

BAB II

LANDASAN TEORI DAN STANDAR PERENCANAAN

2.1 Pengertian Jalan Tol

Menurut Undang-undang Republik Indonesia Nomor 13 tahun 1980 tentang Jalan BAB I Pasal 1 ayat (h) menyebutkan : “Jalan Tol adalah jalan umum yang kepada para pemakainya dikenakan kewajiban membayar tol. Pada Bab dan pasal yang sama ayat (i) disebutkan : “Tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk pemakaian Jalan Tol”

Maksud dan tujuan penyelenggaraan jalan tol, menurut Peraturan Pemerintah Nomor 8 tahun 1990, Pasal 2, adalah untuk mewujudkan pemerataan pembangunan dan hasil-hasilnya serta keseimbangan dalam pengembangan wilayah secara adil, dimana pembinaannya memakai dana yang berasal dari masyarakat, yakni melalui pembayaran tol.

Syarat – syarat jalan tol (menurut Peraturan Perundang – Undangan DEP PU, pasal 4) :

1. Jalan tol adalah alternatif jalan umum yang ada, dan pada dasarnya merupakan jalan baru.
2. Jalan tol didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 80 km/jam untuk antar kota, dan 60 km/jam untuk dalam kota.
3. Jalan tol didesain untuk mampu menahan muatan sumbu terpusat tunggal kendaraan sekurangnya 8,2 ton atau muatan sumbu terpusat tandem minimal 14,5 ton.
4. Jumlah jalan masuk ke jalan tol dibatasi secara efisien.

2.2 Analisa Perencanaan Jalan

2.2.1 Analisa Lalu Lintas

Sesuai dengan buku “Manual Kapasitas Jalan Indonesia”,1997 perencanaan jalan tol Semarang-Bawen didefinisikan sebagai suatu perencanaan geometrik secara detail dan kontrol lalu lintas untuk suatu fasilitas lalu lintas baru yang perkiraan tingkat permintaannya (*demand*) telah diperhitungkan.

2.2.1.1 Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (*emp*)

Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (*emp*), berguna untuk menyatakan jenis dan ukuran kendaraan ke dalam suatu ukuran standart sesuai dengan yang telah ditetapkan oleh Bina Marga.

Mobil penumpang diambil sebagai kendaraan standart dengan nilai $emp = 1$, sedangkan kendaraan lain tergantung faktor-faktor :

- Dimensi kendaraan
- Kecepatan kendaraan

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

- Geometrik jalan
- Kondisi lingkungan
- Volume lalu lintas

Berdasarkan buku “MKJI,1997” nilai ekivalensi kendaraan penumpang (*emp*) terbagi untuk tiap jenis kendaraan dan juga berdasarkan tipe jalan bebas hambatan.

Tabel 2.1
Nilai emp untuk jalan MW 2/2 UD

Type Alinyemen	Total Arus Kend/jam	EMP		
		MHV	LB	LT
Datar	0	1,2	1,2	1,8
	900	1,8	1,8	2,7
	1450	1,5	1,6	2,5
	≥ 2100	1,3	1,5	2,5
Bukit	0	1,2	1,6	5,2
	700	1,8	2,5	5,0
	1200	1,5	2,0	4,0
	≥ 1800	1,3	1,7	3,2
Gunung	0	3,5	2,5	6,0
	500	3,0	3,2	5,5
	1000	2,5	2,5	5,0
	≥ 1450	1,9	2,2	4,2

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.2
 Nilai emp untuk jalan MW 4/2 D

Type Alinyemen	Total Arus Kend/jam	EMP		
		MHV	LB	LT
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1250	1,4	1,4	2,0
	2250	1,6	1,7	2,5
	≥ 2800	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,8	1,6	4,8
	900	2,0	2,0	4,6
	1700	2,2	2,3	4,3
	≥ 2250	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	700	2,9	2,6	5,1
	1450	2,6	2,9	4,8
	≥ 2000	2,0	2,4	3,8

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.3
 Nilai emp untuk jalan MW 6/2 UD

Type Alinyemen	Total Arus Kend/jam	EMP		
		MHV	LB	LT
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1900	1,4	1,4	2,0
	3400	1,6	1,7	2,5
	≥ 4150	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,8	1,6	4,8
	1450	2,0	2,0	4,6
	2600	2,2	2,3	4,3
	≥ 3300	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	1150	2,9	2,6	5,1
	2150	2,6	2,9	4,8
	≥ 3000	2,0	2,4	3,8

