

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengelompokan Jalan Umum**

Berdasarkan UU No. 38 tahun 2004 tentang Jalan, jalan umum dikelompokan sebagai berikut:

1. Pengelompokan jalan umum menurut sistem meliputi sistem jaringan jalan primer dan sistem jaringan jalan sekunder :

**Tabel 2.1 Pengelompokan Jalan Menurut Sistem**

No	Pengelompokan Jalan	Peran Pelayanan
1	Sistem jaringan jalan primer	Pelayanan distribusi semua wilayah di tingkat nasional
2	Sistem jaringan jalan sekunder	Pelayanan distribusi dalam kawasan perkotaan

Sumber: UURI No.38 tahun 2004 tentang jalan

2. Pengelompokan jalan umum menurut fungsi meliputi jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal dan jalan lingkungan:

**Tabel 2.2 Pengelompokan Jalan Menurut Fungsi**

No.	Pengelompokan jalan	Peran Pelayanan
1	Jalan arteri	Melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
2	Jalan kolektor	Melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi
3	Jalan lokal	Melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi
4	Jalan lingkungan	Melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata-rata rendah

Sumber : UURI No.38 tahun 2004 tentang jalan

3. Pengelompokan jalan umum menurut status meliputi jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten/kota, jalan desa :

**Tabel 2.3** Pengelompokkan Jalan Menurut Status

No.	Pengelompokkan jalan	Peran pelayanan
1	Jalan nasional	Jaringan jalan primer yang menghubungkan antar ibukota provinsi, dan jalan strategis
2	Jalan provinsi	Jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/kota atau antar ibukota kabupaten/kota, dan jalan strategis provinsi
3	Jalan kabupaten	Jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan, antar ibukota kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat kegiatan lokasi, antar pusat kegiatan lokal, serta jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder dalam wilayah kabupaten, dan jalan strategis kabupaten
4	Jalan kota	Jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antar pusat pelayanan dalam kota, menghubungkan pusat pelayanan dengan persil, menghubungkan antar persil, serta menghubungkan antar pusat permukiman yang berada di dalam kota
5	Jalan desa	jalan umum yang menghubungkan kawasan dan/atau antar permukiman di dalam desa, serta jalan lingkungan

Sumber: UURI No.38 tahun 2004 tentang jalan

4. Pengelompokan jalan umum menurut kelas meliputi jalan kelas I, jalan kelas II, jalan kelas III A, jalan kelas III B dan jalan kelas IIIC :

**Tabel 2.4** Pengelompokkan Jalan Menurut Kelas

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat MST (ton)
Arteri	I	> 10
	II	10
	III A	8
Kolektor	III A	8
	III B	8
	III C	8

Sumber: UURI No.38 tahun 2004 tentang jalan

## 2.2 Parameter Arus Lalulintas

Berdasarkan MKJI 1997 fungsi utama dari suatu jalan adalah memberikan pelayanan transportasi sehingga pemakai jalan dapat berkendaraan dengan aman dan nyaman. Parameter dasar yang sering digunakan untuk mempelajari karakteristik arus lalulintas terdapat 3 buah, yaitu volume, kecepatan dan kepadatan.

### 2.2.1 Volume Lalulintas

Volume lalulintas, dinyatakan dengan notasi  $V$  adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pengamatan tertentu pada ruas jalan, dalam satuan waktu tertentu. Volume lalulintas biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam.

Volume lalulintas dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = S \times D \quad (2.1)$$

dengan:

$V$  = volume lalu lintas (kend/jam)

$D$  = kepadatan lalu lintas (smp/km)

$S$  = kecepatan lalu lintas (km/jam)

### 2.2.2 Kecepatan (Speed)

Kecepatan kendaraan, dinyatakan dengan notasi  $S$  adalah jarak yang dapat ditempuh oleh sebuah kendaraan dalam satu satuan waktu tertentu. Kecepatan kendaraan dinyatakan dalam satuan km/jam.

