

Jurnal

JALAN - JEMBATAN

Jurnal Jalan-Jembatan adalah wadah informasi bidang Jalan dan Jembatan berupa hasil penelitian, studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah terkait yang meliputi **Bidang Bahan dan Perkerasan Jalan, Geoteknik Jalan, Transportasi Dan Teknik Lalu-Lintas serta Lingkungan Jalan, Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan**. Terbit pertama kali tahun 1984 dengan frekuensi terbit tiga kali setahun pada bulan April, Agustus dan Desember. Sesuai Surat Keputusan LIPI No.484/AU3/P2MI-LIPI/08/2012 Jurnal Jalan-Jembatan telah mendapat **Akreditasi**.

Pelindung

Kepala Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

Pembina

Ka. Balai Bahan dan Perkerasan Jalan
Ka. Balai Geoteknik Jalan
Ka. Balai Teknik Lalu Lintas dan Lingkungan Jalan
Ka. Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan
Ka. Bagian Tata Usaha
Ka. Bidang Sumber Daya Kelitbangan
Ka. Bidang Program dan Kerjasama

Penanggung Jawab

Ka. Bidang Standar dan Diseminasi

Redaktur

Prof. DR. Ir. Furqon Affandi, M.Sc

Redaksi Pelaksana

Rakhman Taufik, ST., M.Sc
Dulmanan, SAB
Ir. Nono, M.Eng.Sc
Ir. Benyamin Saptadi., M.Si
Dra. Yeyeh Kursiah, Dipl. TEFL
Dewi Siti Bayduri, ST
Roro Willis, S.Pd

Desain Grafis/ Fotografer

Gelar Ermaya Nugraha

Internal Editor

Prof. DR. Ir. Furqon Affandi, M.Sc (Bidang Bahan dan Perkerasan Jalan, Kementerian PU dan Perumahan Rakyat)
DR. Djoko Widajat, M.Sc (Bidang Bahan dan Perkerasan Jalan, Kementerian PU dan Perumahan Rakyat)
Dr. Ir. M. Eddie Sunaryo, M.Sc (Bidang Geoteknik Jalan, Kementerian PU dan Perumahan Rakyat)
Drs. Gugun Gunawan, M.Si (Bidang Teknik Lingkungan Jalan, Kementerian PU dan Perumahan Rakyat)
DR. Ir. Hikmat Iskandar, M.Sc (Bidang Lalu Lintas Jalan, Kementerian PU dan Perumahan Rakyat)

Mitra Bestari

Prof. Ir. Wimpy Santosa, M.Sc. PhD (Bidang Transportasi dan Teknik Lalu Lintas Jalan; Universitas Katolik Parahyangan)
Prof. Ir. Bambang Sugeng S, DEA (Bidang Teknik Perkerasan Jalan; Institut Teknologi Bandung)
Prof. DR. Ir. Aziz Jayaputra, M.Sc (Bidang Geoteknik; Institut Teknologi Bandung)
Prof. DR. Ir. Soegijanto, M.Si (Bidang Fisika Teknik/Lingkungan; Institut Teknologi Bandung)
Prof. DR. Ir. Bambang Suryatmono, M.Sc (Bidang Teknik Struktur; Universitas Katolik Parahyangan)
Prof. Ir. Lanneke Tristanto (Bidang Jembatan & Bangunan Pelengkap Jalan, HPJI)
Ir. GJW Fernandez (Bidang Geoteknik Jalan, HPJI)

Sekretariat

Bernandus Respati Wibowo, SE
Decky Arief Sandy

Jurnal Jalan-Jembatan diterbitkan oleh Puslitbang Jalan dan Jembatan Badan Litbang, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Alamat Redaksi/Penerbit:

Puslitbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang, Kementerian Pekerjaan Umum
Jl. A.H. Nasution No. 264, Kotak Pos 2 Ujungberung – Bandung 40294 Tlp. (022)7802251-7802252-7802253
e-mail : Jurnal.jalanjembatan@pusjatan.pu.go.id, Jurnaljalanjembatan@yahoo.com Fax. : (022)7802726-7811479

PRAKATA

Redaksi Jurnal Jalan Jembatan, pada edisi Volume 32 No. 1, April 2015 menyampaikan enam tulisan yang berkaitan dengan bidang lalu lintas, bahan perkerasan jalan dari aspal, bahan untuk beton, bidang konstruksi jembatan.

Tulisan yang pertama berkenaan dengan kajian ekivalensi mobil penumpang dan model hubungan parameter lalu lintas pada jalan antar kota empat lajur dua arah terbagi. Kajian menggunakan data dari survey lapangan, yang diperoleh bahwa nilai ekivalensi mobil penumpang hasil kajian berbeda dengan apa yang sudah ada pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 97) dan hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan merupakan hubungan yang paling sesuai.

Tulisan yang kedua menyampaikan kajian pasir dari letusan gunung Merapi untuk beton mutu tinggi. Dari hasil percobaan laboratorium pasir dari gunung Merapi tersebut dapat dikembangkan sebagai bahan beton mutu tinggi, dengan proporsi sebesar 35% dari berat total agregat, dimana kuat tekan betonnya bisa mencapai mutu tinggi. Kekuatan lainnya yaitu kuat lekatnya juga di bahas.

Tulisan yang ke tiga, berkenaan dengan sifat jembatan integral di Indonesia yang mempunyai keuntungan dibandingkan dengan jembatan konvensional, antara lain bisa mengurangi biaya pemeliharaan. Tulisan ini mengemukakan hasil monitoring lapangan dan analisis pada jembatan integral di Sumedang.

Tulisan yang keempat menyajikan pemanfaatan bahan limbah minyak mentah yang dikenal dengan *oily sludge*, untuk bahan peremaja pada campuran beraspal dingin dengan menggunakan *Buton Rock Asphalt 5/20*. Berdasarkan percobaan laboratorium didapat bahwa campuran dingin dengan *Buton Rock Asphalt* yang menggunakan bahan peremaja *oily sludge* mempunyai karakteristik yang lebih baik dibanding dengan campuran dingin yang menggunakan aspal MC 800.

Tulisan yang berikutnya atau tulisan ke lima berkenaan dengan pemanfaatan limbah *tailing* dari hasil ekstraksi Asbuton untuk bahan *paving block*. Percobaan laboratorium yang dilakukan menunjukkan bahwa limbah *tailing* Asbuton ini dapat digunakan sebagai bahan *paving block*. Karakteristik *paving block* yang dihasilkan bisa digunakan untuk perkerasan jalan lingkungan, halaman parkir sesuai dengan Persyaratan Mutu dan Cara Uji *Paving block* dari Standar Nasional Indonesia.

Tulisan yang ke enam atau tulisan yang terakhir menyampaikan kajian tentang deliminasi pada perkuatan balok beton dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Pada kajian ini dibahas pengaruh jumlah lapisan CFRP pada kuat lentur balok beton dan pengaruh penambahan *U jacket* pada deliminasi.

Kami tidak lupa ucapkan terima kasih khusus kepada Prof. Ir. Wimpy Santosa, M.Sc. PhD; Prof. Dr. Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc; Prof. Dr. Ir. Bambang Sugeng DEA atas bantuan, masukkan dan kerjasamanya pada terbitan ini, dan juga terima kasih kami sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Aziz Jayaputra, M.Sc; Prof. DR. Ir. Soegijanto., M.Si atas kesediannya sebagai anggota mitra bestari Jurnal Jalan – Jembatan.

Semoga tulisan - tulisan yang kami sajikan tersebut, bermanfaat bagi pengambil kebijakan, konsultan, pelaksana, perencana di bidang jalan dan jembatan, para pengajar serta mahasiswa dan pembaca pada umumnya.

Selamat membaca

Ketua Dewan Redaksi

JURNAL JALAN-JEMBATAN

DAFTAR ISI

| | |
|---|---------|
| Prakata | i |
| Daftar Isi | ii |
| Kajian Ekuivalensi Mobil Penumpang Pada Tipikal Jalan Antar Kota Empat Lajur Dua Arah Terbagi <i>(Study on Passenger Car Equivalence on Four – Lane - Two - Way Divided Typical Interurban Road)</i> Tri Basuki Joewono, Mokhammad Akbar Raharja Tjastadipradja, At-thur Rachmawan | 1 – 15 |
| Pemanfaatan Pasir Merapi Untuk Beton Mutu Tinggi <i>(Usage of Merapi Sand for High-Grade Concrete)</i> Lasino, A.Tatang Dachlan, Rudy Setiadji | 16 – 31 |
| Kajian Hasil Sistem Monitoring Jembatan Integral Sinapeul Ditinjau dari Regangan Kepala Jembatan <i>(The Study of Sinapeul Integral Bridge Monitoring System Based on Abutment Strain)</i> N. Retno Setiati | 32 – 43 |
| Pemanfaatan <i>Oily-Sludge</i> Sebagai Bahan Peremaja <i>Buton Rock Asphalt</i> untuk Campuran Dingin <i>(Utilization of Oily-Sludge as a Rejuvenator of Buton Rock Asphalt For Cold Mix)</i> Madi Hermadi, Yohanes Ronny, Anwar Yamin | 44 - 53 |
| Pengaruh Penambahan Abu Terbang Pada <i>Paving Block</i> Berbahan Baku <i>Tailing Asbuton</i> <i>(The Influence of Fly Ash Addition on Asphalt Tailing Paving Block)</i> WS. Witarso, Lasino | 54 – 60 |
| Delaminasi Lapis Majemuk <i>CFRP</i> pada Balok Beton Bertulang Skala Terbatas <i>(Delamination of CFRP Multilayers on Reinforced Concrete Sub-Scale Beam)</i> Mirza Ghulam R., Ujang Ruslan | 61 – 74 |

**KAJIAN EKIVALENSI MOBIL PENUMPANG
PADA TIPIKAL JALAN ANTAR KOTA EMPAT LAJUR
DUA ARAH TERBAGI
(STUDY ON PASSENGER CAR EQUIVALENCE ON FOUR – LANE- TWO
- WAY DIVIDED TYPICAL INTERURBAN ROAD)**

Tri Basuki Joewono¹⁾, Mokhammad Akbar Raharja Tjastadipradja²⁾, At-thur Rachmawan³⁾

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

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

¹⁾ e-mail: vftribas@unpar.ac.id,

²⁾ e-mail: akbar.raharja@gmail.com

Diterima:.....; direvisi:.....; disetujui:.....

