

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Karakteristik Lalu-lintas**

Arus lalu lintas terbentuk dari pergerakan individu pengendara yang melakukan interaksi antara yang satu dengan yang lainnya pada suatu ruas jalan dan lingkungannya. Karena persepsi dan kemampuan individu pengemudi mempunyai sifat yang berbeda maka perilaku kendaraan arus lalu lintas tidak dapat diseregamkan lebih lanjut, arus lalu lintas akan mengalami perbedaan karakteristik akibat dari perilaku pengemudi yang berbeda yang dikarenakan oleh karakteristik lokal dan kebiasaan pengemudi. Arus lalu lintas pada suatu ruas jalan karakteristiknya akan bervariasi baik berdasar waktunya. Oleh karena itu perilaku pengemudi akan berpengaruh terhadap perilaku arus lalu lintas. Dalam menggambarkan arus lalu lintas secara kuantitatif dalam rangka untuk mengerti tentang keragaman karakteristiknya dan rentang kondisi perilakunya, maka perlu suatu parameter. Parameter tersebut harus dapat didefinisikan dan diukur oleh insinyur lalu lintas dalam menganalisis, mengevaluasi, dan melakukan perbaikan fasilitas lalu lintas berdasarkan parameter dan pengetahuan pelakunya (Oglesby, C.H. & Hicks.R.G. 1998)

#### **3.2 Volume**

Volume merupakan jumlah kendaraan yang diamati melewati suatu titik tertentu dari suatu ruas jalan selama rentang waktu tertentu. Volume lalu lintas

biasanya dinyatakan dengan satuan kendaraan/jam atau kendaraan/hari. (smp/jam) atau (smp/hari). Dalam pembahasannya volume di bagi menjadi:

1. Volume harian (*daily volumes*)

Volume harian ini digunakan sebagai dasar perencanaan jalan dan observasi umum tentang trend pengukuran volume pengukuran volume harian ini dapat dibedakan:

- a. Average Annual Daily Traffic (AADT), yakni volume yang diukur selama 24 jam dalam kurun waktu 365 hari, dengan demikian total kendaraan yang di bagi 365 hari.
- b. Average Daily traffic (ADT), yakni volume yang diukur selama 24 jam penuh dalam periode waktu tertentu yang dibagi dari banyaknya hari tersebut.

2. Volume jam-an (*hourly volumes*)

yakni suatu pengamatan terhadap arus lalu lintas untuk untuk menentukan jam puncak selama periode pagi dan sore. Dari pengamatan tersebut dapat diketahui arus paling besar yang disebut arus pada jam puncak. Arus pada jam puncak ini dipakai sebagai dasar untuk desain jalan raya dan analisis operasi lainnya yang dipergunakan seperti untuk analisa keselamatan. peak hour factor (PHF) merupakan perbandingan volume lalu lintas per jam pad saat jam puncak dengan 4 kali rate of flow pada saat yang sama (jam puncak).

$$PHF = \frac{\text{Volume perjam}}{4 \times \text{peak rate factor of flow}} \dots\dots\dots 3.1$$

Rate factor of flow adalah nilai eqivalen dari volume lalu lintas per jam, dihitung dari jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada suatu lajur/segmen jalan selama interval waktu kurang dari satu jam.

### 3.3 Kecepatan

Kecepatan didefinisikan sebagai laju dari suatu pergerakan kendaraan dihitung dalam jarak per satuan waktu. Dalam pergerakan arus lalu lintas, tiap kendaraan berjalan pada jalan yang berbeda. Dengan demikian dalam arus lalu lintas tidak dikenal karakteristik kecepatan kendaraan tunggal. Dari distribusi tersebut, jumlah rata-rata atau nilai tipikal dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari arus lalu lintas.

