

# ESTIMASI EKIVALENSI MOBIL PENUMPANG BERDASAR DATA KECEPATAN PADA JALAN TOL (ESTIMATION OF PASSENGER CAR EQUIVALENCES BASED ON SPEED FOR TOLL ROADS)

Tri Basuki Joewono<sup>1)</sup>, Kiagoes Moehammad H.N. Nugraha<sup>2)</sup>, dan Zelina Alviana<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, <sup>2), 3)</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

<sup>1)</sup>Jln. Ciumbuleuit 94, Bandung, 40141, <sup>2), 3)</sup>Jln. Prof. drg. Surya Sumantri, MPH., Bandung, 40164

<sup>1)</sup>vftribas@unpar.ac.id, <sup>2)</sup>harrynovfriandi@gmail.com, <sup>3)</sup>zelinalviana@gmail.com

Diterima: 25 Juli 2018; direvisi: 11 November 2018; disetujui: 13 Desember 2018

## ABSTRAK

Berbagai studi telah dilakukan untuk menyesuaikan nilai EMP agar lebih sesuai dengan perubahan yang terjadi di lapangan. Studi ini bertujuan untuk menganalisis distribusi kecepatan dua ruas jalan tol dan menggunakannya untuk mengestimasi nilai EMP. Studi dilakukan dengan menggunakan data arus dan kecepatan ruas jalan dalam kota dan luar kota, yaitu ruas Jakarta-Cikampek dan ruas Lingkar Luar Jakarta. Hasil analisis menunjukkan bahwa kecepatan arus lalu lintas di kedua jalan tol mengikuti distribusi normal dan nilai EMP untuk jalan tol dalam kota adalah lebih besar dibandingkan nilai untuk jalan tol luar kota. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa nilai EMP berdasarkan data kecepatan adalah lebih kecil dibanding nilai dalam MKJI 1997.

**Kata kunci:** EMP, kecepatan, jalan tol, dalam kota, luar kota

## ABSTRACT

Several studies have been completed to adjust the value of PCE to be more in line with the existing changes in field. This study aims to analyze the speed distribution of two toll road segments and use it to estimate the PCE. This study was conducted using data of flow and speed for inter and intra city, namely Jakarta-Cikampek and Jakarta Outer Ringroad. The result of analysis shows that the speed in these two toll roads followed the normal distribution and the PCE's values of intra city are greater than inter city. Result of comparison shows that the pce's values based on speed are smaller than those in MKJI 1997.

**Keywords:** pce, speed, toll roads, intra city, inter city

## PENDAHULUAN

Indonesia saat ini sedang berusaha mengembangkan jaringan jalan dan salah satu yang mendapat perhatian adalah pembangunan jalan tol. Penggunaan jalan tol sebagai jalan alternatif terus mengalami peningkatan, dikarenakan harapan pengguna akan kualitas pelayanan jalan tol yang lebih baik dibandingkan dengan jalan non-tol. Data PT Jasa Marga (2015) menunjukkan bahwa jumlah kendaraan yang menggunakan jalan tol adalah sebanyak 207.179.426 kendaraan pada Januari 2014 dan meningkat menjadi 223.518.777 kendaraan pada Januari tahun 2015.

Ruas jalan tol sebagai jalan bebas hambatan dilewati oleh arus lalu lintas dengan beragam jenis kendaraan. Walau kendaraan yang melintas di jalan tol dikelompokkan dalam beberapa golongan tertentu, namun variasi jenis kendaraan yang lewat pada nyatanya adalah sangat bervariasi dan mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Selain jumlah dan jenis kendaraan yang mengalami perubahan, perilaku pengguna jalan saat berkendara di jalan bebas hambatan dipercaya memiliki karakteristik yang unik yang berbeda dengan pengendara di jalan non-tol. Karakteristik pengemudi mencakup kemampuan alamiah pengemudi, kemampuan belajar, motif, serta perilakunya (Khisty dan Lall 2003) yang dipengaruhi oleh motivasi dan tujuan bepergian yang berdampak pada cara mengemudi kendaraan dan waktu reaksi menghadapi rintangan. Perkembangan dan perubahan kendaraan dan perilaku pengguna jalan juga mempengaruhi kinerja jalan tol. Adanya biaya berupa tarif yang dibayarkan oleh pengguna jalan merefleksikan harapan kualitas perjalanan yang lebih baik. Harapan tersebut dinyatakan dalam perilaku mengendarai kendaraan yang menjadi unik untuk perilaku di jalan bebas hambatan dan berbayar.

Perubahan jumlah dan jenis kendaraan serta perilaku berlalu lintas dipercaya mempengaruhi karakteristik lalu lintas maupun kinerja prasarana. Perkembangan teknologi kendaraan bermotor terus mengalami perkembangan yang pesat yang mencakup kapasitas mesin, teknologi sistem pengereman, dan transmisi otomatis yang memudahkan untuk berkendara. Pengendalian kendaraan yang mengarah pada kendaraan otonom

menjadikan karakteristik lalu lintas saat ini akan berbeda dibandingkan sebelumnya. Selain itu, pengetahuan tentang parameter lalu lintas juga terus berkembang untuk mengakomodasi berbagai hal yang secara ilmiah belum diformulasikan maupun untuk melakukan penyesuaian agar semakin sesuai dengan kenyataan di lapangan (Joewono et al. 2015a).

Roess, Prassas, dan McShane (2004) menyatakan bahwa berbagai variasi jumlah kendaraan per waktu, jenis kendaraan, serta kecepatan akan berpengaruh dalam desain jalan serta saat melakukan analisis lalu lintas. Interaksi komponen tersebut akan mempengaruhi kualitas operasional lalu lintas dan kapasitas fasilitas jalan (Kutz 2011), sehingga ketepatan dan kelengkapan informasi akan membantu menghasilkan perancangan jalan yang baik. Terkait dengan adanya berbagai variasi tersebut, maka untuk mengevaluasi kinerja jalan dan analisis lalu lintas diperlukan satuan yang dapat menggabungkan serta menyetarakan berbagai pengaruh menjadi satu satuan yang sama. Satuan yang sudah disetarakan tersebut dikenal secara luas dengan istilah satuan mobil penumpang (smp). Faktor konversi tersebut dikenal dengan istilah EMP. Nilai EMP sangat penting fungsinya dalam penentuan kapasitas serta dalam menentukan kinerja jalan, kebutuhan jumlah lajur, dan pengaruh lalu lintas terhadap operasi jalan (Ingle 2004). Setiap jenis kendaraan memiliki nilai EMP yang berbeda dengan jenis kendaraan lain, tergantung pada pengaruh keberadaannya di dalam suatu arus lalu lintas (Iskandar 2010).

Nilai EMP untuk berbagai kendaraan di Indonesia dapat dilihat dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Nilai EMP tersebut sebelumnya mengikuti United States Highway Capacity Manual (US-HCM) (Juniarta et al. 2012). MKJI 1997 merupakan produk penelitian dengan data empiris dari berbagai tempat yang mewakili kondisi karakteristik lalu lintas di wilayah-wilayah Indonesia (Sweroad 1994). Hal ini menunjukkan bahwa nilai tersebut bukanlah suatu angka mutlak, tetapi dapat berubah dari waktu ke waktu (Kusnandar 2009). Dikarenakan nilai EMP dalam MKJI ditentukan sekitar 20 tahun yang lalu, maka nilai EMP tersebut diperkirakan sudah tidak sesuai lagi

dengan karakteristik lalu lintas saat ini (Prima, Iskandar, dan Joewono 2014).

Hal tersebut menunjukkan diperlukannya usaha untuk menyesuaikan EMP, karena besarnya nilai EMP dari berbagai jenis kendaraan akan bervariasi menurut daerah atau negara sebagai hasil dari pengaruh faktor karakteristik kendaraan, arus lalu lintas, geometrik jalan, iklim atau cuaca, dan kondisi pengendalian lalu lintas (Priyanto 2000). Selain itu, nilai EMP dipengaruhi pula oleh komposisi jenis kendaraan. Pengaruh terbesar diperoleh dari kendaraan berat yang diakibatkan dimensi kendaraan yang besar dan kecepatan yang rendah, sehingga dipercaya dapat mengurangi kapasitas jalan.

