

STUDI HUBUNGAN VOLUME, KECEPATAN DAN KERAPATAN PADA RUAS JALAN GATOT SUBROTO, KOTA CIMAHI

Oleh : Lucky Tulus Pribadi

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani

Arus lalu lintas merupakan interaksi yang unik antara pengemudi, kendaraan, dan jalan. Tidak ada arus lalu lintas yang sama bahkan pada keadaan yang serupa. Sehingga arus pada suatu ruas jalan tertentu selalu bervariasi. Walaupun demikian diperlukan parameter yang dapat menunjukkan kondisi ruas jalan, atau yang akan dipakai untuk desain. Parameter tersebut antara lain adalah volume, kecepatan dan kerapatan.

Hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan sering digunakan sebagai dasar dalam pengelolaan arus lalu lintas pada suatu jalan raya. Untuk itu perlu dilakukan suatu studi mengenai ketiga parameter ini sehingga hasil studi dapat memberikan gambaran yang saling terkait antara ketiga parameter tersebut. Hasil analisis dari studi berupa model matematis yang dikembangkan berdasarkan hubungan dasar volume sama dengan kecepatan kali kerapatan atau dalam bentuk persamaan $V = D \cdot U$.

Terdapat banyak model dalam menyatakan hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan. Tiga diantaranya adalah model Greenshields, Greenberg dan Underwood. Greenshields mendasarkan modelnya pada asumsi hubungan kecepatan dan kerapatan merupakan hubungan linier. Greenberg beranggapan arus lalu lintas dapat dianalogikan sebagai arus fluida. Hubungan kecepatan dan kerapatan pada model Greenberg dengan demikian merupakan hubungan logaritmik. Pada model Underwood, model yang disusun berdasarkan teorinya dari hasil penelitian kecepatan dan kerapatan dimana kedua parameter ini memiliki hubungan eksponensial.

Studi hubungan volume, kecepatan dan kerapatan mengambil lokasi penelitian di ruas jalan lurus jalan Gatot Subroto Cimahi. Pada ruas ini dilakukan survai volume dan kecepatan kendaraan secara langsung sementara data kerapatan didapat dari hasil membagi nilai volume dengan kecepatan yang dihasilkan. Survai volume menggunakan metode *tally counting manual* sementara untuk kecepatan digunakan pengukuran dengan alat bantu *stop watch*.

Kata kunci : lalu lintas, karakteristik lalu lintas, model hubungan, regresi linier

1. Pendahuluan

Lalu lintas atau traffic dapat diartikan sebagai pergerakan. Pergerakan ini dapat berupa pergerakan manusia, hewan, kendaraan ataupun muatan barang. Lalu lintas dapat diukur besarnya sebagai jumlah pergerakan antara 2 titik ataupun point. Hal penting yang perlu diperhatikan dalam pergerakan ini adalah adanya dominasi pergerakan kendaraan bermotor dalam terciptanya kondisi lalu lintas yang ada. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa

mempelajari masalah lalu lintas, terutama kualitas dan kuantitasnya, harus dilakukan melalui analisa terhadap pergerakan yang dilakukan oleh kendaraan bermotor.

Kendaraan bermotor merupakan bagian penting dalam mempengaruhi karakteristik lalu lintas. Kebanyakan teknik analisa lalu lintas mengarahkan perhatiannya pada pergerakan kendaraan bermotor dimana sifatnya yang heterogen membuat perkiraan tentang arus lalu lintas menjadi sesuatu yang kompleks. Untuk lebih memudahkan dalam

penanganan arus lalu lintas yang heterogen ini, yang berarti efek terhadap karakteristik operasionalpun berbeda, dikenalkan konsep "Satuan Lalu Lintas" atau "*Unit of Traffic*" yang disebut Satuan Mobil Penumpang (smp). Pada konsep ini kendaraan-kendaraan yang bukan kendaraan penumpang diekivalenkan dengan suatu faktor ekivalen yang disebut ekivalensi mobil penumpang atau emp (MKJI, 1997).

Studi terhadap pergerakan kendaraan bermotor menghasilkan karakteristik lalu lintas pada suatu jalan dimana 3 faktor utamanya adalah volume (*flow*), kecepatan (*speed*) dan kerapatan (*density*). Ketiga faktor ini secara teoritis memiliki hubungan yang mendasar yang pada aplikasinya dapat digunakan sebagai dasar dalam penerapan manajemen lalu lintas (Traffic Management) yang paling sesuai dengan kondisi jalan tersebut.