MKJI 1997 menggunakan kecepatan tempuh sebagai ukuran utama kinerja segmen jalan, karena mudah dimengerti dan diukur dan merupakan masukan yang penting untuk biaya pemakai jalan dalam analisa ekonomi. Kecepatan tempuh didefinisikan dalam MKJI 1997 sebagai kecepatan rata – rata ruang dari kendaraan ringan ( $L/V$ ) sepanjang segmen jalan. Persamaan untuk menentukan kecepatan:

$V = L/TT$  , dimana:

$V$  : Kecepatan tempuh yaitu kecepatan rata – rata (km/jam) arus lalu lintas dihitung dari panjang jalan dibagi waktu tempuh rata – rata kendaraan yang melalui segmen jalan

$L$  : Panjang jalan yang diamati

$TT$  : Waktu tempuh yaitu waktu rata – rata yang digunakan kendaraan menempuh segmen jalan dengan panjang tertentu (detik)

### 3.4 Kerapatan

Kerapatan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur, secara umum diekspresikan dalam kendaraan per

kilometer. Kerapatan sulit di ukur secara langsung di lapangan, melainkan dihitung dari nilai kecepatan dan arus sebagai hubungan sebagai berikut:

$$q = k \cdot U_8 \dots\dots\dots 3.2$$

$$k = q / U_8 \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana:

$q$  = arus

$U_8$  = *space mean speed*

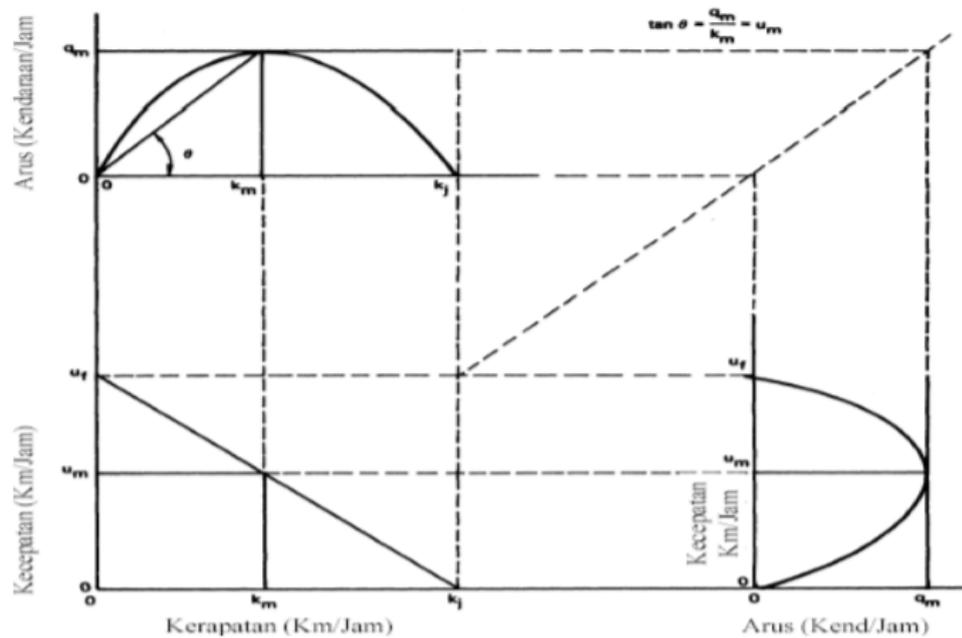
$k$  = kerapatan

### 3.5 Aliran Lalu Lintas

Aliran lalu lintas tersusun oleh macam-macam kendaraan yang berbeda tipe, tahun, ukuran dan berjalan dengan berbeda kecepatan dan jarak antara dengan tipe fasilitas yang berbeda pula.

Ada tiga elemen dasar aliran lalu lintas yang mempunyai hubungan antara elemen yaitu :

1. Kecepatan (*speed*)
2. Aliran (*rate of flow*)
3. Kerapatan (*density*)



Gambar 3.1. Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kerapatan Model *Greenshields*

Ketiga elemen utama di atas mempunyai hubungan karakteristik antar elemen, atau dalam elemen itu sendiri. Hal ini penting untuk diketahui persamaan hubungan satu variabel dengan variabel lainnya.