Untuk menentukan nilai EMP, Ingle (2004) membahas berbagai metode, misalnya perhitungan berdasar data kecepatan, waktu antara,  $v/c$  ratio, atau antrian. Berbagai studi untuk menentukan EMP telah banyak dilakukan di berbagai tempat untuk mengakomodasi karakteristik lokal, misalnya Shalini dan Kumar (2014) yang melakukan peninjauan ulang EMP menggunakan data di India. Sejumlah studi terkait EMP di Indonesia juga sudah pernah dilakukan. Juniarta, Negara, dan Wikrama (2012) melakukan studi penentuan nilai EMP pada ruas jalan perkotaan berdasarkan data arus, sedangkan Joewono, Tjastadipradja, dan Rachmawan (2015b) melakukan studi penentuan nilai EMP menggunakan data arus pada ruas jalan antar kota. Prima, Iskandar, dan Joewono (2014) melakukan studi penentuan nilai EMP untuk kendaraan di satu ruas jalan tol berdasarkan data waktu antara.

Studi yang mendalami kecepatan, distribusi kecepatan, dan pemanfaatannya untuk mengestimasi nilai EMP belum banyak dilakukan di Indonesia. Kecepatan merupakan salah ukuran kinerja lalu lintas yang penting (Khisty dan Lall 2003), karena berguna untuk menerangkan gerakan dari banyak kendaraan pada satu jalur gerak (Morlok 1978). Dikarenakan setiap kendaraan memiliki kecepatannya sendiri, maka pembahasan data kecepatan dilakukan dengan menggunakan distribusi kecepatan. Distribusi kecepatan bermanfaat dalam memahami karakteristik lalu-lintas. Gerlough and Huber (1975) menyatakan pentingnya untuk meninjau distribusi untuk memprediksi kejadian yang terjadi secara acak, seperti kecepatan.

Berbagai studi mengenai kecepatan telah dilakukan. Sebagai contoh adalah studi yang dilakukan oleh Vadeby dan Forsman (2014) di Paris, Perancis yang memperkirakan risiko kecelakaan berdasarkan data distribusi kecepatan serta menentukan pula batas aman kecepatan. Ko dan Guensler (2004) melakukan penelitian mengenai distribusi kecepatan untuk mengidentifikasi kemacetan. Iannone, Guarnaccia, dan Quartieri (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh distribusi kecepatan dalam memprediksi kebisingan di jalan di India.

Dengan memperhatikan karakteristik jalan-jalan di Indonesia yang berbeda dengan kondisi di negara lain, maka diperlukan studi yang mendalami karakteristik kecepatan arus lalu lintas di Indonesia. Dengan kondisi jalan yang sebagian besar belum memenuhi standar, sehingga mengakibatkan kemungkinan variasi yang besar pula. Selain itu, pada umumnya studi tentang EMP yang dilakukan di Indonesia menggunakan data hanya dari satu ruas jalan saja. Hal ini berakibat pada kesulitan untuk mewakili ruas-ruas jalan yang berbeda dari lokasi studi. Untuk itu diperlukan studi yang dapat menentukan nilai EMP untuk beragam jenis ruas jalan dengan harapan dapat lebih mewakili ruas jalan lain.

Dengan memperhatikan latar belakang tersebut, maka tujuan dari studi ini adalah pertama, menganalisis distribusi kecepatan lalu lintas pada ruas jalan tol baik jalan tol dalam kota maupun luar kota; dan kedua, menganalisis nilai EMP untuk jalan tol dalam kota dan jalan tol luar kota berdasar data kecepatan dan membandingkannya dengan nilai EMP dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997.

## **KAJIAN PUSTAKA**

### **Kecepatan Lalu Lintas**

Suatu aliran arus lalu lintas secara mikroskopik dapat dijelaskan oleh tiga variabel dasar dan salah satunya adalah kecepatan (Roess, Prassas, dan McShane 2004). Tiap kendaraan akan bergerak dengan kecepatannya masing-masing. Kecepatan masing-masing kendaraan didefinisikan sebagai suatu laju pergerakan, yaitu jarak per satuan waktu, yang umumnya memiliki satuan mil/jam atau kilometer/jam. Besarnya nilai kecepatan

dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, misalnya volume, kapasitas desain, cuaca, pengaturan lalu lintas, dan panjang jarak.

Biasanya dalam suatu arus kendaraan tertentu akan diperoleh satu nilai kecepatan yang mewakili aliran lalu lintas tersebut. Nilai kecepatan dari arus lalu lintas tersebut merupakan gabungan dari nilai kecepatan masing-masing kendaraan. Nilai yang sering digunakan adalah kecepatan rata-rata. Jika waktu tempuh  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ , diamati untuk  $n$  kendaraan yang melalui suatu ruas jalan sepanjang  $L$ , maka kecepatan tempuh rata-ratanya dapat dihitung dengan persamaan 1. Kecepatan tempuh rata-rata tersebut dikenal sebagai kecepatan rata-rata ruang (*space mean speed, SMS*). Kecepatan rata-rata ruang adalah waktu tempuh rata-rata yang pada dasarnya memperhitungkan rata-rata berdasarkan panjang waktu yang dipergunakan setiap kendaraan di dalam ruang (Khisty and Lall 2003).

$$v_s = \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- $v_s$  = kecepatan tempuh rata-rata atau kecepatan rata-rata ruang (kpj)
- $L$  = panjang ruas jalan raya (km)
- $t_i$  = waktu tempuh dari kendaraan untuk melalui bagian jalan (jam)
- $n$  = jumlah waktu tempuh yang diamati (jam)

Cara lain untuk menentukan kecepatan rata-rata dari suatu aliran lalu lintas adalah dengan menggunakan kecepatan rata-rata waktu (*time mean speed, TMS*) ( $v_t$ ). *TMS* adalah kecepatan rata-rata aritmetik dari kecepatan kendaraan yang melintas. Kecepatan tersebut diukur dari kecepatan kendaraan yang melintas di suatu titik pada lokasi jalan tertentu. Kecepatan ini dikenal sebagai kecepatan titik (*spot speed*) yang dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$v_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- $v_i$  = kecepatan titik (km/jam)
- $n$  = jumlah kendaraan yang diamati.

Dari persamaan 2.2 dapat diketahui bahwa kecepatan rata-rata waktu adalah rata-rata aritmatika dari kecepatan spot, sedangkan kecepatan rata-rata ruang adalah rata-rata

harmonisnya. Kecepatan rata-rata waktu selalu lebih besar daripada kecepatan rata-rata ruang (Hoogendoorn and Knoop 2013), kecuali pada situasi dimana seluruh kendaraan mempunyai kecepatan yang sama. Hubungan yang sangat mirip antara kedua kecepatan rata-rata tersebut diperlihatkan dalam persamaan 3 dan persamaan 4.

$$v_t = v_s + \frac{\sigma_s^2}{v_s} \dots\dots\dots (3)$$

$$v_s = v_t + \frac{\sigma_t^2}{v_t} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

$\sigma_s^2$  = varian kecepatan-kecepatan rata-rata ruang.

Kecepatan perjalanan selalu berhubungan dengan waktu perjalanan. Waktu perjalanan biasa dihitung menggunakan data waktu kecepatan rata-rata ruang. Kecepatan rata-rata ruang bisa saja diubah secara langsung menjadi perhitungan waktu perjalanan rata-rata. Namun, perhitungan aritmetik kecepatan rata-rata ruang tidak dapat dengan mudah diubah. *TMS* dapat sesuai dengan rata-rata kecepatan perjalanan.

### Ekivalen Mobil Penumpang

Pengaruh kendaraan yang beragam dalam arus lalu lintas diperhitungkan dengan menggunakan faktor konversi, sehingga didapat satuan yang seragam (TRB 2000). Satuan yang paling sering digunakan adalah mobil penumpang. Faktor ini dikenal dengan angka EMP (Rahka, Traini, and Ahn 2004; Saha et al. 2009). Nilai EMP dapat menunjukkan pengaruh dari keberadaan kendaraan berat yang terdapat dalam arus lalu lintas (Benekohal and Zhao 2000; Elefteriadou, Torbic, and Webster 1997), dikarenakan keberadaan kendaraan berat memberi pengaruh yang signifikan terhadap pengguna jalan (Krammas dan Crowley 1988).

