

# HUBUNGAN ANTARA VOLUME, KECEPATAN DAN KEPADATAN LALU LINTAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE LINIER

Iis Nurhasanah<sup>1</sup>, Eri Susanto Haryadi<sup>2</sup>, Rulhendri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor

## ABSTRAK

Arus lalu lintas berkenaan dengan teori lalu lintas menyebutkan bahwa pada saat sekarang ini dikonsentrasikan pada variabel-variabel volume ( $V/Flow$ ), kerapatan kendaraan ( $Density/D/Konsentrasi$ ) dan Kecepatan  $Speed/Us$ ). Ketiga variabel lalu lintas tersebut semakin hari semakin mendapat perhatian khusus dimana kesemuanya ini disebabkan arus/kondisi lalu lintas yang ada sekarang menggambarkan berapa banyak kendaraan yang bergerak pada saat bersamaan, dan semenjak hubungan dari ketiga variabel tersebut menggambarkan kualitas dari kapasitas dan tingkat pelayanan yang dialami oleh pengemudi masing-masing kendaraan. Penelitian ini akan mencari bagaimana hubungan dari ketiga variabel tersebut dengan media penelitian yaitu jalan KH. Sholeh Iskandar Bogor. Data dalam penelitian ini dicatat langsung dari lokasi penelitian, yaitu volume lalu lintas dan kecepatan kendaraan. Kemudian data tersebut dianalisa sesuai dengan metode yang dikemukakan oleh *Greenshield*.

Hasil penelitian ini adalah bagaimana hubungan kecepatan-kepadatan digambarkan sebagai sebuah garis lurus atau berfungsi linier dan bagaimana hubungan volume-kecepatan masing-masing digambarkan sebagai garis lengkung.

**Kata-kata Kunci:** Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Lalu Lintas, Metode Linier

## ABSTRACT

*Traffic flows with regard to traffic theory states that at the present time is concentrated on variable volume ( $V / Flow$ ), vehicle density ( $Density / D / concentration$ ) and High Speed /  $Us$ ). The three variables such traffic is increasingly received attention all of which is due to the flow / traffic conditions that exist now describe how much the vehicle is moving at the same time, and since the relationship of the three variables describing the quality of the capacity and level of service experienced by the driver of each vehicle. The study will look for how the relationship of these three variables with media research is the KH. Sholeh Iskandar Bogor. The data in this study are recorded directly from the study site, the traffic volume and vehicle speed. Then the data was analyzed according to the method proposed by *Greenshield*.*

*The results of this study is how the speed-density relationship is described as a straight line or a linear function, and how the speed-volume relationship of each depicted as curved lines.*

**Keywords:** Volume, Speed And Density Of Traffic, The Linear Method

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Arus lalu lintas berkenaan dengan teori-teori lalu lintas menyebutkan bahwa pada saat sekarang ini dikonsentrasikan pada variabel-variabel volume ( $V/Flow$ ), kerapatan kendaraan ( $Density/Konsentrasi/D$ ) dan kecepatan ( $Speed/Us$ ). Ketiga variabel lalu lintas tersebut semakin hari semakin mendapat perhatian khusus dimana kesemuanya ini disebabkan arus/kondisi lalu lintas yang ada sekarang menggambarkan berapa banyak kendaraan yang bergerak pada saat bersamaan. Dan semenjak hubungan dari ketiga variabel tersebut menggambarkan kualitas dari kapasitas dan tingkat pelayanan yang dialami oleh pengemudi masing-masing kendaraan. (Martin and Brian, 1967).

Dua hal penting yang dapat digunakan sebagai gambaran dari keadaan yang biasa terjadi dalam aliran arus lalu lintas, terutama sekali terjadi pada kondisi arus lalu lintas yang sangat padat, yaitu :

- 1) Kerapatan/ konsentrasi ( $Density /D$ ) mendekati harga nol, yaitu suatu keadaan

arus lalu lintas yang sangat sepi, dengan demikian kecepatan rata-ratanya sama dengan kecepatan kendaraan pada kondisi arus bebas dan mendekati harga tertinggi.

- 2) Bilamana besarnya kerapatan tersebut mendekati harga tertinggi (maksimum), keadaan tersebut dinamakan kerapatan penuh (jam/saturated density), sehingga dengan demikian kecepatan rata-rata perjalanannya mendekati harga nol. (Daniel and Matew, 1975).

Berbagai kondisi yang terjadi pada suatu ruas/jalur tersebut yaitu dari sifat pada saat arus lalu lintas normal hingga terjadi kondisi arus lalu lintas yang sangat padat, amat menarik untuk diteliti dimana akan diketahui gambarannya secara nyata pada kondisi lapangan yang sebenarnya.

### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah:

- 1) Menghitung besarnya arus (volume) lalu lintas dan kecepatan rata-rata ruang kendaraan bermotor yang ada pada ruas/jalur jalan yang diamati.

- 2) Dengan adanya data arus dan kecepatan ini, dapat dihitung besarnya kecepatan rata-rata kendaraan yang lewat.
- 3) Merumuskan hubungan ketiga variabel arus lalu lintas (volume, kecepatan dan kerapatan) dalam pendekatan matematis disertai dengan penggambarannya secara grafikal dengan anggapan bahwa hubungan antara variabel tersebut linear.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Landasan Teori

Tujuan Pokok Teori Arus Lalu Lintas adalah untuk menderivasikan hubungan teoritikal arus lalu lintas dan selanjutnya digunakan dalam memprediksikan konsekuensi-konsekuensi alternatif desain.

Penelitian-penelitian yang menyangkut arus lalu lintas sekarang ini dikonsentrasikan pada variabel-variabel *Flow* (Volume), Kerapatan (*Density*) dan Kecepatan Rata-rata Ruang (*Space Mean Speed*). Ketiga variabel tersebut menjadi perhatian khusus semenjak arus lalu lintas memberikan suatu deskripsi berapa banyak jenis kendaraan yang bergerak, dan semenjak Arus, Kecepatan dan Kerapatan lalu lintas menggambarkan kualitas dari pada tingkat pelayanan yang dialami oleh pengemudi kendaraan (*Martin and Brian, 1967*).

Didalam analisa lalu lintas disebutkan bahwa hubungan antara ketiga variabel arus (*Flow, Density dan Speed*) dinamakan model aliran lalu lintas.

Dua hal penting yang terdapat didalam model, yaitu :

1. Kerapatan mendekati nol (arus lalu lintas sangat sepi) kecepatan rata-ratanya mendekati kecepatan rata-rata pada kondisi arus bebas dan arus tersebut mendekati nol.
2. Kerapatan mendekati harga maksimum dinamakan kerapatan jenuh (Jam Density), dengan demikian kecepatan perjalanannya mendekati harga nol dan jalannya arus kembali mendekati nol. (*Daniel and Mattew, 1975*).

### Model Hubungan Kecepatan – Kerapatan

Daniel and Mattew (1975) menyatakan bahwa seseorang pengemudi akan menaikkan kecepatan kendaraannya sebagaimana halnya sejumlah kendaraan disekitarnya, karena terjadi interaksi peka antara Kecepatan dan Kerapatan dan keduanya itu berasal dari arus yang dapat dihitung, sehingga tidak mengherankan jika bahwa investigator sejak awal mengeksplorasikan hubungan antara kecepatan dan kerapatan. Hubungan yang paling sederhana dan sangat jelas adalah hubungan Linear seperti yang dikemukakan oleh Greenshields.