Hubungan matematis yang menggambarkan aliran lalu lintas dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori umum, tergantung dari pendekatan yang digunakan untuk mengembangkan hubungan aliran lalu lintas tersebut.

Kedua kategori tersebut adalah :

1. Aliran lalu lintas dengan pendekatan makroskopis
2. Aliran lalu lintas dengan pendekatan mikroskopis

Pendekatan makroskopis mempertimbangkan hubungan aliran-kerapatan, sedangkan pendekatan mikroskopis mempertimbangkan jarak (space) dan

kecepatan dari kendaraan secara individu. Model yang paling umum menggunakan pendekatan makroskopis model *Greenshield* dan *Greenberg*.

Dalam tinjauan model makroskopis hubungan aliran, kerapatan dan kecepatan rata-rata ruang adalah sebagai berikut :

$$q = k \cdot \bar{U}_s \dots\dots\dots 3.4$$

Dengan :

$q$  = Aliran lalu lintas dalam kendaraan/jam atau smp/jam

$k$  = Kerapatan dalam kendaraan/km atau smp/km

$\bar{U}_s$  = Kecepatan rata-rata ruang dalam km/jam

Hubungan ketiga variabel  $\bar{U}_s$ ,  $k$  dan  $q$  disebut sebagai model teoritis arus lalu lintas. Secara umum dikatakan bahwa kerapatan akan bertambah apabila aliran (volume) juga bertambah, sehingga tercapai kapasitas dari lajur jalan yang bersangkutan, serta apabila kerapatan bertambah, kecepatan akan menurun.

Model persamaan hubungan elemen lalu lintas yang pertama diintroduksi oleh Greenshield (1934). Greenshield menyatakan hubungan antara kecepatan dan kerapatan bersifat kurva linier, yang digambarkan melalui persamaan :

$$U_s = U_f \cdot (U_f/K_j) \cdot k \dots\dots\dots 3.5$$

Dengan :

$U_f$  = kecepatan rata-rata ruang dalam keadaan arus bebas

$K_j$  = Kerapatan dalam kondisi macet.

Substitusi ke persamaan (1) didapat model hubungan antara volume (aliran) dan kecepatan sebagai berikut :

$$Q = K_j \cdot U_s (K_j/U_f) \cdot U_s \dots\dots\dots 3.6$$

Volume maksimum model persamaan Greenshield adalah

$$V_{maks} = (K_j \cdot U_f) / 4 \dots\dots\dots 3.7$$

Greenberg (1959), melakukan analisa hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan menggunakan asumsi persamaan kontinuitas dan persamaan gerakan benda cair. Bentuk persamaan-persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$U = U_m \cdot \ln(k_j/k) \dots\dots\dots 3.8$$

$$Q = U_s \cdot k_j \cdot e^{-U_s/U_m} \dots\dots\dots 3.9$$

Dengan :

$U_m$  = Kecepatan pada volume (aliran) maksimum

$K_j$  = kerapatan pada keadaan macet total

Dari penerapan pada kondisi sesungguhnya, model Greenberg ini lebih sesuai untuk kondisi lalu lintas padat dan tidak sesuai untuk kondisi lalu lintas yang kurang/tidak padat (Gerlough & Huber, 1975).

Lighthill dan Witham (1955) menggunakan analogi zat cair untuk menunjukkan bahwa perubahan arus bersumber dari kecepatan sebuah gelombang. Perubahan kerapatan mengakibatkan terjadinya gelombang-gelombang dengan kecepatan yang berbeda-beda berjalan ke depan dan ke belakang membentuk arus. Saat aliran mencapai maksimum, gelombang akan statis, namun apabila gelombang yang dihasilkan oleh kecepatan sebagaimana persamaan berikut :

$$U = (q_2 - q_1) / (k_2 - k_1) \dots\dots\dots 3.10$$

Dengan :