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.4
Nilai emp untuk jalan luar kota empat lajur dua arah

Type Alinyemen	Total Arus (Kend/jam)		EMP			
	Jalan terbagi per arah (Kend/jam)	Jalan tak terbagi total (Kend/jam)	MHV	LB	LT	MC
Datar	0	0	1,2	1,2	1,6	0,5
	1000	1700	1,4	1,4	2,0	0,6
	1800	3250	1,6	1,7	2,5	0,8
	≥ 2150	≥ 3950	1,3	1,5	2,0	0,5
Bukit	0	0	1,8	1,6	4,8	0,4
	750	1350	2,0	2,0	4,6	0,5
	1400	2500	2,2	2,3	4,3	0,7
	≥ 1750	≥ 3150	1,8	1,9	3,5	0,4
Gunung	0	0	3,2	2,2	5,5	0,3
	550	1000	2,9	2,6	5,1	0,4
	1150	2000	2,6	2,9	4,8	0,6
	≥ 1500	≥ 2700	2,0	2,4	3,8	0,3

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Keterangan :

- MHV : (Medium Heavy Vehicle) Kendaraan berat menengah, kendaraan bermotor dengan 2 gandar dengan jarak 3,5 – 5,0 m (termasuk truk 2 as dengan 6 roda, bis kecil, sesuai dengan klasifikasi Bina Marga)
- LB : (Large Bus) Bus besar, dengan 2 atau 3 gandar dengan jarak as 5,0 – 6,0 m
- LT : (Large Truck) truk besar, truk 3 gandar dan truk kombinasi dengan jarak gandar < 3,5 m
- MC : (Motor Cycle)

2.2.1.2 Kecepatan Arus Bebas (FV)

Kecepatan arus bebas (FV) didefinisikan sebagai kecepatan pada arus = 0, sesuai dengan kecepatan yang akan digunakan pengemudi pada saat mengendarai kendaraan bermotor tanpa dihalangi kendaraan bermotor lainnya di jalan bebas hambatan.

Kecepatan arus bebas jalan bebas hambatan

Persamaan untuk penentuan kecepatan arus bebas kendaraan ringan untuk jalan bebas hambatan mempunyai bentuk umum sebagai berikut :

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

$$FV = FV_0 + FFV_w$$

FV = Kecepatan arus bebas untuk kendaraan ringan pada kondisi lapangan

FV_0 = Kecepatan arus bebas dasar bagi kendaraan ringan untuk kondisi jalan dan tipe alinyemen yang dipelajari

FFV_w = Penyesuaian untuk lebar efektif jalur lalu lintas dan bahu jalan (km/jam)

Kecepatan arus bebas untuk tipe kendaraan lain pada jalan bebas hambatan dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$FV_{MHV} = FV_{MHV,0} + (FV_w \times FV_{MHV,0}/FV_0)$$

Keterangan :

FV_0 = Kecepatan arus bebas dasar kend. Ringan (LV)

$FV_{MHV,0}$ = Kecepatan arus bebas dasar kend. Menengah MHV

FV_{MHV} = Kecepatan arus bebas kend. Menengah MHV

FV_w = Penyesuaian kecepatan akibat lebar lajur

Kecepatan arus bebas jalan luar kota

Persamaan untuk penentuan kecepatan arus bebas kendaraan ringan untuk luar kota mempunyai bentuk umum sebagai berikut :

$$FV = (FV_0 + FV_w) \times FFV_{SF} \times FFV_{RC}$$

FV = Kecepatan arus bebas untuk kendaraan ringan (km/jam)

FV_0 = Kecepatan arus bebas dasar bagi kendaraan ringan (km/jam)

FFV_w = Penyesuaian untuk lebar efektif jalur lalu lintas (km/jam)

FFV_{SF} = Penyesuaian akibat hambatan samping dan lebar bahu

FFV_{RC} = Penyesuaian akibat kelas fungsional jalan dan tata guna lahan

Kecepatan arus bebas untuk tipe kendaraan lain pada jalan luar kota dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$FFV = FV_0 - FV$$

$$FV_{MHV} = FV_{MHV,0} - ((FFV \times FV_{MHV,0}) / FV_0)$$

Keterangan :

