017 dilakukan manajemen lalu lintas yang diberlakukan oleh Kementerian Perhubungan RI dan Kepolisian RI yaitu buka tutup Jalan Tol Cipali pada arus mudik lebaran, jika terdapat antrian kendaraan mencapai 5 km, penutupan jalan akan dilakukan paling lama 2,5 jam. Sementara jika antrean sudah mencapai 10 kilometer, maka penutupan jalan akan dilakukan paling lama 6 jam. Selain manajemen lalu lintas yang diberlakukan oleh Kementerian Perhubungan RI dan Kepolisian RI, pengelola Jalan Tol Cipali, PT Lintas Marga Sedaya (LMS) membantu dengan mengarahkan kendaraan keluar Tol Sumber Jaya apabila antrian mencapai 5 km di *Exit* Tol Cipali, PT. LMS juga mengantisipasi kemacetan dengan menambah jumlah gardu menjadi 26 gardu pada *Exit* Tol Cipali. Namun dengan bertambahnya kepemilikan kendaraan pribadi setiap tahunnya diperlukan manajemen lalu lintas pendukung untuk meminimalkan permasalahan lalu lintas pada ruas Jalan Tol Cipali. Oleh karena itu diperlukan suatu kajian manajemen lalu lintas untuk meminimalkan permasalahan lalu lintas yang timbul akibat arus kendaraan periode liburan pada ruas Jalan Tol Cipali, khususnya pada *Exit* Gerbang Tol Cipali. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi apakah manajemen kecepatan dapat mengurangi antrian pada *exit* gerbang tol, dengan bantuan perangkat lunak Vissim.

II. Tinjauan Pustaka

A. Manajemen Kecepatan

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 111 Tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan, Manajemen Kecepatan adalah tata cara mengelola kecepatan dalam rangka mewujudkan keseimbangan antara keselamatan dan efisiensi kecepatan kendaraan.

B. Sistem Antrian untuk Gardu Tol

Sistem tertutup adalah sistem pengumpulan tol yang kepada penggunaanya diwajibkan mengambil tanda masuk pada gerbang masuk dan membayar tol pada gerbang keluar. Sistem terbuka adalah sistem pengumpulan tol yang kepada penggunaanya diwajibkan membayar tol pada saat melewati gerbang masuk atau gerbang keluar (PP Nomor 15 Tahun 2005).

C. Model Simulasi Lalu Lintas

Saat ini pemodelan sistem transportasi dapat dilakukan dengan cepat dengan menggunakan simulasi lalu lintas, seiring dengan perkembangan teknologi komputer (Aghabayk, dkk, 2013). Secara umum, model simulasi lalu lintas dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu model simulasi mikroskopik, makroskopik, dan mesoskopik berdasarkan tingkat detail dalam mempresentasikan aliran lalu lintas.

D. Simulasi Lalu Lintas dan Transportasi di Indonesia (*State of The Art*)

Hidayat dan Munawar (2007) melakukan beberapa skenario manajemen jaringan jalan dengan program EMME/2, fleksibilitas yang terdapat dalam program memberikan fleksibilitas dalam pemodelan sehingga berbagai skenario manajemen lalu lintas dapat dilakukan dan membandingkan perbandingan kinerja tiap skenario untuk menentukan skenario mana yang memberikan kinerja paling baik untuk dilakukan.

E. Kalibrasi dan Validasi Vissim

Proses kalibrasi ditujukan untuk mendapatkan model yang representasi kondisi sesungguhnya, pada simulasi dengan lingkup mikroskopik proses kalibrasi dilakukan terhadap parameter-parameter yang bersifat mikroskopik seperti perilaku berkendara. Fitriada dan Munawar (2015) mengubah parameter perilaku seperti *desired speed at free flow*, *average standstill distance*, *additive part of safety distance*, dan *multiplicative part of safety distance* dari pengaturan *default* perangkat lunak Vissim yang digunakan untuk mensimulasikan skenario manajemen lalu lintas *contraflow* di jalur khusus bus. Munawar dan Yulianto (2016) mengubah proses kalibrasi mengubah parameter perilaku seperti *desired speed at free flow*, *overtake on same lane on left and on right = on*, *advance merging*, “*consider subsequent static routing decisions*”, *Waiting time before diffusion*, *Look ahead distance = “observed vehicles”*, dan “*smooth closeup behavior*” untuk menentukan nilai kapasitas jalan bebas hambatan di Indonesia dengan pendekatan mikrosimulasi menggunakan perangkat lunak VISSIM. Irawan dan Putri (2015) mengubah parameter perilaku *desired position at free flow = any*, *overtake on same lane on left and on right = on*, *distance standing = 0,2 meter*, *distance driving = 0,4 meter*, *Average standstill distance = 0,6 meter*, *Additive part of safety distance = 0,6 meter*, dan *multiplicative part of safety distance = 1,00* untuk menghasilkan parameter-parameter yang harus dikalibrasi pada saat melakukan mikrosimulasi transportasi multimoda untuk kasus arus lalu lintas yang tercampur di simpang bersinyal dengan menggunakan perangkat lunak VISSIM.

Hasil dari proses kalibrasi masih perlu divalidasi dengan mengujinya secara statistik untuk membuktikan antara model kondisi sesungguhnya tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Munawar dan Yulianto (2016) menggunakan metode *chi squared* (x^2) dalam proses validasi untuk menentukan nilai kapasitas jalan bebas hambatan di Indonesia dengan pendekatan mikrosimulasi menggunakan perangkat lunak VISSIM. Irawan dan Putri (2015) menggunakan metode rumus dasar *R2* dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* dalam proses validasi untuk menghasilkan parameter-parameter yang harus dikalibrasi pada saat melakukan mikrosimulasi transportasi multimoda untuk kasus arus lalu lintas yang tercampur di simpang bersinyal dengan menggunakan perangkat lunak VISSIM.

III. Metodologi Penelitian

A. Metode Pengumpulan Data

1. Data Primer

Metode pengumpulan data primer dalam penelitian ini adalah dengan melakukan survei:

- Survei inventarisasi ruas jalan (ruas JBH Cikampek Km. 73-Exit Tol Palimanan Km. 189 atau sepanjang 116 km);
- Survei pencacahan lalu lintas; menghitung volume lalu lintas pada suatu ruas jalan;
- Survei *Spot Speed*; menghitung kecepatan rata-rata kendaraan pada suatu ruas jalan.

2. Data sekunder

Metode pengumpulan data sekunder dalam penelitian ini adalah dengan pengumpulan data yang diperoleh dari instansi terkait untuk mendukung pengumpulan data primer dan digunakan untuk proses analisis.

B. Metode Analisis

Memasuki tahap penelitian empiris, kegiatan yang dilakukan adalah:

- Pengumpulan data inventarisasi ruas jalan, untuk mengetahui kapasitas ruas jalan.
- Pengumpulan data *spot speed* untuk validasi data lapangan dan model pada aplikasi *Vissim*.
- Pengumpulan data video lalu lintas, yang didapat dari survei primer pada *rest area* Km. 102 dan *exit* gerbang Tol Palimanan km.189, untuk mendapatkan data volume (*flow*) dan kecepatan kendaraan.

Masuk pada tahap penelitian selanjutnya yaitu simulasi, dengan pekerjaan yang dilakukan adalah:

- Pembangunan jaringan jalan;
- Identifikasi materi pemodelan, yaitu volume dan kecepatan lalu lintas, komposisi kendaraan, dan *desired speed distributions*.
- Setelah materi siap maka dilanjutkan ke pembangunan model *Vissim*.
- Ada dua komponen sebagai input model *Vissim*, yaitu *vehicle input* dan perilaku mengemudi yang terdiri dari *following*, *lane change* dan *lateral*.
- Bersama *desired speed distributions*, perilaku mengemudi menjadi parameter yang dikalibrasi agar mendekati dengan kenyataan lalu lintas.
- Running* model untuk mendapatkan *output* volume lalu lintas yang habis tersimulasi dan kecepatan lalu lintas rata-rata.
- Output* yang dihasilkan divalidasi dengan statistik *chi-square* terhadap volume dan kecepatan lalu lintas hasil survei, apabila dinyatakan valid maka model siap digunakan untuk analisis selanjutnya, bila tidak maka dilakukan tinjau ulang parameter kalibrasi.