Terdapat 2 (dua) cara untuk mendefinisikan kecepatan rata-rata kendaraan, yaitu :

1. Kecepatan rata-rata ruang (*Space Mean Speed*)

Kecepatan rata-rata ruang adalah kecepatan rata-rata kendaraan di sepanjang jalan yang diamati

$$\bar{S}_S = \frac{l}{\bar{t}} \quad (2.2)$$

dimana :

$\bar{S}_s$  = Kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

$l$  = Panjang ruas jalan (meter)

$\bar{t}$  = Waktu perjalanan rata-rata kendaraan (detik), yang didefinisikan sebagai :

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N t_i \quad (2.3)$$

dimana :

$t_i$  = Waktu yang dibutuhkan untuk kendaraan  $i$  bergerak di ruas jalan sepanjang  $l$  (detik)

$N$  = Jumlah kendaraan yang diamati

Dengan mengsubtitusi persamaan (2.2) ke persamaan (2.3) maka :

$$\bar{S}_s = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i} \quad (2.4)$$

dimana :

$\bar{S}_s$  = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

$t_i$  = waktu yang dibutuhkan untuk kendaraan  $i$  bergerak di ruas jalan sepanjang  $l$  (detik)

$N$  = jumlah kendaraan yang diamati

## 2. Kecepatan rata-rata waktu

Kecepatan rata-rata waktu adalah kecepatan rata-rata yang menggambarkan kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang melewati satu titik pada waktu tertentu dengan bentuk persamaan berikut:

$$\bar{S}_t = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{N} \quad (2.5)$$

dimana :

$\bar{S}_t$  = kecepatan rata-rata waktu (km/jam)

- $S_i$  = kecepatan sesaat (*Spot Speed*) yang bisa didapatkan dengan menggunakan radar gun (km/jam)
- $N$  = jumlah kendaraan yang diamati

### 2.2.3 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan lalulintas, dinyatakan dengan notasi  $D$  adalah jumlah kendaraan yang berada dalam satu satuan panjang jalan tertentu. Kepadatan dinyatakan dalam satuan kendaraan/km. Nilai kepadatan dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$D = \frac{N}{L} \quad (2.6)$$

dengan :

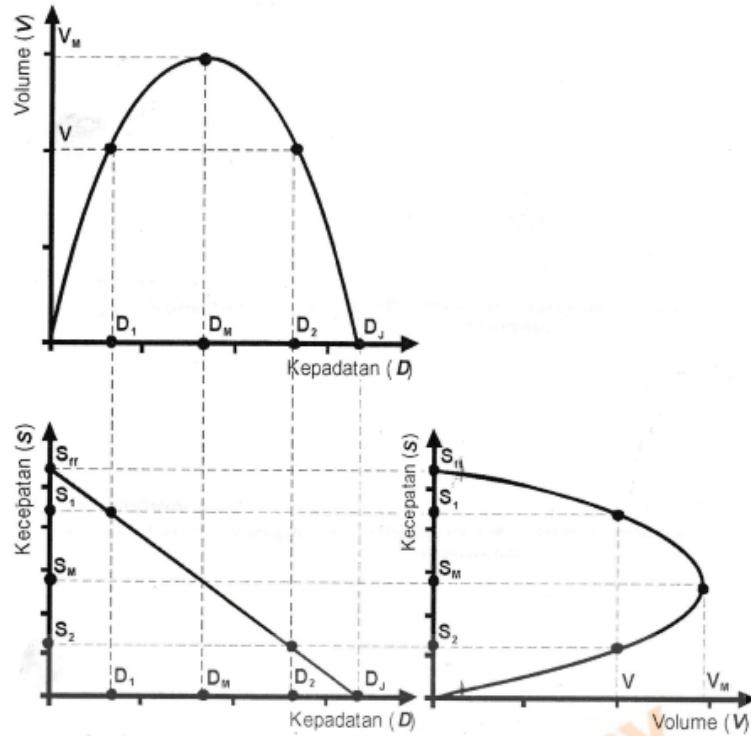
$D$  = kepadatan lalu lintas (kend/km)