FFV = Penyesuaian kecepatan arus bebas kendaraan ringan (km/jam)

FV_0 = Kecepatan arus bebas dasar kend. Ringan (LV)

FV = Kecepatan arus bebas kend. Ringan (km/jam)

$FV_{MHV,0}$ = Kecepatan arus bebas dasar kend. Menengah MHV

FV_{MHV} = Kecepatan arus bebas kend. Menengah MHV

Tabel 2.5
Kecepatan arus bebas dasar (FV_0) untuk jalan MW

Tipe jalan bebas hambatan / Tipe alinyemen	Kecepatan arus bebas dasar (km/j)			
	Kendaraan ringan LV	Kendaraan menengah MHV	Bus besar LB	Truk besar LT
Enam lajur tak terbagi				
-Datar	91	71	93	66
-Bukit	79	59	72	52
-Gunung	65	45	57	40
Empat lajur terbagi				
-Datar	88	70	90	65
-Bukit	77	58	71	52
-Gunung	64	45	57	40
Dua lajur tak terbagi				
-Datar SDC : A				
SDC : B	44	40	40	42
-Bukit				
-Gunung				

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.6
Penyesuaian kecepatan arus bebas untuk lebar jalur lalu lintas jalan MW (FV_w)

Tipe jalan bebas hambatan	Lebar efektif jalur lalu lintas (Wc)	FV_w (km/j)		
		Tipe alinyemen		
		Datar	Bukit	Gunung
Empat lajur terbagi	Per lajur			
Enam lajur terbagi	3,25	-1	-1	-1
	3,50	0	-1	0
	3,75	2	0	1
Dua lajur tak terbagi	Total			
	6,5	-2	-1	-1
	7,0	0	0	0
	7,5	1	1	1

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.7
Kecepatan arus bebas dasar (FV_0) untuk jalan luar kota

Tipe jalan / Tipe alinyemen	Kecepatan arus bebas dasar (km/j)				
	Kendaraan ringan LV	Kendaraan menengah MHV	Bus besar LB	Truk besar	Sepeda Motor MC
Enam lajur tak terbagi					
-Datar	83	67	86	64	64
-Bukit	71	56	68	52	58
-Gunung	62	45	55	40	55
Empat lajur terbagi					
-Datar	78	65	81	62	64
-Bukit	68	55	66	51	58
-Gunung	60	44	53	39	55
Empat lajur tak terbagi					
-Datar	74	63	78	60	60
-Bukit	66	64	65	50	56
-Gunung	58	43	52	39	53
Dua lajur tak terbagi					
-Datar SDC : A	68	60	73	58	55
SDC : B	65	57	69	55	54
SDC : C	61	54	63	52	53
-Bukit	61	52	62	49	53
-Gunung	55	42	50	38	51

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.8

Penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas jalan luar kota (FV_w)

Tipe jalan	Lebar efektif jalur lalu lintas (W_c) (m)	FV_w (km/jam)		
		Datar : SDC = A,B	- Bukit: SDC = A,B,C - Datar: SDC = C	Gunung
-Empat lajur -Enam lajur terbagi	Per lajur			
	3,00	-3	-3	-2
	3,25	-1	-1	-1
	3,50	0	0	0
	3,75	2	2	2
	Per lajur			
	3,00	-3	-2	-1
	3,25	-1	-1	-1
-Empat lajur tak terbagi	3,50	0	0	0
	3,75	2	2	2
	Total			
	5	-11	-9	-7
-Dua lajur tak terbagi	6	-3	-2	-1
	7	0	0	0
	8	1	1	0
	9	2	2	1
	10	3	3	2
	11	3	3	2

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.9

Penyesuaian akibat hambatan samping dan lebar bahu (FV_{SF})

Tipe jalan	Kelas hambatan samping (SFC)	FV_{SF}			
		Lebar bahu efektif W_s (m)			
		$\leq 0,5$ m	1,0 m	1,5 m	≥ 2 m
Empat lajur terbagi (4/2 D)	Sangat rendah	1,00	1,00	1,00	1,00
	Rendah	0,98	0,98	0,98	0,99
	Sedang	0,95	0,95	0,96	0,98
	Tinggi	0,91	0,92	0,93	0,97
	Sangat tinggi	0,86	0,87	0,89	0,96

