

CARA PEMUTAKHIRAN NILAI EKIVALEN MOBIL PENUMPANG DAN KAPASITAS DASAR RUAS JALAN LUAR KOTA (*UPDATING OF CAR EQUIVALENT AND BASIC CAPACITY FOR INTER URBAN ROAD*)

Hikmat Iskandar

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jalan A.H. Nasution no.264, Bandung, 40294
E-mail: hhikmat@bdg.centrin.net.id
Diterima : 13 Mei 2010; Disetujui : 10 Agustus 2010

ABSTRAK

Ekivalen mobil penumpang (emp) adalah unit untuk mengkonversikan satuan arus lalu lintas dari kendaraan/jam menjadi satuan mobil penumpang smp/jam. Arus lalu lintas yang terdiri dari bermacam jenis kendaraan, seperti mobil penumpang, bus, truk, dan sepeda motor dikonversikan menjadi satu satuan arus lalu lintas yaitu smp/jam dengan menganggap bahwa satu kendaraan, selain jenis kendaraan penumpang, 'diganti' oleh satu kendaraan penumpang dikali dengan emp. Setiap jenis kendaraan memiliki nilai emp yang berbeda dengan jenis kendaraan yang lain, tergantung pada pengaruh keberadaannya didalam suatu arus lalu lintas. Kapasitas dasar adalah nilai arus lalu lintas yang tertinggi yang dapat dicapai pada kondisi geometrik jalan yang baku dan arus lalu lintas yang tidak terganggu. Nilai emp digunakan dalam mengkonversikan satuan arus kapasitas dasar dari kendaraan/jam menjadi smp/jam. Makalah ini bermaksud melakukan kajian terhadap penetapan nilai emp dan kapasitas dasar. Kajian melingkupi cara menetapkan nilai emp, kapasitas dasar, dan uji coba aplikasikan cara tersebut terhadap data primer. Hasil kajian menunjukkan bahwa untuk ruas jalan luar kota, nilai emp dapat ditetapkan dari hubungan kecepatan dengan volume lalu lintas per komposisi, kapasitas dasar ditetapkan dari hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan arus, dan hasil uji coba menunjukkan bahwa cara ini dapat dipakai untuk menetapkan emp dan kapasitas dasar. Hasil uji coba terhadap data ruas jalan Nagreg-Tasikmalaya menunjukkan kecenderungan nilai emp dan kapasitas dasar yang berubah.

Kata kunci: *Jalan luar kota, kapasitas jalan, hubungan kecepatan-kerapatan, emp, smp.*

ABSTRACT

Passenger car equivalent (pce) converts unit of traffic flow from vehicles per hour to passenger car unit (pcu). A traffic flow consists of several types of vehicles such as passenger car, bus, truck, and motor cycle are converted to a uniform unit of traffic flow, ie. pcu, by assuming that a vehicle other than passenger car is 'replaced' by a passenger car multiplied by pce. Each type of vehicles has its owned pce value and different from others, depending on influences of it's presence in a trafic flow. Basic capacity is a maximum number of vehicles that may be reached under a specified standard geometric condition and by an undisturb traffic condition. Pce is used to convert unit of a basic capacity from vehicles/hour to pcu/hour. This paper aimed to discus methods of defining pce and basic capacity of inter urban roads, including data required for testing applicability of the method. The reviews showed that for inter urban road segment, pce may be derived from a relationship between speeds versus flow rate of each individual type of vehicles, whereas the basic capacity may be derived



from a linear relationship between densities versus speeds. Application of the method to a set of traffic flow data showed that the method may be used for defining values of emp and basic capacity. The results of analyzing a segment of Nagreg-Tasikmalaya data showed that emp and basic capacity tend to change.

Key words: Inter-urban roads, road capacity, speed-density relationship, pce, pcu.

PENDAHULUAN

Pada tahun 1997 tersusun Manual Kapasitas Jalan Indonesia (Sweroad, 1997) sebagai hasil penelitian bersama antara tim konsultan nasional (PT. Bina Karya) dan tim konsultan Internasional (Sweroad) yang seluruh data dasarnya diambil di Indonesia sekitar tahun 1991-1995. MKJI-1997 telah digunakan oleh banyak pihak diantaranya Direktorat Jenderal Bina Marga (DJBM, 2009) Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Lalu lintas Angkutan Jalan (DLLAJ, 2009) Kementerian Perhubungan, pihak perguruan tinggi, konsultan, dengan lingkup penggunaan yang bervariasi, termasuk perencanaan jalan, evaluasi kinerja jalan, pendidikan, dan penelitian. Gambaran kondisi arus lalu lintas pada sekitar tahun 1991 s.d. 1995 merupakan resultante dari beberapa hal dasar, diantaranya populasi kepemilikan kendaraan, proporsi sepeda motor, dan panjang jalan. Populasi kepemilikan kendaraan saat itu sekitar 132 juta kendaraan terdaftar dengan komposisi sepeda motor rata-rata 39,57% serta panjang jalan yang ada khususnya jalan nasional tidak lebih dari 327 ribu km (data tahun 1995). Dewasa ini di tahun 2010 data pembentuk arus lalu lintas tersebut sudah jauh meningkat, data kepemilikan kendaraan sudah mencapai lebih dari 430 juta kendaraan terdaftar dengan komposisi sepeda motor sekitar 70% (perkiraan oleh Direktorat Keselamatan Transportasi, 2007) serta panjang jalan nasional mencapai 430 ribu km. Secara statistik maupun pandangan visual di jalan-jalan umum perkotaan adalah komposisi sepeda motor, sudah sering mendominasi arus lalu lintas dengan berbagai persoalan yang ditimbulkannya. Fakta tersebut sudah memadai untuk mendasari bahwa MKJI-1997 perlu dievaluasi kembali, untuk melihat