$N$  = jumlah kendaraan yang diamati

$L$  = panjang ruas jalan yang akan dihitung (km)

## 2.3 Hubungan Antara Parameter Lalulintas

*Greenshield* merumuskan bahwa hubungan matematis antara kecepatan-kepadatan (S-D) diasumsikan linear. Hubungan S-D adalah monoton ke bawah yang menyatakan bahwa apabila kepadatan lalulintas meningkat maka kecepatan akan menurun. Secara umum, hubungan matematis antara parameter lalulintas disampaikan pada **Gambar 2.1.**



Gambar 2.1 Hubungan matematis antara kecepatan, arus, dan kepadatan

Sumber: Tamin (2008)

*Greenshield* memodelkan hubungan yang linear antara kecepatan rata-rata ruang dan kepadatan dengan bentuk umum sebagai berikut:

$$S = a + b \cdot D \quad (2.7)$$

dengan:

$S$  = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

$a$  dan  $b$  = konstanta

$D$  = kepadatan (kend/km)

Penurunan model hubungan parameter berdasarkan *Greenshield* adalah sebagai berikut:

- Pada saat  $D = 0$  maka  $S = a + b \cdot 0$  atau  $S = a$ .

Pada kondisi kepadatan sama dengan nol ( $D = 0$ ), kendaraan akan bebas memilih kecepatannya sesuai kondisi ruas jalan yang ada (disebut kecepatan arus bebas ( $S_{ff}$ )) maka nilai  $S = S_{ff}$  sehingga :

$$S_{ff} = a \quad (2.8)$$

$$S = a + b \cdot D \quad (2.9)$$

$$S = S_{ff} + b \cdot D \quad (2.10)$$

- Pada saat  $S = 0$  maka

$$0 = S_{ff} + b \cdot D \quad (2.11)$$

$$b = -\frac{S_{ff}}{D} \quad (2.12)$$

Arus lalulintas akan menjadi 0 (nol) apabila kepadatan sangat tinggi sedemikian rupa sehingga tidak memungkinkan bagi kendaraan untuk bergerak lagi. Kondisi seperti ini disebut kondisi macet total ( $D_j$ ).

Pada saat  $S = 0$  maka  $D = D_j$ , sehingga :

$$b = -\frac{S_{ff}}{D_j} \quad (2.13)$$

Dengan memasukan nilai a dan b ke dalam persamaan (2.7) maka diperoleh persamaan hubungan ( $S - D$ ) sebagai berikut:

$$S = S_{ff} + b \cdot D \quad (2.14)$$

$$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} D \quad (2.15)$$

$$S = S_{ff} \left( 1 - \frac{D}{D_j} \right) \quad (2.16)$$

dengan:

$S$  = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

$S_{ff}$  = kecepatan arus bebas (km/jam)

$D$  = kepadatan (kend/km)

$D_j$  = kepadatan pada kondisi macet total (kend/km)

Dengan menggunakan persamaan hubungan arus, kecepatan dan kepadatan persamaan (2.1) dan persamaan (2.16) maka diperoleh persamaan hubungan volume dan kepadatan ( $V - D$ ) sebagai berikut:

$$V = S_{ff} \left( D - \frac{D^2}{D_j} \right) \quad (2.17)$$

dimana :

$V$  = volume lalu lintas (kend/jam)

$D$  = kepadatan lalu lintas (smp/km)

$S_{ff}$  = kecepatan lalu lintas (km/jam)

$D_j$  = kepadatan pada kondisi macet total (kend/km)