$U$  = kecepatan gelombang

$q_1$  dan  $q_2$  = aliran pada masing-masing tingkatan

$k_1$  dan  $k_2$  = kerapatan pada masing-masing tingkatan

Teori Lighthill dan Witham ini banyak digunakan dalam analisa *Shock Wave*

Underwood (1960) menggunakan pendekatan dengan persyaratan kondisi batas pada persamaan dasar variabel lalulintas. Hipotesis hubungan kecepatan dan kerapatan berupa kurva eksponensial, dengan bentuk :

$$U_s = U_f \cdot e^{-k/km} \dots\dots\dots 3.11$$

$$Q = U_s \cdot km \cdot \ln. U_f/U_s \dots\dots\dots 3.12$$

Dengan :

$U_f$  = kecepatan pada saat kondisi bebas

$K_m$  = kerapatan pada saat aliran maksimum

Model ini cocok untuk diterapkan pada lalulintas yang tidak/kurang padat (Gerlough & Huber, 1975).

Pipes-Munjaj (1967) mengemukakan regim model yang berdasar dari model Greenshield, dengan membedakan nilai  $n$  sesuai kondisi yang ada :

$$U_s = U_f (1-k/k_j)^n \dots\dots\dots 3.13$$

Model regim tunggal yang lain berdasarkan pada model Greenberg, diajukan oleh Drew (1965), yang menggunakan bentuk persamaan :

$$Du/dk = U_m \cdot K^{(n-1)/2} \dots\dots\dots 3.14$$

Sedang Drake (1965) mengusulkan penggunaan *bell-shape* model, dengan persamaan

$$U = U_t \cdot e^{-1/2(k/k_m)^2} \dots\dots\dots 3.15$$

Edie (1961), menggabungkan persamaan (3.8) untuk lalulintas padat dan persamaan (3.10) untuk daerah dengan lalulintas kurang padat. Hal ini merupakan *Multiregim model*.

Model northwestern, model hubungan volume , kecepatan, dan kerapatan ini diusulkan oleh grup peneliti di Universitas Northwestern ketika mereka melakukan observasi lapangan. Kemudian model hubungan kecepatan-kerapatan yang didapatkan lebih mendekati bentuk kurva S yang terbalik. Kemudian model yang diusulkan disebut dengan model Northwestern. Northwestern mengemukakan suatu hipotesis bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan adalah merupakan hubungan exponential kuadratis dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$U_s = U_f \cdot e^{-1/2(D/D_m)^2} \dots\dots\dots 3.16$$

Dimana:

$U_f$  = kecepatan dalam kondisi arus bebas

$D_m$  = kerapatan pada saat volume maksimum

Model Exponential yang dikembangkan oleh Northwestern hampir sama dengan yang dikembangkan oleh Underwood, hanya besaran nilai parameternya berbeda.

Untuk mendapatkan nilai konstanta  $U_f$  dan  $D_m$  persamaan (3.16) dapat diubah menjadi persamaan linier  $y = a + bx$  sebagai berikut :

$$\ln U_s = \ln (U_f \cdot e^{-1/2(D/D_m)^2} )$$

$$\ln U_s = \ln U_f - \frac{1}{2} (D/D_m)^2 \dots\dots\dots 3.17$$

misalkan :  $y = \ln U_s$  ;  $a = \ln U_f$  ;  $x = D^2$  ;  $b = -1/(2D_m^2)$

Bila persamaan  $U_s = V/D$  pada persamaan (3.5) disubstitusikan ke persamaan (3.16) maka hubungan volume dan kerapatan didapat :

$$V = D \cdot U_f \cdot e^{-1/2(D/D_m)^2} \dots\dots\dots 3.18$$

Sedangkan untuk mendapatkan hubungan volume dan kecepatan, maka persamaan  $D=V/U_s$  disubstitusikan ke persamaan (3.16) didapat :

$$V = U_s \cdot D_m (2\ln(U_f/U_s))^{1/2} \dots\dots\dots 3.19$$

Formulasi model Northwestern berhubungan dengan model Underwoods dimana perlu diketahui tentang besarnya *free-flow speed* dengan kerapatan optimum (*optimum density*), juga kecepatan tidak akan sama dengan nol ketika kerapatan mencapai kerapatan jenuh ( $K_j$ ).