TUJUAN STUDI

Tujuan dari studi ini mencakup hal-hal sebagai berikut:

1. Mempelajari karakteristik lalu lintas melalui besaran-besaran volume, kecepatan dan kerapatan pada daerah studi.
2. Menganalisa dan menggambarkan hubungan ketiga parameter utama karakteristik lalu lintas dengan menggunakan model-model pendekatan seperti Greenshiels, Greenberg, Underwood dan Northwestern.
3. Menentukan besarnya kapasitas jalan pada daerah studi berdasarkan model yang terbentuk.

RUANG LINGKUP

Ruang lingkup penelitian dibatasi pada ruas jalan arteri Jl. Raya Cimahi dimana pada ruas ini dilakukan survey lapangan pengukuran volume, kecepatan dan kerapatan jalan. Lokasi survey diambil pada pertengahan jalan antara 2 buah simpang. Ruas jalan pada lokasi survey umumnya lurus dengan lebar jalan yang seragam.

Lalu lintas berjalan 2 arah dengan kondisi lancar.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan metode pengumpulan data melalui survey lapangan yang kemudian dianalisa dengan menggunakan analisa regresi sederhana. Survey lapangan meliputi survey volume menggunakan metode *tally counting* secara manual dan dilakukan selama 8 jam pada hari dan jam sibuk dan kecepatan dengan metode pengukuran kecepatan sesaat (*spot speed*) pada panjang seksi 50 meter menggunakan peralatan *stop watch*. Hasil survey volume dan kecepatan digunakan untuk mendapatkan data kerapatan lalu lintas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Lalu Lintas

Volume (V) adalah jumlah kendaraan yang lewat pada suatu titik di jalan raya yang telah diamati dalam suatu jangka waktu tertentu. Volume dapat dinyatakan secara tahunan, harian atau satuan waktu yang lain.

Kecepatan adalah salah satu faktor yang terpenting bagi pengendara dalam hal pemilihan rute atau moda transportasi. Nilai dan fasilitas transportasi didasarkan pada kenyamanan dan faktor ekonomi yang semuanya secara langsung berhubungan dengan kecepatan.

Kecepatan dapat dibagi atas beberapa jenis antara lain :

1. *Average Running Speed* atau *space-mean-speed* adalah kecepatan rata-rata yang dihasilkan pada suatu ruas jalan pada saat kendaraan tersebut bergerak dibawah kondisi lalu lintas yang ada
2. *Average Travel Speed* adalah kecepatan rata-rata yang dihasilkan pada suatu kendaraan untuk melewati suatu ruas dengan panjang tertentu.
3. *Time Mean Speed* adalah kecepatan rata-rata kendaraan saat melewati titik tertentu di jalan raya.

Kerapatan

Kerapatan adalah jumlah kendaraan yang menempati panjang ruas jalan tertentu atau lajur yang umumnya dinyatakan sebagai jumlah kendaraan per kilometer.

FAKTOR KONVERSI KENDARAAN

Volume lalu lintas menjadi lebih praktis jika dinyatakan dalam jenis kendaraan standar, yaitu mobil penumpang dalam satuan mobil penumpang (smp). Untuk mendapatkan volume dalam smp, maka perlu faktor ekivalen atau emp (ekivalen mobil penumpang) yang mengkonversi berbagai macam kendaraan menjadi mobil penumpang.

Besarnya faktor ekivalen yang digunakan pada studi ini mengacu pada besaran yang dikeluarkan oleh MKJI (1997) sebagai berikut :

Tabel 1. Faktor konversi kendaraan versi MKJI (1997)

Jenis kendaraan	emp
Kendaraan Ringan	1,0
Kendaraan Berat	1,3
Sepeda Motor	0,4

HUBUNGAN ANTARA VOLUME, KECEPATAN DAN KERAPATAN

Persamaan dasar yang menyatakan hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan dinyatakan sebagai berikut:

$$V = D \cdot U_s \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana

V = Volume lalu lintas (kendaraan/jam)

U_s = Kecepatan rata-rata (km/jam)

D = Kerapatan (kendaraan/km)

Secara grafis hubungan dasar antara volume, kecepatan dan kerapatan ditunjukkan pada gambar 1.