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

Tipe jalan	Kelas hambatan samping (SFC)	FV _{SF}			
		Lebar bahu efektif W _S (m)			
		≤ 0,5 m	1,0 m	1,5 m	≥ 2 m
Empat lajur tak terbagi (4/2 UD)	Sangat rendah	1,00	1,00	1,00	1,00
	Rendah	0,96	0,97	0,97	0,98
	Sedang	0,92	0,94	0,95	0,97
	Tinggi	0,88	0,89	0,90	0,96
	Sangat tinggi	0,81	0,83	0,85	0,95
Dua lajur tak terbagi (2/2 UD)	Sangat rendah	1,00	1,00	1,00	1,00
	Rendah	0,96	0,97	0,97	0,98
	Sedang	0,91	0,92	0,93	0,97
	Tinggi	0,85	0,87	0,88	0,95
	Sangat tinggi	0,76	0,79	0,82	0,93

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.10
Penyesuaian akibat kelas fungsional jalan dan guna lahan (FV_{RC})

Tipe jalan	FV _{RC}				
	Pengembangan samping jalan (%)				
	0	25	50	75	100
Empat lajur terbagi					
Arteri	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95
Kolektor	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94
Lokal	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93
Empat lajur tak terbagi					
Arteri	1,00	0,99	0,97	0,96	0,945
Kolektor	0,97	0,96	0,94	0,93	0,915
Lokal	0,95	0,94	0,92	0,91	0,895
Dua lajur tak terbagi					
Arteri	1,00	0,98	0,97	0,96	0,94
Kolektor	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88
Lokal	0,90	0,88	0,87	0,86	0,84

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.2.1.3 Kapasitas (C)

Kapasitas di definisikan sebagai arus maksimum yang melewati suatu titik pada jalan bebas hambatan yang dapat dipertahankan persatuan jam dalam kondisi yang berlaku. Untuk jalan bebas hambatan tak terbagi, kapasitas adalah arus maksimum dua arah (kombinasi kedua arah), sedangkan untuk jalan bebas hambatan terbagi, kapasitas adalah arus maksimum per-lajur.

Kapasitas secara teoritis dapat diasumsikan sebagai suatu hubungan matematis antara kerapatan, kecepatan dan arus. Kapasitas dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Persamaan dasar untuk menentukan kapasitas jalan bebas hambatan adalah :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \text{ (smp/jam)}$$

Keterangan :

C = Kapasitas (smp/jam)

C_o = Kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalan bebas hambatan

FC_{sp} = Faktor penyesuaian pemisah arah (hanya untuk jalan bebas hambatan tak terbagi)

Tabel 2.11
Kapasitas dasar jalan MW terbagi (C_o)

Tipe jalan bebas hambatan / Tipe alinyemen	Kapasitas Dasar (smp/jam/lajur)
Empat dan enam lajur terbagi	
- Datar	2300
- Bukit	2250
- Gunung	2150

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.12
Kapasitas dasar jalan MW tak terbagi (C_o)

Tipe jalan bebas hambatan / Tipe alinyemen	Kapasitas Dasar (smp/jam/lajur)
Dua lajur tak terbagi	
- Datar	3400
- Bukit	3300
- Gunung	3200

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.13
Faktor penyesuaian kapasitas jalan MW akibat lebar jalur lalu lintas (FC_w)

Tipe Jalan bebas hambatan	Lebar efektif Jalur Lalu Lintas (W_c) (m)		FC_w
Empat lajur terbagi Enam lajur terbagi	Perlajur 3,25		0,96
	3,50		1,00
	3,75		1,03
Dua lajur tak terbagi	Total kedua arah 6,5		0,96
	7		1,00
	7,5		1,04

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.14
Faktor penyesuaian jalan MW akibat pemisahan arah (FC_{sp})

Pemisahan arah SP % - %		50 - 50	55 - 45	60 - 40	65 - 35	70 - 30
FC_{sp}	Jalan bebas hambatan tak terbagi	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Persamaan dasar untuk menentukan kapasitas jalan luar kota adalah :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \text{ (smp/jam)}$$

Keterangan :

C = Kapasitas (smp/jam)

C_o = Kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas

FC_{sp} = Faktor penyesuaian pemisah arah

FC_{sf} = Faktor penyesuaian hambatan samping

Tabel 2.15
Kapasitas dasar jalan luar kota empat lajur dua arah (C_0)

