

**ESTIMASI KAPASITAS BERDASAR DATA WAKTU ANTARA
PADA JALAN ANTAR KOTA
EMPAT LAJUR DUA ARAH TERBAGI
(CAPACITY ESTIMATION BASED ON HEADWAY
ON FOUR-LANE-TWO-WAY DIVIDED INTERURBAN ROAD)**

Tri Basuki Joewono¹⁾, Sidiq Bagus Nurcahya²⁾, Vicky Satria Pratama³⁾

¹⁾Sekolah Pascasarjana, Universitas Katolik Parahyangan,
Jln. Merdeka 30, Bandung, 40117

^{2), 3)}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
Jln. Ciumbuleuit 94, Bandung, 40141

e-mail : ¹⁾ vftribas@unpar.ac.id, ^{2), 3)} bagus07410141@gmail.com

Diterima: 21 Oktober 2015; direvisi: 16 November 2015; disetujui: 1 Desember 2015

ABSTRAK

Desain dan evaluasi prasarana jalan memerlukan parameter lalu lintas yang sesuai dengan kondisi lalu lintas yang nyata. Variasi jumlah, jenis, dan dimensi kendaraan serta perilaku pengguna jalan yang beragam menunjukkan kemungkinan variasi nilai parameter lalu lintas, misalnya kapasitas jalan, sehingga menjadikannya sebagai variabel acak. Tujuan dilakukannya studi ini adalah menentukan nilai kapasitas dan menentukan nilai emp jalan antar kota Nagreg-Bandung menggunakan data waktu antara kendaraan. Nilai kapasitas jalan dianalisis dengan metode Dynamics Highway Capacity Estimation dan dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada saat lalu lintas campuran dan saat tanpa memperhitungkan sepeda motor. Hasil analisis mengkonfirmasi adanya variasi nilai kapasitas yang mengindikasikan nilai kapasitas sebagai variabel acak. Analisis menunjukkan kapasitas pada kondisi lalu lintas campuran adalah sebesar 2538 kendaraan/jam/arah, dan nilai kapasitas pada kondisi lalu lintas tanpa sepeda motor adalah 2557 kendaraan/jam/arah. Analisis juga menunjukkan bahwa nilai emp untuk kendaraan berat menengah adalah sebesar 1,41, bis besar 1,44, truk besar 2,09, dan sepeda motor 0,66.

Kata kunci: kapasitas, waktu antara, ekuivalensi mobil penumpang, jalan antar kota, empat lajur dua arah terbagi

ABSTRACT

The design and evaluation of road infrastructure needs traffic parameters that match with the real traffic conditions. Variety of number, types, and dimensions of vehicle including variety of road users' behaviors imply the possibility of the variety of the value of traffic parameters, especially road capacity, which make it as random variable. The objective of this study is to determine the capacity and the value of passenger car equivalence (pce) of the interurban road of Nagreg-Bandung by employing headway data. The value of capacity was analyzed using Dynamic Highway Capacity Estimation Method and was conducted in two conditions, namely at mix traffic and at no motorcycle in traffic. Analyses confirm the variability in capacity values which indicate the capacity value as a random variable. Result of analysis shows that the capacity at mix traffic condition is 2538 vehicle/hour/direction, while the value at no motorcycle in traffic amounts 2557 vehicle/hour/direction. Analysis also shows the pce value for medium heavy vehicles is 1.41, large buses 1.44, heavy truck 2.09, and motorcycle 0.66.

Keywords: capacity, headway, passenger cars equivalence, interurban road, four lanes two way divided

PENDAHULUAN

Untuk memenuhi permintaan kebutuhan pembangunan prasarana transportasi jalan, maka diperlukan pengetahuan tentang desain jalan dan analisis lalu lintas. Ada berbagai hal yang berpengaruh dalam mendesain jalan dan perlu diperhatikan saat melakukan analisis lalu lintas, misalnya jumlah kendaraan per satuan waktu, jenis kendaraan, kecepatan kendaraan, dan variasi volume kendaraan dari waktu ke waktu (Roess, Prassas, and McShane 2004). Kutz (2011) menyatakan bahwa karakteristik kendaraan, karakteristik pengemudi, dan infrastruktur jalan raya, serta cara dimana ketiga komponen tersebut berinteraksi, mempengaruhi kualitas operasional lalu lintas dan kapasitas fasilitas jalan raya. Ketepatan dan kelengkapan informasi akan membantu menghasilkan perancangan jalan yang baik. Sebagai contoh adalah persoalan kemacetan yang terjadi akibat ketidaktepatan permintaan atau akibat ketidaktepatan menentukan kapasitas jalan. Proses perancangan yang baik diharapkan dapat menghasilkan jalan yang memiliki kapasitas yang memadai dengan biaya yang pantas, tetapi nilainya tidak terlalu besar melampaui estimasi permintaan lalu lintas, agar dapat menghindari kemacetan di masa datang (Koshi 2006).

Proses perencanaan dan perancangan jalan maupun evaluasi kinerja prasarana jalan di Indonesia hingga saat ini masih merujuk pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia pada tahun 1997. Proses pengkinian telah dilakukan sejak 2010, walaupun belum dapat diaplikasikan secara resmi. Pada kenyataannya telah terjadi banyak perubahan di jalan dalam kurun waktu 20 tahun terakhir, baik dalam komposisi kendaraan yang didominasi oleh sepeda motor, jumlah dan dimensi kendaraan, serta perilaku pengguna jalan. Perubahan jumlah kendaraan dan perilaku berlalu lintas dipercaya mempengaruhi karakteristik lalu lintas (Prasetijo 2005) maupun kinerja prasarana. 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.

Salah satu parameter lalu lintas yang penting adalah kapasitas jalan. Kapasitas jalan menunjukkan kemampuan jalan untuk menanggapi pengemudi dan kendaraan yang diekspresikan dalam bentuk kecepatan kendaraan dan waktu antara kendaraan. Nilai kapasitas merupakan konsep sentral dalam perancangan jalan dan pengendalian lalu lintas (Minderhoud, Botma and Bovy 1997). Ketidaktepatan estimasi kapasitas jalan akan memberi pengaruh negatif pada studi-studi lalu lintas lainnya.

Definisi dan nilai kapasitas jalan telah mengalami perubahan sepanjang waktu. Sejak lama nilai kapasitas dianggap sebagai suatu nilai tetap yang berlaku untuk berbagai keadaan dan fasilitas (Elefteriadou et al. 2006). Pemahaman tentang kapasitas telah mengalami perkembangan dan hasil dari berbagai studi meyakini bahwa kapasitas pada kenyataannya merupakan variabel acak. Brilon et al. (2006) menyatakan bahwa banyak peneliti yang telah berhasil menunjukkan bahwa jumlah lalu lintas maksimum (*maximum traffic throughput*) yang dapat dilewatkan oleh suatu fasilitas jalan bebas hambatan adalah bervariasi. Elefteriadou and Lertworawanich (2003) menyimpulkan ada berbagai alternatif parameter yang dapat digunakan untuk mendefinisikan kapasitas dan nilai-nilai parameter tersebut adalah beragam dengan rentang hingga ratusan kendaraan per jam per lajur.