Kondisi arus maksimum ( $V_M$ ) terjadi pada saat kepadatan mencapai kepadatan maksimum ( $D_M$ ). Berdasarkan persamaan (2.17) diperoleh :

$$\frac{dV}{dD} = 0 \quad (2.18)$$

$$S_{ff} - 2S_{ff} \frac{D}{D_j} = 0 \quad (2.19)$$

$$D_M = \frac{1}{2} D_j \quad (2.20)$$

Dengan memasukan persamaan (2.20) ke persamaan (2.17) diperoleh nilai arus maksimum ( $V_M$ ) yang merupakan nilai kapasitas (C) sebagai berikut:

$$V_M = C = \frac{1}{4} S_{ff} \cdot D_j \quad (2.21)$$

Selanjutnya hubungan antara volume dan kecepatan ( $V - S$ ) dapat diturunkan sebagai berikut:

$$V = D_j \cdot S - \frac{D_j}{S_{ff}} \cdot S^2 \quad (2.22)$$

Volume maksimum akan diperoleh pada saat kecepatan mencapai nilai maksimum ( $S = S_M$ ) sebagai berikut:

$$\frac{dV}{dS} = 0 \quad (2.23)$$

$$D_j - \frac{2D_j}{S_{ff}} \cdot S_M = 0 \quad (2.24)$$

$$S_M = \frac{1}{2} S_{ff} \quad (2.25)$$

Hubungan antar parameter lalulintas berdasarkan *Greenshields* disampaikan pada **Tabel 2.5.**

**Tabel 2.5** Rangkuman persamaan dari model *Greenshields*

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S-D	$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \times D$	$V_M$	$V_M = \frac{D_j \times S_{ff}}{4}$
V-D	$V = D \times S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \times D^2$	$S_M$	$S_M = \frac{S_{ff}}{2}$
V-S	$V = D_j \times S - \frac{D_j}{S_{ff}} \times S^2$	$D_M$	$D_M = \frac{D_j}{2}$

Sumber : Tamin (2008)

## 2.4 Kapasitas Ruas Jalan

Perhitungan kapasitas ruas jalan mengacu pada MKJI 1997 sebagai berikut:

1. Perhitungan nilai ekivalensi mobil penumpang

Nilai ekivalensi mobil penumpang (emp) adalah suatu faktor konversi untuk menyetarakan berbagai tipe kendaraan yang beroperasi di suatu ruas jalan kedalam satu jenis kendaraan yakni mobil penumpang.

Adapun nilai emp berdasarkan MKJI 1997 disampaikan pada **Tabel 2.6** dan **Tabel 2.7**.

**Tabel 2.6** Tabel emp untuk jalan perkotaan tak terbagi

Tipe Jalan tak terbagi	Arus lalulintas total dua arah (kend/jam)	emp		
		HV	MC	
			Lebar jalur lalulintas Wc (m)	
			≤ 6	> 6
Dua lajur tak terbagi (2/2 UD)	0	1,3	0,5	0,40
	≥ 1800		0,35	0,25
Empat lajur tak terbagi (4/2 UD)	0	1,3	0,40	
	≥ 3700		0,25	

Sumber: MKJI (1997)

**Tabel 2.7** Tabel emp untuk jalan perkotaan terbagi dan satu arah

Tipe jalan satu arah dan jalan terbagi	Arus lalulintas per lajur (kend/jam)	emp	
		HV	MC
Dua lajur satu arah (2/1) dan Empat lajur terbagi (4/2D)	0 $\geq 1050$	1,3 1,2	0,40 0,25
Tiga lajur satu arah (3/1) dan Enam lajur terbagi (6/2D)	0 $\geq 1100$	1,3 1,2	0,40 0,25

Sumber: MKJI (1997)

## 2. Perhitungan kapasitas ruas jalan

Kapasitas ruas jalan adalah arus lalulintas maksimum yang melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam pada kondisi tertentu. Untuk jalan tak-terbagi, analisa dilakukan pada kedua arah lalu-lintas. Untuk jalan terbagi, analisa dilakukan terpisah pada masing-masing arah lalu-lintas, seolah-olah masing-masing arah merupakan jalan satu arah yang terpisah.

