

KAPASITAS DASAR JALAN BEBAS HAMBATAN (BASIC CAPACITY FOR FREEWAY)

Hikmat Iskandar

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jalan A.H. Nasution No.264, Bandung, 40294
E-mail: iskandar_hikmat@yahoo.com
Diterima: 09 Januari 2012, Disetujui: 04 April 2012

ABSTRAK

Sejak Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (MKJI'97) dirumuskan 14 tahun yang lalu, banyak hal dalam peralihan lintasan di Indonesia yang berubah, terutama populasi kendaraan dan regulasinya, yaitu UU No.38/2004 tentang jalan, UU No.22/2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, dan peraturan-peraturan turunannya. Beberapa pakar dan praktisi jalan berpendapat, perlu dilakukan evaluasi terhadap MKJI'97 terkait dengan perubahan tersebut. Latar belakang ini mendasari dilakukannya kegiatan pengkinian MKJI'97 yang pada makalah ini didiskusikan dengan fokus memutakhirkan ekuivalen kendaraan ringan (ekr) dan utamanya kapasitas dasar (C_0) Jalan Bebas Hambatan (JBH). Ada beberapa cara untuk penetapan ekr, diantaranya pendekatan kapasitas, kecepatan, dan waktu antara. Cara lain yang dikembangkan adalah cara perbandingan penggunaan ruang lajur jalan oleh kendaraan-kendaraan. Cara penetapan C_0 menggunakan pendekatan pemodelan matematis hubungan antara kecepatan dan kepadatan. Pada tahun 2011, dikumpulkan sample data arus lalu lintas di 15 ruas JBH di Indonesia. Hasil analisis data menyimpulkan bahwa nilai ekr mengalami perubahan dari nilai yang dipakai MKJI'97. Nilai C_0 yang ditetapkan dari pemodelan non-linear menunjukkan peningkatan sebesar 4,3%-8,7%.

Kata Kunci: Rekayasa Lalu lintas, arus lalu lintas, hubungan kecepatan-kepadatan, Kapasitas Jalan, ekuivalen kendaraan ringan,

ABSTRACT

The Indonesian Highway Capacity Manual 1997 (IHCM'97), which was formulated 14 years ago, there were many changes on traffic situation, mainly on population and regulation, i.e. Roads act No.38 year 2004, Traffic and Road Transport Act No.22 year 2009, and other derivate regulations. Accordingly, some experts and practisions on road suggested that IHCM'97 needs to be reviewed. These become background of this review activity which is discussed in this paper in focus on values of equivalent light vehicle (ekr) and mainly basic capacity (C_0) of the Freeway. There are several methods for deriving ekr, three used by IHCM'97, i.e. capacity, speed, and headway approaches. Other, which was developed, is by comparing spaces occupying by each vehicles type. C_0 is defined by mathematical modeling approach, which relates speed versus density of flow. In year 2011, traffic flow sample data were collected in 15 segments of the Indonesian Tool roads freeway. Results shows that ekr values are slightly change to the IHCM'97, and C_0 , which was derived from non-linear model, increases about 4,3%-8,7%.

Keywords: Traffic engineering, traffic flow, speed-flow relationship, Highway Capacity, equivalent light vehicle.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Di dalam perhitungan analisis jalan, termasuk Jalan Bebas Hambatan (JBH), digunakan nilai Ekuivalen Kendaraan Ringan (ekr) dan Kapasitas Dasar (C_0). Ekr dipakai untuk mengkonversi satuan arus lalu lintas dari kendaraan per jam menjadi skr per jam, dan C_0 adalah nilai baku kapasitas atau kemampuan maksimum suatu ruas jalan yang baku untuk menyalurkan arus kendaraan per jam.

MKJI'97 (Ditjen Bina Marga, 1997) menggunakan ekr dan C_0 yang dirumuskan pada tahun 1997 berdasarkan data yang dikumpulkan sekitar tahun 1993-1995 oleh Ditjen Bina Marga yang dibantu oleh konsultan internasional dari Swedia (SWEROAD). Sejak awal dipublikasikan sampai saat ini, sudah 14 tahun, MKJI'97 belum berubah. Beberapa alasan telah diungkapkan bahwa MKJI'97 perlu direvisi (Antono dkk, 2009; Dishub Jabar, 2009, DKT, 2009; DJBM, 2009; DLLAJ, 2009; Munawar, 2009; Hikmat Iskandar, 2011) dan salah satu yang perlu diungkapkan ulang adalah bahwa kondisi perlintasan dewasa ini dipandang mengalami perubahan yang penting, khususnya berkaitan dengan populasi kendaraan yang meningkat tinggi, porsi sepeda motor yang juga meningkat, perubahan regulasi tentang jalan dan lalu lintas dengan terbitnya UU No.38/2004 (PRI 2004) dan UU No.22/2009 (PRI, 2009) beserta PP dan Kepmen turunannya, pertumbuhan panjang jalan, dan perkembangan teknologi kendaraan yang menyebabkan perubahan kemampuan manouever kendaraan. Alasan-alasan tersebut yang menjadi dasar dilakukannya pengkinian ekr dan C_0 untuk JBH. Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk menyampaikan hasil eksperimen lapangan dalam menetapkan nilai ekr dan C_0 sebagai bahan untuk mengkinikan nilai tersebut dalam MKJI'97.

KAJIAN PUSTAKA

Bagian-bagian MKJI'97 yang direvisi

Beberapa komponen dasar yang dikaji ulang dan disesuaikan dengan perkembangan dewasa ini adalah tipe jalan, nilai ekr (atau dalam MKJI'97 versi bahasa Indonesia disebut emp), C_0 , dan metoda penetapan ekr dan C_0 . Dalam kajian pustaka ini, topik-topik tersebut menjadi fokus pengkajian.

Ciri-ciri tipe JBH

Sesuai definisi MKJI'97, ciri-ciri tipe JBH adalah:

- sebagai jalan untuk lalu lintas menerus dengan pengendalian jalan masuk secara penuh;
- merupakan jalan terbagi, tipe 4/2-T, 6/2-T, 8/2-T;
- umumnya berupa jalan tol;
- merupakan segmen jalan di antara simpang susun yang tidak terpengaruh oleh lalu lintas simpang susun tersebut;
- dilengkapi jalur penghubung untuk ke luar dan masuk JBH;
- mempunyai karakteristik geometrik dan arus lalu lintas yang homogen pada seluruh panjangnya;
- segmen JBH luar kota secara umum diperkirakan jauh lebih panjang dari segmen JBH perkotaan atau semi perkotaan dan karakteristik jalan, lingkungan, dan lalu lintasnya dalam konteks kapasitas, disamakan.