apakah perubahan parameter dasar kapasitas jalan mempengaruhi nilai kapasitas yang telah dirumuskan sebelum tahun 1997. Hal ini didukung oleh pendapat beberapa praktisi dan akademisi, diantaranya Munawar (2009) serta rumusan workshop MKJI 1997 (Antono, 2009; Dinas Perhubungan Propinsi Jawa Barat, 2009). Disamping itu, mengevaluasi perkembangan teknologi kendaraan dewasa ini, kendaraan-kendaraan baru banyak memiliki kemampuan yang sudah lebih berkembang dari kendaraan-kendaraan sebelum tahun 1995, diantaranya kemampuan mesin yang lebih responsif, rem yang lebih handal, dan pengoperasian kendaraan yang lebih mudah karena menggunakan transmisi otomatis.

Sebagai langkah awal, pada tahun 2009 telah dilakukan identifikasi permasalahan dan perumusan rencana pengkinian MKJI-1997 (Erwin Kusnandar, dkk) dengan luaran tersusunnya rencana penelitian untuk pengkinian di ruas jalan luar kota yang difokuskan pada penetapan ulang nilai parameter dasar emp dan kapasitas dasar. Makalah ini bertujuan menyajikan hasil kajian tentang metode penetapan nilai emp dan kapasitas dasar ruas jalan luar kota dan contoh menetapkannya yang didasarkan pada data.

KAJIAN PUSTAKA

Kapasitas ruas jalan luar kota

Kapasitas jalan didefinisikan sebagai arus lalu lintas kendaraan maksimum (smp/jam) yang dapat melalui suatu segmen atau ruas jalan yang seragam di luar kota dalam kondisi jalan dan lingkungan, lalu lintas, serta pengaturan lalu lintas yang ada (TRB, 1994; 2000; Direktorat Jenderal Bina Marga 2009). Ruas

atau segmen jalan luar kota didefinisikan sebagai ruas jalan di mana di sepanjang sisi jalan tidak ada perkembangan yang menerus, kecuali perkembangan permanen yang parsial dan kecil, seperti misalnya rumah makan, pabrik, atau kampung. Kios kecil dan kedai di kedua sisi jalan bukan merupakan perkembangan permanen. Ciri-ciri khusus jalan luar kota adalah arus lalu lintas yang didominasi oleh kendaraan-kendaraan dengan jarak perjalanan relatif jauh, berkecepatan tinggi, dan dengan kerapatan rendah hingga sedang.

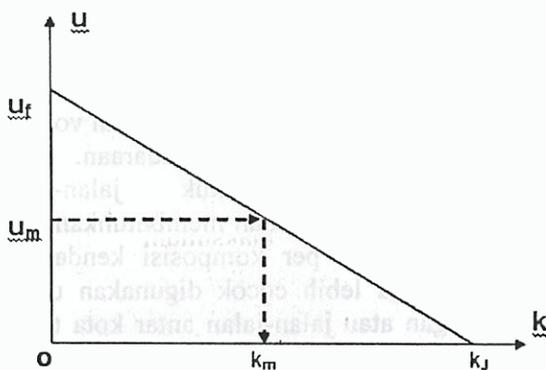
Pendekatan matematis arus lalu lintas

Penetapan kapasitas jalan banyak dijelaskan melalui parameter aliran lalu lintas yang direpresentasikan oleh kecepatan lalu lintas (u , km/jam), volume lalu lintas (q , smp/jam) dan kerapatan lalu lintas (k , kendaraan/km). Nilai u akan menurun bila kerapatan k meningkat (Sweroad, 1994; Whohl and Martin, 1964). Greenshield (1935) pada model *single rezim* menggunakan *term* linear untuk penurunan u yang seiring dengan penambahan k (Gambar 1). Model umum untuk hubungan matematis yang menjelaskan fonomena ini adalah:

$$u = u_F \left(1 - \frac{k}{k_J} \right) \dots\dots\dots 1)$$

dengan:

u_F adalah kecepatan arus bebas, km/jam
 k_J adalah kerapatan arus maksimum (saat macet atau *traffic jam*), kendaraan/km.



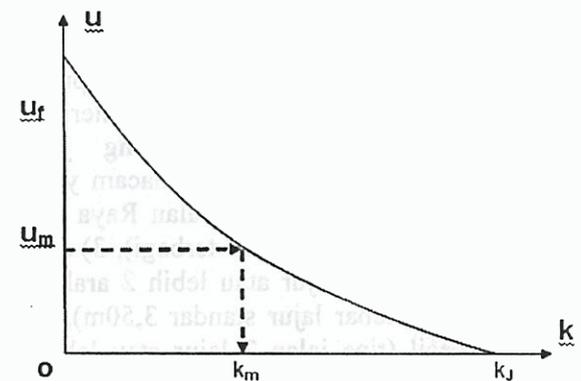
Gambar 1. Hubungan linear antara u dengan k .

Besarnya q didefinisikan dari hubungan perkalian antara u dan k sehingga nilai kapasitas berdasarkan model ini diperoleh dari nilai maksimum perkalian antara u dan k , seperti persamaan di bawah ini.

$$q_m = \frac{1}{4} u_F \cdot k_J \dots\dots\dots 2)$$

dengan q_m adalah arus maksimum atau kapasitas, smp/jam.