Tahap ini menganalisis parameter *traffic microsimulation* pada *software* *Vissim* agar sesuai kondisi lalu lintas di Indonesia dan kondisi dilapangan.

Setelah mendapatkan model yang valid maka analisis dilanjutkan dengan melakukan 5 (lima) skenario untuk mengetahui pengaruh manajemen kecepatan terhadap antrian kendaraan pada *exit* pintu Tol Palimanan periode liburan, meliputi:

- Skenario 1, kecepatan pada saat kapasitas jalan maksimum.
- Skenario 2, kecepatan kendaraan rata-rata 80 km/jam.
- Skenario 3, kecepatan kendaraan rata-rata 100 km/jam.
- Skenario 4, perlambatan pada 2 (dua) titik dengan kecepatan eksisting dilapangan.
- Skenario 5, perlambatan pada 3 (tiga) titik dengan kecepatan eksisting dilapangan.

IV. Hasil dan Pembahasan

A. Volume Lalu Lintas

Survei pencacahan lalu lintas terklasifikasi yang dilaksanakan di ruas JBH Cikampek-Palimanan, dilakukan selama 24 jam. Dari hasil survei didapatkan jumlah total volume lalu lintas dalam waktu 24 jam sebesar 66.420 smp/hari untuk arah

masuk wilayah studi (**Gambar 1**). Waktu tersibuk (*peak hour*) terjadi pada saat pagi hari yaitu jam 07.00-08.00 sebesar 4.460 smp/jam, sedangkan waktu tidak sibuk (*off peak hour*) terjadi pada jam 16.00-17.00 sebesar 1.582 smp/jam.

Berdasarkan komposisi jumlah kendaraan dari hasil survai, kendaraan yang mempunyai prosentase komposisi kendaraan tertinggi adalah mobil pribadi sebesar 90,47% kemudian yang kedua adalah bus besar sebesar 4% dari seluruh persentase kendaraan kendaraan masuk wilayah studi.

B. Model Teoritis Hubungan Kecepatan, Volume, dan Kerapatan

1. Model Greenshield

Dari perhitungan analisa regresi diperoleh nilai R sebesar 0,785 dengan persamaan garis regresi yang diperoleh adalah $y = -2,744x + 120,8$ yang diperlihatkan pada **Gambar 2**. Pada model ini didapatkan nilai kecepatan arus bebas (S_{ff}) sebesar 120,85 km/jam, volume lalu lintas terbesar (q_{max}) sebesar 1.330 smp/jam dan kecepatan pada saat

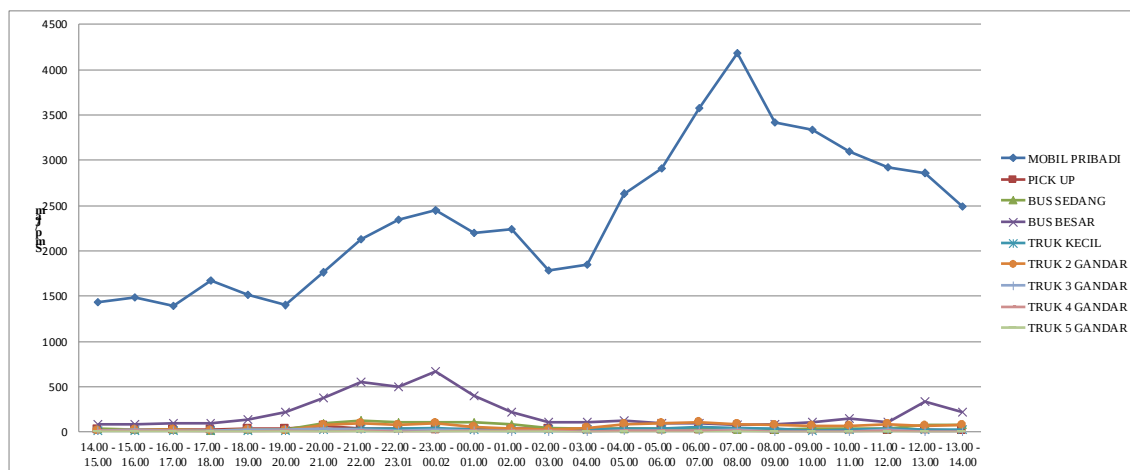
kapasitas maksimum (S_m) sebesar 60 km/jam.

2. Hubungan Kecepatan dan Kerapatan Model Greenberg

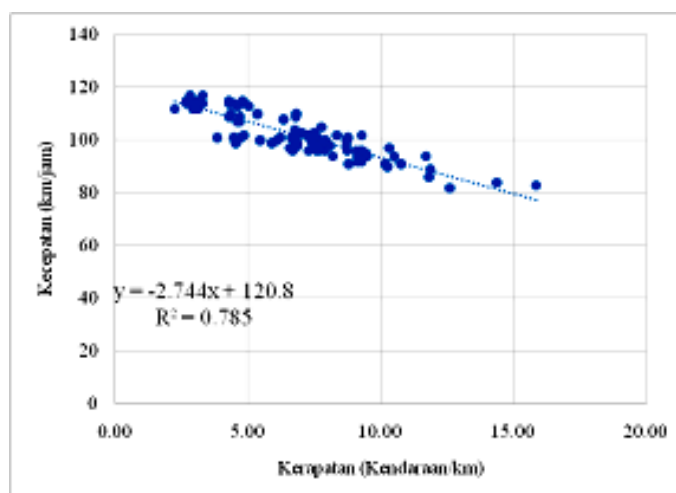
Dari perhitungan analisa regresi diperoleh nilai R sebesar 0,770 dengan persamaan garis regresi yang diperoleh adalah $y = -17,42x + 134,1$ yang diperlihatkan pada **Gambar 3**. Pada model ini didapatkan nilai kecepatan arus bebas (S_{ff}) sebesar 134,11 km/jam, volume lalu lintas terbesar (q_{max}) sebesar 14,125 smp/jam dan kecepatan pada saat kapasitas maksimum (S_m) sebesar 49 km/jam.

3. Hubungan Kecepatan dan Kerapatan Model Underwood

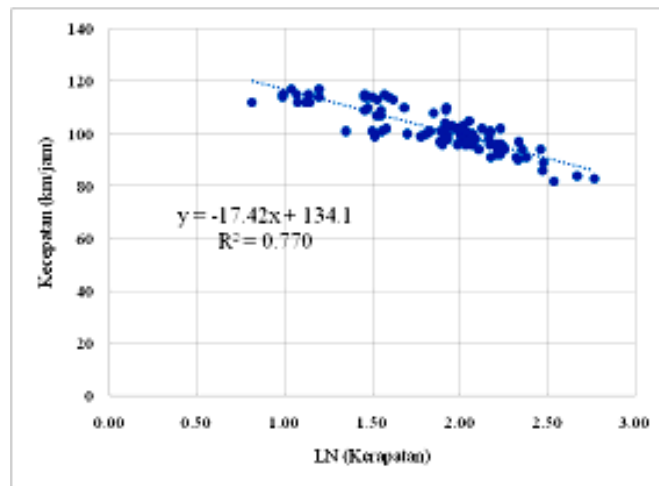
Dari perhitungan analisa regresi diperoleh nilai R sebesar 0,796 dengan persamaan garis regresi yang diperoleh adalah $y = -0,027x + 4,808$ yang diperlihatkan pada **Gambar 4**. Pada model ini didapatkan nilai kecepatan arus bebas (S_{ff}) sebesar 122,60 km/jam, volume lalu lintas terbesar (q_{max}) sebesar 1654 smp/jam dan kecepatan pada saat kapasitas maksimum (S_m) sebesar 61 km/jam.