Berbagai studi telah dilakukan untuk mengembangkan metode estimasi kapasitas. Minderhoud, Botma dan Bovy (1997) melaporkan perbandingan metode-metode estimasi empiris besaran kapasitas jalan pada arus tak terganggu, yaitu distribusi waktu antara, metode distribusi bimodal, metode arus maksimal terpilih (*selected maxima*), serta metode probabilitas langsung, dimana estimasi dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis data, yaitu volume, kecepatan, kerapatan, atau waktu antara kendaraan. Chang dan Kim (2000) telah berusaha menentukan kapasitas menggunakan distribusi waktu antara dan volume lalu lintas. Modi et al. (2014) menentukan kapasitas menggunakan fungsi matematis yang dibangun dari data kecepatan-dan-arus serta menggunakan metode berdasar konsep distribusi peluang terjadinya kemacetan lalu lintas (*breakdown*).

Selain kapasitas, penyesuaian parameter lalu lintas agar sesuai dengan kondisi lokal Indonesia juga diperlukan untuk parameter ekivalen mobil penumpang (emp). Penyesuaian diperlukan dikarenakan 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 sebagai akibat dari dimensi kendaraan yang besar dan kecepatan yang rendah, sehingga dapat mengurangi kapasitas jalan (Sarvi and Ejtamai, 2003).

Pada umumnya pengembangan metode estimasi parameter lalu lintas menggunakan data empiris dari negara maju. Pengalaman dan karakteristik yang ada di negara sedang berkembang, seperti Indonesia, dipercaya berbeda dengan yang terjadi di negara maju, sehingga diperlukan studi dengan menggunakan data empiris dari negara sedang berkembang.

Beberapa studi estimasi parameter lalu lintas telah dilakukan untuk beragam kepentingan. Beberapa studi dilakukan dengan data terkini dan metode baru yang belum digunakan sebelumnya, sehingga dapat digunakan sebagai pembandingan dengan nilai yang tercantum dalam MKJI 1997 (SWEROAD 1977) serta akhirnya dapat digunakan untuk dijadikan dasar penentuan nilai baru yang dicantumkan dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia di masa mendatang. Beberapa contoh studi adalah yang dilakukan oleh Prima dkk. (2014) yang mengevaluasi nilai emp menggunakan data waktu antara pada ruas jalan tol yang dianalisis dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Krammas dan Crowley (1988). Joewono dkk. (2015) juga telah mengkaji nilai emp menggunakan data volume lalu lintas yang dianalisis menggunakan metode regresi linier berganda.

Dengan memperhatikan latar belakang tersebut, maka tujuan dari studi ini adalah:

1. Menganalisis nilai kapasitas dasar jalan menggunakan metode dinamis pada dua kondisi, yaitu saat ada pengaruh sepeda

- motor pada kondisi lalu lintas campuran serta saat tidak ada pengaruh sepeda motor;
2. Menganalisis nilai emp berdasar data waktu antara dan membandingkannya dengan nilai emp dalam MKJI 1997 (SWEROAD 1977).

KAJIAN PUSTAKA

Kapasitas sebagai Variabel Acak

Insinyur lalu lintas telah mengenali sejak lama persoalan ketidaktepatan dan ketidakpraktisan dari definisi kapasitas dalam HCM 2000 untuk dua alasan (Elefteriadou et al. 2006). Alasan pertama adalah adanya terminologi “nilai maksimum yang dapat diharapkan” dalam definisi kapasitas, dimana terminologi tersebut tidak cukup spesifik untuk mendapatkan nilai estimasi kapasitas dari data lapangan. Data lapangan telah menunjukkan bahwa arus maksimum untuk suatu fasilitas adalah bervariasi dari waktu ke waktu. Adapun definisi kapasitas saat ini tidak merefleksikan kenyataan adanya variasi tersebut. Alasan kedua adalah penggunaan nilai kapasitas sebagai nilai batas atas untuk tingkat pelayanan (LOS) dalam Highway Capacity Manual (HCM 2000), walaupun pada kenyataannya ada perdebatan dalam literatur tentang keberadaan dan besaran dari penurunan kapasitas (*capacity drop*) setelah terjadinya kemacetan (*breakdown*). Lebih lanjut, Elefteriadou et al. (2006) menyatakan perlunya untuk meninjau ulang dan mendefinisikan ulang kapasitas, sehingga dapat merefleksikan variabilitas pada nilai maksimum, memungkinkan terjadinya nilai maksimum pada beragam tingkat pelayanan, dan mendefinisikan cara mengukur kapasitas dengan cara yang eksplisit dan konsisten.

Elefteriadou et al. (2006) menyatakan bahwa apapun cara yang digunakan untuk menentukan dan mendefinisikan kapasitas suatu fasilitas, maka keseluruhan distribusi harus diperoleh atau fungsi distribusi peluang harus diestimasi berdasarkan pada sejumlah besar hari pengamatan. Pengukuran yang memadai perlu dilakukan untuk menghasilkan estimasi yang bagus untuk paling tidak mendapatkan nilai rata-rata dan selanjutnya digunakan untuk menentukan rentang kepercayaan (Elefteriadou et al. 2006). Selain itu, pemilihan lokasi merupakan hal yang

penting dalam pengukuran kapasitas dari nilai arus.

Keacakan Nilai Kapasitas

Definisi kapasitas berdasar HCM (2000) dapat dimodifikasi tanpa mengubah arti terlalu banyak menjadi sebagai berikut (Brilon, Geistefeldt and Regler 2006):

“Capacity is the maximum flow rate that achieves acceptable traffic performance of the facility and beyond which – in case of greater demand – proper operation fails”

Berdasar definisi tersebut, maka menjadi semakin jelas bahwa nilai kapasitas bukanlah nilai yang konstan. Ada bermacam kejadian yang mungkin mengubah situasi lalu lintas, sehingga akhirnya mengubah pola aliran lalu lintas, mulai dari perubahan dimensi fasilitas hingga tindakan pengurangan kecepatan oleh pengemudi. Kejadian-kejadian tersebut menjadi penyebab kemacetan (*breakdown*), sehingga besaran kapasitas diperlakukan sebagai variabel acak (*random variable*) (Brilon, Geistefeldt and Regler 2006).