MODEL – MODEL HUBUNGAN ANTARA VOLUME, KECEPATAN DAN KERAPATAN

a. Model Greenshields

Model Greenshields didasarkan pada hasil

studi Greenshields pada jalur jalan luar kota Ohio AS pada tahun 1934 dimana kondisi arus lalu lintas yang ada memenuhi persyaratan penelitian karena tidak adanya gangguan serta adanya kondisi pergerakan bebas kendaraan (*steady state condition*). Greenshields mendapatkan hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan bersifat linier. Model Greenshields dalam bentuk persamaan dinyatakan sebagai

$$U_s = U_f - (U_f/D_j) \cdot D \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana

U_s = kecepatan rata-rata

D = kerapatan rata-rata

U_f = kecepatan arus bebas (*free-flow speed*)

D_j = kerapatan pada saat macet (*jam density*)

Hubungan antara volume dan kerapatan didapat dengan merubah persamaan (1) menjadi bentuk

$$U_s = V/D$$

kemudian disubstitusikan ke persamaan (2) yang menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$V = U_f \cdot D - (U_f/D_j) D^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Persamaan ini merupakan persamaan parabola $V = f(D)$

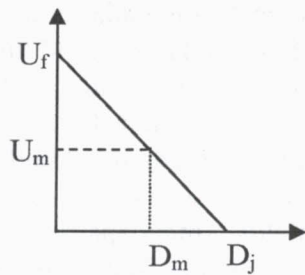
Bila $D = V/U$ yang didapat dari persamaan (1) disubstitusikan ke persamaan (2), maka didapat hubungan volume dan kecepatan sebagai berikut :

$$V = D_j \cdot U_s - (D_j/U_f) U_s^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

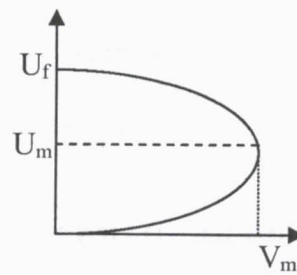
Persamaan ini merupakan juga fungsi parabola $V = f(U_s)$. Jadi dapat disimpulkan bahwa jika terdapat hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan, maka hubungan antara volume dengan kecepatan maupun volume dengan kerapatan akan merupakan fungsi prabolik.

b. Model Greenberg

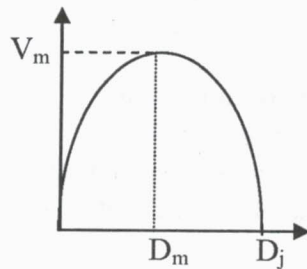
Model Greenberg dibuat dengan mengasumsikan arus lalu lintas memiliki kesamaan dengan arus fluida melalui studi yang dilakukan pada terowongan Lincoln tahun 1959 serta melakukan analisis hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan menggunakan persamaan kontinuitas gerakan benda cair.



a. Kecepatan vs Kerapatan



b. Kecepatan vs Volume



c. Volume vs Kerapatan

Gambar 1. Hubungan dasar Volume (V), Kecepatan (U_s) dan Kerapatan (D)

Greenberg mendapatkan hubungan antara kecepatan dan kerapatan sebagai bentuk logaritmik berikut:

$$U_s = U_m \ln (D_j/D) \dots\dots\dots (5)$$

dimana

U_s = kecepatan rata-rata

D = kerapatan rata-rata

U_m = kecepatan pada saat volume maksimum

D_j = kerapatan pada saat macet (*jam density*)

Nilai U_m dan D_j merupakan nilai-nilai konstanta dari variable D dan U_s . Untuk mendapatkan nilai U_m dan D_j dari hubungan logaritmik kecepatan dan kerapatan, persamaan (5) terlebih dahulu dijadikan persamaan linier dengan bentuk sebagai berikut:

$$U_s = U_m \ln (D_j) - U_m \ln (D) \dots\dots\dots (6)$$

Hubungan antara volume dan kerapatan pada model Greenberg dihasilkan dengan substitusi bentuk $U_s = V/D$ pada persamaan (1) kedalam persamaan (5) sehingga dihasilkan persamaan:

$$V = U_m D \ln (D_j/D) \dots\dots\dots (7)$$

Sedangkan untuk hubungan antara volume dan kecepatan, substitusi bentuk $D = V/U_s$ kedalam persamaan (5) akan menghasilkan hubungan sebagai berikut:

$$V = U_s D_j \exp (-U_s/U_m) \dots\dots\dots (8)$$

c. Model Underwood

Model Underwood didasarkan pada hipotesis bahwa hubungan kecepatan dan kerapatan merupakan hubungan exponential dengan bentuk sebagai berikut:

$$U_s = U_f \exp (-D/D_m) \dots\dots\dots (9)$$

dimana

U_s = kecepatan rata-rata

D = kerapatan rata-rata

U_f = kecepatan arus bebas (*free-flow speed*)