Perkembangan selanjutnya dari model hubungan u dan k yang linear ini menjelaskan fonomena arus bahwa penurunan u akibat bertambahnya k bersifat masih mendekati konstan pada tingkat arus rendah sampai dengan menengah, tetapi menjadi lebih besar pada tingkat arus yang lebih padat atau mendekati kapasitas. Pada kondisi arus lalu lintas yang mendekati kapasitas, sedikit peningkatan nilai k menghasilkan pengurangan yang besar pada u . Pada beberapa kondisi, penurunan u tidak lagi linear tetapi lebih cepat menurun misalnya yang diungkapkan oleh Greenberg (1959) dan Underwood (1961).



Gambar 2. Hubungan non-linear antara u dan k .

Model matematis yang umum yang menjelaskan fonomena ini adalah:

$$u = b \cdot \text{Ln} \left(\frac{k_J}{k} \right) \dots\dots\dots 3)$$

dengan: b adalah nilai konstanta; dan
 Ln adalah logaritma berpangkal e .

Besarnya q didefinisikan dari perkalian u dan k sehingga nilai kapasitas berdasarkan



model ini dapat diperoleh dari nilai maksimum perkalian u dan k .

$$q_m = b.k_m \left(\ln \frac{k_j}{k_m} \right) \dots\dots\dots 4),$$

dengan k_m atau kepadatan maksimum yang dirumuskan sebagai berikut:

$$k_m = \frac{k_j}{e} \dots\dots\dots 4a).$$

Kondisi di Indonesia dewasa ini, di mana jenis kendaraan sepeda motor memiliki proporsi yang cukup tinggi dan bercampurnya kendaraan lokal dan kendaraan antar kota, disamping juga tingkat pelayanan yang sering mendekati kapasitasnya, penurunan kecepatan lalu lintas tidak lagi linear tetapi cenderung lebih cepat menurun secara non-linear, kecuali di ruas-ruas jalan yang masih belum padat seperti di ruas jalan antar kota atau di ruas-ruas jalan tol.

Aplikasi model matematis untuk lalu lintas di Indonesia

Klasifikasi jalan di Indonesia sesuai dengan UU38/2004 (Pemerintah republik Indonesia, 2004) dan PP34/2006 (Pemerintah republik Indonesia, 2006) tentang jalan menggolongkan jalan menjadi 4 macam yaitu: 1) Jalan Bebas Hambatan, 2) Jalan Raya (tipe jalan 4 lajur atau lebih 2 arah terbagi), 3) Jalan Sedang (tipe jalan 2 lajur atau lebih 2 arah tak terbagi dengan lebar lajur standar 3,50m), dan 4) Jalan Kecil (tipe jalan 2 lajur atau lebih 2 arah tak terbagi dengan lebar lajur 2,75m). Di samping itu, jalan diklasifikasikan menurut penggunaan dan kelancaran lalu lintas, sesuai undang-undang lalu lintas dan angkutan jalan (PRI, 2009) menjadi 4 kelas, yaitu Jalan Kelas I, Kelas II, Kelas III, dan Jalan Khusus. Klasifikasi ini membedakan ukuran dimensi kendaraan maksimum dan Muatan Sumbu Terberat yang diizinkan menggunakan kelas jalan tersebut. Kombinasi antara klasifikasi jalan dan kelasnya, sesuai klasifikasi ideal yang diungkapkan pada aturan tersebut di atas, akan memberikan beragam karakteristik arus lalu lintas. Keragaman ini akan lebih menajam

seiring dengan deviasi tipe jalan dan penggunaan jalan dari aturan yang diidamkan berjalan dengan baik. Kenyataan yang umum menunjukkan bahwa baik spesifikasi penyediaan prasarana jalan maupun penggunaan jalan secara ideal masih jauh dari yang diharapkan oleh teori. Misalnya, bercampurnya arus kendaraan bertujuan jarak jauh dengan arus kendaraan berjarak dekat/ lokal. Ciri ini, misalnya di jalur Pantura, masih terdapat angkutan kota dan sepeda motor beredar dalam arus-arus yang seyogianya berjalan bukan di jalan yang melayani angkutan jarak jauh.

MKJI-1997 (Sweroad, 1994) untuk jalan luar kota mendekati karakter arus dengan model linear, sekalipun arusnya masih mengandung perjalanan lokal, tetapi porsinya yang rendah dipandang tidak mengganggu. Pada jalan perkotaan, di mana arus lalu lintas tinggi sehingga sering mencapai kondisi jenuh atau bahkan macet, pendekatan non-linear dipandang lebih mendekati. Pada jalan bebas hambatan, di mana arus lalu lintas hanya diizinkan untuk kendaraan roda 4 atau lebih (Pemerintah Republik Indonesia, 2005), arus kendaraan diharapkan lebih lengang sehingga dapat didekati oleh bentuk linear kecuali pada ruas-ruas yang sudah padat seperti di sekitar Jakarta.

Ekivalen Mobil Penumpang

Untuk menetapkan nilai emp , SWEROAD (1994) mengemukakan 3 cara, masing-masing dengan dasar pendekatannya: 1) berdasarkan Kecepatan arus lalu lintas; 2) berdasarkan Kapasitas; dan 3) berdasarkan Metode Celah Waktu (*time headway*).