ABSTRAK

Evaluasi kinerja jalan memerlukan pembaharuan informasi terbaru mengenai besaran parameter lalu lintas, hubungan antar parameter, serta nilai ekivalensinya. Informasi tersebut juga bermanfaat dalam upaya memperbaharui manual kapasitas jalan. Tujuan studi ini adalah membangun model hubungan parameter lalu lintas serta mengevaluasi nilai ekivalensi mobil penumpang pada ruas jalan antar kota empat lajur dua arah. Analisis mencari hubungan antara parameter arus lalu lintas dengan menggunakan metode statistika dan data pada ruas jalan empat lajur dua arah terbagi di Bandung – Nagreg. Hasil menunjukkan bahwa hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan merupakan hubungan yang paling sesuai. Analisis mendapatkan bahwa kapasitas jalan tersebut adalah 1644 smp/jam/lajur dan kecepatan arus bebas adalah sebesar 62,1 km/jam. Besarnya nilai ekivalen mobil penumpang dengan data interval per 5 menit adalah 0,993 untuk truk menengah, 1,599 untuk bus besar, 1,751 untuk truk besar, dan 0,198 untuk sepeda motor. Temuan nilai emp ini adalah lebih kecil dari nilai emp dalam MKJI 1997, kecuali untuk jenis bus besar yang nilainya lebih besar.

Kata kunci: ekivalensi mobil penumpang, arus, kecepatan, kerapatan, empat-lajur-terbagi

ABSTRACT

Evaluation of road performance needs updated information about the value of traffic parameters, relationship of parameters, and equivalence value. This information is also beneficial in the effort of updating road capacity manual. The aims of this study are to estimate model of the relationship of traffic parameters and to evaluate the value of passenger car equivalence on four-lane-two-way-divided interurban road. Analyses employed data from Bandung-Nagreg road. Analyses show that linear relationship between speed and density is the most suitable. Analyses found that the value of road capacity amounted to 1644 pcu/hour/lane and the free flow speed was 62.1 km/hour. The values of passenger car equivalent with 5-minute interval data are 0.993 for medium trucks, 1.559 for large buses, 1.751 for heavy trucks, and 0.198 for motorcycles. These values are lower than the value of MKJI 1997, except for large bus with higher value.

Keywords: passenger cars equivalence, flow, speed, density, intercity, four-lane-divided

PENDAHULUAN

Kinerja lalu lintas dipengaruhi oleh elemen-elemennya, yaitu pengemudi, kendaraan, infrastruktur, serta kondisi lingkungan. Salah satu elemen penting adalah kendaraan yang melintas di jalan. Tiap jenis kendaraan mempunyai karakteristik yang bervariasi dan memberi pengaruh yang berbeda pula pada parameter lalu lintas. Adapun kendaraan yang melintas pada suatu ruas jalan umumnya terdiri atas berbagai jenis atau tidak homogen, sehingga untuk menjelaskan parameter lalu lintas akan lebih praktis bila dinyatakan dengan satuan yang sama, misalnya satuan mobil penumpang (smp) per jam untuk menjelaskan volume. Untuk mengkonversi jumlah kendaraan yang pada awalnya beragam menjadi satuan yang sama, yaitu satuan mobil penumpang per jam, maka diperlukan faktor konversi. Faktor tersebut dikenal sebagai ekuivalen mobil penumpang (emp).

Dari waktu ke waktu nilai emp berubah-ubah, karena adanya perubahan dari kondisi sarana dan prasarana (Partha *et al.* 2009). Contoh perubahan nilai emp dapat ditunjukkan pada suatu ruas jalan yang mengalami perubahan dimensi lajur. Perubahan dimensi lajur dapat menyebabkan perubahan pada arus lalu lintas yang akhirnya mempengaruhi angka emp.

Penentuan angka ekuivalen telah dilakukan dengan berbagai cara atau metode. Studi tersebut telah dilakukan dengan menggunakan data dari berbagai jenis jalan di berbagai negara. Shalini and Kumar (2014) melakukan review dan mencatat bahwa angka ekuivalen mobil penumpang (*passenger car equivalent*) dapat ditentukan berdasarkan arus dan kerapatan, waktu antara (*headway*), pelepasan arus dari antrian (*queue discharge flow*), kecepatan, tundaan (*delay*), rasio volume dan kapasitas, jam-kendaraan (*vehicle-hour*), waktu perjalanan, dan menggunakan empiris dari *United State Highway Capacity Manual (HCM)*. Di Indonesia, studi serupa pernah dilakukan oleh Prima *et al.* (2014) yang melakukan studi penentuan nilai emp untuk kendaraan di ruas jalan tol menggunakan metode waktu antara.

Lebih lanjut lagi, perubahan dan karakteristik unik yang ada di jalan-jalan di Indonesia menuntut diperlukannya pemahaman

tentang hubungan antar parameter lalu lintas. Hubungan parameter lalu lintas ini menjadi dasar dalam merencanakan, mendesain, dan mengoperasikan jalan (Underwood 1999). Hubungan parameter lalu lintas juga dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik jalan. Untuk itu diperlukan studi yang mempelajari hubungan antar parameter. Hall (2001) menyatakan bahwa tantangan selanjutnya adalah membangun sejumlah persamaan yang secara konsisten dapat mereplikasi realitas.

Dengan memperhatikan perubahan yang telah terjadi serta diperlukannya upaya mendukung evaluasi manual kapasitas jalan di Indonesia, maka diperlukan analisis angka ekuivalen pada berbagai kondisi jalan. Juga diperlukan studi yang mencari model hubungan parameter lalu lintas yang tepat. Tujuan studi ini adalah:

- 1) Menentukan angka emp kendaraan berat dan membandingkannya dengan nilai emp dalam MKJI 1997, serta
- 2) Menganalisis model hubungan antar parameter lalu lintas pada jalan antar kota empat lajur dua arah terbagi pada ruas jalan Bandung-Nagreg.

KAJIAN PUSTAKA

Hubungan parameter lalu lintas

Parameter pada arus lalu lintas dapat dibedakan menjadi dua bagian utama, yaitu parameter makroskopik dan parameter mikroskopik (Roess Prassas, and McShane 2004). Parameter makroskopik menunjukkan arus lalu lintas secara umum, sedangkan parameter mikroskopik menunjukkan perilaku kendaraan individu dalam suatu arus lalu lintas yang terkait antara satu dengan yang lainnya. Suatu aliran arus lalu lintas secara mikroskopik dapat dijelaskan oleh tiga variabel dasar, yaitu kecepatan (*speed*), volume, dan kerapatan (*density*) (Roess, Prassas, and McShane 2004).

Arus lalu lintas pada sarana transportasi diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu arus lalu lintas tak terganggu (*uninterrupted flow*) dan arus lalu lintas terganggu (*interrupted flow*). Arus lalu lintas tak terganggu (*uninterrupted flow*) dapat ditemukan pada fasilitas saat kegiatan lalu lintas tidak terganggu oleh rambu lalu lintas. Arus ini biasanya terjadi

pada jalan antar kota dan jalan bebas hambatan. Arus lalu lintas terganggu (*interrupted flow*) terjadi saat kegiatan lalu lintas terganggu oleh rambu lalu lintas (Garber dan Hoel 2002). Arus ini umumnya terjadi di persimpangan dan di jalan yang terdapat rambu parkir atau stop.