MKJI'1997 menggolongkan JBH menjadi tiga tipe yaitu, 1) JBH2/2-TT, 2) JBH4/2-TT, dan 3) JBH4/2-T, 6/2-T, 8/2-T. Selanjutnya ketiga tipe ini dirubah, sesuai dengan perkembangan regulasi, menjadi hanya 1 tipe JBH, yaitu tipe yang ketiga. Alasan perubahan tersebut adalah sebagai berikut:

- Tipe JBH2/2-TT tidak dikembangkan lebih lanjut sesuai dengan Pasal 32 ayat (2) PP 34/2006 (PRI, 2006), bahwa JBH paling kecil memiliki tipe jalan 4/2-T dengan lebar lajur paling kecil 3,50m, demikian juga untuk tipe JBH4/2-TT;
- Tipe JBH4/2-T, 6/2-T, 8/2-T adalah tipe-tipe JBH yang sesuai peraturan yang berlaku. Mempertimbangkan asumsi MKJI'97 bahwa

kapasitas dan karakteristik tipe JBH6/2-T dan JBH8/2-T serta yang lebih banyak lajunya sama dengan tipe JBH4/2-T, maka untuk eksperimen ekr dan C_0 tidak dibedakan JBH dengan jumlah lajur 4, 6, atau 8.

Beberapa hal yang perlu menjadi pertimbangan terkait regulasi dewasa ini adalah bahwa berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan (PP No.34 tahun 2006), jalan 2/2-TT dan 4/2-TT termasuk katagori Jalan Sedang, dan jalan 4/2-T termasuk katagori Jalan Raya. Untuk tipe jalan terbagi dengan jumlah lajur lebih dari 4, seperti jalan 6/2-T atau jalan 8/2-T, parameter lalu-lintas untuk menetapkan kapasitasnya dapat disamakan dengan jalan 4/2-T. Tipe JBH ke depan hanya meliputi tipe jalan terbagi seperti jalan raya, tetapi dengan pengendalian penuh.

PP No.34 tahun 2006 menetapkan lebar lajur lalu lintas JBH paling kecil 3,50m. Selanjutnya, Permen PU No.19 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan menetapkan bahwa lebar lajur jalan diukur dari sisi dalam marka menerus ke sisi dalam marka menerus di sisi lainnya atau ke garis tengah marka terputus-putus di sisi lainnya. Pengukuran ini konsisten dengan prinsip bahwa marka menerus dilarang dilalui kendaraan kecuali marka terputus-putus. Dengan demikian, lebar lajur tidak termasuk marka menerus.

Mempertimbangkan hal tersebut, lebar jalur lalu lintas adalah, sesuai dengan jumlah lajur jalan, bervariasi mulai dari 2x7,00m, 2x10,50m, 2x14,00m, dan seterusnya tergantung dari jumlah lajur yang dibutuhkan ditambah lebar untuk marka jalan menerus. Ukuran-ukuran tipe jalan di atas menjadi ukuran standar yang harus dicapai JBH di Indonesia untuk masa yang akan datang sehingga perhitungan kapasitas jalan mengacu kepada ukuran standar tersebut.

Tipe medan dan tipe alinemen jalan; MKJI'97 membedakan tiga katagori medan jalan, yaitu datar, bukit, dan gunung. Klasifikasi medan tersebut dibedakan untuk Tipe medan topographi yang dilalui jalan dan tipe alinemen. Kriteria teknis untuk membedakan katagori medan tersebut ada dua. Pertama adalah angka

lengkung horizontal serta vertikal alinemen jalan (*hilliness* dan *bendiness*), dan kedua adalah batas nilai (%) kemiringan melintang jalan yang tegak lurus sumbu jalan. Angka teknis tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2. Beberapa pertimbangan teknis yang melatar-belakangi pembagian terain tersebut, dalam kajian ini juga digunakan.

AASHTO (2001) menjelaskan, pengkatagorian medan menjadi *level terrain*, *rolling terrain*, dan *mountinous terrain* didasarkan pada pencapaian jarak pandang jalan (*highway sight distance*) dan biaya pembangunan jalannya. Untuk medan datar, jarak pandang tersebut dikatagorikan mudah dicapai tanpa harus membongkar atau meratakan rupa bumi yang ada sehingga tidak menyebabkan biaya konstruksi yang tinggi. Untuk katagori medan bukit, pencapaian jarak pandang tersebut sekali-kali terhalang oleh kemiringan medan sehingga ada biaya tambahan untuk pembangunannya. Untuk katagori medan gunung, pencapaian jarak pandang sering harus dilakukan dengan penggalian-penggalian (tebing atau bukit) karena medan yang miring dan berubah-ubah sehingga biayanya pun menjadi tinggi. Jadi pengkelasan medan seperti ini cenderung menjadi dasar untuk perencanaan alinemen atau geometrik jalan, semakin datar suatu jalan maka biaya pembangunannya akan meningkat.

US HCM (2000) menjelaskan, pengkatagorian alinemen jalan didasarkan pada kecepatan operasional kendaraan berat yang sedang berjalan mengarungi segmen jalan dengan bentuk alinemen dan kemiringan memanjang tertentu. Apabila dalam arus lalu-lintas tidak ada perbedaan kecepatan yang penting antara kendaraan berat dengan kendaraan ringan, maka jalan tersebut dikatagorikan alinemen datar. Jika dalam arus lalu lintas sudah mulai ada perbedaan kecepatan antara kendaraan berat dan kendaraan ringan yang signifikan tetapi kendaraan berat belum berjalan dalam kecepatan merayap (*creeping speed*) atau kecepatan minimumnya, maka alinemen tersebut dikatagorikan alinemen bukit. Jika perbedaan kecepatan tersebut sudah menyebabkan kendaraan berat berjalan pada

kecepatan merayap, maka alinemen tersebut dikategorikan alinemen gunung. Kapasitas jalan sangat terpengaruh oleh perbedaan kecepatan tersebut dan pengkategorian alinemen diperhitungkan dalam analisis kapasitas.