Agar konsep keacakan dari kapasitas dapat menjadi lebih berguna, maka diperlukan pengetahuan lebih tentang fungsi distribusi dari kapasitas. Ada banyak peneliti yang telah melakukannya secara teoritik. Brilon et al., (2006) melaporkan model yang telah dibangun berdasar data jalan bebas hambatan yang diperoleh dari besaran statistiknya *lifetime data analysis* dan menghasilkan fungsi distribusi kumulatif kapasitas *c* sebagaimana ditampilkan dalam persamaan 1.

$$F_c(q) = p(c \leq q) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- $F_c(q)$ = fungsi distribusi kapasitas
- c = kapasitas (kend./jam)
- q = volume lalu lintas (kend./jam)

Statistik dari *lifetime data analysis* menyediakan metode untuk mengestimasi fungsi distribusi berdasar sampel yang melibatkan data yang disensor (*censored data*). Dengan menggunakan metode non-parametric berupa Product Limit Method (PLM) selanjutnya dapat diestimasi fungsi distribusi kapasitas (persamaan 2) (Brilon, Geistefeldt and Regler 2006).

$$F_c(q) = 1 - \prod_{i:q_i \leq q} \frac{k_i - d_i}{k_i}; i \in \{B\} \dots (2)$$

Keterangan:

- $F_c(q)$ = fungsi distribusi kapasitas
- q = volume lalu lintas (kend./jam)
- q_i = volume lalu lintas pada interval- i
- k_i = jumlah interval dengan volume lalu lintas $q \geq q_i$
- d_i = jumlah kemacetan (*breakdown*) pada volume q_i
- $\{B\}$ = kelompok interval kemacetan (*breakdown*)

Brilon, Geistefeldt dan Regler (2006) juga menganalisis fungsi distribusi kapasitas yang diestimasi menggunakan teknik kemiripan maksimum (Maximum Likelihood). Model fungsi distribusi kapasitas yang terbaik diperoleh untuk distribusi Weibull (persamaan 3).

$$F_c(q) = 1 - e^{-\left(\frac{q}{\beta}\right)^\alpha} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- $F_c(q)$ = fungsi distribusi kapasitas
- q = volume lalu lintas (kend./jam)
- α = parameter bentuk
- β = parameter skala (kend./jam)

Adapun nilai ekspektasi $E(c)$ dan variansi $\sigma^2(c)$ dari distribusi kapasitas dijelaskan dalam persamaan 4 dan 5. Adapun nilai parameter α dan β dapat diestimasi dengan memaksimumkan kemiripan fungsi L (atau logaritma naturalnya) seperti ditampilkan dalam persamaan 6. Contoh aplikasi kedua model tersebut dapat ditemukan dalam Brilon, Geistefeldt dan Regler (2006).

$$E(c) = \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \dots \dots \dots (4)$$

$$\sigma^2(c) = \beta^2 \cdot \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right]^2 \right\} \dots \dots (5)$$

$$L = \prod_{i=1}^n f_c(q_i)^{\delta_i} \cdot [1 - F_c(q_i)]^{1-\delta_i} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

$\Gamma(x)$ = fungsi Gamma di titik -x

$f_c(q_i)$ = fungsi kepadatan statistik dari kapasitas c

$F_c(q_i)$ = fungsi distribusi kumulatif statistik dari kapasitas c

n = jumlah interval

δ_i = 1, jika interval-i mengandung data yang tidak disensor

δ_i = 0, jika interval-i mengandung data yang disensor

Dynamics Highway Capacity Estimation

Metode *Dynamics Highway Capacity Estimation* dikembangkan oleh Hwang et al. (2005) dan diterapkan pada data lalu lintas yang nyata dan mampu menjelaskan situasi lalu lintas yang bervariasi secara dinamis. Besaran kapasitas jalan sebagai fungsi dari hubungan pengemudi, kondisi kendaraan, kecepatan kendaraan, dan waktu antara kendaraan dijelaskan dalam persamaan 7. Estimasi kapasitas jalan dalam satu jam ditunjukkan pada persamaan 8.

$$C_i = f(D, V, S, H) \dots\dots\dots (7)$$

$$C_i = \left\{ \frac{3600}{H} \mid H = g(D, V, S) \right\} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

C_i = kapasitas jalan-i

D = kondisi pengemudi

V = kondisi kendaraan

S = kecepatan kendaraan (km/jam)

H = waktu antara kendaraan (detik)

Jika kondisi pengemudi dan kondisi kendaraan mengikuti distribusi tertentu dan dinyatakan sebagai bagian kesalahan (*error term*), maka persamaan 8 dapat dituliskan seperti dalam persamaan 9. Beragam nilai kapasitas sesuai dengan nilai kecepatannya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 10.

$$H_{ci} = g'(S) + \varepsilon \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

H_{ci} = Waktu antara kendaraan pada C_i (detik)

ε = bagian kesalahan

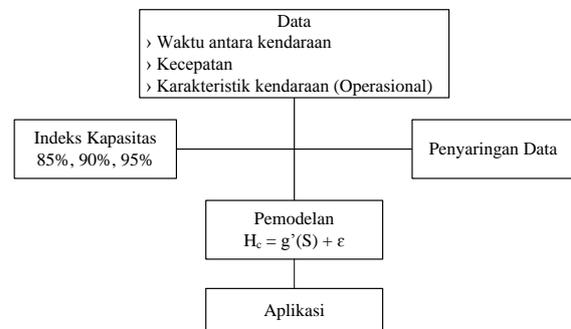
$$Cap_s = \frac{3600}{H_{ci}} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

Cap_s = kapasitas (kendaraan/jam/jalur)

H_{ci} = waktu antara kendaraan pada kapasitas (detik)

Kedua persamaan (7 dan 8) menjelaskan konsep dari kapasitas dinamis jalan yang dapat bervariasi sesuai kecepatan kendaraan. Secara bertahap, metode ini diselesaikan dalam empat tahap. Tahap pertama adalah pengumpulan data berupa data kecepatan dan waktu antara setiap kendaraan. Tahap kedua adalah penyaringan data, yaitu melakukan penyeleksian data yang dianggap abnormal, serta melakukan pemilihan data kapasitas menggunakan indeks kapasitas. Proses pemodelan merupakan tahap ketiga, yaitu melakukan estimasi koefisien model berdasar data yang sudah diseleksi. Tahap terakhir adalah mengidentifikasi besaran kapasitas dinamis menggunakan DHCE. Algoritma dari proses ini dijelaskan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Algoritma *Dynamics Highway Capacity Estimation* (Hwang et al., 2005)

Untuk menentukan tingkatan berdasar skala data, maka diperlukan studi khusus lainnya yang mengurutkan data dari kecil ke besar sepanjang waktu. Chang and Kim (2000) membangun model dengan menggunakan data 95%, 90%, dan 85%, serta membangun beragam persamaan, misalnya persamaan polynomial, linier, kuadrat, atau eksponensial.

Ekivalen Mobil Penumpang

Untuk memperhitungkan pengaruh kendaraan yang beragam pada arus lalu lintas diperlukan faktor konversi terhadap mobil penumpang. Faktor konversi berbagai jenis kendaraan menjadi mobil penumpang ini dikenal sebagai angka ekivalen mobil penumpang (emp) (Rahka et al., 2004). Konsep emp pertama kali diperkenalkan dalam *Highway Capacity Manual* (HCM) 1965 untuk memperhitungkan pengaruh truk dan bus dalam aliran lalu lintas (Rahka, Traini and Ahn 2004; Saha et al. 2009).

Konsep emp digunakan juga untuk menghitung efek kendaraan berat yang merugikan dalam arus lalu lintas (Benekohal and Zhao, 2000). Kendaraan berat diyakini memiliki dampak fisik pada kendaraan terdekat dan dampak psikologis terhadap pengendaranya (Krammas dan Crowley 1988). Besar nilai emp untuk setiap kendaraan akan berbeda tergantung pada arus lalu lintas yang terjadi. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi nilai emp, seperti jenis jalan, tipe alinyemen, dan volume lalu lintas.