Greenshields sebagai salah satu dari beberapa peneliti bahwa bidang karakteristik

lalu lintas pada studi jalan-jalan diluar kota Ohio mengusulkan sebuah hubungan linear antara arus yang dalam hal ini adalah kecepatan rata-rata ruang dari lalu lintas yang lewat dan kerapatan dari pada lalu lintas tersebut (*Density*) yang dalam hal ini dirumuskan dalam bentuk sebagai berikut :

$$U_s = U_f - (U_f / D_j) D$$

dimana :  $U_s$  = Kecepatan rata-rata ruang (space mean speed) (km/jam)  
 $U_f$  = Kecepatan pada kondisi arus bebas (km/jam)  
 $D$  = Kerapatan lalu lintas (smp/km)  
 $D_j$  = Kerapatan dalam kondisi jam (macet) (smp/km)

Model ini adalah mudah untuk digunakan dan beberapa penelitian telah menemukan terdapatnya hubungan korelasi antara Model dan Data Lapangan. Model Greenshield ini dinamakan Greenshield Linier Speed Concentration Models. Contoh penggunaan Metode Greenshield ini telah ditunjukkan hasilnya, yaitu beberapa hubungan antara kecepatan dan kerapatan seperti nampak pada gambar 1.

Greenberg menyelidiki arus lalu lintas dibagian utara terowongan Lincoln Tunnel New York City. Greenberg menggunakan latar belakang teori model hubungan antara kerapatan dan kecepatan yang dirumuskan dalam bentuk persamaan logaritmis sebagai berikut :

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

dimana :  $U_s$  = Kecepatan rata-rata ruang (space mean speed) (km/jam)  
 $U_m$  = Kecepatan rata-rata pada kondisi arus lalu lintas maksimum (km/jam)  
 $D$  = Kerapatan lalu lintas (smp/km)  
 $D_j$  = Kerapatan lalu lintas pada kondisi jam (macet) (smp/km)

Greenberg mendapatkan persesuaian yang baik antara Model dengan data-data dilapangan. Selanjutnya model Greenberg ini dinamakan dengan Logaritmic Speed Concentration Models. Sebagai contoh pada gambar 3.3 menunjukkan Greenberg Speed Concentration Models yang diadakan pada penelitian pada jalan Merrit Parkway. Model ini meskipun demikian akan jatuh pada tingkat kerapatan yang rendah, yaitu nampak pada nilai  $D = 0$ .

Underwood mengemukakan sebuah model yang berdasarkan atas hubungan antara kecepatan yang dalam hal ini adalah kecepatan rata-rata ruang lalu lintas dengan kerapatan lalu lintas yang disajikan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$U_s = U_f \cdot e^{-D/D_m}$$

Dimana :  $U_s$  = kecepatan rata-rata ruang (space mean speed)

Uf = kecepatan pada kondisi arus bebas (km/jam)  
 Dm = kerapatan pada kondisi arus maksimum (smp/km)  
 D = kerapatan (smp/km)

Model ini mempunyai kelemahan yaitu tidak mempresentasikan kecepatan nol pada kerapatan yang besar. Pada Gambar 2.4 menunjukkan contoh pemakaian Underwood's Speed Concentration Models yang diadakan di jalan Merrit Parkway. sehingga persamaan menjadi :

$$B_s = U_f - \frac{U_f}{D_j} \cdot D \dots\dots\dots (1)$$

Hubungan antara ketiga variabel tersebut V, Us dan D dapat digambarkan sebagai berikut :  
 V = Us . D atau D = V/Us atau Us = V/D  
 Hubungan antara V dan US

$$U_s = U_f - \frac{U_f}{D_j} \cdot D$$

$$U_s = U_f - \frac{U_f}{D_j} \cdot \frac{V}{U_s} = U_f - U_s = \frac{U_f}{D_j} \cdot \frac{V}{U_s}$$

$$V = \frac{D_j \cdot U_s}{U_f} \cdot (U_f - U_s)$$

$$V = D_j \cdot U_s - \frac{U_f}{D_j} \cdot U_s^2 \dots\dots\dots (2)$$

Mencari kondisi dimana V mengalami maksimum (Vmax)

$$V_{max} = \frac{\delta V}{\delta U_s} = 0$$

$$= D_j - 2 \cdot \frac{U_f}{D_j} \cdot U_s = 0$$

$$= U_s = \frac{D_j - D_j \cdot \frac{1}{2}}{U_f}$$

$$= U_s = \frac{1}{2}$$

$$V_{max} = D_j \cdot U_s - \frac{U_f}{D_j} \cdot U_s^2 = U_s = \frac{1}{2} \cdot U_f$$

$$= D_j \cdot \frac{1}{2} U_f - \frac{U_f}{D_j} \cdot \frac{1}{4} D_j \cdot U_f$$

$$V_{max} = \frac{1}{4} D_j \cdot U_f$$

Untuk hubungan V dan D

$$U_s = U_f - \frac{U_f}{D_j} \cdot D = U_s = \frac{V}{D}$$

$$\frac{V}{D} = U_f - \frac{U_f}{D_j} \cdot D$$

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

Dari rumusan diatas (3) didapatkan Vmax :

$$V_{max} = \frac{1}{2} D_j - \frac{U_f}{D_j} \cdot \frac{1}{4} D_j^2$$

Persamaan dasar sebagai persamaan yang menggambarkan hubungan antara Us – D adalah sebagai berikut :

$$U_s = a + b \cdot D$$

Untuk Us dan D

$$D = 0 \Rightarrow U_f = a$$

$$U_s = 0$$

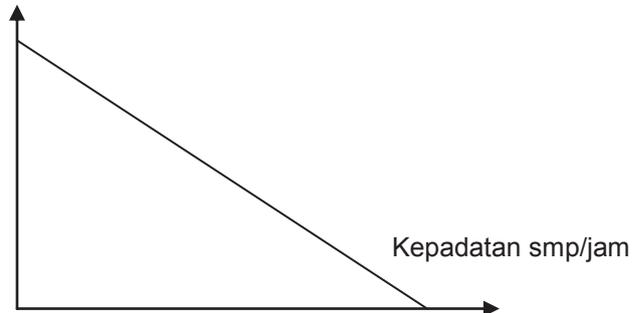
$$0 = U_f + b \cdot D_j$$

$$b = - \frac{U_f}{D_j}$$

$$V_{max} = \frac{1}{2} U_f - D_j - \frac{1}{4} \cdot D_j$$

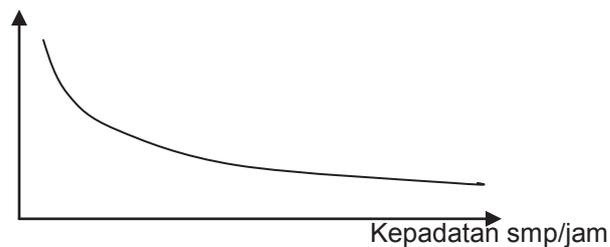
$$V_{max} = \frac{1}{4} U_f - D_j$$

Kecepatan rata-rata  
ruang km/jam



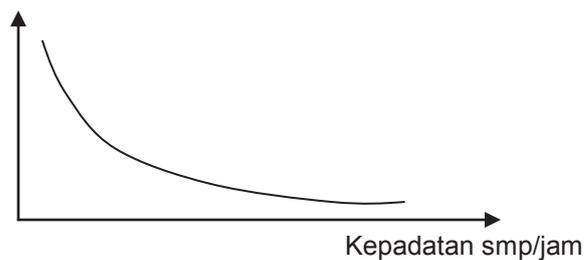
Gambar 1 Hubungan Kecepatan-Kepadatan Greenshields Linear Speed Concentration Model