Untuk menentukan nilai kapasitas, digunakan persamaan sebagai berikut ini:

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{CS} \times FC_{SF} \quad (2.26)$$

dimana :

$C$  = kapasitas (smp/jam)

$C_0$  = kapasitas dasar (smp/jam)

$FC_W$  = faktor penyesuaian lebar jalur lalulintas

$FC_{SF}$  = faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan/kerb

$FC_{CS}$  = faktor penyesuaian ukuran kota

$FC_{SP}$  = faktor penyesuaian pemisah arah (hanya untuk jalan tak terbagi), bernilai 1,0 untuk terbagi dan jalan satu arah

Nilai kapasitas dasar ( $C_o$ ) untuk jalan perkotaan berdasarkan MKJI 1997 disampaikan pada **Tabel 2.8**.

**Tabel 2.8** Kapasitas Dasar ( $C_o$ ) untuk Jalan Perkotaan

Tipe Jalan	Kapasitas dasar (smp/jam)	Catatan
Empat-lajur terbagi atau jalan satu arah	1650	Per lajur
Empat-lajur tak terbagi	1500	Per lajur
Dua lajur tak terbagi	2900	Total dua arah

Sumber: MKJI (1997)

Kapasitas dasar jalan lebih dari empat lajur (banyak lajur) dapat ditentukan dengan menggunakan kapasitas per lajur.

Selanjutnya nilai faktor penyesuaian untuk jalan perkotaan disampaikan pada **Tabel 2.9** sampai **Tabel 2.11**.

**Tabel 2.9** Faktor penyesuaian kapasitas untuk lebar jalur lalulintas ( $FC_w$ )

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

Sumber: MKJI (1997)

Faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan lebih dari empat lajur dapat ditentukan dengan menggunakan nilai per lajur yang diberikan untuk jalan empat-lajur.

**Tabel 2.10** Faktor penyesuaian kapasitas untuk ukuran kota (FC<sub>CS</sub>)

Ukuran kota (juta penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota
< 0,1	0,86
0,1 – 0,5	0,9
0,5 – 1	0,94
1 – 3	1
> 3	1,04

Sumber: MKJI (1997)

**Tabel 2.11** Faktor penyesuaian kapasitas untuk hambatan samping dan jarak kerb penghalang (FC<sub>SF</sub>)

Tipe Jalan	Kelas hambatan samping	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan jarak kerb-penghalang FC <sub>SF</sub>			
		Jarak : kerb penghalang W <sub>K</sub>			
		< 0,5	1	1,5	> 2
4/2 D	VL	0,95	0,97	0,99	1,01
	L	0,94	0,96	0,98	1
	M	0,91	0,93	0,95	0,98
	H	0,86	0,89	0,92	0,95
	VH	0,81	0,85	0,88	0,92
4/2 UD	VL	0,95	0,97	0,99	1,01
	L	0,93	0,95	0,97	1
	M	0,9	0,92	0,95	0,97
	H	0,84	0,87	0,9	0,93
	VH	0,77	0,81	0,85	0,9
2/2 UD Atau jalan satu arah	VL	0,93	0,95	0,97	0,99
	L	0,9	0,92	0,95	0,97
	M	0,86	0,88	0,91	0,94
	H	0,78	0,81	0,84	0,88
	VH	0,68	0,72	0,77	0,82

Sumber: MKJI (1997)

Faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan 6 lajur dapat ditentukan dengan menggunakan rumus

$$FC_{6,SF} = 1 - 0,8 (1 - FC_{4,SF}) \quad (2.27)$$

dimana :