Dalam menentukan nilai emp terdapat beberapa cara yang bisa dilakukan, misalnya penentuan berdasarkan kecepatan, volume, kapasitas, kerapatan, tundaan, dan waktu antara. Metode yang digunakan dalam perhitungan nilai emp juga bermacam-macam, yaitu metode semi empiris, metode *Walker's*, metode waktu antara, regresi linier, koefisien *homogenic*, dan metode simulasi (Rahka, Traini and Ahn. 2004). Diskusi singkat mengenai metode penentuan emp menggunakan data kecepatan dan data arus dapat ditemukan dalam Joewono, Tjastadipraja dan Rachmawan (2015).

Perhitungan emp menggunakan data waktu antara

Waktu antara telah digunakan dalam menghitung emp karena dianggap cocok untuk digunakan pada persimpangan atau jalan-jalan antar kota. Arus lalu lintas yang dievaluasi harus mengikuti disiplin berlalu lintas yang tinggi, yaitu berjalan pada satu lajur beriringan, sehingga waktu antaranya jelas dan dapat diperhitungkan (Iskandar 2010).

Werner dan Morrall (1976) menyarankan bahwa metode waktu antara paling cocok digunakan untuk menentukan emp pada tingkat

pelayanan yang rendah. Metode waktu antara digunakan dalam studi tersebut untuk truk yang berkecepatan rendah dan menggunakan metode konvensional HCM untuk truk dengan kecepatan yang lebih tinggi. Hasil studi tersebut selanjutnya direplikasi dalam HCM untuk truk kecepatan yang lebih tinggi.

Seguin (1982) merumuskan metode untuk menghitung emp yang mendefinisikan emp sebagai rasio rata-rata waktu antara kendaraan yang dibagi dengan rata-rata waktu antara mobil penumpang. Persamaan untuk menghitung emp berdasar rata-rata waktu antara ditunjukkan dalam persamaan 11.

$$emp_i = \frac{H_i}{H_{mp}} \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan:

emp_i = emp kendaraan tipe i

H_i = Nilai rata-rata waktu antara kendaraan tipe i

H_{mp} = Nilai rata-rata waktu antara mobil penumpang

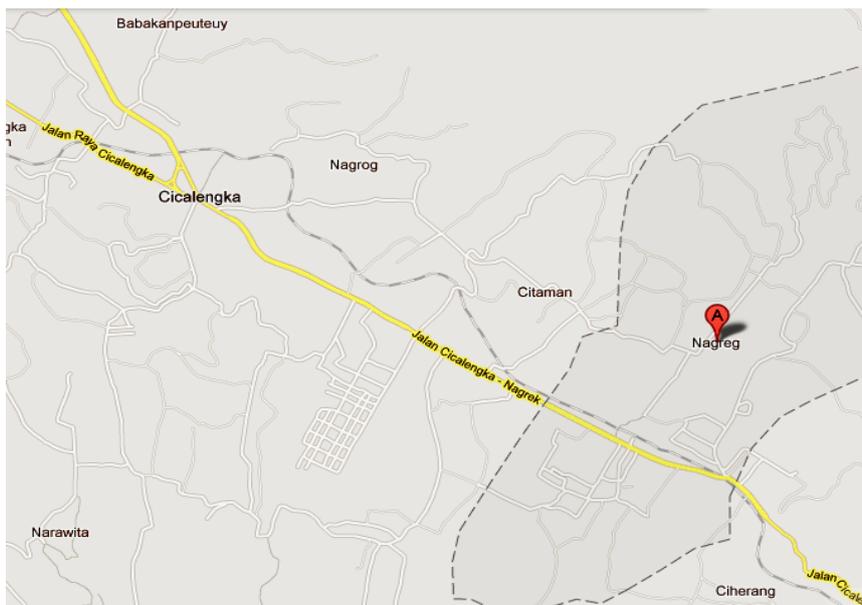
HIPOTESIS

1. Metode *Dynamics Highway Capacity Estimation* (DHCE) dapat memberikan hasil estimasi besaran kapasitas jalan.
2. Metode waktu antara dapat memberikan alternatif nilai ekivalensi mobil penumpang.

METODOLOGI

Pengumpulan data

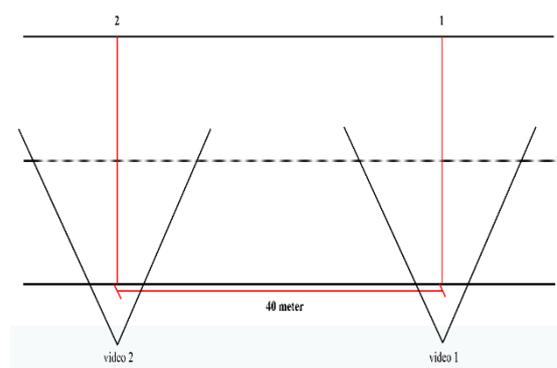
Pengamatan dilakukan di ruas jalan Nagreg – Bandung yang memiliki panjang 43,77 km dan termasuk jalan nasional yang menghubungkan ibukota Jawa Barat dengan kota sekitarnya, seperti Garut dan Tasikmalaya. Jalan Nagreg – Bandung merupakan jalan empat lajur dua arah terbagi. Lebar bahu jalan adalah 1,5 meter, lebar lajur 3,5 meter, dan lebar median jalan 3 meter. Jalan ini berada dalam kondisi medan datar. Gambar 2 menunjukkan peta jalur Nagreg - Bandung.



Gambar 2. Peta ruas jalan Nagreg – Bandung

Pengamatan dilakukan pada tanggal 13 sampai dengan tanggal 19 Februari tahun 2012. Durasi pengamatan per harinya adalah dua jam, yaitu pukul 12.00 hingga 14.00. Pengamatan dilakukan dengan durasi dan waktu yang sama selama tujuh hari pada lokasi pengamatan tersebut. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil pengamatan pada karakteristik jalan yang ditinjau dan waktu pengamatan yang sama dengan variasi hari.

Titik pengamatan berada pada daerah beralinyemen datar. Lokasi pengamatan ini dipilih agar mendapatkan posisi terbaik saat pembacaan data waktu antara dan kecepatan kendaraan. Pengamatan menggunakan bantuan video yang dilakukan pada ruas segmen sepanjang 40 meter. Alat perekam video yang digunakan dalam pengamatan ini berjumlah dua buah, dimana masing-masing alat perekam video diletakkan sejajar dengan garis pengamatan. Sketsa pengamatan disajikan pada Gambar 3. Panjang ruas segmen ditandai dengan menggunakan traffic cone sebanyak empat buah dan dibantu dengan garis melintang tepat di samping kerucut.



Gambar 3. Sketsa pengamatan

Setelah data kecepatan dan waktu antara diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah pembacaan data dan pengelolaan data. Khusus untuk pembacaan data waktu antara kendaraan digunakan enam kombinasi pasangan kendaraan. Kombinasi pasangan kendaraan tersebut dibentuk berdasarkan komposisi kendaraan yang melalui ruas jalan luar kota Nagreg-Bandung. Hasil pembacaan data kemudian digabungkan untuk mendapatkan distribusi waktu antara kendaraan dan kecepatan kendaraan.