Tipe jalan / Tipe alinyemen	Kapasitas dasar total kedua arah (smp/jam/lajur)
Empat lajur terbagi	
- Datar	1900
- Bukit	1850
- Gunung	1800
Empat lajur tak terbagi	
- Datar	1700
- Bukit	1650
- Gunung	1600

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.16
Faktor penyesuaian kapasitas jalan luar kota akibat lebar jalur lalu lintas (FC_w)

Tipe Jalan bebas hambatan	Lebar efektif Jalur Lalu Lintas (W_e) (m)	FC_w
Empat lajur terbagi Enam lajur terbagi	Perlajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
Empat lajur tak terbagi	3,75	1,03
	Perlajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
Dua lajur tak terbagi	3,50	1,00
	3,75	1,03
	Total kedua arah	
	5	0,69
	6	0,91
	7	1,00
	8	1,08
9	1,15	
10	1,21	
11	1,27	

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.17
Penyesuaian jalan luar kota akibat pemisahan arah (FC_{sp})

Pemisahan arah SP % - %		50 – 50	55 – 45	60 – 40	65 – 35	70 – 30
FC_{sp}	Dua lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat lajur 4/2	1,00	0,975	0,95	0,925	0,90

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Tabel 2.18
Penyesuaian jalan luar kota akibat hambatan samping (FC_{SF})

Tipe jalan	Kelas hambatan samping	FC_{SF}			
		Lebar bahu efektif W_s (m)			
		$\leq 0,5$ m	1,0 m	1,5 m	≥ 2 m
4/2 D	VL	0,99	1,00	1,01	1,03
	L	0,96	0,97	0,99	1,01
	M	0,93	0,95	0,96	0,99
	H	0,90	0,92	0,95	0,97
	VH	0,88	0,90	0,93	0,96
2/2 UD	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
4/2 UD	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,88	0,91	0,94	0,98
	H	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH	0,80	0,83	0,88	0,93

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

2.2.1.4 Pertumbuhan LHR

Pola perjalanan (trip distribution) sangat dipengaruhi beberapa faktor, yaitu faktor sosial kependudukan, aktivitas ekonomi, kepemilikan kendaraan dan karakteristik tata guna lahan dalam wilayah studi. Dimana tingkat pertumbuhan setiap daerah sangat menentukan tingkat penyebaran perjalanan dari suatu daerah ke daerah yang lain. Dengan demikian arus lalu lintasnya pun sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut diatas. Dengan pertumbuhan setiap daerah yang berbeda mengakibatkan perubahan pola distribusi perjalanan yang berbeda pula dibandingkan dengan pola yang ada sekarang.

$$Y = a + bx$$

Keterangan :

Y = Besar LHR yang diramalkan

x = PDRB

a dan b = Koefisien regresi linier

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

Nilai a dan b dihitung dengan persamaan :

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

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n}$$

Keterangan :

n = Umur rencana atau jumlah data

x = Unit tahun yang dihitung

y = LHR pada tiap unit tahun berdasarkan data

a dan b = Koefisien dari persamaan regresi linier

Dibuat grafik hubungan antara LHR dan PDRB, dengan PDRB sebagai absis dan LHR sebagai ordinatya. Dari grafik tersebut didapat persamaan regresi linier yang dinyatakan dengan persamaan :

$$\mathbf{LHR_n = a + b(PDRB_n)}$$

Dengan persamaan tersebut dapat diketahui LHR pada tahun ke n setelah dimasukkan nilai dari PDRB tahun ke-n.

Selain menggunakan grafik hubungan antara LHR dan PDRB, LHR pada tahun ke n dapat juga dihitung dengan persamaan :

$$\mathbf{LHR_n = LHR_0 \cdot (1+i)^n}$$

Keterangan : LHR_n = LHR tahun ke-n

LHR_0 = LHR awal tahun rencana

n = Umur rencana

i = Faktor pertumbuhan lalu lintas

$$= \left(\sqrt[n]{\frac{B}{A}} \right) - 1 \quad \rightarrow \quad A = \text{LHR tahun ke-n}$$