Besar nilai EMP untuk setiap kendaraan berbeda tergantung pada berbagai faktor, baik faktor di dalam arus lalu lintas maupun di lingkungan jalan. Beberapa faktor tersebut misalnya adalah jenis jalan, tipe alinyemen, dan volume lalu lintas. Pengaruh lingkungan jalan dan sistem antrian juga berpengaruh (TRB 2000).

Penentuan nilai EMP dapat didasarkan pada beragam parameter yang tergantung dari karakteristik dan kondisi lalu lintasnya. Metode yang digunakan dalam perhitungan nilai EMP juga bermacam-macam, misalnya metode semi empiris, metode *Walker's*, metode waktu

antara, regresi linier, koefisien *homogenic*, atau simulasi (Rahka, Traini, and Ahn 2004). Berbagai studi telah dilakukan untuk mempelajari nilai EMP untuk beragam jenis kendaraan. Werner and Morrall (1976) mempelajari EMP untuk bus, truk, dan kendaraan rekreasi pada jalan bebas hambatan di daerah rural dengan dua lajur. Cunagin and Messer (1983) menghitung EMP pada jalan raya di daerah rural. Krammas and Crowley (1986) melakukan studi perhitungan EMP untuk truk pada jalan bebas hambatan pada kondisi jalan datar. Benekohal and Zhao (2000) menghitung EMP menggunakan data tundaan pada persimpangan. Rahka, Traini, and Ahn (2004) mengembangkan penilaian EMP untuk segmen jalan bebas hambatan. Saha et al. (2009) melakukan perhitungan EMP untuk simpang di Kota Dhaka. Berbagai studi tentang EMP yang dilakukan di Indonesia misalnya adalah Priyanto (2000) menggunakan analisis kapasitas, Joewono et al. (2015a,b) berdasar data arus, dan Prima, Iskandar, dan Joewono (2014) yang menggunakan data waktu antara.

Beberapa hasil perhitungan nilai EMP telah digunakan dalam berbagai manual, misalnya pada *Highway Capacity Manual* (HCM) seperti terlihat pada Tabel 1. Nilai EMP untuk jalan bebas hambatan di Indonesia dapat ditemukan dalam MKJI (Ditjen Bina Marga 1997) seperti ditunjukkan dalam Tabel 2 sampai dengan Tabel 4. Adapun nilai EMP untuk berbagai jenis kendaraan di Inggris sebagai pembandingan dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 1.** EMP untuk Jalan Bebas Hambatan (TRB, 2000)

Faktor	Jenis Medan		
	Datar	Bukit	Gunung
$E_T$ (Truk dan Bus)	1,5	2,5	4,5
$E_R$ (Kendaraan Rekreasi)	1,2	2,0	4,0

**Tabel 2.** EMP untuk Jalan Bebas Hambatan Tak Terbagi Dua Arah Dua lajur (MW 2/2UD) (Ditjen Bina Marga 1997)

Tipe Alinyemen	Total Arus (kend/jam)	Emp		
		MHV	LB	LT
Datar	0	1,2	1,2	1,8
	900	1,8	1,8	2,7
	1.450	1,5	1,6	2,5
	$\geq 2.100$	1,3	1,5	2,5
Bukit	0	1,2	1,6	5,2
	700	1,8	2,5	5,0
	1.200	1,5	2,0	4,0
	$\geq 1.800$	1,3	1,7	3,2
Gunung	0	3,5	2,5	6,0
	500	3,0	3,2	5,5
	1.000	2,5	2,5	5,0
	$\geq 1.450$	1,9	2,2	4,0

**Tabel 3.** EMP untuk Jalan Bebas Hambatan Terbagi Dua Arah Empat Lajur (MW 4/2D) (Ditjen Bina Marga 1997)

Tipe Alinyemen	Arus (kend/jam)	Emp		
		MHV	LB	LT
	MW terbagi per arah (kend/jam)			
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1.250	1,4	1,4	2,0
	2.250	1,6	1,7	2,5
	$\geq 2.800$	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,5	1,6	4,8
	900	2,0	2,0	4,6
	1.700	2,2	2,3	4,3
	$\geq 2.250$	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	700	2,0	2,6	5,1
	1.450	2,0	2,9	4,8
	$\geq 2000$	2,0	2,4	3,8

**Tabel 4.** EMP untuk Jalan Bebas Hambatan Terbagi Dua Arah Enam Lajur (MW 6/2D) (Ditjen Bina Marga 1997)

Tipe Alinyemen	Arus (kend/jam)	Emp		
		MHV	LB	LT
	MW terbagi per arah (kend/jam)			
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1.250	1,4	1,4	2,0
	2.250	1,6	1,7	2,5
	$\geq 2.800$	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,5	1,6	4,8
	900	2,0	2,0	4,6
	1.700	2,2	2,3	4,3
	$\geq 2.250$	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	700	2,0	2,6	5,1
	1.450	2,0	2,9	4,8
	$\geq 2000$	2,0	2,4	3,8

**Tabel 5.** EMP di Inggris (Bristow, 2010)

Tipe Kendaraan	EMP
Sepeda	0,2
Sepeda Motor	0,4
Mobil Penumpang	1,0
Kendaraan Barang Ringan	1,0
Kendaraan Barang Sedang	1,5
Bus	2,0
Kendaraan Barang Berat	2,3
Bus Gandengan	3,2

**Perhitungan angka ekivalen menggunakan data kecepatan**

Van Aerde and Yagar (1983) mengembangkan metode perhitungan EMP dengan memanfaatkan data kecepatan. Perhitungan dilakukan dengan membuat hubungan antara kecepatan (*v*) dan arus lalu lintas (*q*) dengan menggunakan regresi linier berganda. Model linier hubungan kecepatan dan arus dipilih karena dalam prakteknya hubungan antara arus dan kecepatan mendekati linier. Model regresi linier berganda dari hubungan kecepatan dan arus dapat dilihat pada persamaan 5. Iskandar (2010) menyatakan bahwa nilai EMP perlu ditetapkan dengan menganalisis hubungan antara data kecepatan dan arus per jenis kendaraan per interval waktu tertentu, misal 5menit, 10menit, dan 15menit. Hal ini dilakukan dengan anggapan bahwa fluktuasi lalu lintas yang terjadi dalam interval tersebut dianggap cukup seragam.

$$v = \alpha - \beta_1.Q_{LV} - \beta_2.Q_{MHV} - \beta_3.Q_{LB} - \beta_4.Q_{LT} - \beta_5.Q_{MC} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- v* = kecepatan arus lalu lintas (km/jam)
- $\alpha$  = konstanta yang merepresentasikan kecepatan arus bebas
- $Q_{LV}$  = arus kendaraan ringan (kend/jam)
- $Q_{MHV}$  = arus kendaraan berat sedang (kend/jam)
- $Q_{LB}$  = arus kendaraan bus besar (kend/jam)
- $Q_{LT}$  = arus kendaraan truk besar (kend/jam)
- $Q_{MC}$  = arus kendaraan sepeda motor (kend/jam)
- $\beta_i$  = koefisien regresi variabel ke-i

Selanjutnya, persamaan 6 digunakan untuk mendapatkan nilai EMP, yaitu dengan menghitung perbandingan koefisien dari masing-masing jenis kendaraan. Nilai EMP masing-masing jenis kendaraan, selain mobil penumpang, ditunjukkan oleh rasio antara koefisien tiap jenis kendaraan dibagi dengan koefisien dari mobil penumpang (*LV*).

$$EMP_i = \frac{\beta_i}{\beta_1} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- $EMP_i$  = EMP kendaraan ke-i
- $\beta_1$  = koefisien mobil penumpang (*LV*)
- $\beta_i$  = koefisien regresi variabel ke-i

**HIPOTESIS**

Studi ini membahas hipotesis yang akan diuji dengan menggunakan data yang dikumpulkan, yaitu:

1. Kecepatan lalu lintas di jalan tol di Indonesia mengikuti distribusi normal.
2. Estimasi nilai EMP menggunakan data kecepatan dapat lebih baik menjelaskan kinerja lalu lintas untuk jalan bebas hambatan di Indonesia.