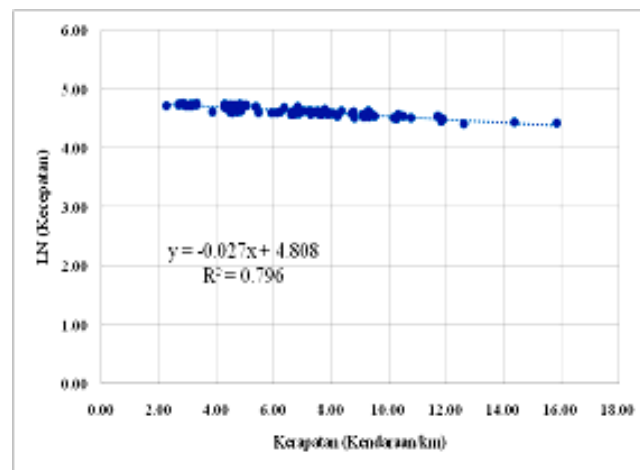
Gambar 1.
Grafik Fluktuasi Volume Kendaraan JBH Cikampek-Palimanan 24 Jam (Smp/Jam).



Gambar 2.
Grafik Hubungan Kecepatan dan Kerapatan Model Greenshield.



Gambar 3.
Grafik Hubungan Kecepatan dan Kerapatan Model Greenberg.



Gambar 4.
Grafik Hubungan Kecepatan dan Kerapatan Model Underwood.

Validasi model dengan uji statistik *Chi Square* membandingkan antara kecepatan kendaraan model dan kecepatan kendaraan survei lapangan pada hubungan kecepatan dan kerapatan.

Dari **Tabel 1**, terlihat bahwa nilai hitung *chi-square* seluruhnya lebih kecil dari nilai *chi square* sesuai tabel adalah 118.7516 atau dapat dikatakan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil model dengan hasil survei. Berdasarkan nilai hitung *chi-square* model yang paling sesuai dengan kenyataan di lapangan yaitu Model Underwood dengan nilai X^2 hitung terkecil.

C. Headway Antar Kendaraan

Nilai *headway* digunakan sebagai salah satu parameter kalibrasi model simulasi. Distribusi *headway* yang digunakan sebagai parameter kalibrasi adalah nilai *headway* sesuai dengan hasil yang dikeluarkan oleh Vissim. Distribusi *headway* JBH Cikampek-Palimanan arah Palimanan menunjukkan sebaran data yang lebih seragam hal ini dikarenakan kondisi lalu lintas yang padat, sehingga menyebabkan kendaraan di ruas JBH

Cikampek-Palimanan arah Palimanan tidak memiliki kebebasan dalam menentukan kecepatannya. Grafik distribusi *headway* sebagaimana **Tabel 2**.

D. Kecepatan Kendaraan

Data kecepatan tiap kendaraan diambil secara *sampling* untuk mengetahui distribusi kecepatan sebagai data masukan dalam Vissim. Kondisi lalu lintas di ruas JBH Cikampek-Palimanan arah Palimanan yang padat menghasilkan varian nilai yang tinggi.

E. Waktu Pembayaran Tarif Tol per Jenis Kendaraan

Data waktu pembayaran tarif tol tiap jenis kendaraan diambil secara *sampling* untuk mengetahui lama waktu pembayaran tiap jenis kendaraan sebagai data masukan dalam Vissim.

F. Pembangunan Model Simulasi Vissim

Proses pemodelan dalam Vissim membutuhkan data-data masukan berupa kondisi jaringan jalan, jumlah dan komposisi kendaraan, distribusi kecepatan tiap

Tabel 1.
Perbandingan Uji Statistik *Chi Square* Model Greenshield, Greenberg dan Underwood

No.	Model	X ² hitung	Ket
1.	Greenshield	14.084	Tidak Berbeda Secara Signifikan
2.	Greenberg	14.938	Tidak Berbeda Secara Signifikan
3.	Underwood	13.660	Tidak Berbeda Secara Signifikan

Tabel 2.
Distribusi headway JBH Cikampek-Palimanan arah Palimanan

Interval			Frekuensi	Frekuensi Relatif	Frekuensi Kumulatif
0.50	-	1.70	2284	52,13%	100%
1.71	-	2.91	953	21,75%	48%
2.92	-	4.12	483	11,02%	26%
4.13	-	5.33	288	6,57%	15%
5.34	-	6.54	175	3,99%	8.51%
6.55	-	7.75	91	2,08%	4.52%
7.76	-	8.96	44	1,00%	2.44%
8.97	-	10.17	23	0,52%	1.44%
10.18	-	11.38	18	0,41%	0.91%
11.39	-	12.59	10	0,23%	0.50%
12.60	-	13.80	6	0,14%	0.27%
13.81	-	15.01	3	0,07%	0.14%
15.02	-	16.22	2	0,05%	0.07%
16.23	-	17.43	1	0,02%	0.02%

jenis kendaraan, pengaturan lalu lintas yang beroperasi dalam jaringan jalan, dan parameter-parameter yang mencerminkan perilaku berkendara di ruas jalan yang akan dimodelkan.

1. Pembuatan Jaringan Jalan

Dalam proses penggambaran *layout* jalan digunakan gambar berupa foto satelit dari *Google earth* (**Gambar 5** dan **Gambar 6**). Dalam *Vissim 9* sudah memiliki fitur background maps yang mempunyai beberapa pilihan map provider yaitu *Default map service (Google Earth)*, *Bing Maps (Aerial View)*, *Open Street Map (Mapnik)* dan *Open Street Map (Cycle Map)*. Pada penelitian ini menggunakan map provider *Default map service (Google Earth)* yang dijadikan acuan dalam membuat *layout* jaringan jalan sesuai ukurannya dengan yang terdapat dalam program *Vissim* (**Gambar 7**). Penggambaran jaringan jalan menggunakan menu perintah *link* dalam *Vissim*, penggambaran *link* berupa segmen jalan

sepanjang sekitar 107 km sebagai bagian dari ruas jalan dengan asumsi segmen jalan tersebut tidak berbeda secara karakteristik lalu lintas maupun komposisi kendaraannya dengan tujuan dari penelitian.

Tiap *link* yang dibuat diatur karakteristik perilaku mengemudinya, jumlah dan lebar tiap lajunya, serta pengaturan operasional lalu lintas pada tiap lajur tersebut. Ruas jalan yang diteliti merupakan JBH, oleh karenanya karakteristik perilaku mengemudinya ditentukan berjenis *freeway*, dengan jumlah lajur untuk masing-masing *link* (jalur lalu lintas) sebanyak dua, berlebar 3,6 m untuk masing-masing lajur lalu lintas.

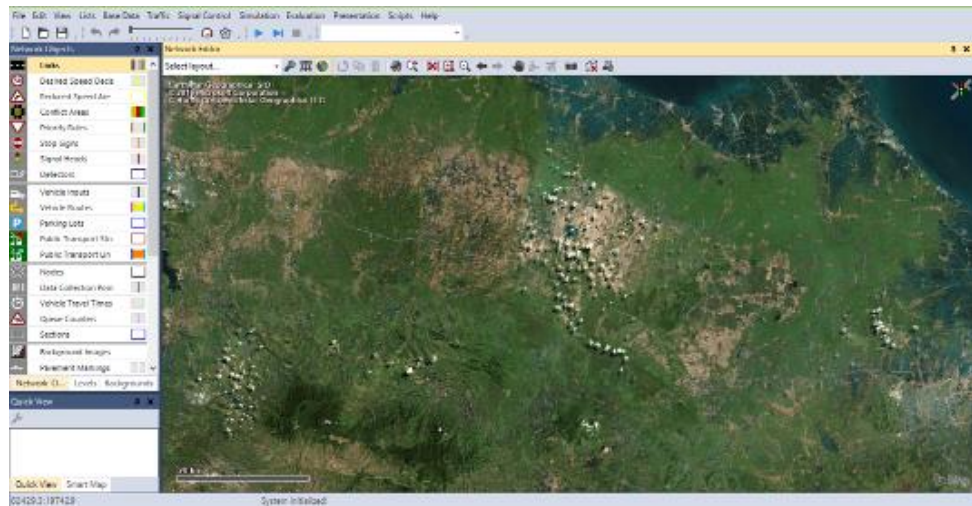
2. Data Masukan Kendaraan

Proses masukan data kendaraan terdiri dari pengaturan kendaraan yang beroperasi di ruas jalan. Pengaturan ini terdiri dari penentuan tipe, model kendaraan, distribusi model kendaraan, dan kelas kendaraan.