Kecepatan rata-rata  
ruang km/jam



Gambar 2 Hubungan Kecepatan-Kepadatan Greenberg Logarithmic Speed Concentration Model

Kecepatan rata-rata  
ruang km/jam



Gambar 3 Hubungan Kecepatan-Kepadatan Underwoods Model

### Faktor Konversi Kendaraan

Lalu lintas yang ada pada suatu ruas jalan pada kenyataannya tidak homogen. Aliran lalu lintas yang terjadi merupakan gabungan antara gerakan-gerakan dari moda dengan karakteristiknya masing-masing. Sehingga keanekaragaman ini membentuk perilaku yang berbeda-beda untuk setiap komposisi dan berpengaruh pula terhadap arus lalu lintas secara keseluruhan. Untuk memudahkan didalam analisa perhitungan dan keseragaman,

selanjutnya pengaruh tersebut menurut Indonesia Highway Capacity Manual part I Urban Road No. 09/T/BNKT/1993 dikonversikan terhadap jenis kendaraan ringan. Selanjutnya istilah satuan kendaraan ringan (Light Vehicle Unit/LVU) ini seperti yang sudah lazim digunakan digantikan dengan Satuan Mobil Penumpang (smp), sehingga timbul harga-harga faktor konversi masing-masing jenis kendaraan tersebut terhadap satuan mobil penumpang. Dengan ekivalensi tersebut kita

dapat menilai setiap komposisi lalu lintas semuanya kedalam smp. Untuk pemakaian praktis harga-harga Satuan Mobil Penumpang (smp) dari tiap jenis kendaraan digunakan

harga standar. Indonesia Highway Capacity Manual part I Urban Road No. 09/T/BNKT/1993 memberikan harga-harga LVU (smp) sebagai berikut :

Tabel 1 Satuan Mobil Penumpang

No	Jenis Kendaraan	SMP
1	Kendaraan ringan	1.00
2	<b>Kendaraan berat</b>	1.20
3	Sepeda motor	0.25
4	Kendaraan tidak bermotor	0.80

Sumber Indonesia Highway Capacity Manual No. 09/T/BNKT/1993

## Analisa Regresi dan Korelasi

### Analisa Regresi

Sudah dikenal bahwa pada suatu model pendekatan arus lalu lintas yang sudah umum digunakan, yaitu dalam menentukan karakteristik hubungan dari kecepatan dengan kerapatan adalah dengan menggunakan analisa regresi. Dalam hubungan yang disajikan dalam bentuk persamaan tersebut, maka apabila variabel tidak bebas (dependent) itu linear terhadap variabel bebasnya (Independent), maka hubungan kedua variabel (kecepatan dengan kerapatan) itu adalah linear.

Hubungan yang linear atas variabel bebas dengan variabel tidak bebas tersebut dituliskan dalam fungsi regresi sebagai berikut :

$$y = a + b \cdot x$$

$$a = \frac{\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

### Korelasi

Dari analisis regresi tersebut diatas, maka selanjutnya untuk mengetahui sampai sejauh mana ketepatan fungsi regresi adalah dengan melihat nilai dari koefisien determinasi ( $r^2$ ), yaitu suatu besaran yang didapat dengan cara mengkuadratkan nilai koefisien korelasi ( $r$ ). Nilai koefisien korelasi tersebut dihitung dengan rumus persamaan dibawah ini :

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Kuatnya hubungan antara kedua variabel tersebut ( $x$  dan  $y$ ) dapat dilihat dari besarnya nilai koefisien korelasi ( $r$ ) tersebut. Besarnya harga  $r$  terletak antara  $-1 < r < +1$ , jika  $r$  mendekati harga-harga  $-1$  dan  $+1$  maka persamaan regresi yang dihasilkan tersebut adalah kuat, tetapi jika harga  $r$  tersebut adalah kuat, tetapi jika harga  $r$  tersebut mendekati  $0$  (nol) maka persamaan regresi yang dihasilkan lemah.

Keterangan :

$a$  = konstanta regresi

$b$  = konstanta regresi

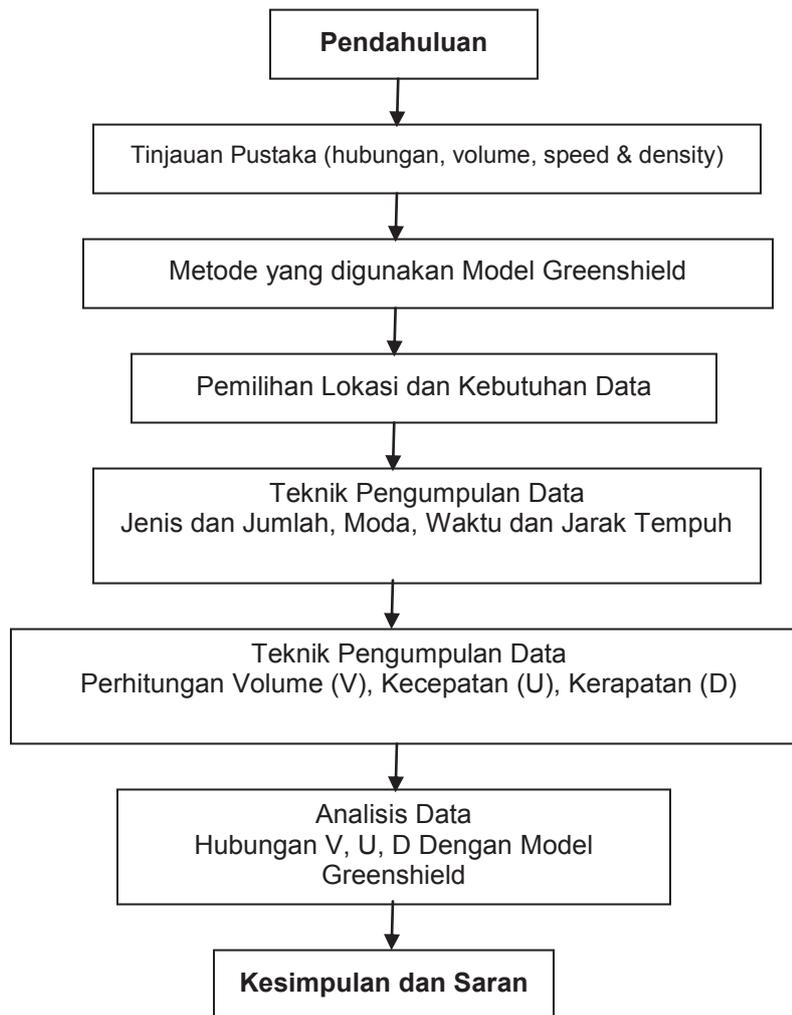
$x$  = variabel bebas

$y$  = variabel tidak bebas

$n$  = jumlah sampel

### 3. TATA KERJA

Tahapan-tahapan didalam program kerja, seperti ditampilkan pada Gambar 4.