**METODOLOGI**

**Pengumpulan data**

Data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Data tersebut berupa rekaman video arus lalu lintas pada ruas jalan tol dalam kota, yaitu jalan tol Lingkar Luar Jakarta Km 26,4. Durasi pengamatan adalah 8jam (07.00-15.00) yang direkam pada tanggal 8 Desember 2011. Adapun ruas jalan tol luar kota yang diamati adalah jalan tol Jakarta-Cikampek Km 56,2 dengan durasi waktu 8jam (07.30-15.30) yang direkam pada tanggal 15 Desember 2011. Rekaman video tersebut diputar kembali untuk memperoleh data yang diperlukan oleh studi ini, yaitu kecepatan tiap kendaraan yang melintas pada badan jalan dan arus tiap jenis kendaraan. Deskripsi lebih detail mengenai pengumpulan data dapat ditemukan dalam Nugraha (2016) dan Alviana (2016).

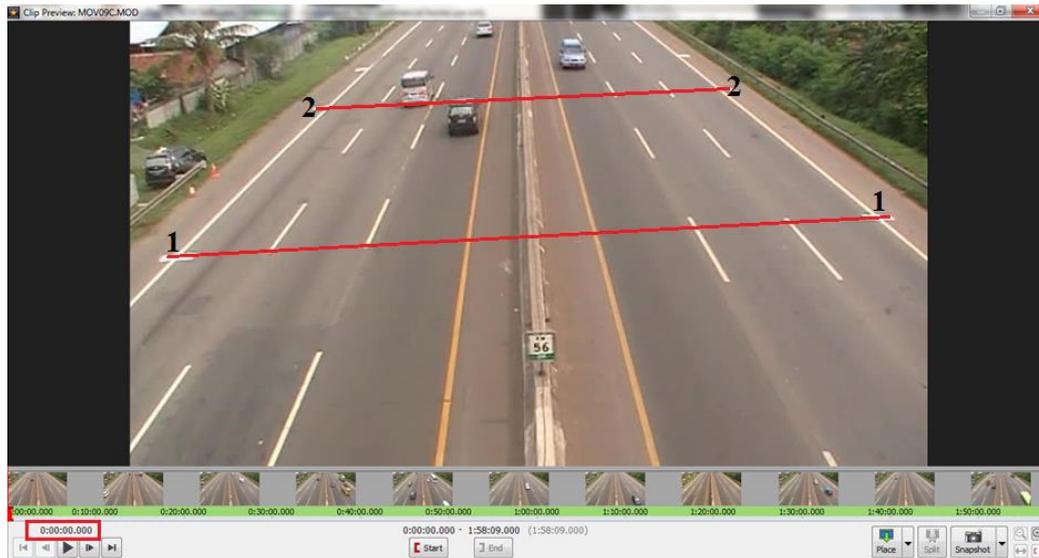
Data dari rekaman video diolah dengan menggunakan aplikasi video editor dengan ketelitian pembacaan 0,025 detik. Tampilan contoh pencatatan menggunakan aplikasi video editor disajikan pada Gambar 1. Kecepatan yang dipakai dalam penelitian ini adalah kecepatan ruang atau segmen, karena memanfaatkan sepenggal jalan. Pencatatan waktu tempuh pada penggal jalan pengamatan untuk tiap kelompok jenis kendaraan dilakukan untuk keseluruhan kendaraan, sehingga dapat mewakili keadaan yang sebenarnya di

lapangan. Komposisi kendaraan yang melintas pada ruas jalan tol merujuk pada sistem klasifikasi Bina Marga sebagai berikut:

1. *Light Vehicle (LV)*, yaitu kendaraan bermotor beroda empat, dengan dua gandar berjarak 2,0-3,0m (meliputi kendaraan penumpang, oplet, mikro bis, pick-up dan truk kecil).
2. *Medium Heavy Vehicle (MHV)*, yaitu kendaraan bermotor dengan dua gandar,

dengan jarak 3,5-5,0m (termasuk bus kecil serta truk dua as dengan enam roda).

3. *Large Truck (LT)*, yaitu truk tiga gandar dan truk kombinasi dengan jarak gandar (gandar pertama ke kedua) <3,5m.
4. *Large Bus (LB)*, yaitu bus dengan dua atau tiga gandar dengan jarak as 5 hingga 6m.



Gambar 1. Tampilan Video Editor (Nugraha 2016)

### Deskripsi Data Kecepatan Lalulintas

Data arus lalu lintas yang telah diperoleh selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel. Selain informasi komposisi kendaraan pada setiap ruas jalan tol, seperti nampak dalam disajikan pada Tabel 6 hingga Tabel 8, juga ditampilkan hasil perhitungan statistika deskriptifnya. Data menunjukkan bahwa kecepatan setiap ruas jalan tol dengan interval 5menit nampak lebih bervariasi dibandingkan interval 10menit dan 15menit.

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai deviasi dengan interval 5menit lebih besar dibandingkan interval 10menit dan 15menit, sehingga menunjukkan variasi yang lebih bervariasi. Dari Tabel 7 dapat diketahui

proporsi kendaraan untuk ruas jalan tol Lingkar Luar Jakarta didominasi kendaraan *LV* dengan proporsi 84,48% sampai 84,58%. Proporsi *MHV* memiliki rentang antara 11,19% sampai 11,31%, *LB* dengan 0,90% sampai 0,99% dan *LT* dengan 3,12% sampai 3,50%. Dari Tabel 8 dapat dilihat pula bahwa proporsi kendaraan untuk ruas jalan tol Jakarta-Cikampek didominasi kendaraan *LV* dengan 65,53% sampai 67,47%. Proporsi kendaraan *MHV* adalah 18,81% sampai 18,96%, *LB* dengan rentang 6,06% sampai 6,48% dan *LT* dengan rentang 7,66% sampai 9,03%.

**Tabel 6.** Statistik Deskriptif Data Arus Lalu Lintas

Ruas Jalan Tol		Interval	Mean	Median	Standard Deviation	Minimum	Maximum
Lingkar Luar Jakarta	Cikunir	5menit	3.792,8	3.918	498,9	2.700	4.896
		10menit	3.792,8	3.984	466,2	2.880	4.740
		15menit	3.792,8	3.976	460,4	2.904	4.500
	Pondok Indah	5menit	4.254,5	4.272	378,3	3.516	5.268
		10menit	4.254,5	4.224	293,7	3.720	4.884
		15menit	4.254,5	4.246	256,9	3.812	4.792
	Gabungan	5menit	8.047,3	8.076	613,7	6.864	9.384
		10menit	8.047,3	8.085	556,6	6.924	9.180
		15menit	8.047,3	8.118	518,7	7.216	8.864
Jakarta-Cikampek	Jakarta	5menit	2.234,3	2.172	355,2	1.512	3.552
		10menit	2.234,3	2.184	312,5	1.638	3.048
		15menit	2.234,3	2.166	289,9	1.816	2.944
	Cikampek	5menit	2.524,4	2.580	323,6	1.872	3.372
		10menit	2.524,4	2.541	250,7	1.962	3.114
		15menit	2.524,4	2.532	232,8	1.968	3.012
	Gabungan	5menit	4.758,6	4.782	521,3	3.528	5.976
		10menit	4.758,6	4.737	456,5	3.774	5.808
		15menit	4.758,6	4.794	426,4	3.820	5.668

**Tabel 7.** Komposisi Kendaraan Pada Ruas Jalan Tol Lingkar Luar Jakarta

Interval Waktu	Jenis Kendaraan	Arah Cikunir		Arah Pondok Indah		Gabungan	
		Jumlah	Proporsi (%)	Jumlah	Proporsi (%)	Jumlah	Proporsi (%)
5menit	LV	307.956	84,58	345.060	84,48	653.016	84,53
	MHV	41.196	11,31	45.720	11,19	86.916	11,25
	LB	3.588	0,99	3.372	0,83	6.960	0,90
	LT	11.364	3,12	14.280	3,50	25.644	3,32
10menit	LV	153.978	84,58	172.530	84,48	326.508	84,53
	MHV	20.598	11,31	22.860	11,19	43.458	11,25
	LB	1.794	0,99	1.686	0,83	3.480	0,90
	LT	5.682	3,12	7.140	3,50	12.822	3,32
15menit	LV	102.652	84,58	115.020	84,48	217.672	84,53
	MHV	13.732	11,31	15.240	11,19	28.972	11,25
	LB	1.196	0,99	1.124	0,83	2.320	0,90
	LT	3.788	3,12	4.760	3,50	8.548	3,32