$FC_{6,SF}$  = faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan 6 lajur

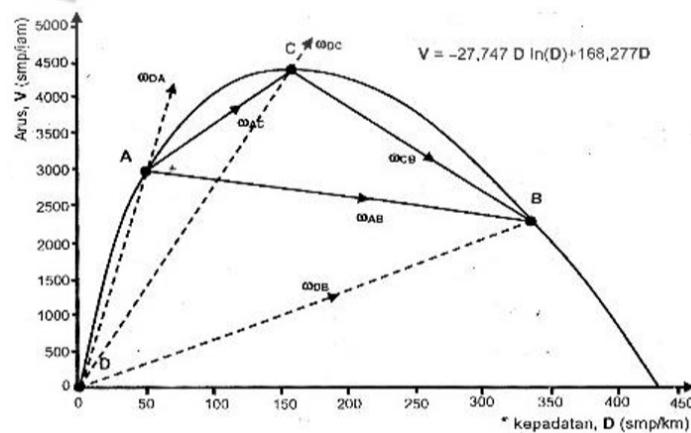
$FC_{4,SF}$  = faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan 4 lajur

## 2.5 Gelombang Kejut (*Shock Wave*)

Gelombang kejut (*shock wave*) didefinisikan sebagai gerakan atau perjalanan sebuah perubahan arus lalu lintas. Pada keadaan kondisi arus-bebas (*free-flow*), kendaraan akan melaju dengan kecepatan tertentu. Apabila arus tersebut dapat melewati lokasi hambatan tersebut.

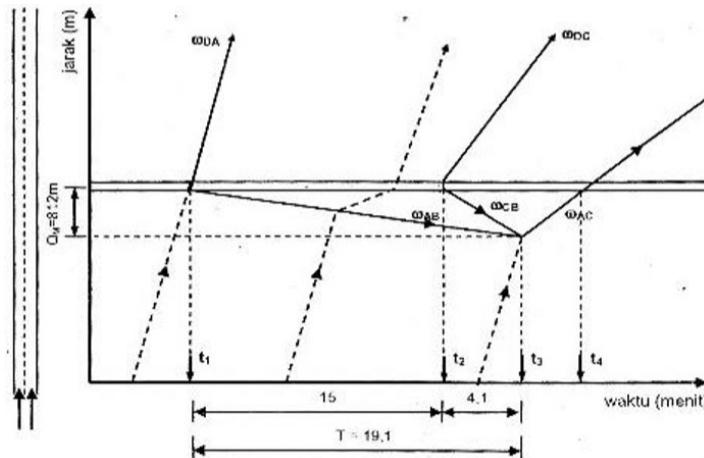
Pengurangan arus ini akan mengakibatkan kepadatan kendaraan pada daerah sebelum terjadi hambatan menjadi meningkat yang pada akhirnya mengakibatkan kecepatan menurun dan terjadi antrian. Hambatan pada arus lalu lintas tersebut dapat berupa penutupan sebagian atau seluruh lajur pada suatu ruas jalan misalnya: akibat terjadinya kecelakaan atau adanya perbaikan jalan, atau dapat juga disebabkan adanya hambatan pada saat lampu merah pada persimpangan berlampa lalulintas.

Gelombang kejut dapat digambarkan sebagai gerakan pada arus lalu lintas akibat adanya perubahan nilai kepadatan dan arus lalu lintas. Apabila arus dan kepadatan relatif tinggi, titik pada saat kendaraan harus mengurangi kecepatannya ditandai dengan nyala lampu rem, dan titik tersebut akan bergerak ke arah datangnya lalu lintas. Gerakan lampu rem menyala relatif terhadap jalan sebenarnya merupakan gerakan gelombang kejut. Gelombang kejut pada penyempitan (*bottleneck*) sehingga mengakibatkan terjadi antrian dan proses pemulihannya setelah arus lalu lintas tidak mengalami hambatan. (*Tamin, 2008*)



**Gambar 2.2** Contoh kurva arus-kepadatan dengan titik tinjauan A, B, C, dan D

Sumber: Tamin (2008)



**Gambar 2.3** Gelombang kejut pada kondisi jalan ditutup 1 lajur selama 15 menit, untuk nilai  $V = 3000$  smp/jam

Sumber : Tamin (2008)

Kondisi A merupakan arus lalulintas ketika akan memasuki kondisi B yang merupakan kondisi arus lalulintas yang sedang mengalami hambatan. Kondisi C adalah arus lalulintas maksimum yang melalui ruas tinjauan, yang diperoleh sesuai dengan kurva arus-kepadatan.