Tabel 1 dan Tabel 2 dari MKJI'97, menjadi kriteria teknis yang membedakan pengkategorian alinemen jalan.

Ke depan, pengkategorian medan dan alinemen seperti diuraikan diatas masih dianut, sekalipun dapat dihipotesakan bahwa teknologi mesin kendaraan berat dewasa ini sudah lebih maju dibandingkan dengan saat MKJI'97 dirumuskan sehingga *crawling speed* kendaraan berat diperkirakan meningkat, sehingga dapat mempengaruhi batas *hilliness* lengkung vertikal dan juga *bendiness* lengkung horizontal.

Tabel 1. Tipe medan (muka bumi) jalan

Kategori topography medan jalan	Kemiringan melintang medan yang tegak lurus sumbu jalan (%)
Datar	<10
Bukit	10 – 25
Gunung	25

Tabel 2. Tipe alinemen jalan

Kategori Tipe alinemen jalan	Lengkung Vertikal (<i>Hilliness</i>), (m/Km)	Lengkung horizontal (<i>Bendiness</i>), (Radian/Km)
Datar	0 - 10 (5)	< 1,00 (0,25)
Bukit	10 – 30 (25)	1,00 – 2,50 (2,00)
Gunung	30 (45)	2,50 (3,50)

Disamping itu, batas teknis *hilliness*, jika dinyatakan dalam persen, nilainya untuk alinemen datar adalah 0-1%, untuk alinemen bukit adalah 1%-3%, dan untuk alinemen gunung adalah >3%. Sementara itu, Permen PU No.19/PRT/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan (PRI, 2011) menetapkan batas kemiringan vertikal memanjang paling besar alinemen datar segmen JBH untuk perencanaan adalah 4%, alinemen Bukit 5%, dan alinemen Gunung 6%. Hal ini perlu menjadi perhatian khusus untuk

diteliti lebih lanjut dikaitkan dengan pengkategorian alinemen seperti dalam tabel 2.

Ekivalen Kendaraan Ringan

Arus lalu-lintas adalah arus kendaraan yang beragam jenis dan fungsinya, dalam konteks kapasitas dinyatakan dalam satuan kend./jam. Untuk perhitungan kapasitas, semua nilai arus lalu-lintas perlu disamakan satuannya untuk idealisasi dalam memenuhi anggapan-anggapan pendekatan analisis sehingga bisa dibakukan (misal anggapan *single regime* atau *homogeneous entity* sebagai arus). Nilai arus dari satuan kend./jam dikonversikan menjadi skr/jam dengan menggunakan nilai ekr yang nilainya diturunkan secara empiris untuk tipe kendaraan yang berbeda dengan kendaraan bakunya. Kendaraan baku ditetapkan kendaraan ringan, diberi kode KR, meliputi sedan, minibus, truk pik-up, dan jeep. MKJI'97 menetapkan Kijang Super tahun 93 sebagai KR yang baku, tetapi dalam prakteknya, beragam jenis kendaraan “dianggap” memiliki nilai ekr yang sama dengan KR baku. Tipe kendaraan KR pada MKJI'97 menjadi nilai rujukan perbandingan satuan kendaraan per komposisi, maka nilai emp atau ekr untuk jenis kendaraan ini adalah satu, dan yang lain adalah:

- Kendaraan berat menengah, sebelumnya diberi kode MHV (*medium to heavy good vehicles*), dirubah kedalam bahasa Indonesia menjadi Kendaraan Sedang disingkat KS, meliputi truk dua gandar dan bus kecil,
- Bus besar, sebelumnya diberi kode LB, di rubah menjadi BB.
- Truk besar (meliputi truk tiga gandar, truk gandengan yang pada saat MKJI'97 diturunkan banyak digunakan), dan *truck semi trailer* yang yang dewasa ini banyak digunakan, diberi kode sebelumnya HV (*heavy vehicles*) dan selanjutnya diberi kode KB.
- Sepeda motor, meliputi semua kendaraan roda dua bermotor, sebelumnya diberi kode MC, selanjutnya diberi kode SM.

Khusus untuk JBH, klasifikasi jenis kendaraan digolongkan hanya menjadi tiga, yaitu KR, KS dan KB dengan spesifikasi sebagai berikut:

- KR adalah semua kendaraan yang panjangnya <5m;
- KS adalah semua kendaraan yang panjangnya 5 s.d. 9m
- KB adalah semua kendaraan yang panjangnya lebih dari 9m.

Sepeda motor tidak dimasukkan karena tidak diizinkan di jalan Tol, dan hambatan samping tidak ada karena jalan Tol dikendalikan penuh.

Nilai-nilai ekr kendaraan sesuai pengelompokan MKJI'97 menjadi objek untuk direvisi dan nilainya disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Ekr untuk tipe JBH4/2-T

Tipe alinyemen	Arus lalu-lintas per lajur (kend/jam)	ekr		
		KS	BB	TB
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1250	1,4	1,4	2,0
	2250	1,6	1,7	2,5
	≥2800	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,8	1,6	4,8
	900	2,0	2,0	4,6
	1700	2,2	2,3	4,3
	≥ 2250	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	700	2,9	2,6	5,1
	1450	2,6	2,9	4,8
	≥ 2000	2,0	2,4	3,8

Kapasitas dasar

Persamaan dasar MKJI'97 untuk penentuan kapasitas JBH adalah sebagai ditunjukkan pada persamaan 1)

$$C = C_0 \times FC_w \dots\dots\dots 1)$$

keterangan:

- C adalah kapasitas (smp/jam),
- C₀ adalah kapasitas dasar (smp/jam),
- FC_w adalah faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas.

Untuk JBH, MKJI'97 masih menggunakan faktor penyesuaian pemisahan arah (FSP) yang hanya berlaku untuk tipe JBH2/2-TT dan JBH4/2-TT. Tipe ini selanjutnya tidak dipakai lagi, sehingga rumus kapasitasnya seperti di atas, nilai C₀ dikoreksi

jika ada perbedaan lebar jalur lalu lintas dari lebar bakunya.