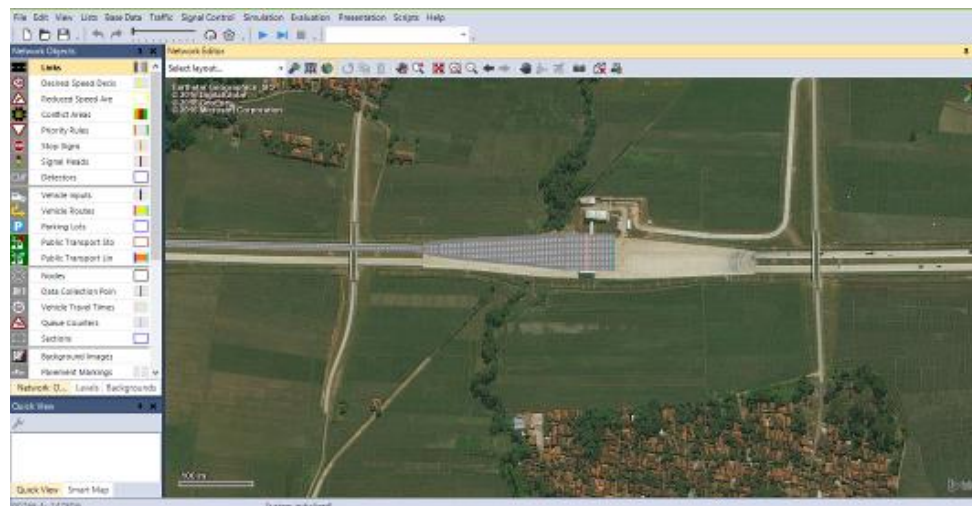
a. Tipe Kendaraan

Tipe kendaraan merupakan masukan data, kendaraan apa saja yang beroperasi dalam model. Tipe kendaraan yang dimasukkan dalam Vissim sesuai

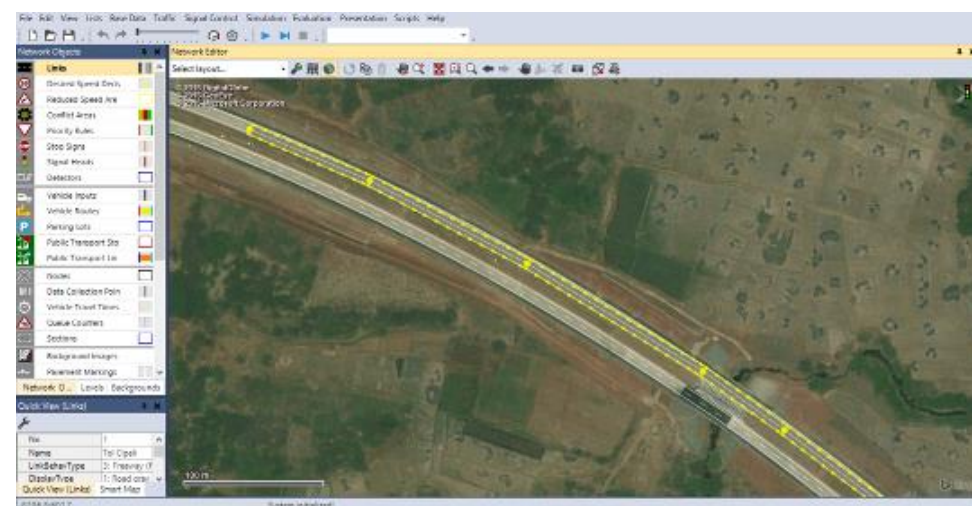
dengan klasifikasi kendaraan yang telah dilakukan sebelumnya (9 kelas). Pengaturan pengklasifikasian tipe kendaraan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam **Gambar 8**. Model Kendaraan.



Gambar 5.
Foto Satelit JBH Cikampek Km. 81 - Exit Tol Palimanan Km. 189.



Gambar 6.
Foto satelit Exit Tol Palimanan km.189.



Gambar 7.
Proses Pembuatan *Link* Pada Vissim.

Count	No	Name	Length
24	302	Bus Besar	12.400
25	303	Bus Kecil	10.486
26	304	Truk 3 Gandar	10.215
27	305	Truk 2 Gandar	8.782
28	306	Truk 4 Gandar	10.117
29	307	Truk 5 Gandar	16.503
30	308	Truk Kecil	4.941
31	309	Pick Up	6.671
32	310	Car	4.610

Gambar 10.
Tampilan Pengelompokkan Model Kendaraan Dalam Tipe Kendaraan.

Count	No	Name	VehTypes	UseVehTypeColor	Color
1	80	Bus Besar	302	☒	(255, 0, 0, 0)
2	90	Bus Kecil	303	☒	(255, 0, 0, 0)
3	100	Truk 3 Gandar	304	☒	(255, 0, 0, 0)
4	110	Truk 2 Gandar	305	☒	(255, 0, 0, 0)
5	120	Truk 4 Gandar	306	☒	(255, 0, 0, 0)
6	130	Truk 5 Gandar	307	☒	(255, 0, 0, 0)
7	140	Truk Kecil	308	☒	(255, 0, 0, 0)
8	150	Pick Up	309	☒	(255, 0, 0, 0)
9	160	Car Audi 4	310	☒	(255, 0, 0, 0)

Gambar 11.
Tampilan Pengaturan Kelas Kendaraan Dalam Vissim.

Tabel 3.
Kecepatan Operasional Rata-rata per Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Kecepatan Kendaraan (km/jam)
Mobil Pribadi	109
Pick Up	95
Bus Kecil	94
Bus Besar	92
Truk Kecil	93
Truk 2 As	82
Truk 3 As	78
Truk 4 As	77
Truk 5 As	72

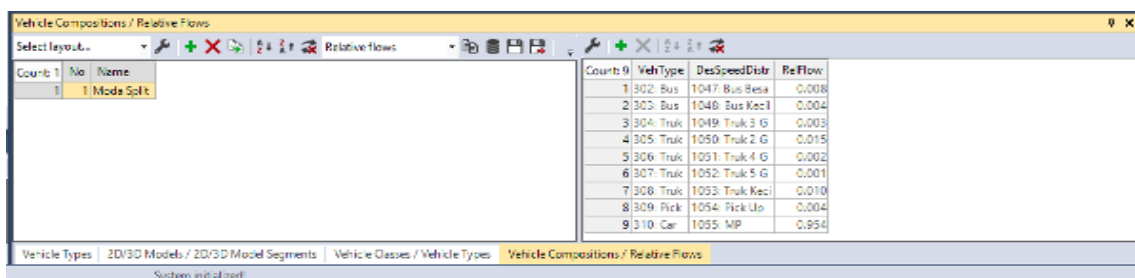
4. Pengaturan Perilaku Mengemudi

Pengaturan perilaku mengemudi yang telah ditentukan dalam pengaturan *link*, ruas jalan yang dianalisis merupakan jalan bebas hambatan, karakteristik perilaku dalam Vissim dipilih kategori *freeway* dalam menu perintah *driving behavior* (**Gambar 14**). Pengubahan pengaturan perilaku dapat berupa pembuntutan (*following*), perpindahan