### 3.6 Perhitungan Kapasitas

Perhitungan Kapasitas jalan berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) Formula dasar untuk mengestimasi kapasitas jalan perkotaan menurut MKJI (1997) adalah:

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs} \dots\dots\dots 3.20$$

Dimana :

- C = Kapasitas (smp/jam)
- C<sub>o</sub> = Kapasitas dasar (smp/jam) untuk jalan dua lajur tak terbagi  
( 2900 smp/jam)
- FC<sub>w</sub> = Faktor penyesuaian lebar jalan

FCsp = Faktor penyesuaian pemisah arah

FCsf = Faktor penyesuaian hambatan samping

FCcs = Faktor penyesuaian ukuran kota

Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) Faktor – faktor yang mempengaruhi nilai kapasitas adalah sebagai berikut :

1. Faktor penyesuaian lebar jalan (FCw)

Tabel 3.1. Faktor penyesuaian lebar jalan (FCw)

Tipe jalan	Lebar jalur lalu-lintas efektif (Wc) (m)	FCw
Empat-lajur terbagi atau Jalan satu-arah	Per lajur	
	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
Empat-lajur tak-terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
	3,75	1,05
	4,00	1,09
Dua-lajur tak-terbagi	Total dua arah	
	5	0,56
	6	0,87
	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
	10	1,29
11	1,34	

2. Faktor penyesuaian pemisah arah (FCsp)

Tabel 3.2. Faktor penyesuaian pemisah arah (FCsp)

Pemisahan arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC <sub>SP</sub>	Dua-lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat-lajur 4/2	1,00	0,985	0,97	0,955	0,94

3. Faktor penyesuaian hambatan samping (FCsf) jalan dengan bahu

Tabel 3.3. Faktor penyesuaian hambatan samping (FCsf) jalan dengan bahu

Tipe jalan	Kelas hambatan samping	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan lebar bahu $FC_{SF}$			
		Lebar bahu efektif $W_s$			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
4/2 D	VL	0,96	0,98	1,01	1,03
	L	0,94	0,97	1,00	1,02
	M	0,92	0,95	0,98	1,00
	H	0,88	0,92	0,95	0,98
	VH	0,84	0,88	0,92	0,96
4/2 UD	VL	0,96	0,99	1,01	1,03
	L	0,94	0,97	1,00	1,02
	M	0,92	0,95	0,98	1,00
	H	0,87	0,91	0,94	0,98
	VH	0,80	0,86	0,90	0,95
2/2 UD atau Jalan satu- arah	VL	0,94	0,96	0,99	1,01
	L	0,92	0,94	0,97	1,00
	M	0,89	0,92	0,95	0,98
	H	0,82	0,86	0,90	0,95
	VH	0,73	0,79	0,85	0,91

4. Faktor penyesuaian ukuran kota

Tabel 3.4. Faktor penyesuaian ukuran kota

Ukuran kota (Juta penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota
< 0,1	0,86
0,1 -0,5	0,90
0,5-1,0	0,94
1,0-3,0	1,00
> 3,0	1,04

### 3.7 Metode Trend Regresi

Bentuk umum persamaan trend regresi terdiri dari 3 jenis, yaitu :

- Trend regresi linier
  - Trend regresi logaritma
  - Trend regresi eksponensial
- Dari ketiga jenis trend ini akan dicari persamaan regresi dengan nilai  $R^2$  atau koefisien determinasi yang mendekati 1, dari sini akan ditentukan persamaan yang digunakan untuk prediksi volume lalu lintas. Metode trend regresi ini menggunakan prinsip kuadrat terkecil. Dari persamaan ini akan menggambarkan garis trend yang terjadi, garis ini merupakan garis best fit. Prinsip least square adalah menentukan garis best fit sehingga trend yang digambarkan oleh garis itu merupakan garis yang paling dekat dengan trend sebenarnya.