Cara pertama cenderung lebih umum, tetapi membutuhkan data kecepatan dan volume lalu lintas per komposisi kendaraan. Cara kedua, digunakan untuk jalan-jalan dilingkungan perkotaan dan membutuhkan data volume lalu lintas per komposisi kendaraan, dan cara ketiga lebih cocok digunakan untuk persimpangan atau jalan-jalan antar kota tetapi arus lalu lintas yang dievaluasi harus mengikuti disiplin berlalu lintas yang tinggi yaitu berjalan pada satu lajur beriringan sehingga celah

waktunya jelas. Pendekatan dengan dasar Celah Waktu dipandang kurang sesuai dengan kondisi lalu lintas di perkotaan ataupun di jalan antar kota di Indonesia, karena pada umumnya kendaraan di kawasan perkotaan berjalan kurang berdisiplin, marka garis penuh sering dilanggar, kendaraan sering tidak mengikuti pola berjalan pada satu garis lajur lalu lintas sebagaimana ditandai dengan marka jalan. Sering dijumpai sepeda motor berkelompok dalam jumlah yang banyak. Dengan demikian, untuk kondisi lalu lintas yang seperti ini, emp ditetapkan dengan cara yang berdasarkan kapasitas jalan. Untuk ruas jalan luar kota, karena arusnya lebih tinggi dari arus dalam kota, cara dengan pendekatan kecepatan arus lalu lintas dipandang lebih sesuai. Cara ini berasumsi bahwa kecepatan lalu lintas dipengaruhi oleh dimensi dan perilaku kecepatan suatu jenis kendaraan tertentu relatif terhadap jenis kendaraan ringan. Kendaraan ringan adalah jenis kendaraan yang dijadikan acuan satuan dengan pertimbangan bahwa jenis kendaraan ini adalah jenis yang paling dominan dalam arus lalu lintas.

Menetapkan emp didasarkan pada pendekatan kecepatan lalu lintas

Nilai emp ditetapkan dari menganalisis hubungan antara data u dan q per jenis kendaraan per interval waktu tertentu (misal 5, 10, 15 menit). Interval waktu tersebut dipilih dengan anggapan bahwa fluktuasi lalu lintas yang terjadi dalam interval tersebut dianggap sama dengan fluktuasi selama interval waktu satu jam. Kriteria emp ditetapkan berdasarkan pengaruh relatif volume kendaraan sedang menengah (q_{KS}), volume bus besar (q_{BB}), volume truk berat (q_{TB}), volume sepeda motor (q_{SM}) terhadap volume kendaraan ringan (q_{KR}), di mana emp untuk kendaraan ringan adalah 1,00 ($emp_{KR}=1,00$) dan emp kendaraan yang lain dibandingkan terhadap emp_{KR} . Persamaan matematik untuk kecepatan arus lalu lintas sesuai kriteria ini adalah:

$$u = u_F - N_{KR} \cdot q_{KR} - N_{KS} \cdot q_{KS} - N_{BB} \cdot q_{BB} - N_{TB} \cdot q_{TB} - N_{SM} \cdot q_{SM} \dots\dots\dots 5)$$

dengan:

- u : Kecepatan arus lalu lintas, km/Jam;
- u_F : Konstanta yang merepresentasikan Kecepatan Arus Bebas;
- q : Arus lalu lintas untuk setiap kelas kendaraan, kendaraan/jam.

Persamaan tersebut digunakan sebagai model persamaan regresi terhadap data arus lalu lintas. N_{KR} , N_{BB} , N_{TB} , N_{SM} adalah koefisien regresi yang menyatakan pengaruh reduksi kecepatan yang diakibatkan oleh kehadiran arus kendaraan per jenis KR, KS, BB, TB, dan SM.

Nilai emp yang diperoleh dengan cara ini adalah dengan membandingkan koefisien regresi persamaan 5) untuk setiap kendaraan tertentu terhadap koefisien regresi KR. Dengan demikian, nilai-nilai emp untuk KS (emp_{KS}), BB (emp_{BB}), TB (emp_{TB}), dan SM (emp_{SM}), dapat diperoleh dari:

$$emp_{KS} = \frac{N_{KS}}{N_{KR}} \dots\dots\dots 5a)$$

$$emp_{BB} = \frac{N_{BB}}{N_{KR}} \dots\dots\dots 5b)$$

$$emp_{TB} = \frac{N_{TB}}{N_{KR}} \dots\dots\dots 5c)$$

$$emp_{SM} = \frac{N_{SM}}{N_{KR}} \dots\dots\dots 5d)$$

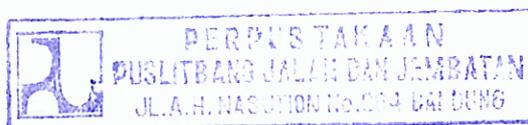
Penetapan nilai emp berdasarkan pendekatan kapasitas

Nilai emp yang ditetapkan menggunakan cara ini menganalisis hubungan antara besarnya arus kendaraan ringan terhadap kapasitas pada tingkat kecepatan tertentu yang akan direduksi besarnya oleh kehadiran kendaraan jenis lain. Persamaan matematik untuk pendekatan ini adalah:

$$q_{KR} = C - emp_{KS} \cdot q_{KS} - emp_{BB} \cdot q_{BB} - emp_{TB} \cdot q_{TB} - emp_{SM} \cdot q_{SM} \dots\dots\dots 6)$$

dengan:

- q_{KR} : arus kendaraan ringan, kendaraan/jam
- q_{KS} : arus kendaraan sedang, kendaraan/jam
- q_{BB} : arus bus besar, kendaraan/jam
- q_{TB} : arus truk berat, kendaraan/jam
- q_{SM} : arus sepeda motor, kendaraan/jam
- C : kapasitas jalan pada kelas kecepatan tertentu, smp/jam



Parameter yang belum diketahui dalam persamaan tersebut adalah C , emp_{KS} , emp_{BB} , emp_{TB} , dan emp_{SM} yang dapat diperoleh dari melakukan analisis *multiple regressi linear* terhadap data q_{KR} , q_{KS} , q_{BB} , q_{TB} , dan q_{SM} . Analisis menggunakan pendekatan kapasitas ini harus dilakukan pada arus lalu lintas dengan interval kecepatan arus tertentu, misal 30-40km/jam. Cara ini menganggap bahwa arus kendaraan-kendaraan pada interval kecepatan yang sama akan berhubungan kuat (atau sama besarnya) dengan arus lalu lintas yang sama yang dinyatakan dalam smp. Dengan kata lain bahwa nilai emp akan berbeda untuk interval kecepatan lalu lintas yang berbeda.