Untuk mendapatkan nilai faktor pengaruh lebar lajur terhadap kapasitas lajur digunakan hasil *Indonesian Highway Capacity Manual* (IHCM, 1994) seperti pada

**Tabel 2.12.**

**Tabel 2.12** Nilai faktor pengaruh lebar lajur terhadap kapasitas

Tipe pengoperasian jalan	Lebar tiap lajur (m)	Nilai faktor pengaruh
4 lajur 2 arah, terpisah	3,25	0,95
	3,50	0,98
	3,60	1,00
	3,75	1,03
2 lajur 2 arah, tidak terpisah	6,5 (2arah)	0,96
	7,00	1,00
	7,50	1,03

Sumber : IHCM (1994)

Selama waktu  $t_0$  sampai dengan  $t_1$ , tidak terjadi hambatan pada arus lalulintas sehingga arus lalulintas bergerak ke arah hilir dengan arus kondisi A.

Pada waktu  $t_1$ , terjadi hambatan yang menyebabkan penyempitan atau efek leher botol (bottleneck) dan kondisi arus lalulintas berubah menjadi kondisi B, sedangkan kondisi arus lalulintas setelah terjadinya penyempitan ke arah hilir berubah menjadi kondisi D. Tiga gelombang kejut yang terbentuk mulai  $t_1$  pada garis henti sebagai berikut:

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = S_B \quad (2.28)$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} \quad (2.29)$$

dimana :

$\omega_{DB}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus D ke kondisi arus B (km/jam)

$\omega_{AB}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus A ke kondisi arus B (km/jam)

$V_B$  = nilai arus pada kondisi arus B (smp/jam/lajur)

$V_D$  = nilai arus pada kondisi arus D (smp/jam/lajur)

$V_A$  = nilai arus pada kondisi arus A (smp/jam/lajur)

$D_B$  = kerapatan lalulintas pada kondisi arus B (smp/km)

$D_D$  = kerapatan lalulintas pada kondisi arus D (smp/km)

$D_A$  = kerapatan lalulintas pada kondisi arus A (smp/km)

$S_B$  = kecepatan lalulintas pada kondisi arus B (km/jam)

Arus lalulintas pada kondisi A, B, dan D menerus sampai dengan waktu  $t_2$  dimana pada saat itu arus lalulintas tidak mengalami hambatan. Sebuah arus lalulintas dengan kondisi baru akan terbentuk, yaitu arus lalulintas pada kondisi C dimana pada waktu  $t_2$  garis henti arus lalulintas akan meningkat dari  $V_B$  menjadi jenuh.

Hali ini menyebabkan terbentuk 2 (dua) gelombang kejut baru, yaitu:  $\omega_{DC}$  dan  $\omega_{CB}$ , sedangkan gelombang kejut  $\omega_{DB}$  berakhir. Kecepatan gelombang kejut baru tersebut dapat dilihat pada grafik arus-kepadatan dan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\omega_{DC} = \frac{V_C - V_D}{D_C - D_D} \quad (2.30)$$

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} \quad (2.31)$$

dimana :

$\omega_{DC}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus D ke kondisi arus C  
(km/jam)

$\omega_{CB}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus C ke kondisi arus B  
(km/jam)

$V_C$  = nilai arus pada kondisi arus C (smp/jam/lajur)

$V_D$  = nilai arus pada kondisi arus D (smp/jam/lajur)

$V_B$  = nilai arus pada kondisi arus B (smp/jam/lajur)

$D_C$  = kerapatan lalulintas pada kondisi arus C (smp/km)

$D_D$  = kerapatan lalulintas pada kondisi arus D (smp/km)

$D_B$  = kerapatan lalulintas pada kondisi arus B (smp/km)