Deskripsi Data Lalulintas Dengan Sepeda Motor

Jumlah total kendaraan yang melintas pada ruas jalan Nagreg - Bandung selama waktu pengamatan adalah 18759 kendaraan. Kecepatan terkecil dan terbesar yang teramati adalah sebesar 28,02 km/jam dan 97,96 km/jam, secara berurutan, yang keduanya ditemukan pada sepeda motor. Nilai waktu antara kendaraan yang terkecil adalah sebesar 1,16 detik dan yang terbesar sebesar 13,89 detik. Nilai rata-rata kecepatan kendaraan yang melintasi jalan Nagreg – Bandung adalah sebesar 62,23 km/jam dan nilai rata-rata waktu antara kendaraan adalah sebesar 4,33 detik. Deskripsi statistik data kecepatan dan waktu antara kendaraan yang lebih lengkap disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi statistik data kecepatan dan waktu antara kendaraan

Karakteristik Statistik	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Waktu Antara Kendaraan (detik)
N = 18759	Nilai Maksimal	97,96
	Nilai Minimal	28,02
	Nilai Rata-rata	63,23
	Deviasi Standar	12,49

Dari keseluruhan data yang diperoleh selanjutnya dilakukan pengurutan data dan pengelolaan data. Untuk keperluan analisis maka dipilih data set yang berasal dari 5%, 10%, dan 15% data tertinggi. Jumlah pengamatan yang diperoleh untuk 5%, 10%, dan 15% pengamatan tertinggi adalah sebanyak 935 kendaraan, 1870 kendaraan, dan 2805 kendaraan, secara berurutan. Deskripsi statistik data kecepatan dan waktu antara kendaraan untuk ketiga kelompok data disajikan pada Tabel 2. Hasil analisis statistika pada tiga kelompok data menunjukkan bahwa nilai kecepatan terbesar memiliki kemiripan untuk ketiga kelompok dengan besaran variasi yang sama. Kecenderungan yang sama diperoleh pada perbandingan waktu antara terkecil di tiga data kelompok tersebut.

Tabel 2. Deskripsi statistik data kecepatan dan waktu antara kendaraan untuk 5%, 10%, dan 15% data tertinggi

Karakteristik Statistik	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Waktu Antara Kendaraan (detik)
5% N = 935	Maksimum	97,96
	Minimum	71,93
	Rata-rata	87,23
	Deviasi Standar	6,69
10% N = 1870	Maksimum	97,96
	Minimum	70,73
	Rata-rata	84,51
	Deviasi Standar	6,26
15% N = 2805	Maksimum	97,96
	Minimum	68,60
	Rata-rata	82,44
	Deviasi Standar	6,20

Deskripsi Data Lalulintas Tanpa Sepeda Motor

Berdasar keseluruhan kendaraan yang dicatat, selanjutnya dilakukan pemilihan data untuk mengeluarkan data sepeda motor. Pemilihan data sepeda motor dilakukan untuk mendapatkan data tanpa keberadaan sepeda motor. Jumlah total kendaraan tanpa sepeda motor pada ruas jalan Bandung – Nagreg selama waktu pengamatan adalah 10112 kendaraan. Jumlah total kendaraan pada kondisi seluruh jenis kendaraan adalah 18759 kendaraan, sehingga jumlah sepeda motor adalah sebanyak 8647 kendaraan. Kecepatan terkecil adalah sebesar 29,83 km/jam yang ditemukan pada mobil penumpang, sementara kecepatan terbesar adalah sebesar 97,96 km/jam yang ditemukan pada bus besar. Nilai waktu antara kendaraan terkecil sebesar 1,16 detik dan waktu antara terbesar adalah 13,89 detik.

Hasil deskripsi statistik kecepatan dan waktu antara kendaraan tanpa sepeda motor disajikan pada Tabel 3. Pada keadaan lalulintas tanpa sepeda motor didapatkan nilai rata-rata kecepatan kendaraan yang melintasi jalan Nagreg – Bandung adalah sebesar 64,55 km/jam dan nilai rata-rata waktu antara kendaraan sebesar 4,65 detik.

Tabel 3. Deskripsi statistik data kecepatan dan waktu antara kendaraan tanpa sepeda motor

Karakteristik Statistik	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Waktu Antara Kendaraan (detik)
Maksimum	97,96	13,89
Minimum	29,83	1,16
N = 10112	Rata-rata 64,55	4,65
	Deviasi Standar 12,25	3,37

Tabel 4. Deskripsi statistik data kecepatan dan waktu antara kendaraan untuk 5%, 10%, dan 15% tanpa sepeda motor

Karakteristik Statistik	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Waktu Antara Kendaraan (detik)
5% N = 561	Maksimum	97,96
	Minimum	71,93
	Rata-rata	87,05
	Deviasi Standar	6,91
10% N = 1148	Maksimum	97,96
	Minimum	70,73
	Rata-rata	84,17
	Deviasi Standar	6,39
15% N = 1702	Maksimum	97,96
	Minimum	68,60
	Rata-rata	82,25
	Deviasi Standar	6,25

Analisis juga dilakukan menggunakan 5%, 10%, dan 15% data tertinggi pada kondisi tanpa sepeda motor. Pada kelompok data 5%, 10%, dan 15% pengamatan tertinggi didapat jumlah kendaraan sebanyak 561 kendaraan, 1148 kendaraan, dan 1702 kendaraan, secara berurutan. Hasil analisis statistika menunjukkan bahwa nilai kecepatan terbesar, nilai waktu

antara kendaraan terbesar, dan waktu antara terkecil mempunyai nilai yang mirip untuk tiga kelompok data dengan besaran nilai variansi yang juga seragam. Kecenderungan sedikit berbeda pada nilai kecepatan terkecil untuk tiga kelompok data walau dengan nilai variansi yang memiliki kemiripan. Deskripsi statistik lengkap disajikan pada Tabel 4.

HASIL DAN ANALISIS

Analisis kapasitas jalan dengan memperhitungkan sepeda motor

Analisis untuk mendapat nilai kapasitas jalan dilakukan dengan menggunakan metode *Dynamics Highway Capacity Estimation* (DHCE). Analisis diawali dengan membangun berbagai spesifikasi model regresi yang dilakukan pada setiap kelompok. Hasil analisis untuk masing-masing spesifikasi model disajikan pada Tabel 5.

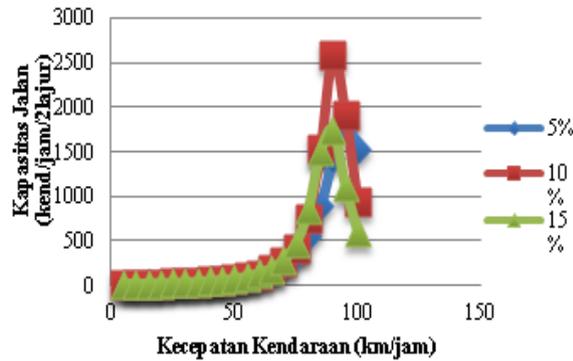
Hasil uji tiap variabel dan uji kesesuaian model menunjukkan bahwa masing-masing model memiliki signifikansi yang baik untuk koefisien regresi maupun model regresinya. Hal ini menunjukkan bahwa setiap model dapat digunakan. Walaupun demikian, dalam studi ini model kuadrat ditetapkan untuk dipilih.