Pengkinian kapasitas hanya akan merevisi C₀. C₀ ditetapkan secara empiris dari hubungan dasar antara kepadatan dan kecepatan arus lalu lintas.

Hipotesa umum yang mendasari analisa kapasitas ruas jalan adalah bahwa kecepatan berkurang bila kepadatan arus bertambah, demikian juga sebaliknya, kecepatan meningkat bila kepadatan berkurang. Kapasitas ditentukan pada kondisi kombinasi kecepatan dan kepadatan yang memberikan arus yang terbesar. Pengurangan kecepatan akibat penambahan kepadatan arus mendekati konstan pada arus rendah dan menengah, tetapi menjadi lebih besar pada arus yang mendekati kapasitas. Pada kondisi arus yang mendekati kapasitas, sedikit penambahan arus akan menyebabkan pengurangan kecepatan yang besar. Hubungan matematis yang menjelaskan fenomena ini pada jalan berlajur banyak dapat diperoleh dengan menggunakan model "single regime", seperti persamaan 2):

Greendshields (1935):

$$v = v_B - \left(\frac{v_F}{k_J} \right) k \dots\dots\dots 2)$$

Dan MKJ'97 mengadopsi bentuk yang serupa tapi tak sama, seperti persamaan 3) s.d. 4):

$$v = v_B \left[1 - \left(\frac{k}{k_J} \right)^{(L-1)} \right]^{\left(\frac{1}{1-m} \right)} \dots\dots\dots 3)$$

$$\frac{k_0}{k_J} = \left[\frac{1-m}{L-m} \right]^{\left(\frac{1}{L-m} \right)} \dots\dots\dots 4)$$

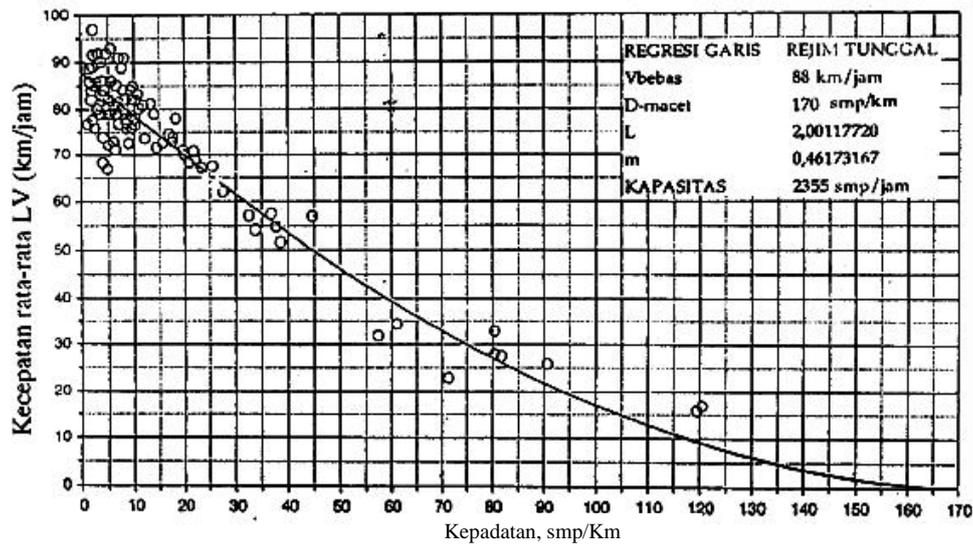
keterangan:

- v adalah kecepatan arus (smp), km/jam
- v_B adalah Kecepatan arus bebas (km/jam)
- k adalah Kepadatan (smp/km), dihitung sebagai Q/V
- k_J adalah Kepadatan pada saat jalan macet total
- k₀ adalah Kepadatan pada saat kapasitas
- L dan m adalah Konstanta

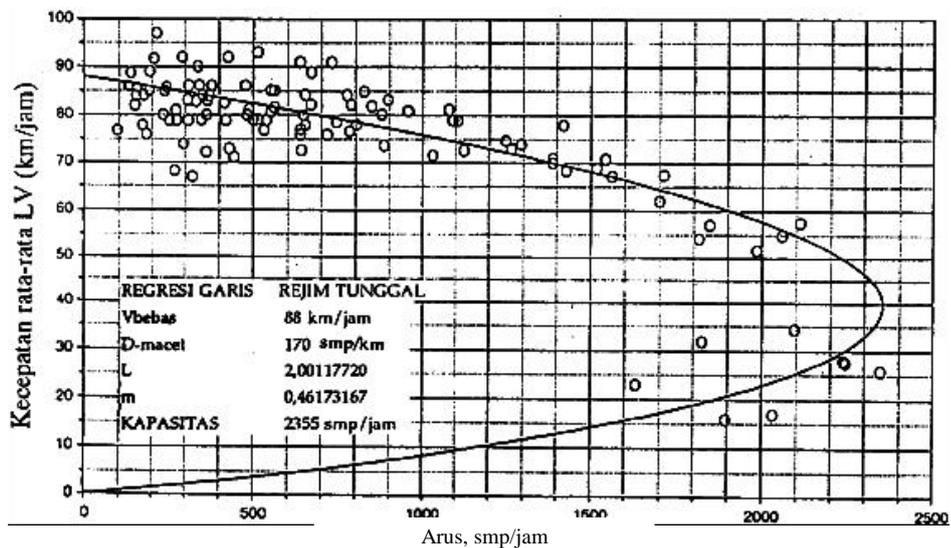
Bentuk lain dapat berupa hubungan yang non linear seperti model yang dikembangkan oleh Greenberg (1955) atau oleh Underwood (1961).

Untuk JBH4/2-T, hubungan k - v seringkali mendekati linier dan dapat digambarkan dengan model linier yang

se sederhana seperti di atas. MKJI'97 memplot hubungan khas antara k-v seperti dalam gambar berikut. Kurva hubungan tersebut yang kemudian dianalisis untuk merumuskan nilai C_0 (Tabel 4).