Dari berbagai parameter lalu lintas, maka dapat dibuat berbagai hubungan, yaitu hubungan arus dengan kecepatan, arus dengan kerapatan, dan kecepatan dengan kerapatan. Hubungan antar parameter lalu lintas yang paling dasar dinyatakan dalam persamaan 1.

$$Q = D \times U_s \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- Q = arus lalu lintas (smp/jam)
- D = kerapatan (smp/km)
- U_s = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

Persamaan tersebut secara aljabar mengijinkan suatu nilai arus untuk terjadi pada sembarang nilai kombinasi kecepatan dan kerapatan, namun ada hubungan tambahan yang membatasi variasi kondisi arus yang dapat terjadi pada suatu lokasi (TRB 2010). Lebih lanjut lagi, pada umumnya hubungan antar parameter dilakukan dengan dua asumsi (Immers and Logghe 2002). Asumsi pertama adalah ketidakberubahan (*stationary*), yaitu arus diasumsikan tidak berubah sepanjang jalan dan sepanjang waktu pengamatan. Asumsi kedua adalah arus diasumsikan disusun oleh kendaraan yang sejenis (homogen). Ada banyak model matematis yang telah dikembangkan untuk menjelaskan kenyataan lalu lintas. Diskusi yang cukup lengkap mengenai sejarah pengembangan model hubungan parameter lalu lintas dapat ditemukan dalam Dhingra & Gull (2011).

Hubungan antara kecepatan dan arus merupakan hubungan yang paling banyak dipelajari (Hall 2001). Dalam HCM (Indonesia 1994) dapat ditemukan hubungan tersebut, dimana kecepatan bernilai tetap walaupun besaran arus meningkat hingga ke suatu tempat kira-kira antara setengah hingga dua pertiga nilai kapasitas, dan kecepatan berkurang sedikit pada nilai sekitar kapasitas. Gambaran tersebut tidak didasarkan pada suatu teori tertentu, tetapi didasarkan pada generalisasi hasil-hasil empiris (Hall 2001). Namun, perkembangan penelitian selanjutnya berbeda dari pekerjaan awal

tersebut, dimana dimulai dari suatu hipotesis tentang prinsip-prinsip dan dilanjutkan dengan analisis data pada tahap selanjutnya. Diskusi berbagai hubungan arus dan kecepatan dapat ditemukan dalam Hall *et al.* (1992).

Studi-studi selanjutnya mempertanyakan tentang bentuk dari kurva hubungan arus dan kecepatan, khususnya di sekitar nilai kapasitas. Banyak studi menemukan bahwa nilai kecepatan akan tetap konstan walaupun pada nilai arus yang cukup tinggi (Hall 2001). Revisi dari HCM (Indonesia 1994) mengelaborasi kurva tersebut menjadi dua bagian, yaitu bagian saat kecepatan arus bebas (*free-flow speeds*) dan bagian yang tidak bernilai kecepatan arus bebas. Bagian yang berbeda dari kecepatan arus bebas dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu titik saat kecepatan mulai berkurang dari kecepatan arus bebas dan bagian saat kecepatan berada pada nilai kapasitas.

Dengan memperhatikan penelitian terdahulu hingga yang terbaru mengenai hubungan arus dan kecepatan, maka dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik tentang hubungan arus dan kecepatan yang dihasilkan. Model hubungan parabolik antara arus dan kecepatan yang dihasilkan dari hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan yang dipublikasikan oleh Greenshields (1935) merupakan model yang harus dipelajari. Model tersebut dibentuk dari hasil pengamatan di satu arah jalan pada jalan dua lajur dua arah pada suatu hari libur di tahun 1934. Data yang dimodelkan berasal dari sejumlah kumpulan pengamatan yang masing-masing berjumlah 10 kendaraan, dimana tiap kelompok memiliki tumpang tindih data sebanyak 90%. Adapun pengamatan nomor 51 berasal dari jalan lain yang diamati pada hari lain. Walaupun demikian, model Greenshields masih terus digunakan hingga sekarang. Informasi lebih detail tentang studi tersebut dibahas dalam TRB (2011). Persoalan terkait dengan model yang dihasilkan Greenshields tersebut dibahas oleh Hall (2001) dan ditemukan beberapa hal, yaitu:

- 1) Tidak digunakannya data jalan bebas hambatan
- 2) Tumpang tindih data dan pengelompokan data yang digunakan untuk estimasi model
- 3) Pengamatan dilakukan pada hari libur

Berdasarkan pengamatan Duncan (1976; 1979) diketahui bahwa perhitungan kerapatan dari data kecepatan dan arus menyebabkan bias pada estimasi fungsi arus dan kecepatan. Hal ini merupakan konsekuensi dari tiga hal, yaitu transformasi non-linier yang melibatkan kedua arah, sifat stokastik dari observasi, dan ketidakmampuan untuk menyesuaikan waktu dan ruang dari kerangka pengukuran (Hall 2001).

Hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan ini menjadi hubungan paling populer dalam tinjauan pergerakan lalu lintas. Hal ini terjadi mengingat fungsi hubungannya adalah yang paling sederhana, sehingga mudah diterapkan. Keuntungan lainnya adalah kemampuannya menunjukkan hubungan dasar antar parameter lalu lintas tanpa ditutupi oleh kompleksitas hubungan non-linier antara kecepatan dan kerapatan (Mannering and Washburn 2013). Bentuk linier tersebut dapat dituliskan seperti nampak dalam persamaan 2, sedangkan hubungan parameter lain ditunjukkan dalam persamaan 3, 4, dan 5. Gambar 1 menunjukkan hubungan antara kecepatan dan kerapatan.

$$U_s = U_f - \frac{U_f}{D_j} \times D \dots \dots \dots (2)$$

$$Q = U_f \times D - \frac{U_f}{D_j} \times D^2 \dots \dots \dots (3)$$

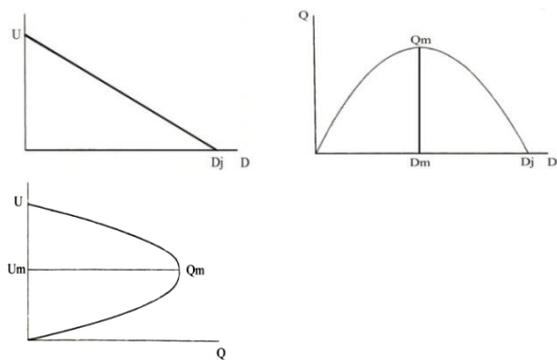
$$D = \frac{U_j}{2}$$

$$U_s = U_f - \frac{U_f \times Q}{D_j \times U_s} \dots \dots \dots (4)$$

$$Q = D_j \times U_s - \frac{D_j \times U_s^2}{U_f} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

- U_s = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)
- U_f = kecepatan arus bebas (km/jam)
- D_j = kerapatan pada saat arus macet (smp/km)
- D = kerapatan (smp/km)
- Q_m = arus maksimum (smp/jam)
- D_m = kerapatan maksimum (smp/km)
- U_m = kecepatan pada kondisi arus maksimum (km/jam)



Gambar 1. Hubungan antar parameter menurut Greenshield (Roess, McShane, and Prassas 1998)

Hal yang menarik dari model hubungan antara kecepatan dan kerapatan dapat ditelusuri dari hubungan linier antara keduanya seperti disampaikan oleh Greenshields (1934) yang terus digunakan secara luas hingga kini (Hall 2001). Ada banyak studi yang mengkonfirmasi hasil tersebut, namun banyak pula yang memberikan hasil yang kontradiktif. Model awal yang kedua diberikan oleh Greenberg (1959) yang menggunakan hubungan logaritmik.

Selain kedua model tersebut, lima model lain yang dibandingkan oleh Drake *et al.* (1967) untuk mendapatkan model yang paling tepat adalah *two-part and a three-part piecewise linear model*, *Underwood's transposed exponential curve*, *Eddie's discontinuous exponential*, dan *a bell-shaped curve*. Hasil studi Drake *et al.* (1967) menunjukkan bahwa tidak ada model dari yang distudi yang memiliki kecocokan yang baik atau dapat menjelaskan data, dimana pengujian statistika hanya mampu memberikan sedikit informasi dan akhirnya keputusan didasarkan pada intuisi (Hall 2001).

Beberapa peneliti mengatakan bahwa kurva hubungan antara arus dan konsentrasi (*concentration*) merupakan diagram dasar lalu lintas. Walaupun demikian, banyak model hubungan arus dan konsentrasi diturunkan dari asumsi kurva hubungan antara kecepatan dan konsentrasi (Hall 2001).

Berbagai studi selanjutnya menemukan diperlukannya kurva yang terputus (*discontinuous curves*) untuk menjelaskan hubungan tersebut. Namun, model-model yang dihasilkan tidak memiliki kecocokan dengan

data pada saat mencapai nilai kapasitas. Adapun parameter yang dihasilkan juga tidak konsisten dari satu tempat ke tempat lain dan juga antar waktu. Pada umumnya hubungan antara arus dan konsentrasi lebih mengandalkan pada nilai pengisian (*occupancy*) dibandingkan kerapatan (*density*).

Hubungan antar parameter lalu lintas seringkali dibangun menggunakan pendekatan deterministik. Wang *et al.* (2009) membangun hubungan kecepatan dan kerapatan menggunakan pendekatan stokastik untuk mengatasi kelemahan dari model pendekatan deterministik. Pengembangan lebih lanjut terkait hubungan parameter lalu lintas dilakukan oleh Kockelman (2001) yang menganalisis dampak digunakannya informasi pelaku perjalanan dan kendaraannya serta informasi cuaca untuk melengkapi data lalu lintas dengan membangun model campuran (*mixture model*) perilaku perjalanan saat macet dan tidak macet.