Tabel 5. Hasil estimasi untuk data keseluruhan

Spesifikasi Model	Pemodelan			(R ²)	ANOVA		
5%	Kuadrat	Y =	175,872	- 3,645 X	+ 0,019 X ²	0,790	0,000
		p-value	0,000	0,000	0,000		
	Polinomial	Y =	158,755	+ X ^{-34,583}		0,734	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Linier	Y =	-0,405 X	+ 39,737		0,718	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Eksponensial	Y =	3613,696	e ^{-0,080 X}		0,513	0,000
		p-value	0,000	0,000			
10%	Kuadrat	Y =	238,129	- 5,213 X	+ 0,029 X ²	0,717	0,000
		p-value	0,000	0,000	0,000		
	Polinomial	Y =	147,852	+ X ^{-32,369}		0,572	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Linier	Y =	-0,379 X	+ 36,331		0,546	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Eksponensial	Y =	1866,5940	e ^{-0,075 X}		0,391	0,000
		p-value	0,000	0,000			
15%	Kuadrat	Y =	237,466	- 5,316 X	+ 0,030 X ²	0,571	0,000
		p-value	0,000	0,000	0,000		
	Polinomial	Y =	125,398	+ X ^{-27,460}		0,411	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Linier	Y =	-0,322 X	+ 30,869		0,387	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Eksponensial	Y =	561,044	e ^{-0,062 X}		0,265	0,000
		p-value	0,000	0,000			

Keterangan : Y = Waktu Antara Kendaraan (detik), X = Kecepatan Kendaraan (km/jam)

Analisis selanjutnya adalah melakukan perhitungan nilai waktu antara kendaraan berdasarkan persamaan yang didapatkan berdasar hasil uji regresi. Langkah selanjutnya adalah melakukan estimasi kapasitas jalan dengan melakukan perhitungan yang memanfaatkan persamaan 10. Distribusi hubungan kecepatan dan kapasitas jalan untuk kelompok data 5%, 10%, dan 15% disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Distribusi hubungan kapasitas jalan dan kecepatan kendaraan

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai kapasitas jalan adalah sebesar 1831

kendaraan/jam/arah yang terjadi pada kecepatan sebesar 95 km/jam untuk kelompok 5%. Nilai kapasitas jalan sebesar 2583 kendaraan/jam/arah dengan kecepatan kendaraan sebesar 90 km/jam diperoleh pada kelompok 10%. Kapasitas jalan sebesar 1745 kendaraan/jam/arah diperoleh pada kelompok data 15% dengan kecepatan kendaraan sebesar 90 km/jam.

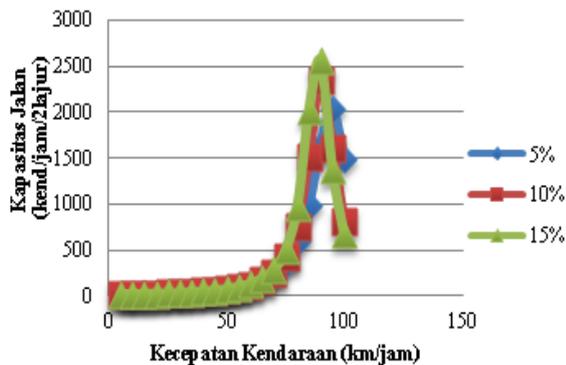
Analisis Kapasitas Jalan Tanpa Sepeda Motor

Data kecepatan dan waktu antara kendaraan untuk kelompok data 5%, 10%, dan 15% tanpa sepeda motor juga dianalisis menggunakan analisis regresi. Hasil analisis disajikan pada Tabel 6. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa hubungan terbaik ditemukan pada model regresi kuadrat berdasarkan hasil uji tiap variabel dan hasil uji kesesuaian model. Berdasar model tersebut kemudian dilakukan estimasi kapasitas jalan berdasar waktu antara kendaraan. Estimasi dilakukan untuk berbagai kelompok data tanpa sepeda motor, yaitu 5%, 10%, dan 15%. Distribusi kecepatan dan kapasitas jalan disajikan pada Gambar 5.

Tabel 6. Hasil estimasi untuk data tanpa sepeda motor

Spesifikasi Model		Pemodelan			(R ²)	ANOVA	
5%	Kuadrat	Y =	187,320	- 3,929 X	+ 0,021 X ²	0,797	0,000
		p-value	0,000	0,000	0,000		
	Polinomial	Y =	156,617	+ X ^{-34,110}		0,727	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Linier	Y =	-0,400 X	+ 39,227		0,708	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Ekspensial	Y =	2670,152	e ^{-0,077 X}		0,501	0,000
		p-value	0,000	0,000			
10%	Kuadrat	Y =	252,313	- 5,559 X	+ 0,031 X ²	0,725	0,000
		p-value	0,000	0,000	0,000		
	Polinomial	Y =	148,662	+ X ^{-32,566}		0,560	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Linier	Y =	-0,381 X	36,439		0,533	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Ekspensial	Y =	1591,678	e ^{-0,073 X}		0,370	0,000
		p-value	0,000	0,000			
15%	Kuadrat	Y =	249,259	- 5,589 X	+ 0,032 X ²	0,611	0,000
		p-value	0,000	0,000	0,000		
	Polinomial	Y =	132,201	+ X ^{-28,998}		0,434	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Linier	Y =	-0,340 X	32,280		0,408	0,000
		p-value	0,000	0,000			
	Ekspensial	Y =	681,430	e ^{-0,065 X}		0,277	0,000
		p-value	0,000	0,000			

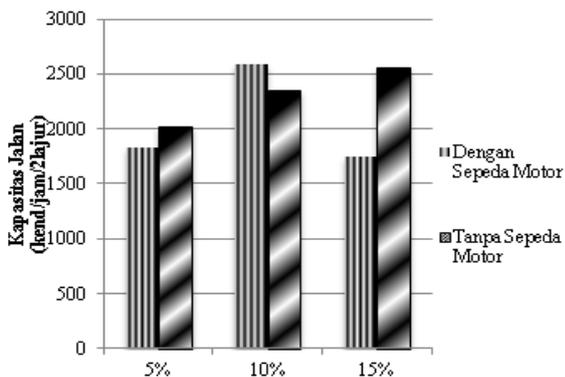
Keterangan : Y = Waktu Antara Kendaraan (detik), X = Kecepatan Kendaraan (km/jam)



Gambar 5. Distribusi hubungan kapasitas jalan dan kecepatan kendaraan tanpa sepeda motor

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai kapasitas jalan adalah 2027 kendaraan/jam/arah yang terjadi pada kecepatan 95 km/jam untuk kelompok data 5%. Kapasitas jalan sebesar 2355 kendaraan/jam/arah terjadi pada kecepatan 90 km/jam untuk kelompok data 10%. Nilai kapasitas jalan sebesar 2557 kendaraan/jam/arah terjadi pada kecepatan 90 km/jam untuk kelompok data 15%.