Gambar 1. Hubungan kecepatan vs kepadatan untuk tipe JBH4/2-T



Gambar 2. Hubungan kecepatan vs arus untuk tipe JBH4/2-TT

Tabel 4. Kapasitas Dasar Ruas Jalan Bebas Hambatan

Tipe Jalan 4/2-T dan 6/2-T	C_0 (smp/jam)	Catatan
Datar	2300	Per Lajur
Bukit	2250	Per Lajur
Gunung	2150	Per lajur

Nilai C_0 pada Tabel 4 merupakan fokus bahasan kapasitas jalan untuk JBH. Diperkirakan nilai C_0 tersebut akan “bergeser” sehubungan dengan meningkatnya populasi kendaraan terutama kendaraan yang baru dengan mesin dan sistem rem serta berat kendaraan yang memungkinkan kendaraan bergerak dengan lebih *responsive*, lebih cepat, dan lebih dekat antara satu dengan kendaraan yang beriringan (memperpendek *headway*) dalam kondisi arus kapasitas.

Pendekatan empiris dalam menetapkan ekr dan C_0

Pendekatan empiris untuk penetapan nilai ekr dapat dilakukan dengan empat pendekatan (Iskandar, 2011). Pertama berdasarkan pendekatan Kecepatan arus lalu-lintas; kedua berdasarkan pendekatan Kapasitas jalan; ketiga berdasarkan pendekatan waktu antara (*time headway*); dan keempat berdasarkan pendekatan penempatan ruang lajur jalan oleh kendaraan.

Pendekatan pertama lebih cocok untuk sifat arus yang masih “lengang”. Idealnya arus masih memiliki waktu antara >9 detik. Kondisi arus ini dikategorikan sebagai kecepatan bebas, dimana kendaraan-kendaraan dalam arus tidak saling mempengaruhi kecepatannya.

Pendekatan kedua, cocok digunakan untuk kondisi arus yang lebih padat dari kondisi pendekatan pertama. Waktu antara antar kendaraan mencapai < 9 detik sampai dengan arus mendekati kapasitasnya atau memiliki waktu antara paling kecil sekitar satu detik atau bahkan lebih kecil, misal 0,9 detik. Pendekatan kapasitas ini cocok untuk digunakan pada ruas jalan dilingkungan perkotaan dimana kepadatan arusnya lebih tinggi dibandingkan dengan di luar kota dan pengguna jalan banyak yang

kurang berdisiplin seperti berjalan tidak dalam lajur jalan yang disediakan tetapi sering berada di atas garis marka pembagi lajur atau menggunakan bahu jalan sehingga arus tidak lagi bergerak dalam satu garis antrian.

Pendekatan ketiga yang berdasarkan waktu antara, cenderung digunakan untuk jalan-jalan antar kota dimana kendaraan berjalan beriringan mengikuti satu garis lurus sehingga celah waktu antara kendaraan-kendaraan yang beriringan jelas. Secara ideal, pendekatan Waktu antara dipandang kurang sesuai dengan kondisi lalu-lintas di perkotaan karena pada umumnya kendaraan di kawasan perkotaan berjalan tidak pada satu garis lurus pada lajur lalu-lintasnya dan sering dijumpai sepeda motor yang banyak berkelompok didalam suatu arus lalu-lintas (tidak beriringan), sehingga sangat sulit untuk menentukan waktu antara dua sepeda motor yang beriringan.

Pendekatan keempat berdasarkan penempatan ruang lajur jalan oleh kendaraan-kendaraan (Iskandar, 2011) merupakan cara alternatif pada kondisi arus dimana perilaku kendaraan-kendaraan dalam arus sulit diidealisasikan dalam bentuk *single regime*, seperti sepeda motor dalam arus perkotaan. Cara ini cenderung menghasilkan nilai ekr yang konsisten untuk kondisi lalu lintas di segmen-segmen jalan perkotaan.

Ringkasan kajian literatur

Dari kajian literatur di atas, dapat diringkaskan sebagai berikut:

- Tipe fasilitas jalan yang perlu dikaji lebih jauh untuk menetapkan ekr dan C_0 JBH, adalah tipe JBH4/2-T. Tipe JBH yang 6 lajur dan 8 lajur, untuk nilai ekr dan C_0 dapat digunakan untuk nilai JBH yang 4 lajur.
- Metoda penurunan ekr menggunakan:
 - a. pendekatan kecepatan untuk arus yang masih lengang,
 - b. pendekatan kapasitas untuk arus yang padat,
 - c. pendekatan waktu antara untuk kondisi arus yang “masih” beriringan, dan
 - d. pendekatan perbandingan penggunaan ruang lajur jalan oleh kendaraan untuk kondisi arus yang campur tak beraturan.

Untuk JBH dimana kendaraan-kendaraan berjalan cenderung teratur beriringan dalam lajur lalu lintas, pendekatan kecepatan atau pendekatan waktu antara lebih cocok untuk digunakan. Pendekatan perbandingan penggunaan ruang lajur jalan oleh kendaraan-pun dapat digunakan.

Penetapan kapasitas ditetapkan melalui pendekatan matematis empiris, menggunakan model hubungan k-v yang linear maupun yang non-linear.

HIPOTESIS

Kapasitas dasar JBH, karena perubahan per lalu lintas di Indonesia terutama populasi kendaraan, dihipotesakan akan berubah.

METODOLOGI

Metodologi untuk menetapkan data, ekr, dan C_0 adalah sebagai berikut.

- Untuk pengumpulan data, data arus untuk mengkinikan ekr dan C_0 dikumpulkan di segmen-segmen jalan Tol. Pengumpulan data arus dilakukan dengan dua cara. Cara pertama menggunakan alat *TrafiCam Collect-R*. Alat ini berupa kamera yang dilengkapi program penganalisa gambar video (*image analyser*) yang menghitung arus dan kecepatan langsung dari gambar video yang tertangkap oleh kamera *TrafiCam Collec-R*. Data arus direkam dan diunduh setelah selesai survei menggunakan Laptop. Cara kedua menggunakan *Video Camcorder*, merekam arus lalu lintas selama waktu pengamatan. Gambar video kemudian dianalisis di laboratorium untuk menghitung arus, kecepatan dan kepadatan. Cara pertama digunakan sebagai pengumpul data utama. Cara kedua digunakan untuk konfirmasi data cara pertama dan untuk analisis lainnya serta sebagai backup data. Data dikumpulkan untuk kondisi arus lalu lintas normal pada hari kerja selama 8 jam waktu siang hari pada kondisi cuaca baik. Data yang dikumpulkan

merepresentasikan arus lalu lintas segmen-segmen JBH di Indonesia.