B = LHR tahun awal

2.2.1.5 Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai perbandingan sebagai rasio arus dengan kapasitas, digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan tingkat kinerja suatu jalan. Derajat kejenuhan (*Degree of Saturation*) ini nantinya dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja suatu jalan yang menunjukkan apakah suatu segmen jalan mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Derajat kejenuhan dinyatakan dalam persamaan :

$$Ds = \frac{Q}{C}$$

Keterangan : Ds = *Degree of Saturation*

Q = Volume lalu lintas

C = Kapasitas

Besarnya Volume lalu lintas (Q), berasal dari besar LHR_n (smp/hari)

$$LHR_n \text{ (smp/hari)} = LHR_n \text{ (kend/hari)} \times EMP$$

$$Q = k \times LHR_n \quad \text{(smp/jam)}$$

Dimana nilai *k* untuk jalan perkotaan adalah 0,09. Angka 0,09 ini di ambil dari Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 halaman 5-60.

Apabila dari perhitungan didapatkan $Ds < 0,75$ maka jalan tersebut masih dapat melayani kendaraan yang melewati ruas jalan tersebut dengan baik. Apabila diperoleh harga $Ds \geq 0,75$ maka jalan tersebut sudah tidak mampu melayani banyaknya kendaraan yang melewatinya. Angka 0,75 diambil dari Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 halaman 5-59.

Besarnya nilai DS sangat mempengaruhi tingkat pelayanan jalan, semakin kecil nilai DS maka jalan terkesan lengang. Dan sebaliknya bila nilai DS mendekati nilai 0,75 jalan tersebut harus diperlebar, dilakukan *traffic management*, atau dengan membuat jalan baru.

2.2.1.6 Analisa Lalu Lintas yang teralihkan ke Jalan Tol

Data lalu lintas adalah data pokok yang digunakan untuk perencanaan suatu jalan. Untuk menentukan volume lalu lintas alihan dari jalan biasa ke jalan tol, maka terlebih dahulu harus diketahui Biaya Perjalanan/Operasi Kendaraan (BOK) untuk jalan lama maupun jalan baru (tol). Selain itu juga harus diketahui volume lalu lintas untuk jalan lama dan jalan baru.

Waktu yang ditempuh untuk melewati jalan baru diperoleh dengan persamaan :

$$t \text{ (baru)} = \frac{S}{V} \quad (\text{menit})$$

Keterangan :

S = Jarak (km)

V = Kecepatan (km/jam)

Dengan menggunakan persamaan berikut, maka diperoleh persentase lalu lintas yang teralihkan ke tol.

$$P \% = \frac{100}{1 + \frac{T_2}{T_1}}$$

Keterangan : P = Persentase lalu lintas yang teralihkan ke tol

T₂ = Waktu untuk melewati jalan baru

T₁ = Waktu untuk melewati jalan lama

2.2.1.7 Analisa Biaya Operasi Kendaraan

Biaya Operasi Kendaraan meliputi biaya pemakai jalan, dalam hal ini termasuk pengemudi dan penumpang. Sasaran dari analisa ini adalah menghitung besaran elemen – elemen biaya yang terlibat dalam pengoperasian/pemakaian jalan, serta keuntungan yang dikaitkan dengan investasi yang ditanamkan untuk membangun jalan tol.

Elemen – elemen BOK dapat diklasifikasikan menurut tiga kategori umum (yang tergantung pada besarnya kecepatan dan panjang jalan yang ditempuh oleh kendaraan), yaitu :

1. Elemen biaya yang tergantung pada waktu.
 - a. Biaya penyusutan.
 - b. Suku bunga terhadap harga asli kendaraan.
 - c. Biaya – biaya registrasi, STNK, pajak kendaraan dan SIM.
 - d. Biaya awak kendaraan untuk kendaraan komersial.
 - e. Asuransi.

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

2. Elemen biaya yang tergantung pada kecepatan.
 - a. Konsumsi bahan bakar.
 - b. Konsumsi pelumas mesin.
 - c. Pemakaian ban kendaraan.
 - d. Waktu tempuh penumpang dan pengemudi
3. Elemen biaya yang tergantung pada jarak tempuh.
 - a. Konsumsi bahan bakar.
 - b. Konsumsi pelumas mesin.
 - c. Konsumsi pelumas mesin.
 - d. Pemeliharaan kendaraan.