**Tabel 8.** Komposisi Kendaraan Pada Ruas Jalan Tol Jakarta-Cikampek

Interval Waktu	Jenis Kendaraan	Arah Cikampek		Arah Pondok Indah		Gabungan	
		Jumlah	Proporsi (%)	Jumlah	Proporsi (%)	Jumlah	Proporsi (%)
5menit	LV	163.576	67,47	140.544	65,53	304.120	66,56
	MHV	45.600	18,81	40.668	18,96	86.268	18,88
	LB	14.688	6,06	13.908	6,48	28.596	6,26
	LT	18.576	7,66	19.368	9,03	37.944	8,30
10menit	LV	81.738	67,46	70.272	65,53	152.010	66,55
	MHV	22.800	18,82	20.334	18,96	43.134	18,88
	LB	7.344	6,06	6.954	6,48	14.298	6,26
	LT	9.288	7,67	9.684	9,03	18.972	8,31
15menit	LV	54.492	67,46	46.848	65,53	101.340	66,55
	MHV	15.200	18,82	13.556	18,96	28.756	18,88
	LB	4.896	6,06	4.636	6,48	9.532	6,26
	LT	6.192	7,67	6.456	9,03	12.648	8,31

## HASIL DAN ANALISIS

Berdasar data yang telah dikumpulkan, selanjutnya data kecepatan rata-rata ruang diolah untuk mendapatkan distribusi kecepatan.

Data dikelompokkan dalam rentang-rentang kecepatan untuk masing-masing ruas jalan dan arah. Rentang pertama berada pada nilai 20 sampai dengan 24,99 dan rentang terakhir

berada pada nilai 185 sampai dengan 189,99. Banyaknya kendaraan yang melintas menuju arah Cikampek adalah sebesar 13.899 kendaraan dan banyaknya kendaraan yang melintas menuju arah Jakarta adalah sebesar 18.143 kendaraan. Data ruas jalan tol dalam kota Lingkar Luar Jakarta untuk arah Cikunir adalah 30.316 dan pada arah menuju Pondok Indah adalah 33.965. Hasil pengelompokan data pada ruas jalan tol luar kota Jakarta-Cikampek menunjukkan bahwa jumlah kendaraan yang melintas adalah sebanyak 31.481 kendaraan, sedangkan untuk ruas jalan tol dalam kota Lingkar Luar Jakarta sebanyak 64.281 kendaraan. Deskripsi statistika untuk data tersebut dapat dilihat pada Tabel 9.

Ruas tol luar kota Jakarta-Cikampek mempunyai nilai kecenderungan pusat (mean maupun median) yang nampak lebih besar dengan nilai deviasi yang juga lebih besar, baik untuk kedua arah maupun untuk masing-masing arah. Data kecepatan ruas tol luar kota cenderung miring ke kiri, sedangkan ruas jalan tol dalam kota cenderung miring ke kanan.

### Analisis Distribusi Kecepatan

Berdasar hasil pengolahan distribusi kecepatan, maka analisis dilanjutkan untuk mendapatkan distribusi peluang dari kecepatan di kedua jalan tol tersebut. Dengan memperhatikan literatur, misal Susilo (2015), maka dapat diduga bahwa data kecepatan mengikuti sebaran peluang kontinyu. Untuk menentukan distribusi peluang yang tepat, maka dilakukan analisis uji kebaikan suai dengan menggunakan metode Anderson Darling. Hasil uji disajikan pada Tabel 11 untuk beberapa distribusi peluang kontinyu. Analisis menunjukkan bahwa jenis distribusi Normal, Log-Normal, Eksponensial, maupun Gamma memiliki *p-value* yang lebih kecil dari 0,005. Adapun untuk jenis distribusi Weibull memiliki *p-value* yang lebih kecil dari 0,10. Jenis distribusi yang dipilih adalah jenis distribusi dengan nilai AD terkecil dan dengan nilai *p-value* yang lebih kecil dari 0,005. Distribusi peluang memiliki fungsi kepadatan peluang

seperti ditunjukkan dalam persamaan 7. Adapun persamaan untuk jalan tol luar kota dan dalam kota disajikan dalam persamaan 8 dan 9, secara berurutan.

$$n(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right]^2}; -\infty < x < \infty \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

- x = variabel acak (kecepatan)
- $\pi$  = 3,1415
- e = 2,71828
- $\sigma$  = standar deviasi
- $\mu$  = rata-rata

$$n(x; 88,35; 20,43) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}20,43} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-88,35)}{20,43}\right]^2} - \infty < x < \infty \dots\dots\dots (8)$$

$$n(x; 66,98; 13,02) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}13,02} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-67,98)}{13,02}\right]^2} - \infty < x < \infty \dots\dots\dots (9)$$

Persamaan distribusi kepadatan peluang untuk jalan tol luar kota Jakarta-Cikampek arah Jakarta disajikan pada persamaan 10 dan untuk arah Cikampek disajikan pada persamaan 11. Adapun persamaan kepadatan peluang untuk data kecepatan pada tol dalam kota arah Cikunir ditunjukkan dalam persamaan 12, sedangkan untuk arah Pondok Indah disajikan pada persamaan 13.

$$n(x; 83,93; 21,95) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}21,95} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-83,93)}{21,95}\right]^2}; -\infty < x < \infty \dots\dots\dots (10)$$

$$n(x; 94,15; 16,56) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}16,56} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-94,15)}{16,56}\right]^2}; -\infty < x < \infty \dots\dots\dots (11)$$

$$n(x; 70,08; 12,37) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}12,37} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-70,08)}{12,37}\right]^2}; -\infty < x < \infty \dots\dots\dots (12)$$

$$n(x; 64,21; 12,97) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}12,97} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-64,22)}{12,97}\right]^2}; -\infty < x < \infty \dots\dots\dots (13)$$

Analisis menunjukkan bahwa hasil studi ini mendukung hasil studi terdahulu bahwa data kecepatan di jalan tol mengikuti distribusi peluang kontinyu, yaitu distribusi normal. Perbedaan distribusi kecepatan pada masing-masing jalur maupun arah terletak pada besaran nilai mean dan deviasi.

**Tabel 9.** Hasil Data Statistik Ruas Jalan

Parameter	Tol Luar Kota			Tol Dalam Kota		
	Kedua Arah	Menuju Jakarta	Menuju Cikampek	Kedua Arah	Menuju Cikunir	Menuju Pondok Indah
Mean (kpj)	88,35	83,93	94,15	66,98	70,08	64,21
Median (kpj)	90	87,80	94,74	67,92	70,59	64,29
$\sigma^2$	417,38	481,662	274,23	169,52	153,02	168,22
$\sigma$	20,43	21,95	16,56	13,02	12,37	12,97
Skewness	-0,28	-0,21	0,19	0,17	0,48	0,008
Kurtosis	0,44	-0,05	0,83	2,11	4,56	0,34

**Tabel 10.** Hasil Uji Kebaikan Suai

Tol Luar Kota						
Distribusi	Kedua Arah		Menuju Jakarta		Menuju Cikampek	
	AD	<i>p-value</i>	AD	<i>p-value</i>	AD	<i>p-value</i>
Normal	161,222	<0,005	87,012	<0,005	28,931	<0,005
Log Normal	687,26	<0,005	363,78	<0,005	363,78	<0,005
Eksponential	8627,46	<0,003	4462,92	<0,003	4462,92	<0,003
Weibull	102,92	<0,010	49,377	<0,010	49,377	<0,010
Gamma	465,286	<0,005	245,561	<0,005	245,561	<0,005
Tol Dalam Kota						
Distribusi	Kedua Arah		Menuju Cikunir		Menuju Pondok Indah	
	AD	<i>p-value</i>	AD	<i>p-value</i>	AD	<i>p-value</i>
Normal	105,74	<0,005	112,55	<0,005	20,597	<0,005
Log Normal	585,095	<0,005	272,975	<0,005	234,345	<0,005
Eksponential	19482,2	<0,003	9704,49	<0,003	10018,2	<0,003
Weibull	525,226	<0,010	634,49	<0,010	80,606	<0,010
Gamma	357,061	<0,005	186,951	<0,005	127,801	<0,005

AD = Anderson Darling

### Analisis Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang berdasar Data Kecepatan Rata-rata

Van Aerde dan Yagar (1983) mengembangkan metode perhitungan EMP dengan memanfaatkan data kecepatan. Perhitungan dilakukan dengan membuat hubungan antara kecepatan ( $v$ ) dan arus lalu lintas ( $q$ ) dengan menggunakan regresi linier berganda. Model hubungan kecepatan dan arus dipilih karena banyak ditemukan hubungan antara arus dan kecepatan yang berbentuk linier. Model regresi linier berganda dari hubungan kecepatan dan arus dapat dilihat pada persamaan 7.