- Hasil proses pengumpulan data menggunakan *TrafficCam* adalah arus (q) per komposisi KR, KS, dan KB serta kecepatan rata-ratanya per interval waktu 5 menit.
 - Hasil lain dari pengamatan *play back* rekaman video adalah data jumlah kendaraan per jenis yang menempati ruang lajur jalan dalam kondisi arus yang lengang, sedang, dan padat.
 - Untuk menetapkan klasifikasi kendaraan berdasarkan panjang kendaraan, dilakukan pengumpulan data panjang kendaraan. Pengukuran dilakukan secara manual langsung terhadap jenis-jenis kendaraan tertentu yang sedang berhenti, khususnya di tempat parkir, atau di tempat istirahat kendaraan angkutan barang, atau di terminal angkutan umum. Nilai representatif pengukuran statis ini, untuk jenis KR, KS, dan KB, menjadi data input untuk *setting TrafficCam Collect-R* sebagai dasar alat tersebut melakukan klasifikasi jenis kendaraan.
 - Ekr ditetapkan berdasarkan data yang terkumpul dengan cara sebagaimana diuraikan dalam butir 1) di atas, kemudian dianalisis berdasarkan pendekatan kecepatan, kapasitas, dan penempatan ruang jalan oleh kendaraan.
 - C_0 ditetapkan berdasarkan data arus yang dikumpulkan menggunakan alat *TrafiCam Collect-R* setelah dikonversi satuan arusnya dari satuan kendaraan per 5 menit menjadi skr per jam. Pendekatan matematis untuk mendapatkan hubungan dasar k-v dilakukan, baik untuk asumsi linear maupun untuk asumsi non-linear. Nilai C_0 ditetapkan dari nilai maksimum perkalian k dan v, dalam satuan skr per jam, baik untuk anggapan linear maupun untuk anggapan non linear, tergantung kepada dispersi data yang diperoleh.
- Nilai ekr dan nilai C_0 yang diperoleh dibandingkan terhadap nilai MKJI'97 untuk mengevaluasi perubahannya.

HASIL DAN ANALISIS

Data

Pengumpulan data arus, sebagaimana diuraikan dalam metodologi, dilakukan di segmen-segmen jalan tol terpilih, segmen lurus, dan memungkinkan penempatan kamera, yang masing-masing di 15 ruas jalan tol seperti ditunjukkan dalam Tabel 5. Pengumpulan data menghasilkan data arus jalan tol gabungan sebanyak 3041 set arus untuk lajur kiri dan 3400 set arus untuk lajur kanan, masing-masing per interval 5 menit yang dikonversi menjadi arus dalam satuan kendaraan per jenis per jam.

Tabel 5. Lokasi pengumpulan data arus lalu lintas JBH tahun 2011

Ruas jalan Tol			
1.	Jalan Tol Camareng	Km 5,4	DKI Jakarta
2.	Jalan Tol Camareng	Km 12	DKI Jakarta
3.	Jalan Tol JORR–Cikunir	Km 26,4	DKI Jakarta
4.	Jalan Tol Jakarta Cikampek	Km 38	
5.	Jalan Tol Jakarta Cikampek	Km 56,2	
6.	Jalan Tol Tangerang-Merak	Km 68,75	Banten
7.	Jalan Tol Tangerang-Merak	Km 94,50	Banten
8.	Jalan Tol Padaleunyi	Km 133,40	Bandung
9.	Jalan Tol Padaleunyi	Km 151,80	Bandung
10.	Jalan Tol Palikanci	Km 218,60	Cirebon
11.	Jalan Tol Kota Semarang		
12.	Jalan Tol kota Surabaya-Gempol		
13.	Jalan Tol kota Surabaya-Porong		
14.	Jalan Tol kota Belmera – Medan		
15.	Jalan Tol kota Ir. H Sutami, Makassar		Makassar

Nilai ekuivalen kendaraan ringan

Dari hasil pengolahan data menggunakan pendekatan kecepatan, kapasitas, dan multiple linear regressi, serta pendekatan penempatan ruang lajur jalan oleh kendaraan-kendaraan, diperoleh hasil sebagai berikut.

Berdasarkan pendekatan kecepatan diperoleh hubungan antara v versus q_{KR} , q_{KS} , q_{KB} yang diturunkan dengan cara regressi berganda dalam Tabel 6. Dari persamaan

tersebut dihitung V_B , dan ekr untuk masing-masing jenis kendaraan.

Tabel 6. Persamaan regresi, R^2 , V_B , dan ekr untuk lajur kiri pada kondisi lengang ($v > 60$ Km/jam dan $k < 6$ kend./Km)

$v = 94,93 - 0,01054 q_{KR} - 0,03802 q_{KS} - 0,07349 q_{KB}$	
R Square	0,25
$V_B =$	95,90
ekr_{KR}	1
ekr_{KS}	3,61
ekr_{KB}	6,97

Hasil tersebut, masih belum memuaskan karena persamaan tersebut hanya menjelaskan sekitar 25% dispersi data terhadap nilai v . Pendekatan kapasitas memberikan persamaan regresi dan nilai ekr sebagaimana dalam Tabel 7.

Tabel 7. Persamaan regresi, R^2 , V_B , dan ekr untuk lajur kiri, dan kondisi lengang

$q_{KR} = 119,85 - 0,19292 q_{KS} - 0,26270 q_{KB}$	
R Square	0.034543
V_B	119.85
ekr_{KR}	1,00
ekr_{KS}	0.19
ekr_{KB}	0.26

Hasil tersebut, masih jauh dari memuaskan karena persamaan tersebut hanya menjelaskan 3,45% dispersi data terhadap nilai q . Berdasarkan pendekatan pemanfaatan ruang lajur jalan oleh kendaraan diperoleh nilai ekr sebagaimana dalam Tabel 8.