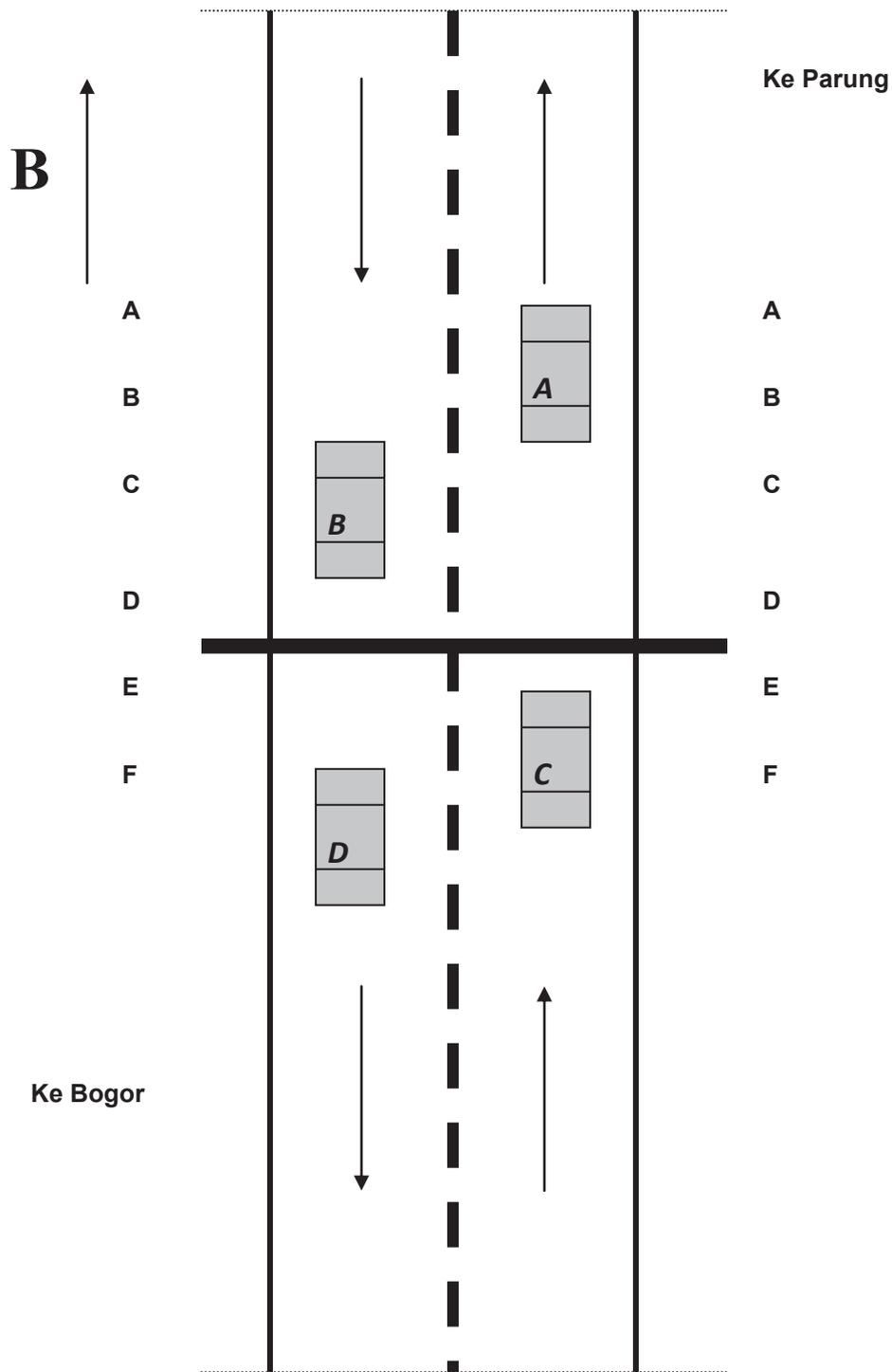


Gambar 4 Tata kerja Penelitian

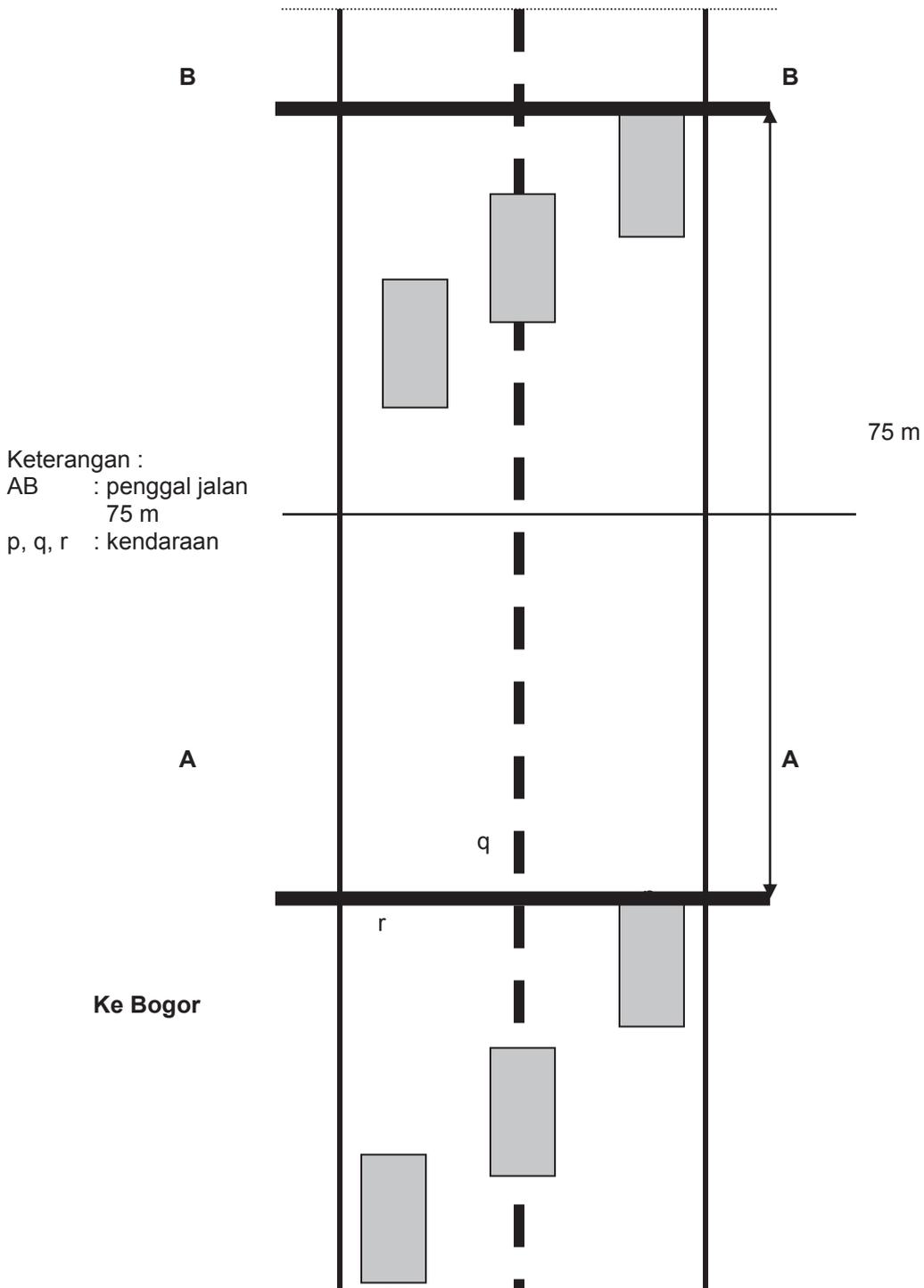
#### Pengambilan Data

Sesuai dengan faktor konversi terhadap kendaraan mobil penumpang (kendaraan ringan), jumlah masing-masing kendaraan selanjutnya dikonversikan dengan jenis kendaraan tersebut. Dengan demikian dapat dihitung jumlah masing-masing kendaraan

dalam Satuan Mobil Penumpang (smp) dan jumlah keseluruhan kendaraan bermotor dalam smp. Perhitungan ini dilakukan secara terus menerus untuk semua data yang masuk pada keseluruhan jam pengamatan, sehingga didapat susunan data volume.