Untuk mengetahui pengaruh sepeda motor terhadap nilai kapasitas jalan antar kota, maka selanjutnya dilakukan perbandingan. Perbandingan nilai kapasitas pada kondisi lalulintas campuran dengan kondisi lalulintas tanpa sepeda motor disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan nilai kapasitas

Nilai kapasitas terkecil terjadi pada kelompok data 15% untuk kondisi lalulintas seluruh kendaraan, sedangkan nilai terbesar terjadi pada kelompok data 10% untuk kondisi lalulintas seluruh kendaraan. Data menunjukkan bahwa sepeda motor memiliki pengaruh pada kapasitas jalan, yaitu ada kecenderungan nilai kapasitas menjadi lebih besar saat tidak ada sepeda motor. Hal ini

ditunjukkan oleh data saat tanpa sepeda motor, dimana saat semakin banyak data yang dilibatkan, ternyata menunjukkan kecenderungan nilai kapasitas jalan yang semakin besar.

Analisis Ekuivalensi Mobil Penumpang

Perhitungan nilai emp dilakukan dengan menggunakan nilai rata-rata waktu antara untuk seluruh jenis kendaraan. Nilai rata-rata waktu antara untuk seluruh kendaraan dapat dilihat pada Tabel 7. Nilai emp untuk Kendaraan Ringan (KR) ditetapkan sebesar 1,0. Hasil perhitungan seluruh nilai rata-rata waktu antara dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai emp berdasar data waktu antara

Jenis kendaraan	Kombinasi kendaraan	Rata-rata waktu antara	Total rata-rata waktu antara	emp
kendaraan ringan	KR - SM	5,13	6,64	1
	KR - BS	6,54		
	KR - BB	6,33		
	KR - TM	8,12		
	KR - TB	7,51		
	KR - KR	6,24		
MHV	BS - SM	13,91	9,23	1,41
	BS - BS	8,13		
	BS - BB	7,44		
	BS - TM	10,52		
	BS - TB	9,31		
	BS - KR	7,22		
	TM - SM	9,88		
	TM - BS	7,56		
	TM - BB	7,63		
	TM - TM	8,76		
Bis Besar	BB - SM	10,55	9,59	1,44
	BB - BS	8,63		
	BB - BB	9,21		
	BB - TM	8,15		
	BB - TB	12,48		
	BB - KR	7,34		
Truk Besar	TB - SM	9,19	13,9	2,09
	TB - BS	9,57		
	TB - BB	17,11		
	TB - TM	14,29		
	TB - TB	15,62		
	TB - KR	8,75		
Sepeda Motor	SM - SM	4,10	4,41	0,66
	SM - BS	3,31		
	SM - BB	5,23		
	SM - TM	3,44		
	SM - TB	4,73		
	SM - KR	5,69		

Dalam perhitungan nilai emp, Bis Sedang (BS) dan Truk Medium (TM) digolongkan dalam Medium Heavy Vehicle (MHV). Dengan analisis nilai rata-rata waktu antara untuk MHV sebesar 9,23 detik, maka dihasilkan nilai emp-nya sebesar 1,41. Nilai

rata-rata waktu antara truk besar sebesar 13,9 detik dan menghasilkan nilai emp untuk sebesar 2,09. Adapun nilai rata-rata waktu antara untuk bis besar adalah sebesar 9,59 detik dan menghasilkan nilai emp sebesar 1,44. Untuk jenis kendaraan sepeda motor, maka nilai emp yang dihasilkan adalah sebesar 0,66.

PEMBAHASAN

Salah satu parameter lalu lintas yang penting adalah kapasitas jalan. Ketidaktepatan penentuan besaran kapasitas jalan akan berdampak luas pada pengukuran kinerja lalu lintas maupun hasil desain. Di Indonesia, pada umumnya besarnya kapasitas diestimasi dengan merujuk pada MKJI 1997. Dalam kurun waktu sejak diterbitkannya hingga saat ini telah memunculkan banyak pertanyaan tentang kesesuaian nilai kapasitas yang dihasilkan dengan nilai kapasitas yang sebenarnya.

Studi ini mencoba mengestimasi nilai kapasitas jalan empat lajur dua arah terbagi dengan menggunakan metode *Dynamics Highway Capacity Estimation*. Estimasi dilakukan dengan keyakinan bahwa nilai kapasitas bukanlah suatu nilai konstan, namun merupakan suatu variabel acak. Pendekatan secara statistik digunakan dalam studi ini dengan memperkirakan distribusi nilai kapasitas untuk beragam jenis distribusi. Hasil yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk membuat hubungan antara distribusi kecepatan dan distribusi nilai kecepatan. Analisis ini dilakukan untuk dua keadaan, yaitu kondisi saat lalu lintas bercampur dengan keberadaan sepeda motor dan kondisi saat lalu lintas tidak memperhitungkan sepeda motor.

Studi ini menggunakan pendekatan yang sebelumnya belum digunakan di Indonesia, khususnya pendekatan estimasi parameter menggunakan variabel acak. Dengan metode ini dapat dikonfirmasi bahwa kapasitas jalan bukanlah suatu angka konstan, namun dapat bervariasi dari satu keadaan ke keadaan lain. Hal ini ditunjukkan dengan melakukan simulasi data yang digunakan dalam analisis, serta melakukan pemisahan data sepeda motor. Angka kapasitas yang bervariasi tersebut mendukung hipotesis bahwa kapasitas adalah variabel acak.

Hasil analisis menunjukkan bahwa ada variasi nilai kapasitas yang diperoleh untuk beragam kondisi, yaitu saat ada dan tidak ada sepeda motor. Variasi juga diperoleh saat data yang digunakan adalah berbeda, yaitu dilakukan dengan melakukan pemilahan data tertinggi. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa pendekatan statik untuk memperoleh nilai kapasitas adalah kurang tepat.

Hal lain yang menarik dari studi ini adalah pengaruh sepeda motor. Berbagai diskusi menduga bahwa sepeda motor memberi pengaruh positif pada besaran kapasitas, namun sebagian menduga bahwa ada batas tertentu sehingga selanjutnya keberadaan sepeda motor berpengaruh negatif. Studi ini menunjukkan bahwa keberadaan sepeda motor secara umum mengurangi besaran kapasitas. Semakin besar data pengamatan yang dilibatkan dalam analisis, maka semakin mengkonfirmasi kecenderungan adanya pengaruh negatif dari keberadaan sepeda motor dalam arus lalu lintas.

Studi ini juga mengestimasi nilai ekivalensi mobil penumpang dengan menggunakan data waktu antara. Penggunaan metode ini diharapkan dapat memberikan alternatif nilai, sehingga dapat digunakan untuk melakukan perbandingan serta menemukan metode yang paling cocok.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Studi ini mengeksplorasi besaran kapasitas yang didekati dengan pendekatan statistika. Pendekatan ini dipilih untuk mengkonfirmasi bahwa nilai kapasitas pada dasarnya adalah variabel acak. Analisis dilakukan dengan membagi data pengamatan dalam dua kelompok, yaitu dengan dan tanpa sepeda motor. Selanjutnya besaran nilai kapasitas diestimasi berdasarkan model hubungan kecepatan kendaraan dan waktu antara kendaraan.

Hasil analisis mendukung hipotesis yang pertama dari studi ini bahwa metode *Dynamics Highway Capacity Estimation (DHCE)* dapat memberikan hasil estimasi besaran kapasitas jalan. Studi ini berhasil mendapatkan nilai kapasitas serta mengkonfirmasi variasi nilai kapasitas.