Arus lalulintas pada kondisi D, C, B, dan A menerus terjadi sampai dengan  $\omega_{AB}$  dan  $\omega_{CD}$  mencapai  $t_3$ . Selang waktu antara  $t_2$  sampai dengan  $t_3$  dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$t_3 - t_2 = r \times \left| \frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| \quad (2.32)$$

dimana :

$\omega_{AB}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus A ke kondisi arus B  
(km/jam)

$\omega_{CB}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus C ke kondisi arus B  
(km/jam)

$t_3$  = waktu (detik)

$t_2$  = waktu (detik)

$r$  = durasi hambatan (detik)

Dengan  $r$  adalah durasi efektif (detik) terjadinya hambatan. Lokasi antrian berakhir pada waktu  $t_3$  dan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} = S_A \quad (2.33)$$

$$Q_M = \frac{r}{3600} \times \left| \frac{\omega_{CB} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right| \quad (2.34)$$

dimana :

$\omega_{DA}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus D ke kondisi arus A  
(km/jam)

$\omega_{CB}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus C ke kondisi arus B  
(km/jam)

$\omega_{AB}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus A ke kondisi arus B  
(km/jam)

$Q_M$  = Arus maksimum (meter)

$r$  = durasi hambatan (detik)

$V_A$  = nilai arus pada kondisi arus A (smp/jam/lajur)

$V_D$  = nilai arus pada kondisi arus D (smp/jam/lajur)

$D_A$  = kerapatan lalulintas pada kondisi arus A (smp/km)

$D_D$  = kerapatan lalulintas pada kondisi arus D (smp/km)

$S_B$  = kecepatan lalulintas pada kondisi arus B (km/jam)

Pada waktu  $t_3$  terbentuk 1 (satu) gelombang kejut baru, yaitu gelombang kejut gerak maju  $\omega_{AC}$ , sedangkan 2 (dua) buah gelombang kejut gerak mundur  $\omega_{AB}$  dan  $\omega_{CB}$  berakhir. Gelombang kejut  $\omega_{AC}$  dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$\omega_{AC} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} \quad (2.35)$$

dimana :

$\omega_{AC}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus A ke kondisi arus C (km/jam)

$V_C$  = nilai arus pada kondisi arus C (smp/jam/lajur)

$V_A$  = nilai arus pada kondisi arus A (smp/jam/lajur)

$D_C$  = kerapatan lalulintas pada kondisi arus C (smp/km)

$D_A$  = kerapatan lalulintas pada kondisi arus A (smp/km)

Arus lalulintas pada kondisi D, C, dan A menerus terjadi sampai dengan  $t_5$ , yaitu saat terjadi hambatan, tetapi pertimbangan pertama adalah  $t_4$ . Pada waktu  $t_4$ , gelombang kejut gerak maju  $\omega_{AC}$  memotong garis henti dan arus lalulintas pada garis henti berubah dari arus maksimum  $V_C$  menjadi  $V_A$ .

Rentang waktu dari mulai fase sebelum terjadi hambatan sampai dengan garis henti adalah nilai maksimum  $t_2$  ke  $t_4$  dan dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$T = t_4 - t_2 = \frac{r \times \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \times \left| \frac{\omega_{CB}}{\omega_{AC}} + 1 \right| \quad (2.36)$$

dimana :

$\omega_{AB}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus A ke kondisi arus B (km/jam)

$\omega_{CB}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus C ke kondisi arus B (km/jam)

$\omega_{AC}$  = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus A ke kondisi arus C  
(km/jam)

$T$  = waktu penormalan (detik)

$t_4$  = waktu (detik)

$t_2$  = waktu (detik)

$r$  = durasi hambatan (detik)

$(t_4 - t_2) = T$  disebut dengan waktu penormalan, yaitu total waktu sejak dilakukan penormalan lajur hingga antrian berakhir. Pada waktu  $t_5$ , pola gelombang kejut ke arah hulu sejak terjadinya hambatan mulai berulang lagi walaupun pola gelombang kejut ke hilir dari tempat terjadinya hambatan menyimpang dari pola awal.