Gambar 5 Penggal Jalan Untuk Penghitungan Lalu Lintas Kendaraan



Gambar 6 Penggal Jalan Untuk Pengukuran Kecepatan

### Penyusunan Data Kecepatan Dan Kecepatan Rata-Rata Ruang

Pada variabel kecepatan dilakukan penelitian hanya untuk periode 5 menit. Di lapangan dilakukan pengukuran waktu jarak tempuh kendaraan melewati suatu jarak tertentu yang telah ditentukan yaitu 75 meter. Dari hasil tersebut didapatkan kecepatan rata-rata waktu kendaraan dengan rumus  $U = d / t$  kemudian satuannya dijadikan dalam km/jam. Untuk penghitungan kecepatan ini disesuaikan

dengan data yang masuk dilakukan penghitungan kecepatan rata-rata ruang untuk setiap kelompok jenis kendaraan, kemudian dilanjutkan dengan kecepatan rata-rata ruang ssemua jenis kendaraan bermotor.

Kedua penghitungan ini dibuatkan hasilnya dalam tabel terpisah. Mengingat bahwa periode pengamatannya adalah 5 menit pada pukul 08.00 – 10.00 WIB, pukul 12.00 – 14.00 WIB, dan pada pukul 16.00 – 18.00 WIB pada jam-jam sibuk, didapat

susunan data yang cukup banyak secara berurutan.

Periode pengamatan setiap 5 menit, 10 menit dan 15 menit pada tiap jam pengamatan dapat diperinci sebagai berikut :

### Periode Pengamatan

Tabel 2 Periode Pengambilan data 5 menit

No	Jam	No	Jam	No	Jam
1	08.00-08.05	25	12.00-12.05	35	16.00-16.05
2	08.05-08.10	26	12.05-12.10	40	16.05-16.10
3	08.10-08.15	27	12.10-12.15	41	16.10-16.15
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
21	09.45-09.50	36	13.45-13.50	70	17.45-17.50
23	09.50-09.55	37	13.50-13.55	71	17.50-17.55
24	09.55-09.00	38	13.55-14.00	72	17.55-18.00

Tabel 3 Periode Pengambilan data 10 menit

No	Jam	No	Jam	No	Jam
1	08.00-08.10	13	12.00-12.10	25	16.00-16.10
2	08.10-08.20	14	12.10-12.20	26	16.10-16.20
3	08.20-08.30	15	12.20-12.30	27	16.20-16.30
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
10	09.30-09.40	22	13.30-13.40	34	17.30-17.40
11	09.40-09.50	23	13.40-13.50	35	17.40-17.50
12	09.50-10.00	24	13.50-14.00	36	17.50-18.00

Tabel 4 Periode Pengambilan data 15 menit

No	Jam	No	Jam	No	Jam
1	08.00-08.15	9	12.00-12.15	17	16.00-16.15
2	08.15-08.30	10	12.15-12.30	18	16.15-16.30
3	08.20-08.45	11	12.30-12.45	19	16.30-16.45
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
6	09.15-09.30	14	13.15-13.30	22	17.15-17.30
7	09.30-09.45	15	13.30-13.45	23	17.30-17.45
8	09.45-10.00	16	13.45-14.00	24	17.45-18.00

### Macam dan Banyaknya Data

Bagian depan telah mengemukakan bahwa untuk penelitian arus lalu lintas ini penggolongan jenis moda ditetapkan berdasarkan ketentuan Indonesia Highway Capacity Manual part 2 Urban Road No. 09/BNKT/1993, yaitu kendaraan ringan, kendaraan berat, sepeda motor dan kendaraan tidak bermotor. Sedangkan banyaknya data sesuai dengan keadaan data dilapangan berupa jumlah kendaraan masing-masing moda pada setiap dan jam pengamatan seperti nampak diatas.

Selanjutnya untuk dapat kecepatan kendaraan seperti disinggung dimuka bahwa untuk setiap periode pengamatan 5 menit diambil beberapa sampel kendaraan pada keseluruhan jam pengamatan, sehingga akan terkumpul data untuk diadakan pengolahan selanjutnya.

Data-data yang didapatkan tersebut merupakan data dasar yang digunakan untuk mendapatkan data-data variabel yang diperlukan ( volume, kecepatan dan kecepatan rata-rata ruang ) selanjutnya diadakan analisa data. Dari data volume dan kecepatan rata-rata ruang digunakan untuk mendapatkan besarnya harga kerapatan (Density). Dengan demikian lengkaplah kajian dalam analisa untuk mendapatkan besarnya volume dan kerapatan untuk kajian lebih lanjut.

Analisis berikutnya adalah untuk mencari hubungan antara ketiga variabel diatas dengan menggunakan pendekatan model Linear Greenshield.

Selanjutnya dari hasil-hasil perhitungan digambarkan grafik hubungan ketiga variabel tersebut.

#### 4. HASIL DAN BAHASAN

##### Hasil Penyusunan Data Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas dihitung berdasarkan data jumlah lalu lintas (V) pada waktu penelitian. Jumlah volume lalu lintas dilakukan dalam 5, 10 dan 15 menit.

Volume yang diamati dalam pengamatan ini terdiri dari dua moda, yaitu :

- 1) Kendaraan Ringan (High Vehicle)
- 2) Kendaraan Berat (Heavy Vehicle)

##### 3) Sepeda motor

Data volume lalu lintas dari hasil pengamatan disebut data kendaraan per 5, 10 dan 15 menit. Data volume lalu lintas tersebut harus disesuaikan terlebih dahulu kedalam satuan per 5, 10 dan 15 menit, maka data tersebut harus dikalikan dengan nilai konstanta pcu (pasenger car unit) atau yang di Indonesia disebut smp (satuan mobil penumpang). Nilai konstanta tersebut dapat dilihat seperti pada tabel 5.

Tabel 5 Nilai konstanta smp

No	Jenis Kendaraan	smp
1	Light Vehicle (LV)	1.00
2	Heavy Vehicle (HV)	1.20
3	Motorcycle	0.25

Sumber : Indonesian Highway Capacity Manual, 1993 hal. 5-26

Dibawah ini disajikan contoh penghitungan penyesuaian satuan data volume lalu lintas menjadi smp per 5, 10 dan 15 menit. Contoh diambil pada jam 08.00-08.05 pada hari kerja arah parung. Pada jam tersebut teramati 46 untuk kendaraan ringan, 11 untuk kendaraan berat dan 28 untuk kendaraan sepeda motor, dari data ini didapatkan :

$$46 \times 1,00 = 46 \text{ smp / lima menit (LV)}$$

$$11 \times 1,20 = 13,2 \text{ smp / lima menit (HV)}$$

$$28 \times 0,25 = 7 \text{ smp / lima menit (M)}$$

Untuk perhitungan data-data selanjutnya sama dengan perhitungan diatas, yaitu kendaraan ringan dikalikan faktor satu, kendaraan berat dikalikan dengan faktor 1,2 dan kendaraan sepeda motor dikalikan dengan faktor 0,25.