Tabel 8. Nilai ekr untuk JBH4/2-T berdasarkan perbandingan penggunaan ruang lajur jalan oleh kendaraan per jenis

Kondisi lalu lintas	Ekr		
	KR	KS	KB
Lengang, $q < 400$	1.00	3.00	3.00
Sedang, $400 < q < 800$	1.00	1.66	3.50
Padat, $q > 1600$	1.00	1.33	2.00

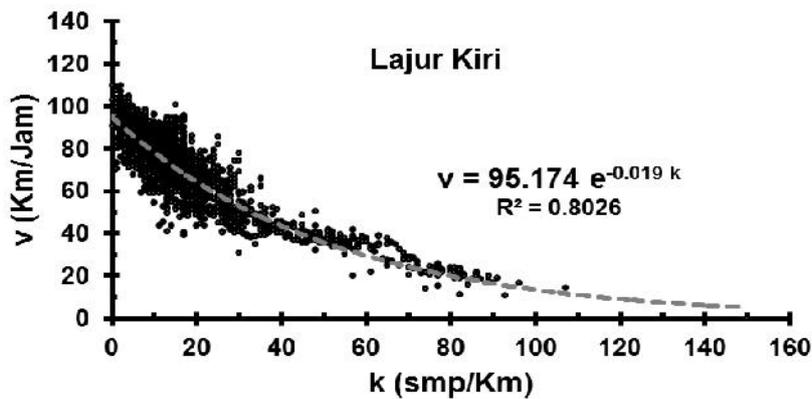
Mengevaluasi nilai ekr berdasarkan ketiga pendekatan diatas, dimana hasil pendekatan kecepatan dan pendekatan kapasitas menggunakan teknis regresi menghasilkan nilai R^2 yang tidak memuaskan. Mempertimbangkan hal-hal tersebut, sedangkan nilai ekr yang didapat dari cara penempatan ruang jalan oleh kendaraan menghasilkan nilai yang lebih representative, maka sebagai hasil akhirnya analisis digunakan hasil dari analisis cara ketiga. Hasilnya di tuangkan dalam Tabel 9.

Tabel 1. Ekr untuk JBH tipe 4/2-T

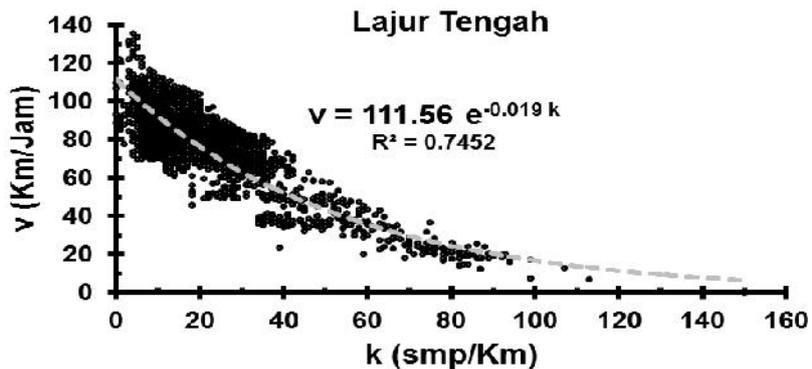
Tipe alinyemen	Arus per lajur (kend/jam)	ekr	
		KS	TB
Datar	<400	3,00	3,00
	400-800	1,66	3,50
	>800	1,33	2,00

Nilai Kapasitas Dasar

Dengan menggunakan nilai-nilai ekr seperti dalam Tabel 9, dilakukan perhitungan konversi data dari satuan kendaraan per jam ke satuan skr per jam. Data hasil konversi kemudian diplot untuk mendapatkan gambaran tentang dis-persi data antara k versus v. Plot tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Plot data v-k untuk lajur kiri JBH



Gambar 4. Plot data v-k untuk lajur kanan JBH

Dapat dilihat bahwa dispersi data $v-k$ menunjukkan kecenderungan “non-linear” dan model persamaan regresi mengikuti negatif eksponensial yang memberikan penjelasan dispersi data terhadap model persamaan yang terbaik, yaitu 80,26% untuk lajur kiri dan 74,52% untuk lajur kanan. Dari hubungan tersebut dapat disimpulkan bahwa besarnya V_B adalah 95Km/jam untuk lajur kiri dan 112Km/jam untuk lajur kanan. Hubungan tersebut memberikan nilai C_0 sebesar 2400 skr/jam untuk lajur kiri dan 2500 ekr/jam untuk lajur kanan. Dari analisis ini, dapat disimpulkan bahwa nilai C_0 JBH seperti dalam Tabel 10.

Tabel 10. Kapasitas Dasar segmen JBH tahun 2011

Tipe Jalan 4/2-T; 6/2-T; 8/2-T	C_0 (skr/jam)	Catatan
Alinemen DATAR	2400 (per lajur)	Lajur kiri
	2500 (per lajur)	Lajur kanan

PEMBAHASAN

Penetapan ekr menggunakan teknik regresi baik untuk pendekatan kecepatan maupun pendekatan kapasitas, memberikan nilai koefisien determinasi yang tidak memuaskan. Salah satu sebab hal ini terjadi karena inkonsistensi data dimana kecepatan kendaraan-kendaraan untuk suatu kepadatan arus lalu lintas tertentu bervariasi terlalu besar. Ada pengemudi yang memilih kecepatan tinggi pada suatu kepadatan arus yang sama sementara yang lain tidak memilih kecepatan yang tinggi. Fakta ini dapat terlihat dari dispersi data kecepatan pada setiap nilai kepadatan yang ditunjukkan dalam Gambar 3 dan 4. Mengambil data dari nilai rata-rata kecepatan menghasilkan persamaan regresi dengan R^2 yang rendah. Demikian juga jika diambil data dengan nilai kecepatan diatas nilai tertentu (minal 95%-tile).

Pemilihan cara penempatan ruang jalan oleh kendaraan kemudian menjadi cara yang lebih memberikan hasil yang lebih baik. Cara ini mengasumsikan bahwa suatu ruang lajur

jalan tertentu dalam kecepatan tertentu akan menampung kendaraan yang terbesar jika seluruhnya dari jenis KR, dan akan lebih kecil jika seluruhnya KS, atau seluruhnya KB, atau campuran dari jenis-jenis kendaraan KR, KS, dan KB. Hal ini disebabkan secara umum oleh dimensi kendaraan yang berbeda dan kemampuan manover kendaraan yang juga berbeda. Perbandingan jumlah ini yang kemudian mendasari penetapan nilai ekr.