Teori dan model arus lalu lintas yang ada saat ini pada umumnya tidak dapat menjelaskan kegagalan (*breakdown*) lalu lintas atau penyebab utama dari pola-pola kemacetan. Teori tersebut dijadikan dasar model pembebanan lalu lintas dinamis dan metode pengendalian jalan bebas hambatan, walaupun nyatanya tidak konsisten dengan keadaan lalu lintas yang sebenarnya. Dengan alasan tersebut, Kerner pada tahun 1996-2002 memperkenalkan teori lalu lintas tiga fase (*three-phase traffic theory*) yang dapat memprediksi dan menjelaskan perilaku spasiotemporal secara empiris dari kegagalan lalu lintas dan yang menyebabkan kemacetan (Kerner 2011).

Hubungan antar parameter, misalnya kecepatan dan arus, dapat dinyatakan sebagai fungsi kerapatan yang tetap (*steady-state dependence*), namun dapat pula dinyatakan sebagai bergantung waktu. Fenomena transisi dari fase arus bebas menjadi fase lalu lintas yang mengalami perhentian dan pergerakan (*stop-and-go traffic*) menunjukkan munculnya fluktuasi acak parameter lalu lintas yang membentuk kemacetan dan dikenal sebagai *breakdown*, yang dinyatakan sebagai penurunan kecepatan pada suatu lalu lintas yang rapat (Liebe *et al.* 2011). Liebe *et al.* (2011) menggunakan model probabilistik untuk menjelaskan dinamika tersebut, dimana pengaruh yang tidak dapat diprediksi

dinyatakan sebagai gaya stokastik yang menghasilkan peleton kendaraan (*vehicular platoons/vehicular clusters*) yang keluar dari keadaan *metastable*.

Perkembangan lebih lanjut dilakukan oleh Hoogendoorn *et al.* (2011) yang mengusulkan kerangka pemodelan stokastik yang terintegrasi yang memungkinkan untuk memodelkan peluang-peluang terjadinya breakdown dan transisi fase menggunakan model gelombang kinematika. Hoogendoorn *et al.* (2011) berhasil mereproduksi karakteristik-karakteristik utama dari peluang terjadinya breakdown dan operasi arus lalu lintas lainnya.

Ekivalensi mobil penumpang

Kendaraan yang melewati suatu jalan umumnya terdiri atas berbagai macam model, bentuk, ukuran, dimensi, maupun beratnya (Indonesia 1997). Dalam hubungannya dengan kapasitas jalan, pengaruh dari berbagai macam kendaraan terhadap keseluruhan arus lalu lintas dihitung dengan membandingkan pengaruh kendaraan tersebut dengan mobil penumpang. Pengaruh mobil penumpang dalam hal ini dipakai sebagai satuan yang disebut dengan satuan mobil penumpang (smp). Besaran faktor konversi kendaraan yang berlaku di Indonesia tertuang dalam buku Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (Indonesia 1997). Nilai emp untuk jalan antar kota empat lajur dua arah terbagi disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Ekivalen mobil penumpang untuk jalan empat lajur dua arah terbagi (Indonesia 1997)

| Type Alinyemen | Arus Total (kend/jam) | | emp | | | |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | Jalan Terbagi per arah (kend/jam) | Jalan Tak Terbagi Total (kend/jam) | MHV | LB | LT | MC |
| | Datar | 0 | 0 | 1,2 | 1,2 | 1,6 |
| | 1000 | 1700 | 1,4 | 1,4 | 2,0 | 0,6 |
| | 1800 | 3250 | 1,6 | 1,7 | 2,5 | 0,8 |
| | > 2150 | > 3950 | 1,3 | 1,5 | 2,0 | 0,5 |
| Bukit | 0 | 0 | 1,8 | 1,6 | 4,8 | 0,4 |
| | 750 | 1350 | 2,0 | 2,0 | 4,6 | 0,5 |
| | 1400 | 2500 | 2,2 | 2,3 | 4,3 | 0,7 |
| | > 1750 | > 3150 | 1,8 | 1,9 | 3,5 | 0,4 |
| Gunung | 0 | 0 | 3,2 | 2,2 | 5,5 | 0,3 |
| | 550 | 1000 | 2,9 | 2,6 | 5,1 | 0,4 |
| | 1100 | 2000 | 2,6 | 2,9 | 4,8 | 0,6 |
| | > 1500 | > 2700 | 2,0 | 2,4 | 3,8 | 0,3 |

Penentuan nilai emp menggunakan data kecepatan

Van Aerde and Yagar (1983) mengembangkan metode penghitungan emp dengan memanfaatkan data kecepatan. Perhitungan dilakukan dengan membuat hubungan antara kecepatan (V) dan arus lalu lintas (Q) dengan menggunakan regresi linier berganda. Model regresi linier dari hubungan kecepatan dan arus yang dibangun dapat dilihat pada Persamaan 6.

Persamaan 7 digunakan untuk menentukan perbandingan koefisien dari masing-masing jenis kendaraan yang akan menghasilkan nilai emp. Nilai emp masing-masing jenis kendaraan, selain mobil penumpang, ditunjukkan oleh rasio antara koefisien tiap jenis kendaraan dibagi dengan koefisien dari mobil penumpang (LV).

$$U_{LV} = A - N_{LV} \cdot Q_{LV} - N_{MHV} \cdot Q_{MHV} - N_{LB} \cdot Q_{LB} - NT_{LT} \cdot Q_{LT} - NT_{MC} \cdot Q_{MC} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- U = kecepatan arus (km/jam)
- A = konstanta, representasi kecepatan arus bebas
- Q_{LV} = arus kendaraan ringan (kend/jam)
- Q_{MHV} = arus kendaraan sedang (kend/jam)
- Q_{LB} = arus bus (kend/jam)
- Q_{LT} = arus truk (kend/jam)
- Q_{SM} = arus sepeda motor (kend/jam)
- N_j = koefisien regresi variabel-j

$$emp_i = \frac{c_i}{c_1} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

- emp_i = emp kendaraan ke-i
- c_i = koefisien jenis kendaraan ke-i
- c₁ = koefisien mobil penumpang (LV)

Penentuan nilai emp menggunakan data arus

Penentuan nilai emp dengan menggunakan data arus akan terkait dengan kapasitas dasar, dimana ada hubungan antara *space mean speed* dengan kerapatan dalam berbagai kondisi arus (Iskandar 2010). Kondisi arus tersebut mencakup kerapatan paling lengang, dimana kecepatan arus bebas kendaraan dapat diamati. Kondisi lainnya adalah saat kerapatan meningkat dan mencapai kondisi optimum (kondisi kapasitas) sampai dengan kondisi macet.

Kriteria nilai emp ditetapkan berdasarkan pengaruh relatif volume kendaraan sedang (Q_{MHV}), volume bus besar (Q_{LB}), volume truk besar (Q_{LT}), dan volume sepeda motor (Q_{SM}) terhadap volume kendaraan ringan (Q_{LV}). Nilai emp untuk kendaraan ringan adalah 1,00 dan nilai emp kendaraan lainnya akan dibandingkan nilai tersebut (Iskandar 2010). Persamaan untuk menentukan nilai emp berdasarkan data arus ditunjukkan pada persamaan 8.

Dengan menyatakan bahwa angka emp untuk kendaraan ringan adalah 1,00, maka persamaan untuk menentukan emp dapat dituliskan seperti pada persamaan 9. Dari persamaan tersebut akan dihasilkan nilai emp, yaitu dengan cara menghitung koefisien dari setiap jenis kendaraan.

$$C = emp_{KR} \cdot Q_{KR} + emp_{MHV} \cdot Q_{MHV} + emp_{LB} \cdot Q_{LB} + emp_{LT} \cdot Q_{LT} + emp_{MC} \cdot Q_{MC} \dots\dots\dots(8)$$

$$Q_{LV} = C - emp_{MHV} \cdot Q_{MHV} - emp_{LB} \cdot Q_{LB} - emp_{LT} \cdot Q_{LT} - emp_{MC} \cdot Q_{MC} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

- C = kapasitas (smp/jam)
- Q_{MHV} = arus kendaraan sedang (kend/jam)
- Q_{LB} = arus bus (kend/jam)
- Q_{LT} = arus truk (kend/jam)
- Q_{SM} = arus sepedamotor (kend/jam)

HIPOTESIS

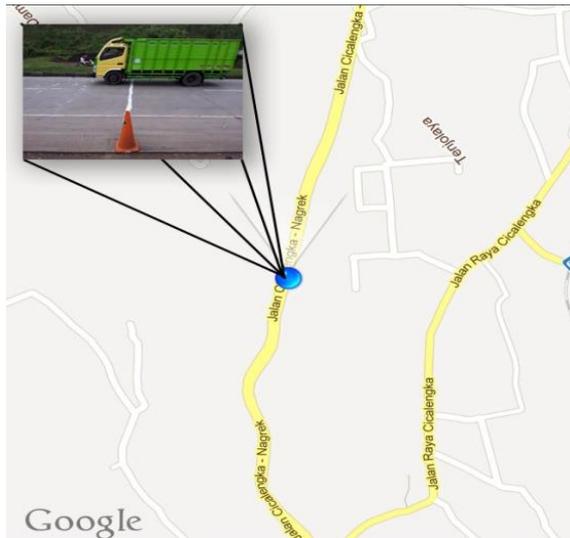
1. Perubahan komposisi jenis kendaraan akan mempengaruhi nilai emp.
2. Model arus lalu lintas konvensional masih cocok dan bisa menjelaskan arus lalu lintas dewasa ini yang mengalami perubahan karakteristik.