Dari hasil perhitungan masing-masing diatas untuk kendaraan ringan, kendaraan berat dan sepeda motor, kemudian dijumlahkan keduanya antara kendaraan berat, kendaraan ringan dan sepeda motor yang dipakai seperti contoh pada jam 08.00-08.05 seperti berikut : **46 + 13,2 + 7 = 66,7 smp/lima menit.** Untuk arah Bogor dan arah Parung. Satuan yang digunakan adalah smp per jam yaitu 60 menit, sehingga untuk 5 menit dikalikan 12 dan untuk 10 menit dikalikan 6 dan untuk 15 menit dikalikan 4 seperti contoh berikut ini, yaitu pada jam 08.00-08.05 pada hari kerja arah Parung :

$$66,7 \times 12 = 800,4 \text{ smp /jam}$$

Untuk 10 menit pada jam 08.00-08.10 pada hari kerja arah Parung **144,15 x 6 = 864,9 smp / jam**

Untuk 15 menit pada jam 08.00-08.15 pada hari kerja arah Parung **195,1 x 4 = 780,4 smp / jam**

##### Penyusunan Data Kecepatan

Kecepatan yang digunakan dalam perhitungan adalah dari data kecepatan hasil pengamatan

untuk mendapatkan kecepatan rata-rata ruang (Us). Dari data lapangan didapatkan data waktu (t) untuk tiga jenis moda, yaitu :

- 1) Kendaraan Ringan (LV)
- 2) Kendaraan Berat (HV)
- 3) Sepeda Motor (M)

##### Kecepatan Rata-rata Waktu

Untuk mendapatkan kecepatan rata-rata terlebih dahulu didapat kecepatan rata-rata waktu. Kecepatan rata-rata waktu tersebut rumusnya sebagai berikut :

$$U = \frac{L}{t}$$

Dimana : U = kecepatan rata-rata waktu (km/jam)

L = panjang penggal jalan pengamatan (km)

T = waktu tempuh kendaraan melewati penggal jalan pengamatan (jam).

Dalam mempermudah perhitungan satuan-satuan data disamakan terlebih dahulu yaitu detik pada waktu dijadikan jam yaitu dibagi 3600 sedangkan untuk jarak dijadikan kolimeter dari 75 meter.

Lebih jelasnya dinayakan dengan rumus :

$$U = \frac{L / 1000}{t / 3600}$$

Karena jalan pengamatan tetap yaitu 75 meter maka rumus tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$U = \frac{75 / 1000}{t / 3600}$$

$$U = \frac{75 \times 3,6}{t}$$

Contoh perhitungan :

$$U_1 = \frac{75 \times 3,6}{10,4} = 25,96 \text{ kilometer / jam}$$

rata ruang  
(kilometer/jam)  
N = jumlah data  
U = kecepatan rata-rata waktu

**Kecepatan Rata-rata Ruang**

Kecepatan rata-rata ruang (Us) diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^n \frac{1}{U}}$$

Dimana : Us = Space Mean Speed, kecepatan rata-

Contoh perhitungan untuk kecepatan rata-rata ruang kendaraan ringan pada jam 8.15 pada hari kerja arah Parung sebagai berikut :

- 1) Dihitung dahulu untuk total (1/U) kendaraan ringan terus dihitung total (1/U) kendaraan berat kemudian dihitung total (1/U) sepeda motor.
- 2) Kemudian dihitung Us dengan N dijumlah langsung.

- S (1/U ringan) = (1/61.50) + (1/61.36) + (1/45.00) + (1/19.01) + (1/9.64) + (1/14.52) + (1/43.35) + 91/42.19) = 0.3482
- S (1/U berat) = (1/47.37) + (1/43.97) + (1/52.12) + (1/34.35) + (1/34.35) = 0.1212
- S (1/U motor) = (1/67.5) + (1/61.36) + (1/54.00) + (1/67.50) + (1/33.75) + (1/48.21) + (1/48.21) = 0.1354
- Untuk N = N ringan + N berat + N motor = 9 + 5 + 7 = 21
- Untuk Us (jam 8.15) Arah Parung pada hari kerja

$$U_s = \frac{1}{\left(\frac{1}{9+5+7}\right) \times (0.3482 + 0.1212 + 0.1354)}$$

**Penyusunan Data Kepadatan**

Kepadatan merupakan variabel ketiga yang harus dicari dan merupakan variabel diatas yaitu volume (V) dan kecepatan rata-rata ruang (Us). Untuk jelasnya hubungan ketiga variabel tersebut maka dirumuskan sebagai berikut :

$$D = \frac{V}{U_s}$$

Dimana : D = Kepadatan. Jumlah kendaraan yang melewati panjang tertentu dari suatu jalan (smp/kilometer)  
V = Volume. Jumlah kendaraan yang melewati suatu titik dalam satu unit waktu (smp/jam)  
Us = Space Mean Speed. Kecepatan rata-rata ruang (kilometer/jam)

Untuk contoh perhitungan diambil waktu 08.00-08.05 dan 08.00-08.10 serta 08.00-08.15 untuk arah Parung pada hari kerja sebagai berikut :

- 08.00-08.05  
V = 794.400  
Us = 30.1169  
D =  $\frac{794.400}{30.1169} = 26.3772$
- 08.00-08.10  
V = 864.900  
Us = 31.6152  
D =  $\frac{864.900}{31.6152} = 27.3871$

$$\begin{aligned} & - \quad 08.00-08.15 \\ & V = 780.400 \\ & Us = 29.8976 \\ & D = \frac{780.400}{29.8976} = 26.1024 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan regresi linearnya sebagai berikut :  
Untuk arah Parung hari kerja

**1) Perhitungan untuk 5 menit**

$$\begin{aligned} a &= \frac{(2634,2854 \times 60887,8312) - (1980,7907 \times 66317,4)}{(72 \times 60887,8312) - (1980,7907)^2} \\ a &= 63,0659 \\ b &= \frac{(72 \times 66317,4000) - (1980,7097 \times 2634,2854)}{(72 \times 60887,8312) - (1980,7097)^2} \\ b &= -0,9625 \end{aligned}$$

**2) Perhitungan untuk 10 menit**

$$\begin{aligned} a &= \frac{(1385,3003 \times 28251,3657) - (953,9641 \times 33194,1000)}{(36 \times 28251,3657) - (953,9641)^2} \\ a &= 69,8180 \\ b &= \frac{(36 \times 33194,1000) - (953,9641 \times 1385,3003)}{(36 \times 28251,3657) - (953,9641)^2} \\ b &= -1,1826 \end{aligned}$$

**3) Perhitungan untuk 15 menit**

$$\begin{aligned} a &= \frac{(979,9709 \times 15697,2974) - (586,0908 \times 22478,0)}{(24 \times 15697,2974) - (586,0908)^2} \\ a &= 66,4630 \\ b &= \frac{(48 \times 101068,8) - (1352,6324 \times 3592,1076)}{(48 \times 39409,2040) - (1352,6324)^2} \\ b &= -1,0500 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} y &= 63,0659 - 0,9625 x \text{ dalam hubungan Us-D ditulis} \\ Us &= 63,0659 - 0,9625 D \text{ (untuk 5 menit)} \\ y &= 69,8180 - 1,1826 x \text{ dalam hubungan Us-D ditulis} \\ Us &= 69,8180 - 1,1826 D \text{ (untuk 10 menit)} \\ y &= 66,4630 - 1,0500 x \text{ dalam hubungan Us-D ditulis} \\ Us &= 66,4630 - 1,0500 D \text{ (untuk 15 menit)} \end{aligned}$$