Perhitungan nilai EMP pada penelitian ini dibagi menjadi per arah dan gabungan arah dari setiap ruas jalan tol. Analisis penentuan

nilai EMP ini dibuat menjadi tiga kelompok interval waktu, yaitu 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Hal ini dilakukan dengan anggapan bahwa fluktuasi lalu lintas yang terjadi dalam interval tersebut dianggap cukup seragam. Pada penelitian ini nilai kecepatan yang digunakan adalah kecepatan rata-rata, kecepatan persentil ke-50, ke-85 dan ke-90. Hal ini dilakukan dengan anggapan bahwa kecepatan-kecepatan tersebut dapat mewakili kecepatan dari kendaraan yang melintas.

Adapun kendaraan yang dianalisis diklasifikasi menjadi beberapa, yaitu empat jenis kendaraan ( $LV$ ,  $MHV$ ,  $LB$  dan  $LT$ ); tiga jenis kendaraan ( $LV$ ,  $MHV$ , dan penggabungan kendaraan  $LB$  dan  $LT$ ); dan dua jenis kendaraan ( $LV$  dan penggabungan kendaraan  $MHV$ ,  $LB$ ,

dan *LT*). Hal ini bertujuan untuk mendapatkan klasifikasi kendaraan yang terbaik dalam penentuan nilai EMP di ruas jalan yang ditinjau (Nugraha, 2016).

Data selanjutnya dianalisis dengan membangun persamaan regresi linier berganda awal sebanyak 54 persamaan. Dari 54 persamaan regresi tersebut dilakukan uji tanda dengan kriteria koefisien regresi harus bernilai negatif (-) yang bertujuan menguji kesesuaian parameter yang diestimasi. Hasil dari pengujian tersebut menyisakan 14 persamaan regresi.

Dari 14 persamaan regresi tersebut selanjutnya dihitung nilai EMP dari masing-masing klasifikasi kendaraan dengan menggunakan persamaan 8. Nilai EMP dapat dinyatakan layak jika nilai EMP kendaraan *LV* lebih kecil dari nilai EMP kendaraan *MHV*, *LB* serta *LT* dan nilai EMP kendaraan *MHV* lebih kecil dari nilai EMP kendaraan *LB* serta *LT*. Berdasarkan perhitungan EMP tersebut, maka ditemukan empat persamaan dengan nilai EMP yang memenuhi kriteria. Persamaan tersebut selanjutnya dianalisis lebih lanjut, yaitu uji-t untuk masing-masing variabel (dalam hal ini adalah jenis kendaraan). Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh arus dari tiap jenis kendaraan terhadap kecepatan rata-rata. Tingkat signifikansi ( $\alpha$ ) yang digunakan adalah 10%. Analisis mendapatkan dua persamaan regresi yang memenuhi persyaratan, yaitu persamaan untuk ruas jalan tol Lingkar Luar Jakarta Gabungan dengan interval waktu 5menit dan ruas jalan tol Jakarta-Cikampek Arah Cikampek dengan interval waktu 5menit. Hal ini berarti arus dari masing-masing kendaraan dengan interval waktu 5menit berpengaruh signifikan terhadap kecepatan rata-rata.

Dari hasil uji-t yang menyisakan dua persamaan regresi, selanjutnya kedua persamaan tersebut diuji lebih lanjut dengan uji-F (ANOVA). Pengujian ditujukan untuk mengetahui pengaruh arus kendaraan yang terjadi terhadap kecepatan rata-rata. Tingkat keterandalan yang digunakan adalah 10%. Analisis ini menunjukkan bahwa kedua persamaan memenuhi persyaratan, sehingga dapat dikatakan bahwa persamaan tersebut mampu menjelaskan pengaruh arus yang terjadi terhadap kecepatan rata-rata. Besarnya kemampuan untuk menjelaskan ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi, yaitu 12,3%

untuk ruas jalan tol Lingkar Luar Jakarta dan 15,5% untuk ruas jalan tol Jakarta-Cikampek.

Dari analisis tersebut diperoleh hanya satu persamaan untuk masing-masing ruas jalan tol (persamaan 14 dan 15). Nilai EMP yang digunakan diperoleh dari masing-masing persamaan tersebut yang dianggap mewakili masing-masing ruas jalan tol. Nilai EMP yang mewakili kecepatan rata-rata dan arus tersaji pada Tabel 11. Pada ruas jalan tol Lingkar Luar Jakarta didapatkan nilai EMP dengan tiga jenis klasifikasi kendaraan, sedangkan pada ruas jalan tol Jakarta-Cikampek didapatkan nilai EMP dengan dua jenis klasifikasi kendaraan.

$$V_{S,5} = 78,016 - 0,001Q_{LV} - 0,004Q_{MHV} - 0,006Q_{LB+LT}^* \dots (14)$$

$$V_{S,5} = 102,575 - 0,007Q_{LV} - 0,009Q_{MHV+LB+LT}^* \dots (15)$$

Keterangan:

$V_{S,5}$  = kecepatan rata-rata dengan interval waktu pengamatan 5-menit

$Q_{LV}$  = arus kendaraan *LV*

$Q_{MHV}$  = arus kendaraan *MHV*

$Q_{LB+LT}$  = arus kendaraan gabungan *LB* dan *LT*

$Q_{MHV+LB+LT}$  = arus kendaraan gabungan *MHV*, *LB*, dan *LT*

**Tabel 11.** Nilai EMP dari Hubungan Kecepatan Rata-rata dan Arus

Jalan Tol	Jenis Kendaraan			
	<i>LV</i>	<i>MHV</i>	<i>LB + LT</i>	<i>MHV + LB + LT</i>
<b>Kecepatan rata-rata</b>				
Dalam kota	1,00	4,00	6,00	-
Luar kota	1,00	-	-	1,29
<b>Kecepatan persentil ke-50</b>				
Jakarta-Cikampek	1,00	-	-	1,33

### Analisis Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang berdasar Data Kecepatan Persentil

Analisis untuk menentukan nilai EMP juga dilakukan dengan menggunakan data kecepatan wakil, yaitu kecepatan pada persentil ke-50. Jumlah persamaan awal adalah 54 dan setelah dilakukan uji tanda diperoleh hanya 14 persamaaan. Analisis menyisakan hanya satu persamaan yang memenuhi kriteria nilai EMP untuk ruas jalan tol Jakarta-Cikampek arah Cikampek, sedangkan pada ruas jalan tol Lingkar Luar Jakarta tidak didapatkan satupun persamaan. Persamaan tersebut juga memenuhi persyaratan uji ANOVA. Besarnya koefisien

determinasi untuk persamaan ini adalah sebesar 18,1%.

Dari persamaan regresi untuk ruas jalan tol Jakarta-Cikampek tersebut, maka nilai EMP dapat dihitung untuk mewakili ruas jalan tol Jakarta-Cikampek. Nilai EMP yang mewakili kecepatan persentil ke-50 dan arus dengan dua jenis klasifikasi kendaraan tersaji pada Tabel 11.

Prosedur yang sama dilakukan untuk data kecepatan pada persentil ke-85. Dari 54 persamaan awal selanjutnya didapat 14 persamaan yang dapat dianalisis lebih lanjut karena lolos uji tanda. Perhitungan nilai EMP selanjutnya menyisakan hanya dua persamaan, yaitu dua persamaan yang mewakili ruas jalan tol Lingkar Luar Jakarta, sedangkan untuk ruas jalan tol Jakarta-Cikampek tidak didapat satupun persamaan. Analisis lebih lanjut (uji F) menunjukkan bahwa model tidak dapat menjelaskan variabel, sehingga tidak dapat diperoleh persamaan untuk data kecepatan dengan persentil ke-85. Hasil yang sama ditemukan pada analisis menggunakan data kecepatan dengan persentil ke-90.