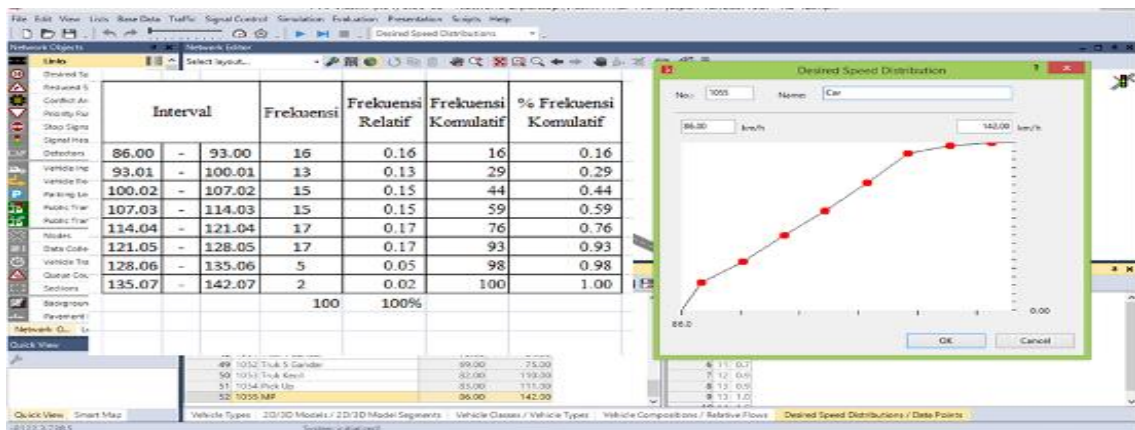
lajur (*lane change*), pergerakan lateral (*lateral*), dan pengaturan sinyal (*signal control*). **Gambar 15** menunjukkan tampilan fitur pengaturan perilaku mengemudi pembuntutan kendaraan untuk karakteristik JBH (Wiedemann 99). Selain perilaku pembuntutan kendaraan, parameter yang bisa diatur adalah perilaku perpindahan lajur, pergerakan lateral kendaraan, dan pengaturan lalu lintas.

Tabel 4.
Waktu Pembayaran Tarif Tol Rata-rata per Jenis Kendaraan

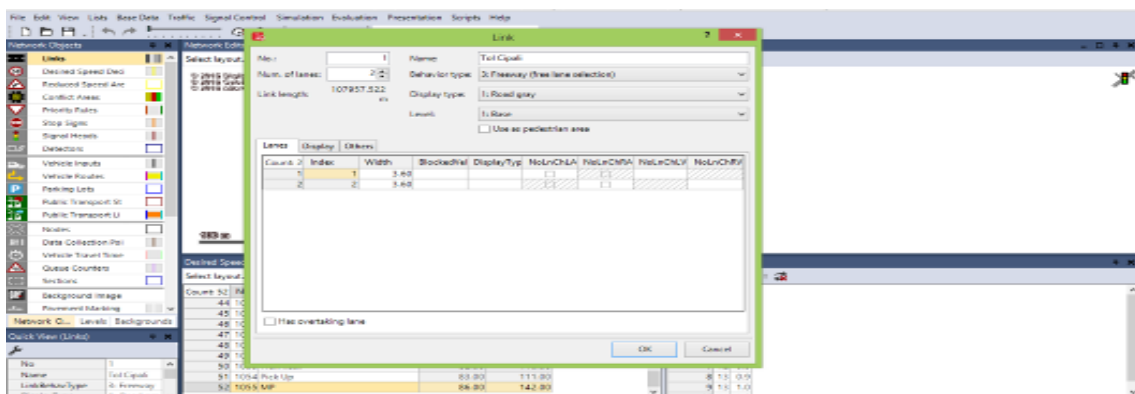
Jenis Kendaraan	Lama Pembayaran Tarif Tol (Detik)
Mobil Pribadi	11,94
Pick Up	12,18
Bus Kecil	12,96
Bus Besar	13,94
Truk Kecil	13,10
Truk 2 As	13,86
Truk 3 As	13,91
Truk 4 As	14,27
Truk 5 As	14,91



Gambar 12.
Tampilan Pengaturan Komposisi Lalu Lintas.



Gambar 13.
Proses Masukan Data Distribusi Kecepatan.



Gambar 14.
Pemilihan Kategori Karakteristik Berkendara (Freeway).

5. Pengaturan Proses *Running* dan Luaran Simulasi

Pengaturan proses simulasi diperlukan untuk mengatur durasi simulasi yang ditinjau, dalam penelitian ini untuk mengetahui antrian pada JBH Exit Tol Palimanan km. 189 dibutuhkan pengaturan pengukuran waktu disesuaikan selama 9000 detik atau 2 jam 30 menit karena jarak pada model jaringan jalan Vissim sepanjang 107 km. **Gambar 16** menunjukkan tampilan pengaturan untuk proses *running* simulasi dalam Vissim.

Pengaturan result attributes dalam penelitian ini meliputi *data collection*, *links*, *queue results* dan *vehicle network performance*, sedangkan pengaturan *direct output* yaitu *vehicle input data*. **Gambar 17** menunjukkan tampilan pengaturan parameter luaran dan jenis file luaran hasil simulasi dalam Vissim.

G. Kalibrasi dan Validasi Model

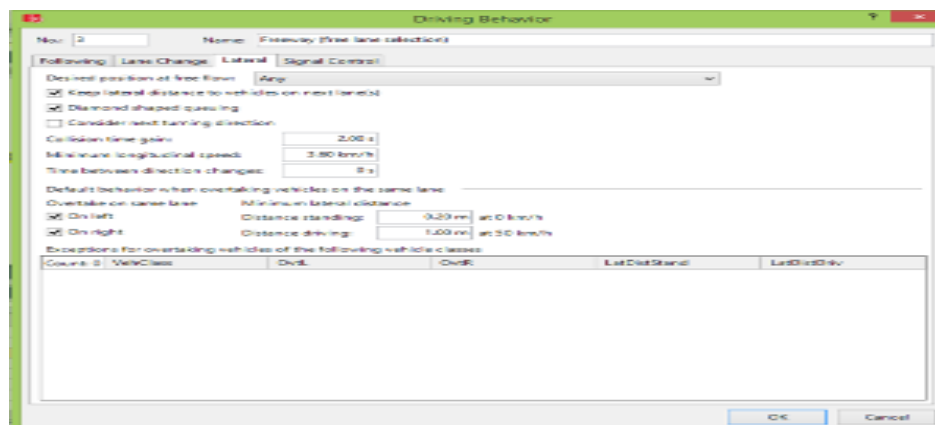
Proses kalibrasi dan validasi diperlukan terhadap sebuah model agar model tersebut dapat menggambarkan kondisi sesungguhnya dan diterima secara statistik. Pada ruas JBH Cikampek Km. 81-

Exit Tol Palimanan Km. 189 kalibrasi menggunakan penelitian sebelumnya yaitu penelitian Redi Aditya Yulianto tahun 2016 yang melakukan penelitian dengan judul Tesis Penentuan Nilai Kapasitas Jalan Bebas Hambatan Dengan Aplikasi Perangkat Lunak Vissim.

Validasi dilakukan terhadap parameter volume dan kecepatan kendaraan dengan membandingkan hasil survei dan 4 (empat) kondisi yaitu *default*, *default increment random seed (irs)*, kalibrasi Redi Aditya Yulianto dan kalibrasi Redi Aditya Yulianto dengan *IRS*. Hasil perbandingan antara hasil survei dan 4 (empat) kondisi diatas dengan parameter volume dan kecepatan kemudian di uji menggunakan uji statistik *Chi-Square*, *GEH*, *RMSE* dan *MAPE*, dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

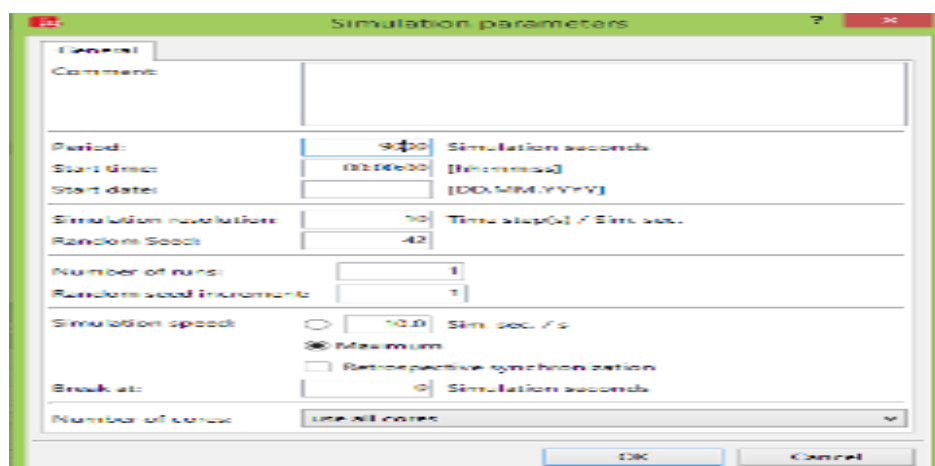
Memperhatikan hasil analisis *chi-square*, *GEH*, *RMSE* dan *MAPE* di atas, diketahui bahwa model driving behavior yang ke-3 yaitu “Nilai Penelitian Redi A Y” lebih tepat digunakan dibanding model lainnya dengan alasan:

1. Nilai *chi-square* hitungnya untuk seluruh variabel volume dan kecepatan lalu lintas, lebih



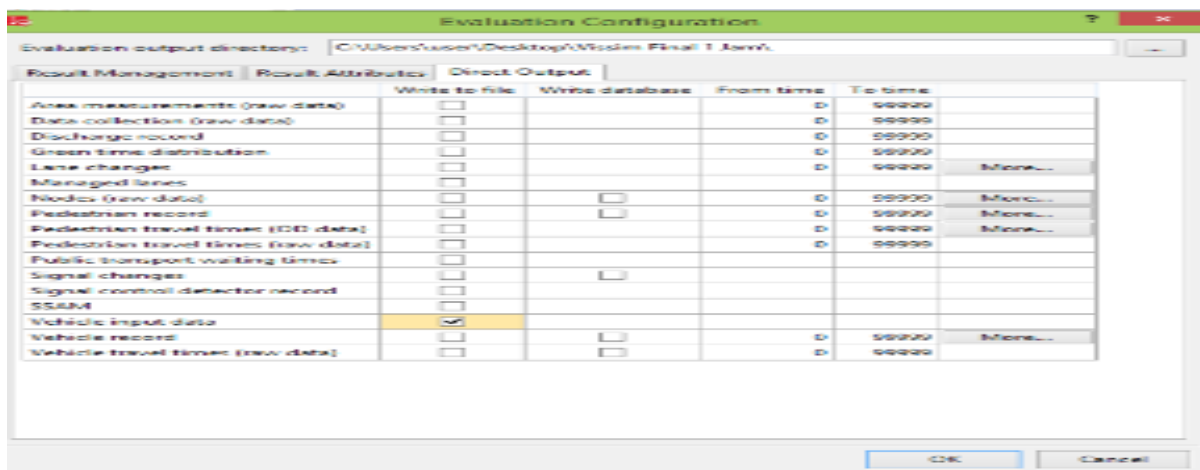
Gambar 15.

Tampilan Menu Pengaturan Perilaku Mengemudi Dengan Karakteristik Jalan Bebas Hambatan (Wiedemann 99).



Gambar 16.

Tampilan Pengaturan Parameter Dalam Simulasi.



Gambar 17.
Pengaturan Parameter dan Jenis File Luaran Hasil Simulasi Dalam Vissim

Tabel 5.
Hasil Uji Statistik Dengan Parameter Volume Kendaraan

No.	Model	<i>Chi Square</i>	<i>GEH</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAPE</i>
1.	Nilai <i>default</i>	0.115	0.1146	442	0.0109
2.	Nilai <i>default, increment random seed</i>	0.112	0.1117	439	0.0106
3.	Penelitian Redi A Y	0.091	0.0906	352	0.0095
4.	Penelitian Redi A Y, <i>increment random seed</i>	0.096	0.0957	383	0.0089

Tabel 6.
Hasil Uji Statistik dengan parameter kecepatan kendaraan

No.	Model	<i>Chi Square</i>	<i>GEH</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAPE</i>
1.	Nilai <i>default</i>	0.097	0.0962	9	0.05873
2.	Nilai <i>default, increment random seed</i>	0.140	0.13844	13	0.07661
3.	Penelitian Redi A Y	0.011	0.01133	1	0.02136
4.	Penelitian Redi A Y, <i>increment random seed</i>	0.083	0.08353	7	0.05275

rendah dari *chi-square* tabel, sehingga secara statistik dinyatakan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil perhitungan model dengan hasil survei.

- Nilai GEH-nya < 5, dengan nilai terkecil dibandingkan dengan kondisi lainnya. Nilai RMSE-nya kecil, artinya hasil hitung model tidak berbeda jauh dari hasil survei, dengan nilai terkecil dibandingkan dengan kondisi lainnya.
- Nilai MAPE-nya jauh di bawah 50%, sehingga dinyatakan bahwa model yang dihasilkan memiliki kemampuan yang baik untuk prediksi nilai volume dan kecepatan lalu lintas, dengan nilai terkecil dibandingkan dengan kondisi lainnya, kecuali pada parameter volume nilai Penelitian Redi A Y, *increment random seed*

lebih kecil dibandingkan dengan nilai penelitian Redi A Y. Model dinyatakan valid secara statistik dan dapat dilanjutkan untuk proses analisis selanjutnya yaitu seluruh skenario dalam penelitian ini.

H. Skenario Pengaruh Manajemen Kecepatan Terhadap Antrian Kendaraan Pada Exit Pintu Tol Palimanan Periode Liburan

1. Skenario 1 (Kecepatan pada saat kapasitas maksimum)

Model *Underwood* memiliki tingkat akurasi paling tinggi atau yang paling sesuai dengan nilai kecepatan pada saat kapasitas jalan maksimum 61 km/jam. Pada skenario 3 dilakukan 2 (dua) perubahan yaitu perubahan *driving behavior* dan *desired speed* tiap kendaraan dalam Vissim seperti pada skenario 1.

Perubahan *desired speed* dalam Vissim pada skenario 3 dapat dilihat pada **Tabel 7**.

2. Skenario 2 (Kecepatan kendaraan rata-rata 80 km/jam)

Pada skenario 2 dilakukan 2 (dua) perubahan yaitu perubahan *driving behavior* dan *desired speed* tiap kendaraan dalam Vissim, pada kondisi lapangan *driving behavior*/perilaku pengemudi kendaraan berusaha untuk mendahului dan menyalip kendaraan dari sisi sebelah kiri dan kanan jalan, sehingga pada skenario 2 dilakukan perubahan perilaku mengemudi dengan mengubah parameter *Lateral*. Perubahan *desired speed* tiap kendaraan dalam Vissim dilakukan dengan merubah kecepatan lapangan

menjadi kecepatan rata-rata 80 km/jam pada jenis kendaraan LV khususnya mobil pribadi yang memiliki kecepatan rata-rata diatas 80 km/jam dan komposisi kendaraan tertinggi dengan prosentase 90.47%, untuk lebih jelasnya perubahan *desired speed* dalam Vissim dapat dilihat pada **Tabel 8**.