Membandingkan nilai ekr MKJI'97 dengan ekr yang diperoleh dari menganalisa data tahun 2011, khususnya jenis KB memiliki nilai ekr yang lebih tinggi dari nilai sebelumnya. Hal ini dapat disebabkan oleh jenis kendaraan berat yang beroperasi pada saat MKJI'97 dirumuskan berlainan dengan kendaraan berat yang beroperasi dewasa ini. *Truck semi trailer* yang beroperasi di jalan Tol lebih banyak dijumpai dewasa ini, dan ini yang mungkin menjadi sebab ekr KB meningkat.

Membandingkan nilai C_0 MKJI'97 (Tabel 4) dengan hasil analisis terhadap data JBH tahun 2011 (Tabel 10), terdapat kenaikan nilai kapasitas dari 2300skr/jam menjadi 2400 skr/jam untuk lajur kiri dan 2500skr/jam untuk lajur kanan, atau naik sekitar 4,3%-8,7%. Sebelumnya, MKJI'97 tidak membedakan kapasitas untuk lajur kiri dan lajur kanan atau lajur cepat. Ternyata, analisis data menunjukkan nilai yang berbeda untuk kapasitas lajur kiri dan lajur kanan.

Perbedaan nilai C_0 pada lajur kiri dan kanan dapat disebabkan oleh ketentuan cara berlalu lintas di jalan Tol bahwa lajur kanan diperuntukkan bagi kendaraan yang menyusul atau berjalan lebih cepat sehingga adalah suatu kewajaran jika nilai V_B untuk lalu lintas pada lajur kanan menjadi lebih tinggi.

Mempertimbangkan karakteristik operasional lalu lintas umumnya di jalan tol yang menerapkan cara berlalu lintas bahwa lajur kanan atau lajur dua atau lajur cepat diperuntukkan untuk kendaraan yang berjalan lebih cepat atau menyusul, maka sebaiknya kapasitasnya pun dibedakan sekalipun perbedaannya tidak terpaut besar tetapi tetap masih signifikan (4%).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan:

1. Nilai ekr untuk JBH mengalami sedikit perubahan dari nilai MKJI'97. Nilai ekr untuk jenis kendaraan KB lebih besar (lihat Tabel 9)
2. C_0 ditetapkan dari pemodelan hubungan $v-k$ yang non-linear yang memberikan "fit" disperse data terbaik, yaitu *Negative Exponential*.
3. Nilai C_0 untuk lajur kiri dan lajur kanan JBH berbeda sebesar 4%.
4. Nilai C_0 untuk JBH mengalami kenaikan sebesar 4,3%-8,7% dari C_0 MKJI'97.

Saran

1. Nilai ekr dan C_0 hasil penelitian ini disarankan digunakan untuk memutakhirkan nilai C_0 MKJI'97. Nilai-nilai tersebut diturunkan dari data yang dikumpulkan cukup mewakili segmen-segmen jalan Tol di Indonesia dengan kategori JBH.
2. Cara penetapan ekr dengan pendekatan penempatan ruang jalan oleh kendaraan agar dikembangkan lebih jauh untuk sebagai alat analisis bagi kondisi arus lalu lintas tipikal Indonesia.
3. Nilai ekr untuk kondisi alinemen jalan gunung dan Bukit, agar diteliti, apakah juga mengalami perubahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Antono SP, Davey K, Efi Novara. 2009. "Pengkianian MKJI". Dalam *Workshop permasalahan MKJI'97*, 14 May 2009. Bandung: Pusjatan.
- Dinas Perhubungan Provinsi Jawa Barat. 2009. "Pengkianian Manual Kapasitas Jalan Indonesia." Dalam *Workshop Permasalahan MKJI'97*, 14 May 2009, Bandung: Pusjatan.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 2009." Pemanfaatan dan usulan pengkianian MKJI, beberapa pokok pikiran dalam rangka pemutahiran MKJI". Dalam *Workshop Permasalahan MKJI'97*, 14 May 2009, Bandung: Pusjatan.

Direktorat Lalu-lintas dan Angkutan Jalan (DLLAJ). 2009. *Pemanfaatan dan usulan pengkianian MKJI, beberapa pokok pikiran dalam rangka pemutahiran MKJI*. Makalah disajikan dalam workshop permasalahan MKJI'97, 14 May 2009, Pusjatan, Bandung.

Erwin K, dkk., 2009. *Pengkianian Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Laporan penelitian Balai Teknik Lalu-lintas dan Lingkungan Jalan, tahun anggaran 2009 Pusat Litbang Jalan dan Jembatan: Bandung.

Greenberg, H., 1959. "An analysis of traffic flow". *Operation Research*. 7(1):79-85.

Greenshields, 1935. A study of traffic capacity". In *Proceeding Highways Research Board 14* . Washington, DC: TRB.

Iskandar H., 2011. *Kapasitas dasar jalan perkotaan*. Laporan Penelitian berupa Naskah ilmiah, Pusjatan : Bandung.

Munawar A., 2009. "Pengkianian Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997". Dalam *Workshop permasalahan MKJI'97*,14 May 2009, Pusjatan : Bandung.

Pemerintah Republik Indonesia . 2011. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.19/PRT/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Persyaratan Perencanaan Teknis Jalan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

_____. 2009. *Undang-undang Republik Indonesia nomor 22 tahun 2009 tentang lalu lintas dan angkutan jalan*. Jakarta: Kementerian Hukum dan Hak Azasi Manusia.

_____. 2006. *Peraturan Pemerintah nomor 34 tahun 2006 tentang jalan*.

- Jakarta: Kementerian Hukum dan Hak Azasi Manusia
- _____. 2004. *Undang-undang Republik Indonesia nomor 38 tahun 2004 tentang jalan*. Jakarta
- SWEROAD and PT 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 dan PT Bina Karya (Persero), 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. (Laporan konsultan yang tidak diterbitkan). Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- SWEROAD dan PT Bina Karya. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Final Report. Jakarta: Direktorat Bina Jalan Kota
- Underwood, R.T., 1961. Speed, volume and density relationships. *Quality and theory of traffic flow*. Yale Bureau of Highway, 1961.