METODOLOGI

Pengumpulan data

Ruas Jalan Bandung–Nagreg merupakan jalan nasional yang mempunyai panjang jalan sepanjang 43,77 km. Ruas jalan ini merupakan jalan arteri empat lajur dua arah dengan perkerasan beton semen. Ruas Jalan yang diamati mempunyai lebar bahu jalan sebesar 1,5

meter, lebar masing-masing lajur sebesar 3,5 meter, dan median jalan sebesar 3 meter. Jalan ini berada pada kondisi medan yang datar. Survei lalu lintas untuk mengukur kecepatan dilakukan pada tanggal 13 Februari 2012 sampai dengan 19 Februari 2012 dengan durasi 2 jam/hari. Pengamatan dilakukan pada jam yang sama agar didapatkan kondisi arus lalu lintas yang sama. Lokasi survei ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Pengukuran Peta wilayah ruas jalan Bandung – Nagreg (*Google Maps 2011*)

Kendaraan pada ruas jalan Bandung - Nagreg yang melintas didominasi oleh sepeda motor dan kendaraan penumpang. Hal tersebut terjadi dikarenakan ruas jalan Nagreg merupakan penghubung antara Bandung dengan kota-kota di Priangan Timur, seperti Garut, Tasikmalaya dan Ciamis.

Dikarenakan ada beragam jenis kendaraan yang melintas dan agar dalam pengamatan tidak terjadi kesalahan dalam penggolongan jenis kendaraan, maka diperlukan deskripsi dari masing-masing jenis kendaraan. Kendaraan dapat dibedakan menjadi kendaraan ringan, kendaraan sedang, kendaraan berat, dan sepeda motor. Kendaraan ringan (LV) adalah jenis kendaraan bermotor beroda empat yang terdiri atas mobil penumpang dan pick-up. Mobil penumpang adalah kendaraan beroda empat yang digunakan untuk angkutan penumpang dengan maksimum 10 orang termasuk pengemudi (sedan, *station wagon*,

jeep). *Pick-up* adalah kendaraan beroda empat dan digunakan untuk angkutan barang dengan berat total (kendaraan dan barang muatan) kurang dari 2,5 ton.

Adapun kendaraan sedang (MHV) terdiri atas Bus kecil (BS) dan Truk Menengah (TM). Bus kecil (BS) adalah semua kendaraan yang digunakan untuk angkutan penumpang dengan jumlah tempat duduk sebanyak 10-20 termasuk pengemudi. Truk menengah (TM) adalah mobil hantaran dan mikro truk beroda empat yang digunakan sebagai angkutan barang dengan berat total (kendaraan dan barang muatan) kurang dari 2,5 ton.

Kendaraan berat terdiri atas Bus besar (LB) dan Truk besar (LT). Bus besar (LB) adalah semua kendaraan yang digunakan untuk angkutan penumpang dengan jumlah tempat duduk sebanyak 40 atau lebih termasuk pengemudi. Truk besar (LT) adalah semua kendaraan angkutan bermotor beroda empat atau lebih dengan berat total lebih dari 2,5 ton. Jenis kendaraan yang termasuk Truk besar adalah Truk 2-as, Truk 3-as, Trailer, dan Semi Trailer. Sepeda Motor (MC) adalah kendaraan bermotor beroda dua dengan jumlah penumpang maksimum 2 orang termasuk pengemudi. Jenis kendaraan yang termasuk sepeda motor adalah sepeda motor atau scooter.

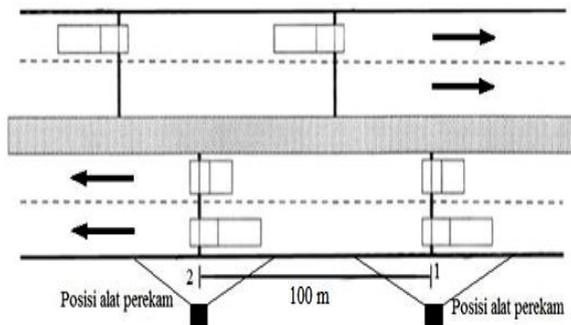
Data yang diperlukan dalam studi ini adalah data arus kendaraan (Q) dan kecepatan rata-rata ruang (*space mean speed*). Selain data tersebut diperlukan juga data geometrik jalan yang ditinjau. Data geometrik jalan didapat dengan cara mengukur langsung di lapangan secara manual.

Besarnya nilai arus lalu lintas didapat dengan mencatat jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu di lapangan dalam periode tertentu. Nilai kecepatan kendaraan diperoleh dengan mencatat waktu tempuh kendaraan dalam jarak yang telah ditetapkan di awal. Kecepatan yang digunakan dalam analisis ini adalah kecepatan rata-rata ruang.

Dalam pengumpulan data digunakan alat bantu, yaitu alat perekam (*Handycam*). Hal pertama yang dilakukan dalam pengumpulan data ini adalah menentukan terlebih dahulu segmen jalan yang akan ditinjau dan menandainya dengan cat putih dan melengkapinya dengan *traffic cone*. *Handycam* diletakkan di sebelah bahu jalan, sehingga didapat luas pengamatan yang mencakup

seluruh daerah yang dibatasi oleh cat putih dan *traffic cone*. Gambar 3 mengilustrasikan penempatan kamera.

Pengumpulan data kecepatan dan kerapatan dilakukan bersamaan dengan pengumpulan data volume lalu lintas. Pengumpulan data kecepatan didahului dengan mencatat waktu tempuh kendaraan menggunakan alat pengukur waktu. Alat pengukur waktu yang digunakan adalah *stopwatch*. Dalam penelitian ini kendaraan yang dicatat kecepatannya adalah setiap kendaraan ke-sepuluh yang melintas dalam interval 15 menit tersebut. Pengumpulan data waktu tempuh kendaraan dilakukan per 15 menit selama 24 jam. Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan posisi pengambilan *video* pada garis pertama dan kedua yang ditandai oleh *traffic cone*.



Gambar 3. Skema penempatan kamera dalam survei



Gambar 4. Ilustrasi pengambilan data waktu tempuh kendaraan pada *traffic cone* pertama



Gambar 5. Ilustrasi pengambilan data waktu tempuh kendaraan pada *traffic cone* kedua

Setelah data waktu tempuh diperoleh, selanjutnya dilakukan pencatatan kecepatan tiap kendaraan. Berdasarkan data kecepatan tiap kendaraan, selanjutnya dihitung kecepatan arus lalu lintas. Data kerapatan didapat dengan menggunakan hubungan dasar antara volume, kecepatan, dan kerapatan. Nilai kerapatan per interval 15 menit didapat dengan menggunakan persamaan 1. Satuan nilai kerapatan yang akan didapat oleh persamaan tersebut adalah satuan mobil penumpang per kilometer per lajur.

HASIL DAN ANALISIS

Analisis angka ekuivalen mobil penumpang

Pada analisis penentuan nilai emp dibuat tiga jenis kelompok pengklasifikasian jenis kendaraan. Hal ini berguna untuk mendapatkan klasifikasi yang terbaik dalam penentuan nilai emp di ruas jalan yang ditinjau. Klasifikasi jenis kendaraan yang baik dapat dilihat dari nilai korelasi antara kendaraan ringan dengan kendaraan lainnya. Bila nilai korelasi antara kendaraan ringan dengan kendaraan lainnya mendekati satu, maka hubungan antara variabel tersebut dapat dikatakan kuat. Kekuatan hubungan tersebut mengimplikasikan bahwa pengelompokan tersebut adalah sesuai. Tiga jenis kelompok pengklasifikasian jenis kendaraan yang digunakan dalam studi ini adalah klasifikasi dengan lima penggolongan jenis kendaraan, klasifikasi dengan empat penggolongan jenis kendaraan, dan klasifikasi menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 (Indonesia 1997).

Hasil analisis korelasi antara mobil penumpang dan kendaraan lainnya untuk ketiga

jenis kelompok pengklasifikasian kendaraan pada ruas Jalan arah Nagreg - Bandung disajikan pada Tabel 2. Klasifikasi dengan lima jenis kendaraan dan klasifikasi dengan empat jenis kendaraan selanjutnya digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Penentuan nilai emp membutuhkan nilai arus dari masing-masing jenis kendaraan. Perhitungan nilai emp arus lalu lintas dilakukan pada beberapa interval waktu pengamatan, yaitu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Dengan menggunakan tiga buah interval waktu dan dua buah kelompok klasifikasi selanjutnya dilakukan uji ANOVA. Uji ANOVA dilakukan untuk mengetahui seberapa baik model yang dibangun tersebut, sehingga selanjutnya dapat diketahui waktu pengamatan yang paling sesuai. Hasil uji ANOVA dengan klasifikasi lima jenis kendaraan dapat dilihat pada Tabel 3 dan untuk klasifikasi dengan empat jenis kendaraan dapat dilihat pada Tabel 4.