3. Skenario 3 (Kecepatan kendaraan rata-rata 100 km/jam)

Pada skenario 3 dilakukan 2 (dua) perubahan yaitu perubahan *driving behavior* dan *desired speed* tiap kendaraan dalam Vissim seperti pada skenario 2. Perubahan *desired speed* dalam Vissim pada skenario 3 dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 7.
Desired Speed Skenario 1

No.	Name	Lower Bound	Upper Bound
1.	Bus Besar	60	65
2.	Bus Kecil	60	65
3.	Truk 3 Gandar	60	65
4.	Truk 2 Gandar	60	65
5.	Truk 4 Gandar	60	65
6.	Truk 5 Gandar	60	65
7.	Truk Kecil	60	65
8.	Pick Up	60	65
9.	MP	60	65

Tabel 8.
Desired Speed Skenario 2

No.	Name	Lower Bound	Upper Bound
1.	Bus Besar	78	85
2.	Bus Kecil	84	85
3.	Truk 3 Gandar	75	85
4.	Truk 2 Gandar	75	85
5.	Truk 4 Gandar	70	84
6.	Truk 5 Gandar	69	75
7.	Truk Kecil	82	85
8.	Pick Up	83	85
9.	MP	80	85

Tabel 9.
Desired Speed Skenario 3

No.	Name	Lower Bound	Upper Bound
1.	Bus Besar	78	105
2.	Bus Kecil	84	105
3.	Truk 3 Gandar	75	85
4.	Truk 2 Gandar	75	100
5.	Truk 4 Gandar	70	84
6.	Truk 5 Gandar	69	75
7.	Truk Kecil	82	105
8.	Pick Up	83	105
9.	MP	86	105

4. Skenario 4 (perlambatan pada dua titik dengan kecepatan eksisting dilapangan)

Pada skenario 4 tidak dilakukan perubahan parameter *lateral* dan kecepatan tiap kendaraan atau *desired speed*, sehingga perilaku pengemudi dan kecepatan tiap kendaraan adalah sesuai dengan kondisi dilapangan. Perubahan dilakukan dengan menambahkan pengaturan *reduce speed* dalam Vissim atau pengurangan kecepatan menjadi 60 km/jam tiap jenis kendaraan sepanjang 1 km pada 2 (dua) titik perlambatan yaitu Jalan Tol Cipali Km 117-118 dan Jalan Tol Cipali Km 147-148.

5. Skenario 5 (perlambatan pada tiga titik dengan kecepatan eksisting dilapangan)

Pada skenario 5 tidak dilakukan perubahan parameter *lateral* dan kecepatan tiap kendaraan atau *desired speed* seperti pada skenario 4 namun pada skenario perlambatan pada tiga titik yaitu Jalan Tol Cipali Km 117-118, Jalan Tol Cipali Km 148-149 dan Jalan Tol Cipali Km 169-170.

Dalam pelaksanaannya dilapangan, skenario 1, 2, 3, 4 dan 5 membutuhkan pemasangan rambu-rambu lalu lintas sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 13 Tahun 2014 tentang Rambu Lalu Lintas dan Peraturan Pemerintah Nomor 80 Tahun 2012 tentang Tata Cara Pemeriksaan Kendaraan Bermotor di Jalan dan Penindakan Pelanggaran Lalu Lintas dan Angkutan Jalan Pasal 23, yang mengatur bahwa penindakan Pelanggaran Lalu Lintas dan Angkutan Jalan didasarkan atas hasil:

- a. temuan dalam proses pemeriksaan kendaraan bermotor di jalan;
- b. laporan; dan/atau
- c. rekaman peralatan elektronik.

I. Hasil Simulasi Vissim 5 (lima) Skenario Pengaruh Manajemen Kecepatan Terhadap Antrian di Exit Tol Palimanan

Dari hasil analisis Vissim, pengaruh manajemen kecepatan terhadap antrian kendaraan pada Exit Gerbang Tol Palimanan dapat dilihat dengan membandingkan antara kondisi *do nothing* dan 5 skenario manajemen kecepatan, dari 5 skenario manajemen kecepatan terdapat perbedaan karakteristik skenario manajemen kecepatan yaitu untuk manajemen kecepatan skenario 1, 2 dan 3 memiliki karakteristik yang sama yaitu perubahan *driving behavior* dan *desired speed* tiap kendaraan dalam Vissim, sedangkan manajemen kecepatan skenario 4 dan 5 perilaku pengemudi dan kecepatan tiap kendaraan adalah sesuai dengan kondisi dilapangan, perubahan dilakukan dengan menambahkan pengaturan *reduce speed* dalam Vissim atau pengurangan kecepatan menjadi 60

km/jam tiap jenis kendaraan sepanjang 1 km tiap titik perlambatan. Perbandingan antara kondisi *do nothing* dan 5 skenario manajemen kecepatan dapat dilihat pada **Gambar 18 dan 19**.

1. Perbandingan jumlah antrian Exit Tol Palimanan antara kondisi *do nothing* dan skenario manajemen kecepatan 1, 2 dan 3.

Dari grafik di atas, terlihat bahwa terjadi perubahan jumlah antrian kendaraan pada Exit Tol Palimanan pada skenario 1, 2 dan 3. Penjelasan perubahan skenario manajemen kecepatan pada skenario 1, 2 dan 3 adalah sebagai berikut:

a. Manajemen Kecepatan Skenario 1

Pada skenario 1, terjadi penurunan jumlah antrian kendaraan sebesar 5.901 kendaraan, dengan rata-rata kecepatan kendaraan 61 km/jam dengan waktu simulasi 173 menit atau 2 jam 53 menit.

b. Manajemen Kecepatan Skenario 2

Pada skenario 2, terjadi penurunan jumlah antrian kendaraan sebesar 6.586 kendaraan dengan kecepatan rata-rata kendaraan 80 km/jam dengan waktu simulasi 147 menit atau 2 jam 27 menit.

c. Manajemen Kecepatan Skenario 3

Pada skenario 3, terjadi penurunan jumlah antrian kendaraan sebesar 8.491 kendaraan dengan kecepatan rata-rata kendaraan 100 km/jam dengan waktu simulasi 141 menit atau 2 jam 21 menit.

2. Perbandingan jumlah antrian Exit Tol Palimanan antara kondisi *do nothing* dan skenario manajemen kecepatan 4 dan 5

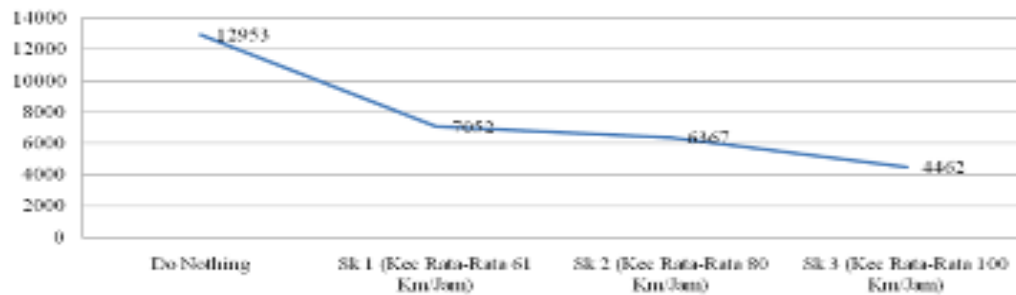
Dari grafik di atas, terlihat bahwa terjadi perubahan jumlah antrian kendaraan pada Exit Tol Palimanan pada skenario 4 dan 5. Penjelasan perubahan skenario manajemen kecepatan pada skenario 4 dan 5 adalah sebagai berikut:

a. Manajemen Kecepatan Skenario 4

Pada skenario 4, terjadi penurunan jumlah antrian kendaraan sebesar 480 kendaraan dengan waktu simulasi 152 menit atau 2 jam 32 menit, skenario 4 terjadi penurunan pada jumlah antrian kendaraan yang sangat kecil, hal ini terjadi karena pada skenario 4 tidak dilakukan perubahan perilaku pengemudi, hanya dilakukan perlambatan pada dua titik.

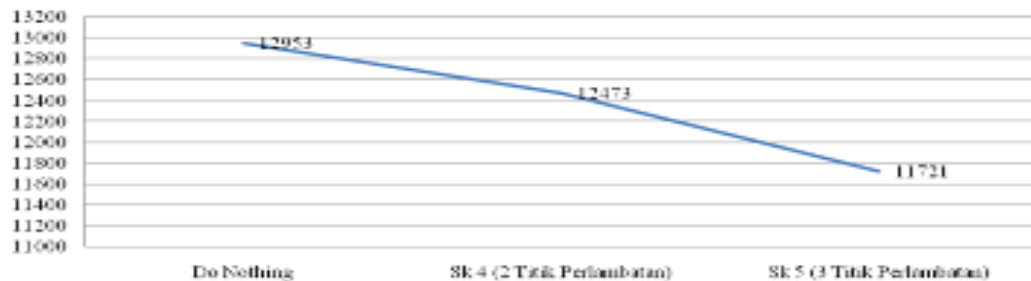
b. Manajemen Kecepatan Skenario 5

Pada skenario 5, terjadi penurunan jumlah antrian kendaraan yang cukup besar yaitu sebesar 1.232 kendaraan dengan waktu simulasi 153 menit atau 2 jam 33 menit, hal ini terjadi karena pada skenario 5 tidak dilakukan perubahan perilaku pengemudi, hanya dilakukan perlambatan pada tiga titik.