Penetapan nilai emp didasarkan celah waktu pada satu aliran kendaraan

Cara lain untuk menetapkan emp adalah dengan cara menganalisis distribusi celah waktu dari suatu aliran kendaraan yang berjalan berurutan (*in line*) dalam kondisi arus yang padat mendekati macet (*congested condition*). Cara ini dikenal dengan istilah *Time Headway Method* (Salter, 1983), atau sering disebut Metode Celah Waktu. Dalam cara ini, emp untuk kendaraan tertentu, misalnya emp_{TB} dapat ditetapkan menggunakan rumus perbandingan relatif sebagai berikut:

$$emp_{TB} = \frac{h_{TB}}{h_{KR}} \quad \dots\dots\dots 7)$$

dengan:

h_{KR} : celah waktu rata-rata antara sebuah KR yang mengikuti KR yang lain didepannya dalam kondisi sesaat setelah garis henti (umumnya di persimpangan yang diatur alat pemberi isyarat lalu lintas atau titik konflik);

h_{TB} : celah waktu rata-rata antara sebuah Truk yang mengikuti Truk lain didepannya pada kondisi sesaat setelah garis henti atau titik konflik.

Persyaratan untuk metode celah waktu ini adalah bahwa celah waktu rata-rata untuk (misalnya) KS yang mengikuti Kendaraan Ringan adalah sama dengan celah waktu rata-

rata untuk kendaraan Ringan yang mengikuti KS. Jika persyaratan ini tidak diikuti, maka nilai celah waktu rata-rata harus dikoreksi oleh faktor CH, yaitu:

$$CH = \frac{\{ABCD(W - X - Y + Z)\}}{\{BCD + ACD + ABD + ABC\}} \quad \dots\dots\dots 7a)$$

dengan nilai parameter A, B, C, D, W, X, Y, Z ditetapkan sesuai dengan isi Tabel 1:

Tabel 1. Faktor koreksi Celah waktu

CELAH WAKTU	KR mengikuti KR	KR mengikuti KS	KS mengikuti KR	KS mengikuti KS
Jumlah Celah waktu	A	B	C	D
Celah waktu rata-rata	W	X	Y	Z

Nilai celah waktu rata-rata untuk KS yang mengikuti KS yang lain, $h_{KS-dikoreksi}$ dihitung dari nilai Celah Waktu rata-rata yang belum dikoreksi dikurangi nilai yang dikoreksi dibagi jumlah Celah Waktunya, atau dirumuskan sebagai berikut:

$$h_{KS-dikoreksi} = z - \frac{CH_{KS}}{D} \quad \dots\dots\dots 7b)$$

Selama pengumpulan data lapangan pada kegiatan penyusunan MKJI-1997, sangat sedikit kasus yang dapat menggambarkan arus kendaraan yang berjalan pada satu garis lajur pada kondisi kongesti sehingga cara ini sulit diaplikasikan untuk arus lalu lintas di Indonesia.

Revisi emp dan kapasitas dasar

Kapasitas dasar dirumuskan dari hubungan antara u (*space mean speed* atau disingkat sms) dengan k dalam berbagai kondisi arus, mulai dari kerapatan paling lengang di mana kecepatan bebas kendaraan dapat dideteksi, kerapatan meningkat yang mencapai kondisi optimum (kondisi kapasitas) sampai dengan kondisi hampir macet atau macet sekalian. Kondisi arus yang variatif ini diharapkan dapat dideteksi dari pengumpulan data yang selektif sehingga data arus pada setiap kondisi tersebut dapat diperoleh. Volume lalu lintas, secara teori, dirumuskan sebagai perkalian antara u dengan k , sehingga q mulai

dari kondisi lengang sampai dengan macet dapat direpresentasikan melalui perkalian antara u dan k , kecuali pada kondisi di mana arus lalu lintas mulai tidak stabil, yang ditandai dengan operasi arus tersendat-sendat (“*stop and go*”).

Kapasitas jalan adalah nilai paling besar dari arus lalu lintas yang pernah terjadi pada suatu ruas jalan sehingga tidak ada lagi nilai yang lebih besar dari nilai arus kapasitas. Mempertimbangkan bahwa nilai maksimum arus adalah nilai terbesar dari perkalian antara u dan k , maka secara matematis nilai tersebut dapat dirumuskan dari turunan pertama dari persamaan arus sebagai fungsi dari kecepatan dan kerapatan. Cara seperti ini yang pada kajian ini akan digunakan sebagai dasar ditetapkannya nilai kapasitas dasar.