Model yang dibangun dengan data interval 5 menit dan 10 menit adalah lebih baik dibandingkan dengan interval 15 menit. Hal tersebut dapat dilihat pada nilai signifikansi masing-masing model. Model dengan data interval 5 menit dan 10 menit mempunyai nilai signifikansi di bawah tingkat keterandalan yang digunakan, yaitu 0,05. Model yang dibangun dengan data interval per 15 menit dari kedua

klasifikasi tidak dianalisis lebih lanjut. Analisis selanjutnya adalah menguji kesesuaian masing – masing koefisien tiap variabel. Model untuk klasifikasi lima jenis kendaraan disajikan pada Tabel 5 dan untuk klasifikasi empat jenis kendaraan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5 menunjukkan bahwa model dengan klasifikasi lima jenis kendaraan untuk kedua interval waktu memiliki p-value lebih besar dari 0,05 untuk beberapa variabel. Adapun model dengan klasifikasi empat jenis kendaraan, menunjukkan bahwa model dengan interval 5 menit merupakan model yang lebih baik dibandingkan dengan model untuk interval 10 menit. Model dengan interval 5 menit memiliki kesesuaian yang lebih baik untuk seluruh variabel.

Dari keempat model regresi linier yang dibangun, maka dapat disimpulkan bahwa model regresi linier yang baik adalah model dengan data interval 5 menit dengan klasifikasi empat jenis kendaraan. Nilai emp kendaraan yang dihasilkan dengan model regresi tersebut adalah 0,993 untuk truk menengah, 1,599 untuk bus besar, 1,751 untuk truk besar, dan 0,198 untuk sepeda motor. Tabel 7 menyajikan rangkuman model yang dihasilkan, sekaligus menunjukkan emp dari masing-masing jenis kendaraan yang ditinjau.

Tabel 2. Nilai korelasi antara jenis kendaraan

| | | LV | BS | LB | TM | LT | MC |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Klasifikasi lima jenis kendaraan | <i>Pearson Correlation</i> | 1 | 0,295 | 0,471 | 0,327 | 0,201 | 0,235 |
| | <i>Significant (2-tailed)</i> | | 0,013 | 0,000 | 0,004 | 0,203 | 0,086 |
| | <i>N</i> | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 | 162 |
| | | LV | TM | LB | LT | MC | |
| Klasifikasi empat jenis kendaraan | <i>Pearson Correlation</i> | 1 | 0,364 | 0,378 | 0,245 | 0,198 | |
| | <i>Significant (2-tailed)</i> | | 0,001 | 0,000 | 0,058 | 0,218 | |
| | <i>N</i> | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | |
| | | LV | MHV | LB | LT | MC | |
| Klasifikasi MKJI 1997 | <i>Pearson Correlation</i> | 1 | 0,240 | 0,278 | 0,136 | 0,188 | |
| | <i>Significant (2-tailed)</i> | | 0,003 | 0,000 | 0,091 | 0,019 | |
| | <i>N</i> | 155 | 155 | 155 | 155 | 155 | |

Keterangan: LV = Mobil Penumpang; BS = Bus Sedang; MHV = Kendaraan Sedang; LB = Bus Besar; TM = Truk Menengah; LT = Truk Besar; MC = Sepeda Motor

Tabel 3. Hasil uji ANOVA untuk klasifikasi lima jenis kendaraan

| Interval | Model | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Signifikan |
|----------|------------|----------------|-----|-------------|--------|------------|
| 5 Menit | Regression | 434,535,930 | 5 | 86,907,186 | 10,053 | 0,000 |
| | Residual | 1,357,311,727 | 157 | 8,645,298 | | |
| | Total | 1,791,847,656 | 162 | | | |
| 10 Menit | Regression | 150,447,905 | 5 | 30,089,581 | 5,038 | 0,001 |
| | Residual | 424,082,173 | 71 | 5,972,988 | | |
| | Total | 574,530,078 | 76 | | | |
| 15 Menit | Regression | 9,342,362 | 5 | 1,868,472 | 0,385 | 0,856 |
| | Residual | 184,525,274 | 38 | 4,855,928 | | |
| | Total | 193,867,636 | 43 | | | |

Tabel 4. Hasil uji ANOVA untuk klasifikasi empat jenis kendaraan

| Interval Waktu | Model | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|------------|----------------|-----|-------------|--------|--------------------|
| 5 Menit | Regression | 378741,522 | 4 | 94685,380 | 10,955 | 0,000 ^a |
| | Residual | 1339664,478 | 155 | 8642,997 | | |
| | Total | 1718406,000 | 159 | | | |
| 10 Menit | Regression | 133469,221 | 4 | 33367,305 | 5,261 | 0,001 |
| | Residual | 456625,948 | 72 | 6342,027 | | |
| | Total | 590095,169 | 76 | | | |
| 15 Menit | Regression | 18782,525 | 4 | 4695,631 | 0,846 | 0,505 |
| | Residual | 222090,719 | 40 | 5552,268 | | |
| | Total | 240873,244 | 44 | | | |

Tabel 5. Model regresi linier berganda untuk klasifikasi lima jenis kendaraan

| Interval | Model | Unstandardized Coefficients | | t | Significant |
|----------|------------|-----------------------------|------------|-------|-------------|
| | | B | Std. Error | | |
| 5 Menit | (Constant) | 604,883 | 67,372 | 4,525 | 0,000 |
| | BS | 0,562 | 0,470 | 1,196 | 0,234 |
| | LB | 1,741 | 0,372 | 4,684 | 0,000 |
| | TM | 0,780 | 0,260 | 3,001 | 0,003 |
| | LT | 1,491 | 0,634 | 2,351 | 0,020 |
| | MC | 0,252 | 0,056 | 4,516 | 0,000 |
| 10 Menit | (Constant) | 574,856 | 127,464 | 2,156 | 0,034 |
| | BS | 1,093 | 1,038 | 1,053 | 0,296 |
| | LB | 2,644 | 0,598 | 4,420 | 0,000 |
| | TM | 0,193 | 0,437 | 0,443 | 0,659 |
| | LT | 2,685 | 1,474 | 1,822 | 0,073 |
| | MC | 0,195 | 0,091 | 2,147 | 0,035 |

Tabel 6. Model regresi linier berganda untuk klasifikasi empat jenis kendaraan

| Interval | Model | Unstandardized Coefficients | | t | Sig. |
|----------|------------|-----------------------------|------------|-------|-------|
| | | B | Std. Error | | |
| 5 Menit | (Constant) | 713,138 | 66,241 | 6,237 | 0,000 |
| | TM | 0,993 | 0,251 | 3,962 | 0,000 |
| | LB | 1,599 | 0,377 | 4,242 | 0,000 |
| | LT | 1,751 | 0,654 | 2,679 | 0,008 |
| | MC | 0,198 | 0,058 | 3,440 | 0,001 |
| 10 Menit | (Constant) | 731,708 | 107,078 | 4,032 | 0,000 |
| | TM | 0,107 | 0,450 | 0,238 | 0,813 |
| | LB | 2,524 | 0,623 | 4,053 | 0,000 |
| | LT | 3,009 | 1,513 | 1,989 | 0,051 |
| | MC | 0,147 | 0,089 | 1,648 | 0,104 |

Tabel 7. Rangkuman hasil pemodelan

| Klasifikasi | Interval | Persamaan |
|-----------------------|----------|--|
| Empat Jenis Kendaraan | 5 Menit | $Q_{LV} = 713,138 - 0,993 \cdot Q_{TM} - 1,599 \cdot Q_{LB} - 1,751 \cdot Q_{LT} - 0,198 \cdot Q_{MC}$ |
| | 10 Menit | $Q_{LV} = 731,708 - 0,107 \cdot Q_{TM} - 2,524 \cdot Q_{LB} - 3,009 \cdot Q_{LT} - 0,147 \cdot Q_{MC}$ |

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai emp pada interval 5 menit untuk truk besar adalah lebih besar daripada bus besar. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh truk besar terhadap kendaraan ringan adalah lebih besar dibandingkan bus besar. Nilai emp hasil analisis selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai emp dalam MKJI 1997. Nilai emp kendaraan dalam MKJI 1997 yang akan dibandingkan mempunyai kriteria alinyemen datar, ruas jalan empat lajur dua arah terbagi, dan arus total melebihi 1800 kendaraan/jam. Nilai emp kendaraan berat dalam MKJI 1997 (Indonesia 1997) yang digunakan adalah 1,400 untuk truk menengah, 1,400 untuk bus besar, 2,000 untuk truk besar, dan 0,600 untuk sepeda motor.