## PEMBAHASAN

Hasil perhitungan nilai EMP pada penelitian ini akan dibandingkan dengan nilai EMP yang terdapat pada EMP MKJI 1997. Nilai EMP kendaraan dalam MKJI 1997 yang akan dibandingkan mempunyai kriteria alinyemen datar, ruas jalan enam lajur dua arah terbagi dan arus total lebih dari 2.800kend/jam/arah. Kriteria tersebut dipilih karena adanya kesesuaian dengan lokasi penelitian serta arus tertinggi yang didapatkan dari setiap ruas lokasi penelitian memenuhi kriteria. Hasil perbandingan disajikan pada Tabel 12.

Dari Tabel 12 nampak perbedaan antara nilai EMP pada MKJI 1997 dengan nilai EMP pada hasil penelitian. Perbedaan tersebut tampak jelas pada nilai EMP untuk masing-masing jenis kendaraan dan penggolongan jenis klasifikasi kendaraan. Hal ini terjadi karena nilai EMP pada MKJI 1997 merupakan rangkuman dari berbagai tipikal lalu lintas di beberapa kota di Indonesia dan EMP hasil penelitian merupakan potret kondisi aktual pada satu lokasi. Perbedaan nilai EMP tersebut mungkin dikarenakan adanya perbedaan

volume lalu lintas, karakteristik arus lalu lintas yang terjadi dan komposisi tiap jenis kendaraan.

**Tabel 12.** Perbandingan nilai EMP hasil perhitungan dan MKJI 1997

Kendaraan	Nilai EMP MKJI 1997	Nilai EMP	
		Dalam kota	Luar kota
<i>LV</i>	1,00	1,00	1,00
<i>MHV</i>	1,30	4,00	
<i>LB</i>	1,50		1,29-1,33
<i>LT</i>	2,00	6,00	

Hasil perhitungan nilai EMP berdasar data kecepatan selanjutnya dibandingkan dengan nilai EMP pada ruas jalan tol luar kota yang dihitung berdasar data waktu antara. Nilai EMP tersebut diperoleh dari hasil studi Prima, Iskandar, dan Joewono (2014) seperti ditunjukkan dalam Tabel 13. Studi dari Prima, Iskandar, dan Joewono (2014) tersebut menemukan bahwa nilai EMP untuk jenis kendaraan berat menengah berkisar antara 1,88 - 2,25 untuk jenis kendaraan truk besar berkisar antara 3,12 - 3,77, dan untuk jenis kendaraan bus besar berkisar antara 1,52 - 1,64. Perbandingan kedua hasil studi untuk ruas jalan tol luar kota menunjukkan bahwa nilai EMP berdasar data kecepatan cenderung lebih kecil dibanding hasil perhitungan menggunakan data waktu antara.

**Tabel 13.** Hasil perhitungan nilai EMP berdasar data waktu antara (Prima, Iskandar, dan Joewono 2014)

Kendaraan	Nilai emp Penelitian					emp MKJI 1997
	Seluruh Lajur	Jam Sibuk Pagi	Jam Sibuk Siang	Arah Cikampek-Jakarta	Arah Jakarta-Cikampek	
<i>LV</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0
<i>MHV</i>	2,06	1,88	1,90	1,92	2,25	1,3
<i>LT</i>	3,50	3,60	3,12	3,13	3,77	2,0
<i>LB</i>	1,59	1,59	1,53	1,64	1,52	1,5

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Analisis yang mendalami berbagai aspek untuk menyesuaikan berbagai nilai dalam MKJI 1997 menjadi topik yang diperlukan saat ini, terkait dengan penyusunan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia. Berbagai studi telah dilakukan untuk menentukan nilai EMP dengan berbagai metode atau data yang digunakan. Salah satu cara untuk menentukan EMP adalah memanfaatkan data kecepatan. Artikel ini melaporkan salah satu usaha untuk memberi masukan tentang nilai EMP.

Studi ini menganalisis data kecepatan dari dua ruas jalan tol, yaitu jalan tol dalam kota dan jalan tol luar kota. Dengan beragamnya variabel yang dapat menyebabkan perbedaan karakteristik lalu lintas di jalan tol, maka hasil yang bervariasi menjadi sesuatu yang pasti. Hal ini menjadikan temuan dari studi ini hanya berlaku pada kondisi ruas yang distudi, yaitu jalan tol Lingkar Luar Jakarta Km 26,4 dan jalan tol Jakarta-Cikampek Km 56,2. Walaupun dengan keterbatasan tersebut, temuan yang lebih umum dari studi ini dapat diharapkan sejauh ruas jalan yang ditinjau memiliki kesamaan karakteristik, misalnya geometrik atau lalu lintas.

Dari pembahasan dapat disimpulkan bahwa arus lalu lintas di kedua ruas jalan tol memiliki kecepatan yang mengikuti distribusi normal. Hasil studi ini mendukung temuan yang dilaporkan dalam berbagai literatur bahwa data kecepatan mengikuti distribusi peluang kontinyu. Perbedaan terletak pada besaran nilai rata-rata dan deviasi, dengan nilai kecepatan rata-rata jalan tol luar kota lebih tinggi  $n(x; 88,35; 20,43)$  dibanding jalan tol dalam kota  $n(x; 66,98; 13,02)$ . Temuan ini dikonfirmasi dengan analisis distribusi kecepatan untuk masing-masing arah. Hal ini nampak masuk akal dan sesuai dengan fakta lapangan, yaitu perjalanan jarak jauh pada ruas jalan yang lebih panjang memberi kesempatan untuk melintas dengan kecepatan lebih tinggi.

Studi ini berhasil menghitung nilai EMP untuk berbagai kelompok jenis kendaraan berdasar nilai kecepatan. Berdasar hasil estimasi model regresi linier berganda antara variabel kecepatan dan arus kendaraan, maka dapat ditemukan nilai EMP untuk kendaraan lain selain kendaraan mobil penumpang. Studi

ini menemukan bahwa nilai EMP untuk jalan tol dalam kota dan luar kota adalah berbeda. Nilai EMP untuk kendaraan *MHV* di jalan tol dalam kota adalah bernilai 4, sedangkan *LT* dan *LB* memiliki nilai EMP sebesar 6. Nilai EMP untuk ruas jalan tol luar kota bernilai 1,29-1,33 untuk kendaraan *MHV*, *LT*, dan *LB*. Dengan memperhatikan perbedaan distribusi kecepatan antara kedua jalan tol, maka dapat diterima pula adanya perbedaan nilai EMP di antara kedua ruas jalan tol tersebut. Jalan tol dalam kota nampak memiliki nilai EMP yang lebih besar dibanding jalan tol luar kota.

Walaupun demikian, studi ini tidak dapat menemukan perbedaan nilai EMP untuk nilai wakil kecepatan yang berbeda, yaitu antara nilai rata-rata, persentil ke-50, persentil ke-85, ataupun persentil ke-90, dikarenakan nilai EMP hanya dapat dihasilkan dari persamaan dengan menggunakan kecepatan rata-rata. Penggunaan nilai persentil membatasi jenis kendaraan yang dapat terlibat dalam perhitungan dikarenakan hanya kendaraan tertentu yang dapat tercakup dalam batas nilai persentil tersebut, sehingga tidak seluruh proporsi kendaraan dapat diwakili.

Bila nilai EMP dari studi ini dibandingkan dengan nilai EMP yang tercantum dalam MKJI 1997, maka perbedaan nampak besar pada jalan tol dalam kota dibandingkan jalan tol luar kota. Dengan nilai EMP untuk kendaraan *MHV* sebesar 1,3, *LB* sebesar 1,5, dan *LT* sebesar 2 pada MKJI 1997, maka nilai EMP berdasar kecepatan lebih kecil.