Untuk nilai kapasitas yang operasional, di mana elemen-elemen jalan dan lalu lintas berbeda dari yang ideal, dilakukan perbandingan sehingga diperoleh faktor pembandingan yang kemudian dipakai sebagai dasar untuk menetapkan nilai koreksi terhadap kapasitas dasar. Dua koreksi dasar yang utama adalah 1) koreksi terhadap jenis kendaraan relatif terhadap kendaraan ringan yang dalam hal ini ditetapkan dengan nilai emp, dan 2) koreksi terhadap geometrik jalan meliputi lebar efektif lajur lalu lintas dan bahu, serta alinemen jalan. Dengan mempertimbangkan kondisi lalu lintas dewasa ini di jalan-jalan antar kota sebagaimana dibahas di muka, penetapan nilai ulang emp ditetapkan menggunakan cara yang paling umum, yaitu cara berdasarkan pendekatan kecepatan lalu lintas.

HIPOTESIS

Emp dapat ditetapkan berdasarkan pendekatan kecepatan lalu lintas dari hubungan antara kecepatan dengan volume lalu lintas per komposisi, dan kapasitas dasar dapat ditetapkan dari hubungan antara kerapatan dengan kecepatan lalu lintas.

METODOLOGI

Metode Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, pada tahap awal dilakukan kajian pustaka. Kajian ini *me-review* metode untuk menetapkan nilai emp dan kapasitas dasar, terutama metode yang digunakan oleh proyek MKJI-1997. Kajian meliputi juga undang-undang No.38/2004 tentang jalan, undang-undang No.29/2009 tentang lalu lintas dan angkutan jalan, peraturan pemerintah no.34/2006 tentang jalan serta dokumen Bab VI MKJI-1997, untuk melakukan penyesuaian-penyesuaian yang perlu. Target pada tahap ini adalah menetapkan metode untuk menetapkan emp dan kapasitas dasar. Metodologi untuk menetapkan emp dan kapasitas dasar tersebut diuji untuk mengetahui kemungkinan penerapannya.

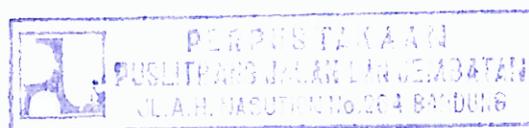
HASIL DAN ANALISIS

Penetapan emp

Hasil kajian pustaka menunjukkan bahwa emp ditetapkan dari model hubungan kecepatan dengan volume lalu lintas per komposisi. Hubungan tersebut diperoleh dari melakukan regresi terhadap data lalu lintas. Selanjutnya, nilai emp yang dihasilkan dibandingkan dengan yang ada dalam MKJI-1997. Nilai emp yang didapat digunakan untuk mengkinikan nilai emp MKJI 1997 dan mengubah nilai arus kendaraan dari satuan kendaraan per jam ke dalam satuan smp/jam dalam menetapkan kapasitas dasar.

Penetapan kapasitas dasar

Pada tahap awal, untuk menetapkan kapasitas dasar dilakukan regresi data untuk mencari hubungan antara u dengan k . Untuk regresi ini, disiapkan data arus lalu lintas yang sudah dikonversikan ke dalam satuan smp/jam. Regresi menggunakan model linear Greenshield, 1935; MKJI-1997) dan sebagai alternatif dapat digunakan model *non linear* (Greenberg, 1959; Underwood, 1961). Nilai



kapasitas dasar ruas jalan akan diturunkan dari nilai maksimum perkalian u dan k yang didapat dari persamaan regresi u terhadap k .

Uji coba penetapan emp dan kapasitas dasar

Untuk meyakinkan aplikabilitas cara penetapan emp dan kapasitas dasar sebagaimana dihasilkan dari kajian pustaka, dilakukan uji coba terhadap satu set data primer yang dikumpulkan melalui perekaman arus menggunakan video dan perhitungan lalu lintas yang dilakukan di laboratorium. Data primer diperoleh dari ruas jalan antara Nagreg-Tasikmalaya Jawa Barat yang dilakukan sekitar bulan Juli 2010.

Untuk menghitung emp, dilakukan cara analisis yang berbasis kecepatan (lihat persamaan 1). Analisis berdasarkan kecepatan arus, bertujuan untuk mendapat hubungan antara *dependent variable* u_{SMS} (kecepatan, *space mean speed*) terhadap *independent variables* yang terdiri dari arus kendaraan ringan (q_{KR}), arus kendaraan sedang menengah (q_{KSM}), arus bus besar (q_{BB}), arus truk besar (q_{TB}), dan arus sepeda motor (q_{SM}). Analisis menggunakan teknik *least square* untuk *multiple linear regression*.

Hasil analisis terhadap data Nagreg-Tasikmalaya menghasilkan persamaan regresi sebagai berikut:

$$u_{SMS} = 73,67 - 0,01287q_{KR} - 0,02994q_{KSM} - 0,03513q_{BB} - 0,04462q_{TB} - 0,00385q_{SM} \dots\dots\dots 8)$$

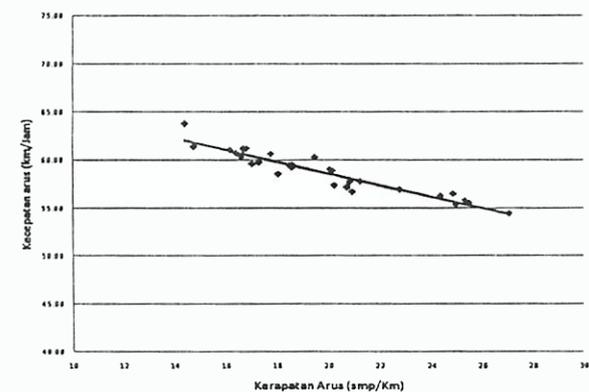
R^2 untuk persamaan tersebut mencapai 0,85, yang menerangkan hubungan yang cukup erat antara data dan persamaan. Persamaan tersebut menunjukkan adanya pengaruh setiap jenis kendaraan terhadap kecepatan lalu lintas. *Intercept* dari persamaan tersebut menginterpretasikan kecepatan arus bebas (u_F), dan koefisien regresi untuk masing-masing *variable independent*-nya menunjukkan pengaruh relatif arus setiap jenis kendaraan terhadap u_{SMS} . Dari persamaan tersebut dapat dihitung nilai emp untuk jenis-jenis kendaraan dengan membandingkan nilai koefisien regresi masing-masing arus jenis kendaraan terhadap

nilai koefisien regresi arus KR. Emp dari analisis terhadap data arus lalu lintas pada ruas Nagreg-Tasikmalaya (2010) dengan interval waktu 15 menit, ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai emp berdasarkan data Nagreg-Tasikmalaya.