Dari hasil perbandingan nilai emp untuk truk menengah, truk besar, dan sepeda motor hasil analisis dengan emp dalam MKJI 1997 (Indonesia 1997) menunjukkan bahwa nilai emp yang didapatkan dari pengamatan adalah lebih kecil dibandingkan nilai emp dalam MKJI 1997 (Indonesia 1997). Hal ini menunjukkan kemampuan kendaraan bermanuver dalam arus lalu lintas yang meningkat, sehingga kendaraan memanfaatkan ruang dan waktu lebih rendah. Variasi komposisi kendaraan antara saat MKJI 1997 dilakukan dengan saat ini diduga menjadi penyebab penurunan angka ekuivalen. Proporsi kendaraan tersebut menjadi lebih besar, sehingga pengaruhnya menjadi lebih kecil. Adapun nilai emp untuk bus besar hasil studi ini adalah lebih besar dibanding dengan nilai dalam MKJI 1997 (Indonesia 1997). Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh keberadaan bus besar dalam aliran arus lalu lintas adalah membesar. Penyebab yang mungkin adalah karakteristik bus yang lebih besar, namun jumlah relatifnya yang lebih sedikit.

Analisis hubungan parameter lalu lintas ruas jalan Bandung-Nagreg

Analisis dilakukan untuk menemukan hubungan yang cocok antara parameter kecepatan dan kerapatan. Adapun spesifikasi hubungan kecepatan dan kerapatan yang

dipelajari adalah hubungan linier, logaritma, dan eksponensial. Bentuk linier digunakan pada model Greenshield, bentuk logaritma digunakan pada model Greenberg, dan bentuk eksponensial digunakan pada model Underwood dan Bell. Tabel 8 menunjukkan hasil analisis menggunakan metode regresi untuk empat buah spesifikasi tersebut.

Tabel 8. Hasil analisis menggunakan metode regresi

| Model | Ringkasan Model | | | | |
|-------------|-----------------|----------|-----|-----|------------|
| | R ² | F | df1 | df2 | p-value |
| Greenshield | 0,992 | 12518,94 | 1 | 93 | 3,66 E-100 |
| Greenberg | 0,682 | 197,2541 | 1 | 93 | 1,30E-24 |
| Underwood | 0,905 | 873,2813 | 1 | 93 | 9,56E-49 |
| Bell | 0,968 | 2787,562 | 1 | 93 | 1,35E-70 |

Variabel tidak bebas: Kerapatan.

Variabel Bebas: Kecepatan

Dengan memperhatikan nilai F dari uji ANOVA dapat diketahui bahwa keempat model adalah sesuai seperti ditunjukkan dalam Tabel 8. Walaupun demikian, model linier menunjukkan nilai R² paling besar dibandingkan dengan ketiga model lainnya. Dengan demikian model linier dipilih untuk menjelaskan hubungan antar parameter lalu lintas ruas jalan ini. Hal ini dilandasi pula oleh keunggulan berupa kesederhanaan dalam pemanfaatannya. Adapun hasil uji-t untuk koefisien hasil estimasi menunjukkan p-value untuk *slope* dan *intercept* adalah jauh lebih kecil dari tingkat keterandalan yang digunakan, yaitu 5%.

Berdasarkan hubungan kecepatan dan kerapatan yang menggunakan spesifikasi linier, maka selanjutnya dapat ditentukan nilai kecepatan arus bebas (U_f), kerapatan saat macet (D_j), dan kerapatan saat arus maksimum (D_m), seperti ditunjukkan dalam Tabel 9. Dapat disimpulkan bahwa kecepatan arus bebas adalah 62,1 km/jam, kerapatan saat macet adalah 106 smp/km/lajur, dan kerapatan saat arus maksimum adalah 53 smp/km/lajur. Berdasar nilai tersebut maka dapat ditentukan nilai arus maksimum (Q_m), yaitu sebesar 1644

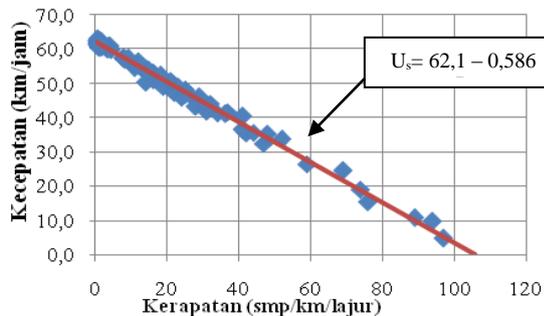
smp/jam/lajur sebagai nilai kapasitas ruas jalan Bandung-Nagreg. Selanjutnya dapat disusun hubungan antara kecepatan dan arus serta hubungan arus dan kerapatan seperti ditunjukkan dalam Tabel 10 dan Gambar 6 hingga Gambar 8. Kajian ini menemukan bahwa kapasitas ruas jalan ini adalah sebesar 1644 smp/jam/lajur pada kecepatan 31,1 km/jam. Nilai ini lebih rendah dibandingkan nilai yang ada dalam MKJI 1997 untuk jalan antar kota empat lajur terbagi, yaitu sebesar 1850 smp/jam/lajur pada kecepatan 35 km/jam.

Tabel 9. Parameter lalu lintas ruas jalan Bandung-Nagreg

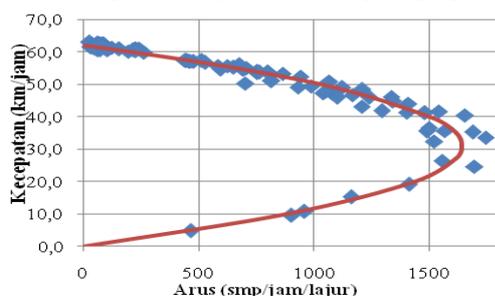
| Parameter | Nilai |
|------------------------------|------------------------------------|
| Kecepatan arus bebas | $U_f = a = 62,1$ km/jam |
| Kerapatan saat macet | $D_j = -a/b = 106$ smp/km/ lajur |
| Kerapatan saat arus maksimum | $D_m = D_j / 2 = 53$ smp/km/ lajur |
| Kecepatan saat arus maksimum | $U_m = 31,1$ km/jam |
| Kapasitas | $Q_m = 1644$ smp/jam/lajur |

Tabel 10. Hubungan antar parameter lalu lintas pada ruas Bandung-Nagreg

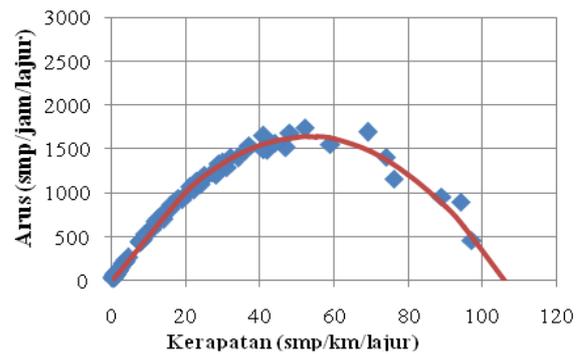
| Hubungan | Persamaan |
|-----------|-----------------------------------|
| $U_s - D$ | $U_s = 62,1 - 0,586 D$ |
| $Q - U_s$ | $Q = 106 \times U_s - 1,71 U_s^2$ |
| $Q - D$ | $Q = 62,1 \times D - 0,586 D^2$ |



Gambar 6. Hubungan kecepatan dan kerapatan pada ruas jalan Bandung-Nagreg



Gambar 7. Hubungan kecepatan dan arus pada ruas jalan Bandung-Nagreg



Gambar 8. Hubungan kerapatan dan arus pada ruas jalan Bandung-Nagreg

PEMBAHASAN

Studi ini menggunakan pendekatan konvensional dalam mencari hubungan yang sesuai dengan kondisi lalu lintas dewasa ini. Motivasi dipilihnya metode konvensional, yaitu dalam hal ini metode deterministik, adalah keinginan memperoleh nilai baru (emp dan kapasitas) yang dapat dengan mudah dibandingkan dengan hasil studi terdahulu (MKJI 1997). Model-model deterministik adalah yang sangat mungkin digunakan pada studi terdahulu, sehingga perbandingan akan menjadi lebih sesuai. Walaupun demikian, model probabilistik maupun model yang dilengkapi variabel karakteristik jalan maupun pengemudi tetap perlu untuk dikembangkan untuk melengkapi studi ini.

Studi ini menunjukkan bahwa hubungan linier menjadi model yang sesuai secara statistika. Terkait temuan tersebut, maka ada beberapa hal penting perlu menjadi catatan. Hal pertama adalah asumsi bahwa model ini cocok untuk ruas jalan dengan arus tak terganggu. Untuk kasus studi ini, maka ruas ini memiliki arus tak terganggu, karena lokasi studi sejak awal dipilih yang tidak terpengaruh secara periodik oleh gangguan. Asumsi ini menjadi hal penting bila akan dilakukan replikasi di tempat lain.

Catatan kedua adalah cara perolehan data dan kebenarannya. Untuk metode konvensional, khususnya metode Greenshield, maka sulit untuk dapat memperoleh data yang memiliki kecocokan yang baik dengan kebutuhan data seperti yang diperlukan oleh model yang diduga. Pengamatan pada satu lokasi saja atau

pada satu durasi waktu saja akan sulit memenuhi asumsi awal tentang model hubungan. Hal ini menunjukkan bahwa panjangnya data hasil pengamatan atau pemilihan lokasi pengumpulan data akan mempengaruhi kualitas model yang dibangun. Untuk diskusi lebih lanjut tentang pengaruh pemilihan lokasi dengan karakteristik data yang diperoleh dapat dilihat dalam Hall (2001).