D_m = kerapatan pada saat volume maksimum

Analisis untuk mendapatkan nilai-nilai konstanta U_f dan D_m , dilakukan dengan mengubah persamaan (9) dalam bentuk persamaan linier berikut:

$$\ln U_s = \ln U_f - (D/D_m) \dots\dots\dots (10)$$

Untuk hubungan volume dan kerapatan, persamaan (1) disubstitusikan pada persamaan (9) sehingga dihasilkan bentuk persamaan:

$$V = D U_f \exp (-D/D_m) \dots\dots\dots (11)$$

Cara substitusi yang sama juga akan menghasilkan bentuk hubungan antara volume dan kecepatan sebagai berikut:

$$V = U_s D_m \ln (U_f/U_s) \dots\dots\dots (12)$$

Dari uraian diatas dapat dinyatakan bahwa

hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan untuk berbagai model telah diuraikan dalam bentuk persamaan linier. Selanjutnya besarnya nilai konstanta dan variabel pada persamaan - persamaan diatas dapat melalui analisis regresi data yang dikumpulkan.

3. PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA

Ringkasan pengumpulan data untuk mencari hubungan karakteristik lalu lintas ditunjukkan pada tabel dibawah.

Tabel 2. Ringkasan data volume, kecepatan dan kerapatan

No	V (VOLUME) smp/jam	Us (KECEPATAN) km/jam	D (KERAPATAN) smp/km
1	1.490	31,4	47,4
2	2.076	31,1	66,8
3	1.630	29,0	56,2
4	1.800	27,8	64,7
5	1.713	28,8	59,5
6	1.846	26,4	69,9
7	1.893	25,6	74,0
8	1.998	24,1	82,9

3.1 Analisis Data

Analisis data yang dikumpulkan dilakukan dengan menggunakan bantuan program komputer. Hasil dari analisis data menghasilkan hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan untuk ketiga model sebagai berikut :

b. Model Greenshields

$$U_s = 40,890 - 0,197 D \quad r^2 = 0,709$$

$$V = 40,890 D - 0,197 D^2$$

$$V = 207,156 - 5,066 U_s^2$$

c. Model Greenberg

$$U_s = 12,313 \ln \left(\frac{626,647}{D} \right) \quad r^2 = 0,684$$

$$V = 12,313 \cdot D \ln \left(\frac{626,647}{D} \right)$$

$$V = 626,647 \cdot U_s \cdot \exp \left(- \frac{U_s}{12,313} \right)$$

a. Model Underwood

$$U_s = 44,590 \cdot \exp \left(- \frac{D}{139,225} \right) \quad r^2 = 0,724$$

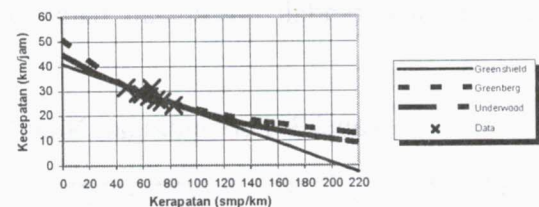
$$V = 44,590 \cdot D \cdot \exp \left(- \frac{D}{139,225} \right)$$

$$V = 139,225 \cdot U_s \cdot \ln \left(\frac{44,590}{U_s} \right)$$

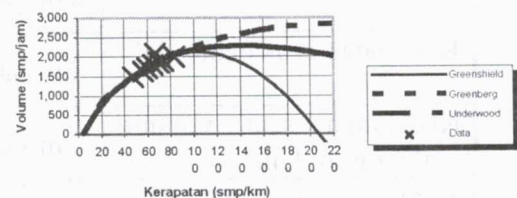
Walaupun nilai koefisien determinasinya r^2 ketiga model tidak jauh berbeda, namun model Underwood memiliki nilai yang tertinggi.

Secara grafis hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan digambarkan

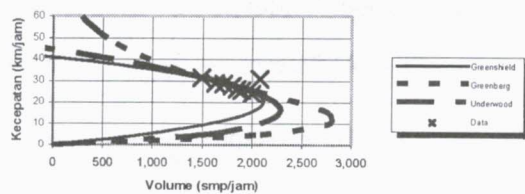
melalui Gambar 2, 3 dan 4 dibawah ini.



Gambar 2. Grafik Hubungan Kecepatan - Kerapatan



Gambar 3. Hubungan Volume - Kerapatan



Gambar 4. Hubungan Kecepatan - Volume

Dari ketiga gambar diatas dapat dilihat bahwa data yang dikumpulkan dari lapangan belum cukup mewakili semua keadaan yang mungkin ditemui dalam suatu arus lalu lintas yang lengkap. Data yang dikumpulkan tidak menggambarkan untuk kondisi lalu lintas padat walaupun sehari-hari kondisi lalu lintas pada lokasi survai tergolong lalu lintas tinggi.