Arus total	Nilai emp per Jenis kendaraan	
500-1600 (kendaraan/jam)	KSM	2.33
	BB	2.73
	TB	3.47
	SM	0.30

Dengan menggunakan nilai emp tersebut, besaran arus lalu lintas q dengan satuan kendaraan per jam diubah menjadi Q dengan satuan mobil penumpang. Hasil konversi satuan tersebut diplot dalam kurva yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Plot data dan garis kecenderungan antara kecepatan dan kerapatan untuk data Nagreg-Tasikmalaya, 2010

Hubungan matematik untuk garis *trend* tersebut adalah:

$$u = 70,83 (1 - 0,00859 k) \dots\dots\dots 9)$$

dengan nilai R^2 untuk garis *trend* yang mencapai 0,89. Hal ini menunjukkan hubungan yang kuat antara dispersi data dengan modelnya.

Dari model tersebut dapat dihitung bahwa kerapatan maksimum yang dicapai pada saat kecepatan mendekati nol atau sama dengan nol, $k_j = 116,41$ kendaraan per kilometer. Kecepatan

bebas dicapai pada saat kerapatan mendekati nol, dan mencapai $u_F = 70,83$ km/Jam.

Hasil perhitungan di atas hanya satu contoh untuk mengaplikasikan metode penetapan emp dan kapasitas dasar. Kurva Kecepatan versus kerapan arus lalu lintas menunjukkan dispersi data yang masih terbatas pada interval kecepatan tertentu dan kerapatan tertentu. Kurva tersebut masih diturunkan dari kondisi lokal di ruas jalan Nagreg-Tasikmalaya dan perlu dilengkapi dengan data yang lebih luas yang mewakili jalan-jalan luar kota di Indonesia. Analisis sebagai-mana diuraikan dimuka, merupakan awal kajian dalam memutakhirkan nilai emp dan kapasitas dasar untuk jalan luar kota. Jika model matematis seperti ditunjukkan pada Gambar 3, telah mewakili ruas-ruas jalan di Indonesia, maka nilai kapasitas dapat ditetapkan dari sifat persamaan matematik tersebut yang kemudian dikoreksi dengan membandingkannya dengan sebaran data. Kapasitas, atau nilai maksimum q dari model hubungan u versus k yang linear, dapat diperoleh dari persamaan:

$$C_0 = 0,25 u_F \cdot K_J \quad \dots\dots\dots 10)$$

dan jika angka-angka di atas digunakan, maka nilai dari data Nagreg-Tasikmalaya ini menunjukkan $C_0 = 2062$ smp/jam.

PEMBAHASAN

Nilai emp MKJI-1997 ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Nilai emp MKJI 1997 pada alinemen datar

Arus total	Emp per Jenis kendaraan	
800-1350 (kendaraan/jam)	KSM	1,80-1,50
	BB	1,80-1,60
	TB	2,70-2,50
	SM	0,90-0,70
	6 < L_J < 8m	

Catatan: L_J - lebar jalur lalu lintas

Hasil uji coba menunjukkan nilai yang cenderung “berubah”. Nilai emp MKJI-1997 untuk jalan luar kota pada tipe alinemen datar dengan arus total 800-1350 kendaraan/jam adalah 1,80-1,50 untuk jenis KSM, sedangkan hasil uji coba menghasilkan nilai emp sebesar 2,33. Untuk jenis BB pun cenderung meningkat

dari 1,80-1,60 menjadi 2,73. Demikian juga untuk jenis TB cenderung meningkat dari 2,70-2,50 menjadi 3,47. Kecuali sepeda motor menurun dari 0,90-0,70 menjadi 0,30.

Perubahan nilai emp untuk jenis KSM, BB, dan TB yang cenderung meningkat menunjukkan pengaruh keberadaannya dalam aliran lalu lintas yang semakin membesar, menurunkan kemampuan jalan dalam mengalirkan jumlah kendaraan persatuan waktu yang melalui ruas jalan tersebut. Kelompok jenis ini menunjukkan penurunan relatif dari kelincihannya bermanuver dalam arus lalu lintas terhadap kendaraan ringan, atau sebaliknya bahwa kendaraan ringan meningkat kelincihannya sehingga ruang dan waktu dalam arus lalu lintas “berkurang” dibandingkan dengan jenis kendaraan KSM, BB, dan TB.

Khusus untuk SM, nilai emp-nya cenderung turun, menunjukkan kemampuan SM bermanuver dalam arus lalu lintas yang meningkat sehingga SM memanfaatkan ruang dan waktu dalam arus lalu lintas yang cenderung “lebih rendah”. Hal ini didukung oleh jumlah SM yang dewasa ini semakin tinggi dan teknologi SM untuk bermanuver lebih agresif yang semakin canggih.