Bila data tidak mendukung, maka asumsi linier, parabolik, atau lainnya akan menjadi sulit untuk dipenuhi atau sulit untuk diverifikasi. Untuk itu diperlukan tambahan pengamatan pada waktu berbeda atau pengamatan dengan durasi yang lebih panjang, sehingga dapat memenuhi asumsi. Studi ini mengklarifikasi persoalan asumsi tersebut. Hal yang dilakukan dalam studi ini adalah melakukan pengumpulan data tambahan agar dapat mengkonfirmasi model yang paling sesuai.

Kedua hal tersebut menjadi catatan penting dari model yang dihasilkan studi ini. Hal ini penting agar penelitian lebih lanjut maupun pemanfaatan model dapat lebih sesuai karena sesuai dengan batasan yang ada.

Studi ini menemukan pula bahwa nilai emp yang dihasilkan berubah dan lebih rendah dibandingkan dengan MKJI 1997. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan metode perhitungan antara MKJI 1997 dengan yang digunakan dalam studi ini. Walaupun demikian, dikarenakan nilai emp yang dihasilkan dari perhitungan pada dasarnya bergantung pada kondisi sarana dan prasarana yang ditinjau, maka adanya perubahan kondisi jalan, pengemudi, kendaraan, dan cuaca menjadi penyebab perbedaan. Walaupun sudah diusahakan menemukan lokasi jalan antar kota yang kira-kira memiliki karakteristik yang sama dengan yang ada dalam MKJI 1997, namun perbedaan tetap ditemukan. Hal ini mengkonfirmasi bahwa perubahan karakteristik lalu lintas mengubah pengaruh suatu kendaraan terhadap kendaraan lain, dalam hal ini adalah emp.

Studi ini juga mengkonfirmasi dugaan bahwa ada perbedaan karakteristik prasarana jalan yang dianggap ideal. Perbedaan tersebut mengimplikasikan diperlukannya penyesuaian akibat perbedaan dengan kondisi standar tersebut. Studi ini menunjukkan hasil dari suatu kajian terhadap kondisi jalan tertentu.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pengklasifikasian jenis kendaraan yang sesuai adalah klasifikasi empat jenis kendaraan dengan data interval per 5 menit.
2. Nilai emp yang dihasilkan adalah 0,993 untuk truk menengah, 1,599 untuk bus besar, 1,751 untuk truk besar, dan 0,198 untuk sepeda motor.
3. Perbandingan nilai emp hasil pengamatan dan nilai emp dalam MKJI 1997 diduga dikarenakan:
 - a. peningkatan kemampuan manuver dalam arus lalu lintas,
 - b. proporsi komposisi bus,
 - c. perbedaan metode perhitungan.
4. Hubungan yang paling baik untuk menjelaskan hubungan parameter kecepatan dan kerapatan adalah hubungan linier. Berdasarkan spesifikasi model linier didapat bahwa kecepatan arus bebas adalah 62,1 km/jam, kerapatan saat macet adalah 106 smp/km/lajur, sedangkan kapasitas adalah 1644 smp/jam/lajur.
5. Model hubungan parameter lalu lintas konvensional pada jalan antar kota empat lajur dua arah terbagi adalah sesuai dengan kondisi lalu lintas yang dikaji, dan dapat dibandingkan dengan parameter pada tahun-tahun sebelumnya.

Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, maka perlu dilakukan studi:

1. Untuk ruas jalan antar kota lainnya agar di dapat nilai emp yang lebih mewakili jalan-jalan sejenis di Indonesia.
2. Menggunakan metode lain.
3. Mempelajari hubungan antar parameter arus lalu lintas dengan menggunakan pendekatan probabilitas serta memasukkan karakteristik kendaraan dan pengemudi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Teknik Lalu Lintas dan Lingkungan Jalan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang telah menyediakan data untuk studi ini. Penghargaan terutama disampaikan

kepada Dr. Hikmat Iskandar yang telah mengizinkan menggunakan data dan juga berdiskusi. Ucapan terima kasih juga disampaikan pada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan survei.

DAFTAR PUSTAKA

- Dhingra, S.L. and Gull, I. 2011. "Traffic Flow Theory Historical Research Perspectives". In *75 Years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory Greenshields Symposium. Highway Research Record 154*. Washington, DC. : TRB, pp. 53-87.
- Duncan, N.C. 1976. "A Note on Speed/Flow/Concentration". *Traffic Engineering and Control*, vol. 17(1). pp 34-35.
- _____. 1979. "A Further Look at Speed/Flow/Concentration". *Traffic Engineering and Control*. Vol. 20(10) pp. 482-483.
- Drake, J. S., Schofer, J. L., and May, A. D. 1967. "A Statistical Analysis of Speed Density Hypotheses". *Highway Research Record*, 154, pp. 53-87.
- Drake et al. 1967. **Tolong tanyakan judul, kota tebit dan penerbit**
- Garber, N.J., and Hoel, L.A. 2002. *Traffic & Highway Engineering*. 3rd Ed. California: Thomson Learning.
- Greenberg, H. 1959. "An Analysis of Traffic Flow". *Operations Research*. Vol 7, pp. 78-85.
- Greenshields, B.D. 1935 A Study of Traffic Capacity. *Highway Research Board Proceedings 14*. Washington, DC.: TRB, pp 448-477.
- Hall, F.L. Hurdle, V.F., and Banks, J.H. 1992. "Synthesis of Recent Work on the Nature of Speed-Flow and Flow-Occupancy (or Density) Relationships on Freeways". *Transportation Research Record 1365*. pp. 12-18.
- Hall, F.L. 2001. "Traffic Stream Characteristics, In *Traffic Flow Theory: A State-of-the-Art Report*, Gartner, N., Messer, C.J., & Rath, A.K. (Eds.). Washington, D.C: Transportation Research Board.
- Hoogendoorn, S., van Lint, H., and Knoop, V. .2011."A Stochastic Macroscopic Modeling Framework to Interpret the Fundamental Diagram In Transportation Research Board (TRB)", *75 Years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory Greenshields Symposium*, Transportation Research Circular E-C149, Washington, DC.: TRB.
- Immers, L.H. and Logghe, S. 2002. *Traffic Flow Theory*. Belgium: Katholieke Universiteit Leuven.
- Indonesia. Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997*. Jakarta: Ditjen Bina Marga.
- Iskandar, H. 2010. *Cara pemutakhiran Nilai ekuivalensi Mobil penumpang dan Kapasitas dasar ruas jalan luar kota (Updating of Car Equivalent and Basic Capacity for Inter urban Road)*. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Kerner, B.S. 2011. "Modern Approaches to Basic Traffic Modeling: Three-Phase Traffic Theory". In *75 Years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory Greenshields Symposium*, Transportation Research Circular E-C149. Washington, DC.: TRB.
- Kockelman, K. M. 2001. "Modeling Traffic's Flow-Density Relation: Accommodation of Multiple Flow Regimes and Traveler Types". *Transportation* 28 (4), pp. 363-374.
- Liebe, C., et al. 2011. "Traffic Flow Perspectives: From Fundamental Diagram to Energy Balance". In *75 Years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory Greenshields Symposium*, Transportation Research Circular E-C149. Washington, DC: TRB.
- Mannering, F.L. and Washburn, S.S. 2013. *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*, 5th Ed. Singapore: John Wiley & Sons.
- Partha, S., et al. 2009. "Passenger Car Equivalent (Pce) of Through Vehicles at Signalized Intersections in Dhaka Metropolitan City". *IATSS Research* 33(2), 99-104.
- Prima, G.R., Iskandar, H., & Joewono, T.B. 2014. "Kajian Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang Berdasarkan Data Waktu Antara Pada Ruas Jalan Tol". *Jurnal Jalan dan Jembatan* 31 (2), 74-82.
- Roess, R.P., McShane, W.R., and Prassas, E.S. 1998. *Traffic Engineering*. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall.
- _____. Prassas, E.S., dan McShane, W.R. 2004. *Traffic Engineering*. 3rded. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Shalini, K. and Kumar, B. 2014. Estimation of the Passenger Car Equivalent: A Review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 4(6), 97-102.

- Transportation Research Board. 1994. *Committee A3A10, Highway Capacity and Quality of Service*, Highway Capacity Manual, Chapter 3, Basic Freeway Segments, TRB, Washington, D.C.
- _____. 2010. *Highway Capacity Manual 2010*, Volume 1: Concepts, Washington, D.C.: TRB.
- _____. 2011. *75 Years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory Greenshields Symposium*, Transportation Research Circular E-C149. Washington, DC.: TRB.
- Underwood, R.T. 1999. Road Capacity, in *Traffic Engineering and Management*. Ogden, K.W., and Taylor, S.Y. (Eds.). Victoria: Monash University.
- Van Aerde, M., and Yagar, S. 1983. Capacity, Speed, and Platooning Vehicle Equivalents for Two-Lane Rural Highways. *Transportation Research Record* No. 971. Washington, DC.: Transportation Research Board.
- Wang, H., et al. 2009. "Speed-Density Relationship: From Deterministic to Stochastic". *The 88th Transportation Research Board Annual Meeting*. Washington D.C.: TRB.