Gambar 18.

Jumlah Antrian Exit Tol Palimanan Kondisi *Do Nothing* dan Skenario Manajemen Kecepatan 1, 2 dan 3.



Gambar 19.

Jumlah Antrian Exit Tol Palimanan Kondisi *Do Nothing* dan Skenario Manajemen Kecepatan 4 dan 5.

Tabel 10.

Jumlah Antrian Kendaraan Kondisi *Do Nothing* dan 5 Skenario

<i>Do Nothing</i>	Sk 1	Sk 2	Sk 3	Sk 4	Sk 5
12.953	7.052	6.367	4.462	12.473	11.721

Tabel 11.

Perbandingan Kondisi *Do Nothing* dan 5 Skenario Hasil Simulasi Vissim

Kondisi	Jumlah Antrian Kendaraan
Sk 1	- 45,56 %
Sk 2	- 50,85 %
Sk 3	- 65,55 %
Sk 4	- 3,71 %
Sk 5	- 9,51 %

Perlambatan pada tiga titik berfungsi dengan baik dalam mengatur kecepatan kendaraan.

Rangkuman hasil simulasi vissim pengaruh manajemen kecepatan terhadap antrian di Exit tol Palimanan sebagaimana pada Tabel 10 dan Tabel 11. Dari Tabel 11 dapat disimpulkan bahwa manajemen kecepatan dapat mempengaruhi jumlah antrian kendaraan pada Exit Gerbang Tol Palimanan, Dari lima skenario menunjukkan dapat mengurangi jumlah antrian pada Exit gerbang Tol Palimanan.

V. Kesimpulan

Kinerja ruas jalan antara hasil simulasi model dengan observasi di lapangan menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan dan teruji secara statistic,

hal ini menunjukkan bahwa model simulasi dapat diterapkan untuk menggambarkan kondisi sesungguhnya di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan manajemen kecepatan berpengaruh terhadap antrian kendaraan pada Exit gerbang Tol pada periode liburan dengan hasil skenario 1 dapat mengurangi jumlah antrian kendaraan sebesar 45,56 %, skenario 2 sebesar 50,85 %, skenario 3 sebesar 65,55 %, skenario 4 sebesar 3,71 % dan skenario 5 sebesar 9,51 %. Dan pengaruh manajemen kecepatan terhadap antrian kendaraan pada Exit Gerbang Tol Palimanan periode liburan dapat dilakukan dengan perangkat lunak Vissim. Penggunaan perangkat lunak Vissim dapat digunakan sebagai alternatif dalam menyelesaikan permasalahan antrian pada

Exit Gerbang Tol JBH menggunakan strategi manajemen kecepatan di masa yang akan datang.

VI. Saran

Pendekatan mikrosimulasi membutuhkan pengamatan dan penelitian tersendiri terhadap parameter-parameter perilaku berkendara yang berlaku di Indonesia, karena Vissim berasal dari negara barat yang perilaku berkendaranya jauh berbeda dengan di Indonesia. Model kendaraan yang terdapat dalam Vissim masih berdasarkan negara-negara barat dengan dimensi yang berbeda dan tidak terdapat di Indonesia maupun negara-negara berkembang lainnya. Perilaku mengemudi pada lokasi Exit Gerbang Tol JBH belum dapat secara sempurna ditampilkan dalam Vissim, perlu dibuat desain perilaku pengemudi khusus dan desain link khusus yang dapat mempresentasikan kondisi sebenarnya dilapangan. Agar pengguna kendaraan menyiapkan saldo kartu *e-toll* yang cukup, karena dari hasil pengamatan dilapangan seringkali ditemukan pengguna kendaraan tidak memiliki saldo kartu *e-toll* yang cukup yang berakibat pada semakin panjangnya antrian kendaraan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Direktur PT. Lintas Marga Sedaya (LMS) selaku Operator ruas Jalan Tol Cipali yang telah memberikan berbagai data dan informasi terkait artikel.

Daftar Pustaka

Ansusanto, J.D., Munawar, A., Priyanto, S., Wibisono, H.B. 2014. *Pengaruh Perubahan Guna Lahan Terhadap Pembebanan Jaringan Jalan Perkotaan Yogyakarta*. 17th FSTPT International Symposium. Hal 691-700. Jember: Universitas Jember. 22-24 Agustus 2014.

Beaulieu, M., Davis, K., Kieninger, D., Mizuta, K., McCutchen, E. R., Wright, D., Sanderson, A., Ishimaru, J., M., Hallenbeck, M. E. 2007. *A Guide to Documenting Vissim-Based Microscopic Traffic Simulation Models*. Research Report. Washington: Washington State Transportation Center (TRAC).

BIBLIOGRAPHY\1057 Aghabayk, K., Sarvi, M., Young, W., Kautzsch, L. 2013. *A Novel Methodology for Evolutionary Calibration of Vissim by Multi-Threading*. Australian Transport Research Forum 2013 Proceedings, 2 – 4 October, 2013. Brisbane: Australian Transport Research Forum.

Burghout, W. 2004. *Hybird Microscopic-Mesosopic Traffic Simulation*. Doctoral Dissertation. Stockholm: Royal Institute of Technology.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Fitrada, A. G., Munawar A. 2015. *Evaluasi Penerapan Sistem Contraflow Buslane dengan menggunakan Software Vissim (Studi Kasus Jalan Prof. Yohannes dan Jalan C. Simanjuntak, Yogyakarta)*. 18th FSTPT International Symposium. 28 Agustus. Bandar Lampung: Universitas Lampung.

Hidayat, M.R., Munawar, A., 2007. *Penanganan Permasalahan Lalulintas di Kota Pekalongan dengan Menggunakan Program EMME/2*. Jurnal Transportasi. vol. 7, no. 1. hal. 13-22, Juni 2007.

Irawan, M. Z., Putri, N. H, 2015. *Kalibrasi Vissim Untuk Mikrosimulasi Arus Lalu Lintas Tercampur Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus: Simpang Tugu, Yogyakarta)*. Jurnal Penelitian Transportasi Multimoda, 13(3), pp.97-106.

Isheka, R.P., Putra, R.F., Irawan, M.Z., and Munawar, A. *Penggunaan Perangkat Lunak Vissim untuk Mikrosimulasi Mixed Traffic (Studi Kasus: Kawasan UGM)*. Forum Simposium Transportasi Antar Perguruan Tinggi Indonesia-FSTPT 19 Yogyakarta. 11-13 October 2016.

Munawar, A., Yulianto, R, A. 2016. *Penentuan Nilai Kapasitas Jalan Bebas Hambatan Dengan Aplikasi Perangkat Lunak Vissim*. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Priyanto, S., 2002. *Experiment on Bus Lane Application in Yogyakarta*. Media Teknik No.3 Tahun XXIV Edisi Agustus 2002 No. ISSN 0216-3012.

Yulianto, Redi Aditya. 2016. *Penentuan Nilai Kapasitas Jalan Bebas Hambatan Dengan Aplikasi Perangkat Lunak Vissim*.

Velmurugan, S., Madhu, E., Ravinder, K., Sitaramanjaneyulu, K., Gangopadhyay, S. 2010. *Critical Evaluation of Roadway capacity of Multi-Lane High Speed Corridors under Heterogeneous Traffic Conditions Through Traditional and Microscopic Simulation Models*. Journal of the Indian Roads Congress, Paper No. 566. October-December 2010.

Pemerintah Republik Indonesia. 2005. *Peraturan Pemerintah Nomor 15 tahun 2005 tentang Jalan Tol*. Jakarta.

Pemerintah Republik Indonesia. 2009. *Undang-Undang Nomor 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Jakarta.

Pemerintah Republik Indonesia. 2015. *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 111 tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan*. Jakarta.