Hasil studi ini juga dapat dibandingkan dengan hasil studi sebelumnya (Prima, Iskandar, dan Joewono 2014) untuk ruas jalan tol yang sama. Perbandingan menunjukkan bahwa nilai EMP dari studi ini adalah lebih kecil pada ruas jalan tol luar kota dibanding studi sebelumnya yang menggunakan nilai waktu antara. Namun, nilai EMP berdasar data kecepatan ditemukan lebih besar pada jalan tol dalam kota dibanding nilai EMP berdasar data waktu antara.

### Saran

Dengan memperhatikan temuan dari studi ini, maka ada berbagai studi lanjutan yang perlu dilakukan untuk melengkapi hasil studi ini. Perbedaan nilai EMP yang dihasilkan pada jalan tol dalam dan luar kota yang masing-masing diwakili oleh satu ruas jalan

menunjukkan bahwa variasi lokasi jalan tol dapat diduga akan menambah variasi dan memberi representasi yang lebih baik. Hal ini menjadikan hasil pengamatan pada kedua ruas tersebut memiliki keterbatasan dalam menjelaskan seluruh variasi karakteristik jalan tol yang ada di Indonesia. Studi lebih lanjut adalah dengan melibatkan beberapa ruas dengan variasi kondisi ruas jalan tol, baik jalan tol dalam maupun luar kota. Selain itu, studi lebih lanjut perlu dilengkapi dengan variasi kendaraan dan kecepatan yang lebih beragam. Studi ini akan melengkapi keterbatasan studi ini yang hanya menggunakan dua ruas yang distudi.

Dengan memperhatikan jenis kendaraan yang terlibat dan melintas dengan kecepatan tertentu, maka analisis lebih lanjut perlu dilakukan untuk menguji hipotesis bahwa proporsi masing-masing jenis kendaraan perlu ditetapkan terlebih dahulu untuk mendapatkan representasi jenis kendaraan yang lebih baik.

Terkait dengan penyesuaian nilai dalam MKJI 1997, maka perhitungan EMP menggunakan metode lain atau parameter lalu lintas lainnya nampak akan berguna untuk menemukan nilai EMP yang lebih mewakili. Analisis teoritis untuk memilih metode yang terbaik dalam menjelaskan nilai EMP menjadi topik studi selanjutnya.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis menyampaikan penghargaan kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan survei hingga studi ini dilaksanakan. Ucapan terima kasih yang besar disampaikan kepada Dr. Hikmat Iskandar yang telah membagi data untuk dapat dianalisis. Penghargaan disampaikan pula kepada Balai Teknik Lalu Lintas dan Lingkungan Jalan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang telah mengizinkan untuk menggunakan data.

## DAFTAR PUSTAKA

Alviana, Z. 2016. "Distribusi Kecepatan Kendaraan Ruas Jalan Tol Dalam Kota dan Luar Kota". Skripsi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha.

- Benekohal, R.F., and W. Zhao. 2000. Delay-Based Passenger Car Equivalents for trucks at Signalized Intersections. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 34(6): 437-457.
- Cunagin, W., and C. Messer. 1983. "Passenger Car Equivalents for Rural Highways". In *Transportation Research Record 905*. TRB, National Research Council, Washington, Dc.
- Elefteriadou, L., D. Torbic, and N. Webster. 1997. Development of Passenger Car Equivalents for Freeways, Two-Lane Highways, and Arterials. In *Transportation Research Record 1572*: 51-58. Washington, DC: TRB.
- Gerlough, D.L., and M.J. Huber. 1975. Traffic Flow Theory: A Monograph. Special Report 165. Washington, DC: TRB.
- Hoogendoorn, S., and V. Knoop. 2013. Traffic flow theory and modelling. In *The Transport System and Transport Policy an Introduction*, edited by Bert van Wee, J.A. Annema, and D. Banister. Edward Elgar: Cheltenham.
- Iannone, G., C. Guarnaccia, and J. Quartieri. 2013. Speed Distribution Influence In Road Traffic Noise Prediction. *Environmental Engineering and Management Journal* 12(3): 493-501.
- Ingle, Anthony. 2004. "Development of Passenger Car Equivalent for Basic Freeway Segments". Thesis Master of Science, Virginia Polytechnic Institute.
- Iskandar, H. 2010. Cara Pemuktahiran Nilai Ekvivalen Mobil Penumpang Dan Kapasitas Dasar Ruas Jalan Luar Kota. *Jurnal Jalan – Jembatan* 27(2): 77-87
- Joewono, T.B., S.B. Nurcahya, and V.S. Pratama. 2015a. Estimasi Kapasitas Berdasar Data Waktu Antara Pada Jalan Antar Kota Empat Lajur Dua Arah Terbagi. *Jurnal Jalan – Jembatan* 32(3): 142-155.
- Joewono, T.B., M.A.R. Tjastadipradja, dan A-t. Rachmawan. 2015b. Kajian Ekivalensi Mobil Penumpang pada Tipikal Jalan Antar Kota Empat Lajur Dua Arah Terbagi. *Jurnal Jalan-Jembatan* 32(1): 1-15.
- Juniarta, I.W., I.N.W. Negara, dan A.A.N.A.J. Wikrama. 2012. Penentuan Nilai Konversi Mobil Penumpang Pada Ruas Jalan Perkotaan. *Jurnal Ilmiah Elektronik Infrastruktur Teknik Sipil* 1 (1), 1-7.
- Ko, J., and R.L. Guensler. 2005. *Characterization of Congestion Based on Speed Distribution: A Statistical Approach Using Gaussian Mixture Model*, TRB Committee on Highway Capacity and Quality of Service

- School of Civil and Environmental Engineering Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Krammas, R., and K. Crowley. 1986. Passenger Car Equivalents for Trucks on Level Freeway Segments. *Transportation Research Record* 1194: 10-17.
- Kusnandar, E. 2009. *Pengkinian Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kutz, M. 2011. *Handbook of Transportation Engineering, Second Edition, Volume II: Application and Technology*. McGraw-Hill Education: New York.
- Morlok, E.K., 1978. *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*. Terjemahan Yani Sianipar. Erlangga: Jakarta.
- Nugraha, K.M.H.N., 2016. "Ekivalensi Mobil Penumpang Berdasarkan Metode Kecepatan pada Ruas Jalan Tol Dalam Kota dan Luar Kota". Skripsi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha.
- Prima, G.R., Iskandar, H., Joewono, T.B. 2014. Kajian Nilai Ekivalensi Mobil Penumpang Berdasar Data Waktu Antara pada Ruas Jalan Tol. *Jurnal Jalan-Jembatan* 31(2): 74-82.
- Priyanto, S. 2000. Penentuan Nilai Emp Pada Ruas Jalan Dengan Metode Analisis Kapasitas. *Jurnal Forum Teknik Sipil* 24(1).
- Rahka, H., A. Traini, and Ahn K. 2004. *Development of Passenger Car Equivalents for Basic Freeway Segment*.
- Roess, R. P., E. S. Prassas., and W. R. McShane. 2004. *Traffic Engineering 3<sup>rd</sup> edition*. Pearson Prentice Hall: New Jersey
- Saha, P., M.I. Mahmud, Q.S. Hossain., and MD.Z. Islam. 2009. Passenger Car Ekuivalen (PCE) of Through at Vehicles Signalized Intersections in Dhaka Metropolitan City, Bangladesh. *International Assotiation of Transportation and Safety Sciences (IATSS)*: Bangladesh.
- Shalini, K., dan B. Kumar. 2014. Estimation of the Passenger Car Equivalent: A Review, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 4(6), 97-102.
- Sweroad. 1997. "Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997", Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Bandung.
- TRB (Transportation Research Board). 2000. *Highway Capacity Manual 4<sup>th</sup> edition*. TRB: Washington, DC.
- Werner, A., and J. Morrall. 1976. Passenger Car Equivalencies of Trucks, Buses, and Recreational Vehicles for Two-Lane Rural Highways. In *Transportation Research Record* 615. TRB: Washington, DC.
- Van Aerde, M., and S. Yagar. 1983. Capacity, Speed, and Platooning Vehicle Equivalents for Two-Lane Rural Highways. *Transportation Research Record* (971): 58-67.
- Vadeby, A. and A. Forsman. 2014. Speed Distribution and Traffic Safety Measures. *Transport Research Arena* 2014: Paris.