Seperti yang telah dijelaskan pada bab dua, korelasi yang terjadi pada regresi linear ini digunakan rumus sebagai berikut :

$$r = \frac{n \sum xy - [\sum x][\sum y]}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Dimana, n = jumlah data  
x = variabel bebas (absis)  
y = variabel terikat (ordinat)

Sehingga nilai korelasinya sebagai berikut :

1) Untuk 5 menit

$$r = \frac{(72 \times 66317,40) - (1980,7907 \times 2634,2854)}{\sqrt{[(72 \times 60885,8312) - (1980,7907)^2] \times [(72 \times 105584,8871) - (2634,2854)^2]}}$$

$$r = -0,8023$$

2) Untuk 10 menit

$$r = \frac{(36 \times 33194,1) - (953,9641 \times 1385,3003)}{\sqrt{[(36 \times 28251,3657) - (953,9641)^2] \times [(36 \times 58669,5857) - (1385,3003)^2]}}$$

$$r = -0,8804$$

3) Untuk 15 menit

$$r = \frac{(24 \times 22478,00) - (586,0908 \times 979,9709)}{\sqrt{[(24 \times 15697,2974) - (586,0908)^2] \times [(24 \times 42303,004) - (979,9709)^2]}}$$

$$r = -0,8164$$

Tanda negatif menunjukan terjadinya nilai berkebalikan, maksudnya variabel x yang

tinggi akan diikuti variabel y yang rendah dan sebaliknya.

### Hubungan Volume-Kepadatan

Rumus dasar hubungan kecepatan-kepadatan adalah :

$$U_s = U_f - \frac{U_f}{D_j} D$$

Dimana,  $U_s$  = space mean speed, kecepatan rata-rata ruang (kilometer/jam)  
 $U_f$  = kecepatan rata-rata ruang dalam keadaan arus bebas (kilometer/jam)  
 $D_j$  = jam density, kepadatan pada saat macet (smp/km)  
 $D$  = kepadatan, jumlah kendaraan yang melewati panjang tertentu dari suatu jalan (smp/jam)

Diperoleh persamaan parabola hubungan volume-kecepatan menjadi sebagai berikut :

*Untuk arah Parung pada hari kerja :*

$$V = 63,0659 D - 0,9625 D^2$$

$$V = 69,8081 D - 1,1826 D^2$$

$$V = 66,4630 D - 1,0500 D^2$$

*Untuk arah Parung pada hari kerja :*

$$V = 55,3025 D - 0,4759 D^2$$

$$V = 54,6286 D - 0,4717 D^2$$

$$V = 54,5990 D - 0,4721 D^2$$

*Untuk arah Bogor pada hari kerja :*

$$V = 63,1891 D - 1,0268 D^2$$

$$V = 58,9042 D - 0,8660 D^2$$

$$V = 60,4176 D - 0,9090 D^2$$

*Untuk arah Bogor pada hari libur :*

$$V = 56,2124 D - 0,4761 D^2$$

$$V = 54,0803 D - 0,4138 D^2$$

$$V = 53,4857 D - 1,4356 D^2$$

Dengan data diatas hubungan volume dengan kepadatan dapat dibuat grafik hubungan volume-kepadatan, dimana data variabel y (gambar hubungan V-D dapat dilihat pada gambar 6.2).

### Hubungan Volume-Kecepatan

Hubungan volume-kecepatan akan diketahui dari persamaan sebelumnya antara volume-kepadatan. Persamaannya akan diketahui dari konstanta yang telah didapat pada persamaan sebelumnya, antara lain :

*Diambil contoh untuk arah Parung pada hari kerja.*

$$U_f = 63,0659 \text{ km/jam} \quad (\text{untuk 5 menit})$$

$$U_f = 69,8180 \text{ km/jam} \quad (\text{untuk } 10 \text{ menit})$$

$$U_f = 66,4630 \text{ km/jam} \quad (\text{untuk } 15 \text{ menit})$$

$$\frac{U_f}{D_j} = 0,9625 \quad (\text{untuk } 5 \text{ menit})$$

$$\frac{U_f}{D_j} = 1,1826 \quad (\text{untuk } 10 \text{ menit})$$

$$\frac{U_f}{D_j} = 1,0500 \quad (\text{untuk } 15 \text{ menit})$$

Dari ketiga pasang persamaan diatas untuk 5, 10 dan 15 menit akan didapatkan :

$$D_j = \frac{63,0659}{0,9625} = 65,5230 \text{ smp/km} \quad (\text{untuk } 5 \text{ menit})$$

$$D_j = \frac{69,8081}{1,1826} = 59,0377 \text{ smp/km} \quad (\text{untuk } 10 \text{ menit})$$

$$D_j = \frac{66,4630}{1,0500} = 63,2981 \text{ smp/km} \quad (\text{untuk } 15 \text{ menit})$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui bahwa kepadatan pada saat macet atau  $D_j$  adalah 65,5230 smp per kilometer untuk periode 5 menit, 59,0377 smp per kilometer untuk periode 10 menit dan 63,2981 smp per kilometer untuk perioded 15 menit. Sedangkan rumus dasar hubungan volume-kecepatan :

$$V = D_j U_s - \frac{U_f}{D_j} U_s^2$$

Dimana,  $V$  = volume, jumlah kendaraan yang melewati suatu titik dalam satu unit waktu (smp/jam)

$D_j$  = jam density, kecepatan pada saat macet (smp/jam)

$U_s$  = space mean speed, kecepatan rata-rata ruang, (km/jam)

$U_f$  = kecepatan rata-rata ruang dalam keadaan arus bebas (km/jam)

Karena  $D_j$  dan  $U_f$  sudah diketahui, maka :

$$\frac{U_f}{D_j} = \frac{65,5230}{63,0659} = 1,0390 \quad (\text{untuk } 5 \text{ menit})$$

$$\frac{U_f}{D_j} = \frac{59,0377}{69,8180} = 0,8455 \quad (\text{untuk } 10 \text{ menit})$$

$$\frac{U_f}{D_j} = \frac{63,2981}{66,4630} = 0,9523 \quad (\text{untuk } 15 \text{ menit})$$

Dari persamaan-persamaan diatas didapatkan persamaan dari hubungan antara volume-kecepatan sebagai berikut :

$$V = 65,5230 U_s - 1,0390 U_s^2 \quad (\text{untuk } 5 \text{ menit})$$

$$V = 59,0377 U_s - 0,8455 U_s^2 \quad (\text{untuk } 10 \text{ menit})$$

$$V = 63,2981 U_s - 0,9523 U_s^2 \quad (\text{untuk } 15 \text{ menit})$$

Dari persamaan diatas dapat pula dibuat grafik hubungan volume-kecepatan dengan bantuan MS Excel. Gambar grafik tersebut terjadi pada gambar 6.3 yang merupakan grafik gabungan dari ketiga periode waktu, dimana data volume sebagai variabel x dan data kecepatan sebagai variabel y.