Dengan model kuadrat yang dipilih dari beberapa spesifikasi yang dicoba dalam studi ini, maka didapatkan nilai kapasitas jalan sebesar 2538 kendaraan/jam/arah pada kondisi lalu lintas campuran di jalan antar kota Nagreg – Bandung, sedangkan saat tidak ada sepeda motor maka didapatkan nilai kapasitas sebesar 2557 kendaraan/jam/arah.

Analisis juga menunjukkan bahwa nilai kapasitas terkecil terjadi pada kondisi lalu lintas seluruh kendaraan dengan 15% data tertinggi. Pada kelompok ini terjadi perbedaan yang besar, sedangkan perbedaan nilai kapasitas terkecil terjadi pada kelompok data 10%. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa ada pengaruh negatif keberadaan sepeda motor terhadap kapasitas jalan.

Studi ini lebih lanjut mendukung hipotesis yang kedua, yaitu bahwa metode waktu antara dapat memberikan alternatif nilai ekivalensi mobil penumpang. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan metode waktu antara, maka nilai emp yang didapat untuk sepeda motor adalah sebesar 0,66, bis besar sebesar 1,44, truk besar sebesar 2,09 dan kendaraan berat menengah sebesar 1,41.

Hasil perbandingan nilai emp pada nilai arus menengah menunjukkan bahwa nilai emp truk besar dan sepeda motor cenderung lebih besar dibandingkan dengan nilai emp MKJI. Hal tersebut menjelaskan bahwa pengaruh keberadaannya dalam aliran lalu lintas semakin besar. Nilai emp untuk nilai arus tinggi mempengaruhi nilai emp kendaraan berat menengah dan bis besar menjadi lebih kecil dari nilai emp MKJI, sedangkan nilai emp truk besar dan sepeda motor menjadi lebih besar dibandingkan dengan nilai emp MKJI. Truk besar dan sepeda motor memiliki pengaruh yang lebih besar dalam arus. Perbandingan nilai emp saat arus sangat tinggi menunjukkan perubahan nilai emp untuk kendaraan berat menengah, bis besar, dan sepeda motor yang cenderung lebih kecil. Truk besar memiliki nilai emp yang lebih besar. Hal ini dapat dimengerti dikarenakan kendaraan berat menengah, bis besar, dan sepeda motor memberi pengaruh yang besar pada arus lalu lintas.

Saran

Berdasar temuan dari studi ini dan untuk mengembangkan topik penelitian ini di masa datang, maka perlu dilakukan studi lanjutan mengenai pemanfaatan data waktu antara kendaraan pada lalu lintas campuran untuk berbagai kondisi jalan. Studi tersebut diperlukan agar dapat dibangun model yang lebih lengkap untuk merepresentasikan kondisi jalan yang ada di Indonesia. Secara khusus pengaruh sepeda motor merupakan hal yang semakin penting untuk dipelajari.

Adapun analisis mengenai angka ekivalensi merupakan topik penelitian lanjutan yang diperlukan. Ada beragam metode yang dapat dicoba kesesuaiannya, misalnya metode simulasi lalu lintas, regresi linier, dan Walker's. Studi tersebut diperlukan dalam rangka menyusun angka ekivalensi yang paling sesuai dengan kondisi Indonesia.

UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis menyampaikan penghargaan kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan survei hingga studi ini dilaksanakan. Ucapan terima kasih yang besar 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

- Benekohal, R.F., Zhao, W. 2000. Delay-Based Passenger Car Equivalents for trucks at Signalized Intersections. *Transportation Research*. 437-457
- Brilon, W., Geistefeldt, J., Regler, M. 2006. "Randomness of Capacity Idea and Application". *Proceeding of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service*, Nakamura, H. & Oguchi, T. (Eds.), Vol. 1, 147-157. Yokohama: Japan Society of Traffic Engineers
- Chang, M., Kim, Y. 2000. Development of Capacity Estimation Method from Statistical

- Distribution of Observed Traffic Flow, *Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity*.
- Elefteriadou, L. and Lertworawanich, P. 2003. *Defining, Measuring, and Estimating Freeway Capacity*. Annual Meeting. Washington, D.C.: Transportation Research Board
- Elefteriadou, L. et al. 2006. "Revisiting the Definition and Measurement of Capacity". *Proceeding of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service*, Nakamura, H. & Oguchi, T. (Eds.), Vol. 2, 391-399.
- Iskandar, H. 2010. *Cara Pemutakhiran Nilai Ekuivalen Mobil Penumpang Dan Kapasitas Dasar Ruas Jalan Luar Kota*. Bandung: Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan.
- Joewono, T.B, Tjastadipradja, M.A.R., Rachmawan, A-t. 2015. "Kajian Ekuivalensi Mobil Penumpang pada Tipikal Jalan Antar Kota Empat Lajur Dua Arah Terbagi". *Jurnal Jalan-Jembatan* Vol. 32, No.1, 1-15.
- Koshi, M. 2006. "Questions and Problems related to Capacity and Quality of Service in Japan". *Proceeding of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service*, Nakamura, H. & Oguchi, T. (Eds.), Vol. 1, 1-5. Yokohama: Japan Society of Traffic Engineers.
- Krammas, R., Crowley, K. 1986. Passenger Car Equivalents for Trucks on Level Freeway Segments. *Transportation Research Record* 1194, 10-17.
- Kutz, M. 2011. *Handbook of Transportation Engineering*, Second Edition, Volume II: Application and Technology. New York: McGraw-Hill.
- Minderhoud, M.M., Botma, H., Bovy, P.H.L. 1997. "Assessment of Roadway Capacity Estimation Methods", *Transportations Research Record* 1572: 59-67
- Modi, V., Kondyli, A., Washburn, S.S., McLeod, D.S. 2014. "Freeway Capacity Estimation Method for Planning Applications". *Journal of Transportation Engineering* Vol. 140 (9): 1-9.
- Prasetijo, J. 2005. "Development of New Method of Capacity Analysis at Unsignalized Intersections under Mixed Traffic Flow (Preliminary Design for Indonesia)", *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, 967 – 983. Bangkok: EASTS.
- Prima, G.R., Iskandar, H., Joewono, T.B. 2014. "Kajian Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang Berdasar Data Waktu Antara pada Ruas Jalan Tol". *Jurnal Jalan-Jembatan* Vol. 31, No. 2: 74-82.
- Priyanto, S. 2000. "Penentuan Nilai Emp Pada Ruas Jalan Dengan Metode Analisis Kapasitas". *Jurnal Forum Teknik Sipil* Vol. XXIV No. 1.
- Rahka, H., Traini A., Ahn K. 2004. *Development of Passenger Car Equivalents for Basic Freeway Segment*. Virginia: Blacksburg.
- Roess, R. P., Prassas, E. S., McShane, W. R. 2004. *Traffic Engineering*. 3rd ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Saha, P. et al. 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, August 6, Vol 33
- Sarvi, M., Ejtemai, O. 2011. *Exploring Heavy Vehicles Car Following Behaviour*. Adelaide: Australian Transport Research Forum (ATRF).
- Sweroad. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga .
- Werner, A., Morrall, J. 1976. "Passenger Car Equivalencies of Trucks, Buses, and Recreational Vehicles for Two-Lane Rural Highways". In *Transportation Research Record 615*. Washington, D. C: TRB.