Tabel 3 dibawah ini menunjukan hasil-hasil perhitungan analisis regresi antara variabel kecepatan dan kerapatan serta besaran yang dihasilkan dari regresi ini.

Dari tabel 3 diatas dapat dilihat bahwa nilai volume maksimum pada model Greenshields dan Underwood memiliki kemiripan namun cukup jauh berbeda dengan model Greenberg. Dalam hal kecepatan arus bebaspun model Greenshields dan Underwood ternyata menghasilkan nilai tidak jauh berbeda sementara model Greenberg mengestimasi rendah kecepatan pada saat

volume maksimum. Dari segi kerapatan, ketiga model menghasilkan nilai yang berbeda satu dengan lainnya. Dengan demikian pada kasus ini secara umum dapat dikatakan model Greenberg memberikan hasil yang jauh berbeda dibandingkan hasil yang diberikan oleh kedua model lainnya.

4. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah:

- Volume kendaraan ruas jalan di lokasi studi memiliki nilai maksimum sekitar 2.200 smp/jam. Hal ini sedikit diatas perkiraan mengingat banyaknya faktor reduksi kapasitas jalan seperti kendaraan lambat, hambatan samping dsb.
- Dari hasil perhitungan besarnya kecepatan arus bebas adalah sekitar 40 – 45 km/jam sementara kerapatannya adalah sekitar 104 – 140 smp/km. Jika mengacu pada hasil ini, kondisi lalu lintas dilokasi penelitian dapat dikatakan berjalan dengan normal atau bahkan dapat dikatakan lancar.
- Dari hasil analisis untuk ketiga karakteristik arus lalu lintas dapat dikatakan bahwa data lapangan yang dikumpulkan belum memberikan gambaran yang cukup lengkap.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Parameter Karakteristik Arus Lalu Lintas

Parameter	Satuan	Model		
		Greenshields	Greenberg	Underwood
Volume maksimum, V_m	smp/jam	2.117,6	2.838,5	2.283,8
Kecepatan arus bebas, U_f	km/jam	40,8	∞	44,6
Kecepatan saat volume maksimum, U_m	km/jam	20,4	12,3	16,43
Kerapatan saat macet, D_j	smp/jam	207,2	626,6	∞
Kerapatan saat volume maksimum, D_m	smp/jam	104	231	139,2

Hal ini kemungkinan besar adalah akibat teknik pengumpulan data yang dilakukan tidak menggunakan periode yang pendek. Pengumpulan data dilakukan dengan interval 1 jam (60 menit) sementara fluktuasi kendaraan terjadi cukup cepat pada saat jam sibuk.

- d. Dari ketiga model yang diteliti (Greenshields, Greenberg dan Underwood), terlihat secara statistik model Underwood memberikan hasil regresi yang lebih baik dengan koefisien determinasi (r^2) = 0,724. Model Greenshields menghasilkan nilai r^2 = 0,709 sementara pada model Greenberg nilai koefisien r^2 = 0,684 yang merupakan nilai korelasi yang terendah.
- e. Secara umum, model Greenshields dan Underwood memberikan hasil yang mirip sementara model Greenberg memberikan hasil yang cukup berbeda dibandingkan kedua model lainnya.
- f. Dari sebaran data terlihat bahwa tidak terdapat satupun data untuk tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi. Nilai yang didapat semata-mata hanya berdasarkan extrapolasi persamaan yang dihasilkan dan tidak dapat diukur ketepatan hasil analisis regresinya.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Departemen PU, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*, Departemen PU, Dirjen Bina Marga, 1997.
2. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, *Sistem Transportasi*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Penerbit Guna Darma, 1997.
3. Homburger W S, and James H W, *Fundamental of Traffic Engineering*, 10TH Edition, Institute of Transportation Studies University, Bekley, California 1981.
4. Institute of Traffic Engineers, *Traffic Engineering Handbook*, Institute of Traffic Engineers, 4TH Ed., Prentice Hall, New Jersey .
5. Salter R J, *Traffic Engineering, Worked Examples and Problems*, The Macmillan Press LTD, London and Basingstoke, 1989.
6. Salter, R J, *Highway Traffic Analysis and Design*, 2ND Edition, The Macmillan Press LTD, London, 1989.
7. Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual 1994*, Transportation Research Board, Washington D.C., 1994.
8. Wells G R, *Traffic Engineering an Introduction*, Griffin London, 1970
9. *A Policy on Geometric Design of Higways and Streets*, AASHTO, 1984.
10. Wohl, Martin Wohl and Martin, Brian V., *Traffic Sytem Analisis, for Engineers and Planeers* Mc. Graw Hill, 1967.