#### Nilai Maksimum

Sebagaimana telah dijabarkan pada perhitungan diatas yaitu ketiga variabel volume, kecepatan dan kepadatan yang telah menghasilkan satu persamaan linier dan dua persamaan parabola beserta grafiknya, maka akan dihasilkan dari ketiga persamaan tersebut nilai-nilai maksimum dari ketiga variabel seperti yang dimaksud :

- 1) Kepadatan Maksimum
- 2) Kecepatan Maksimum
- 3) Volume Maksimum

Untuk mengetahui nilai maksimum dari kepadatan, maka terlebih dahulu diketahui rumus dasar kepadatan pada saat volume maksimum tersebut seperti dibawah ini :

$$D_m = \frac{D_j}{2}$$

Dimana,  $D_m$  = kepadatan pada saat volume maksimum (smp/jam)

$D_j$  = jam density, kepadatan pada saat macet (smp/jam)

Seperti telah diketahui pada perhitungan sebelumnya :

$$D_j = 65,5230 \text{ smp/km} \quad (\text{untuk } 5 \text{ menit})$$

$$D_j = 59,0377 \text{ smp/km} \quad (\text{untuk } 10 \text{ menit})$$

$$D_j = 63,2981 \text{ smp/km} \quad (\text{untuk } 15 \text{ menit})$$

Sehingga nilai kepadatan pada saat volume maksimum adalah :

$$D_m = \frac{65,5230}{2} = 32,7615 \text{ smp/km (untuk 5 menit)}$$

$$D_m = \frac{59,0377}{2} = 29,5189 \text{ smp/km (untuk 10 menit)}$$

$$D_m = \frac{63,2981}{2} = 31,6491 \text{ smp/km (untuk 15 menit)}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai kepadatan pada saat volume maksimum atau  $D_m$  adalah sebesar 32,7615 smp per kilometer untuk periode lima menit, 29,5189 smp per kilometer untuk perioded sepuluh menit dan 31,6491 smp per kilometer untuk periode lima belas menit.

Nilai kecepatan pada saat volume maksimum atau  $U_m$  didapatkan dari rumus :

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

Dimana,  $U_m$  = kecepatan pada saat volume maksimum (km/jam)  
 $U_f$  = kecepatan rata-rata ruang dalam keadaan arus bebas (km/jam)

Dari perhitungan sebelumnya telah didapatkan nilai kecepatan rata-rata dalam keadaan arus bebas atau  $U_f$  adalah sebesar :

1. 63,0659 km/jam (untuk 5 menit)
2. 69,8180 km/jam (untuk 10 menit)
3. 66,4630 km/jam (untuk 15 menit)

Sehingga nilai kecepatan pada saat volume maksimumnya adalah :

$$U_m = \frac{63,0659}{2} = 31,5330 \text{ smp/km (untuk 5 menit)}$$

$$U_m = \frac{69,8180}{2} = 34,9090 \text{ smp/km (untuk 10 menit)}$$

$$U_m = \frac{66,4630}{2} = 33,2315 \text{ smp/km (untuk 15 menit)}$$

Perhitungan diatas menunjukan bahwa kecepatan pada saat volume maksimum atau  $U_m$  adalah sebesar 31,5330 kilometer per jam untuk periode lima menit, 34,9090 kilometer per jam untuk periode sepuluh menit dan 33,2315 kilometer per jam untuk periode lima belas menit.

$$V_m = D_m \cdot U_m$$

Dimana,  $V_m$  = volume maksimum (smp/jam)

$D_m$  = kepadatan pada saat volume maksimum (smp/jam)

$U_m$  = kecepatan pada saat volume maksimum (km/jam)

Dari rumus diatas hasil dari perhitungan sebelumnya maka didapatkan hasil sebagai berikut :

$$D_m = 32,7615 \text{ smp/km (untuk 5 menit)}$$

$$D_m = 29,5189 \text{ smp/km (untuk 10 menit)}$$

$$D_m = 31,6491 \text{ smp/km (untuk 15 menit)}$$

$$U_m = 31,5330 \text{ smp/km (untuk 5 menit)}$$

$$U_m = 34,9090 \text{ smp/km (untuk 10 menit)}$$

$$U_m = 33,2315 \text{ smp/km (untuk 15 menit)}$$

$$V_m = 32,7615 \times 31,5330 = 1033,0683 \text{ smp/km (untuk 5 menit)}$$

$$V_m = 29,5189 \times 34,9090 = 1030,4752 \text{ smp/km (untuk 10 menit)}$$

$$V_m = 31,6491 \times 33,2315 = 1015,7470 \text{ smp/km (untuk 15 menit)}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai volume maksimumnya atau  $V_m$  adalah sebesar 1033,0683 smp per jam untuk periode lima menit, 1030,4752 smp per jam untuk periode sepuluh menit dan 1015,7470 smp per jam untuk periode lima belas menit.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

#### 1) Hubungan kecepatan-

kepadatan digambarkan sebagai garis lurus dengan persamaan sebagai berikut :

*Untuk arah Parung pada hari kerja :*

$$- U_s = 63.0659 - 0.9625 D \text{ (untuk 5 menit)}$$

$$- U_s = 69.8180 - 1.1826 D \text{ (untuk 10 menit)}$$

$$- U_s = 66.4630 - 1.0500 D \text{ (untuk 15 menit)}$$

*Untuk arah Parung pada hari libur :*

$$- U_s = 55.3025 - 0.4759 D \text{ (untuk 5 menit)}$$

$$- U_s = 54.6286 - 0.4717 D \text{ (untuk 10 menit)}$$

$$- U_s = 54.5990 - 0.4721 D \text{ (untuk 15 menit)}$$

*Untuk arah Bogor pada hari kerja :*

$$- U_s = 63.1891 - 1.0268 D \text{ (untuk 5 menit)}$$

$$- U_s = 58.9042 - 0.8660 D \text{ (untuk 10 menit)}$$

$$- U_s = 60.4176 - 0.9090 D \text{ (untuk 15 menit)}$$

*Untuk arah Bogor pada hari libur :*

$$- U_s = 56.2124 - 0.4761 D \text{ (untuk 5 menit)}$$

$$- U_s = 54.0803 - 0.4138 D \text{ (untuk 10 menit)}$$

$$- U_s = 53.4857 - 1.4356 D \text{ (untuk 15 menit)}$$

Sehingga dapat dikatakan bahwa hubungan tersebut sebagai sebuah fungsi linier.

### Saran

- 1) Dari data-data perhitungan diatas telah didapatkan grafik serta pengelompokan hasil perhitungan pada grafik tersebut yang memblok pada lokasi tertentu. Ini kurang baik dalam rangka mencari hubungan antara ketiga variabel. Untuk mendapatkan hasil grafik serta pemplotan yang baik dari data pada grafik diharapkan penelitian yang dilakukan pada jalan yang mempunyai kondisi yang sangat ragam baik ramai sampai macet maupun sepi.
- 2) Pengolahan data untuk mencari hubungan dari ketiga macam variabel dengan menggunakan metode yang lain.

### DAFTAR PUSTAKA

Budi Permana, (1997), *Lebih Lanjut Dengan Microsoft Excel 97*, Elek Media Komputindo, PT Gramedia, Jakarta.

Daniel I Gerlough and Mattew J Hubber, (1975). *Traffic Flow Theory*, Transportation Research Board, 1975 (p, 7, p, 49).

Direktorat Jenderal Bina Marga,(1990), *Panduan Survey dan Perhitungan Waktu*

*Perjalanan Lalu Lintas*, Departemen PU, Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga, (1990) *Tata Cara Pelaksanaan Survey Penghitungan Lalu Lintas Cara Manual*. Departemen PU, Jakarta.

Martin Wohl and Brian V Martin, (1967), *Traffic System Analysis*, Mr Graw-Hill Series In Transportation. (p. 332).

Morlok, Edward K, (1985), *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Penerbit Erlangga Jakarta, (p, 187).