Kecenderungan perubahan nilai emp ini sudah ditunjukkan oleh data terbatas Nagreg-Tasikmalaya (2010). Kecenderung sebagaimana dibahas di atas perlu dibuktikan dengan data dari ruas-ruas lain sehingga nilai yang dihasilkan dapat mengkinikan nilai emp dalam MKJI 1997.

Demikian juga dengan hasil perhitungan kapasitas dasar, hasil uji coba cenderung menunjukkan angka yang lebih kecil dari sebelumnya, MKJI-1997 menunjukkan angka sebesar 3100 smp per jam per jalur sedangkan hitungan uji coba menunjukkan nilai 2062 smp/jam/jalur. Nilai yang rendah ini dimungkinkan dengan nilai u_F yang masih rendah, dibawah 110 km/jam dan K_J yang juga masih belum terlalu padat, belum terditeksi data kerapatan lalu lintas dengan kondisi arus yang hampir macet atau sampai dengan macet. Diharapkan data dari ruas-ruas jalan luar kota yang lain dapat melengkapi dispersi kondisi

arus yang lebih lengkap sehingga nilai kapasitasnya lebih representatif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari uraian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan:

1. Perhitungan emp dapat ditetapkan berdasarkan pendekatan pengaruh arus per komposisi terhadap kecepatan lalu lintas; hasil uji coba menunjukkan kecenderungan perubahan nilai emp untuk jenis kendaraan KSM, BB, dan TB yang meningkat dan jenis kendaraan SM yang menurun;
2. Perhitungan kapasitas ditetapkan dari hubungan u versus k yang berbasis linier dan menghasilkan q maksimum dari persamaan yang dihasilkannya; hasil uji coba menunjukkan bahwa nilai kapasitas dasar yang diperoleh lebih kecil dari MKJI-1997.
3. Uji coba terhadap model tersebut menghasilkan nilai emp dan kapasitas dasar yang cenderung berubah dari nilai MKJI-1997.

Saran

1. Cara analisis yang diuraikan dalam makalah ini disarankan digunakan untuk melakukan pengkinian MKJI 1997 untuk ruas jalan luar kota.
2. Analisis untuk menetapkan kapasitas dasar ruas jalan, dapat juga dilakukan menggunakan hubungan tidak linier antara kerapatan versus kecepatan lalu lintas. Pendekatan ini agar dikaji lebih dalam untuk pendekatan arus lalu lintas yang lebih padat seperti arus lalu lintas di dalam jalan-jalan kota.

DAFTAR PUSTAKA

Antono SP, Davey K, Efi Novara, 2009. *Pengkinian MKJI*, 46-47. Dalam workshop permasalahan MKJI 1997, 14

May 2009. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan.

Dinas Perhubungan Provinsi Jawa Barat, 2009. *Pengkinian Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, 9-10. Dalam workshop permasalahan MKJI 1997, 14 May 2009, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan.

Direktorat Keselamatan Transportasi, 2007. *Perkiraan pertumbuhan kepemilikan kendaraan bermotor*. Jakarta: Direktorat Keselamatan Transportasi, Direktorat Perhubungan Darat, Kementerian Perhubungan.

Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009. *Pemanfaatan dan usulan pengkinian MKJI, beberapa pokok pikiran dalam rangka pemutahiran MKJI*, 25. Dalam workshop permasalahan MKJI 1997, 14 May 2009. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan.

Direktorat Lalu lintas dan Angkutan Jalan, 2009. *Pemanfaatan dan usulan pengkinian MKJI, beberapa pokok pikiran dalam rangka pemutahiran MKJI* 24-25. Dalam workshop permasalahan MKJI 1997, 14 May 2009. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan.

Kusnandar, Erwin et al. 2009. *Pengkinian Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Laporan akhir penelitian Balai Teknik Lalu lintas dan Lingkungan Jalan. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan.

Greenberg, H., 1959. *An analyses of traffic flow*. in *Operation Research* 7. Washington, DC: Highway Research Board.

Greenshield, B.D., 1935. *A study in highway capacity*. In *Highway Research Board Proceedings* 14. Washington, DC: Highway Research Board

Munawar A., 2009. *Pengkinian Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997*. Dalam workshop permasalahan MKJI 1997, 14 May 2009, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan.

- Pemerintah Republik Indonesia (PRI), 2004. *Undang-Undang nomor 38 tentang Jalan*. Jakarta: Departemen PU
- _____, 2006. *Peraturan Pemerintah nomor 34 tentang Jalan*. Jakarta: Departemen PU
- _____, 2009. *Undang-undang nomor 29 tahun 2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan*. Jakarta: Departemen PU
- SALTER R.J., 1983. *Highway Traffic Analyses and Design*. London and Basingstroke: The Macmillan Press Ltd.
- SWEROAD in Association with P.T. Bina Karya (Persero), 1994. *Indonesian Highway Capacity Manual Project, Phase 2: Inter-urban Roads*. Final Report of consulting services for Highway Capacity Manual to Direktorat Bina Kota. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- SWEROAD in Association with P.T. Bina Karya (Persero), 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Laporan konsultan yang tidak diterbitkan kepada Direktorat Bina Jalan Kota, Februari 1997, Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Transportation Research Board (TRB), 1994. *Highway Capacity Manual*. Special report 209, Washington, DC: National Research Council.
- Transportation Research Board (TRB), 2000. *Highway Capacity Manual*. Washington, DC: National Research Council.
- Underwood, R.T., 1961. "Speed, volume and density relationships". In *Quality and theory of traffic flow*. Yale: Yale Bureau of Highway.
- Wohl, M. and Martin B.V., 1967. *Traffic system analyses for engineers and planners*. New York: McGraw-Hill inc.