Biaya Operasi Kendaraan merupakan fungsi dari kecepatan, dan dibedakan untuk BOK jalan arteri lama dan BOK untuk jalan baru (jalan tol). Untuk perhitungan BOK dipergunakan rumus PCI model (dari buku Pra studi kelayakan jalan tol), yaitu:

a. Rumus – rumus untuk menghitung BOK di jalan arteri adalah :

1. Persamaan konsumsi bahan bakar.

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 0,05693 * S^2 - 6,42593 * S + 269,18576$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 0,21692 * S^2 - 24,1549 * S + 954,78824$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 0,21557 * S^2 - 24,17699 * S + 947,80882$$

Y= Konsumsi bahan bakar (liter per 1000km)

S= Kecepatan

2. Persamaan konsumsi oli mesin.

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 0,00037 * S^2 - 0,04070 * S + 2,20403$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 0,00209 * S^2 - 0,24413 * S + 13,29445$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 0,00188 * S^2 - 0,22035 * S + 12,06488$$

Y= Konsumsi oli mesin (liter per 1000km)

S= Kecepatan

3. Persamaan dari pemakaian ban.

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 0,0008848 * S - 0,0045333$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 0,0012356 * S - 0,0064667$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 0,0015553 * S - 0,005933$$

Y= Pemakaian satu ban (liter per 1000km)

S= Kecepatan

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

4. Persamaan dari biaya pemeliharaan

- Biaya suku cadang

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 0,0000064 * S + 0,0005567$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 0,0000332 * S + 0,00020891$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 0,0000191 * S + 0,00015400$$

Y= Biaya suku cadang berdasarkan harga kendaraan yang dapat di *depresiasikan* (liter per 1000km)

S= Kecepatan

- Biaya mekanik

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 0,00362 * S + 0,36267$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 0,02311 * S + 1,97733$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 0,01511 * S + 1,21200$$

Y= Jam kerja mekanik (liter per 1000km)

S= Kecepatan

5. Persamaan dari penyusutan (depresiasi)

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 1 / (2,5 * S + 100)$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = Y = 1 / (9 * S + 315)$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 1 / (6 * S + 210)$$

Y= Depresiasi per 1000 km berdasarkan harga kendaraan yang dapat di *depresiasikan*

S= Kecepatan

6. Persamaan dari suku bunga

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 150 / (500 * S)$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 150 / (2571,42857 * S)$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 150 / (1714,28571 * S)$$

Y= Biaya akibat suku bunga per 1000 km berdasarkan setengah harga kendaraan yang dapat di *depresiasikan*

S= Kecepatan

7. Persamaan dari asuransi

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 38 / (500 * S)$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 60 / (2571,42857 * S)$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 61 / (1714,28571 * S)$$

Y= Asuransi per 1000 km berdasarkan setengah harga kendaraan baru

S= Kecepatan

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

8. Persamaan dari waktu perjalanan *crew* kendaraan

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = - -$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 1000 / S$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 1000 / S$$

Y= Waktu perjalanan *crew* kendaraan (per 1000 km)
kendaraan baru

S= Kecepatan

Rata – rata jumlah *crew* kendaraan.

$$\text{GOL I (sedan)} : \text{Supir 1}$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : \text{Supir 1 ; kondektur 1,7}$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : \text{Supir 1 ; kenek 1}$$

9. Overhead (biaya tak terduga)

$$\text{GOL I (sedan)} : -$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : 10 \% \text{ dari sub total}$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : 10 \% \text{ dari sub total}$$

b. Rumus – rumus untuk menghitung BOK di jalan tol adalah :

1. Persamaan konsumsi bahan bakar.

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 0,04376 * S^2 - 4,94078 * S + 207,0484$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 0,14461 * S^2 - 16,10285 * S + 636,50343$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 0,13485 * S^2 - 15,12463 * S + 592,60931$$

Y= Konsumsi bahan bakar (liter per 1000km)

S= Kecepatan

2. Persamaan konsumsi oli mesin.

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 0,00029 * S^2 - 0,03134 * S + 1,69613$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 0,00131 * S^2 - 0,15257 * S + 8,30869$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 0,00118 * S^2 - 0,13370 * S + 7,54073$$

Y= Konsumsi oli mesin (liter per 1000km)

S= Kecepatan

3. Persamaan dari pemakaian ban.

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 0,0008848 * S - 0,0045333$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 0,0012356 * S - 0,0064667$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 0,0015553 * S - 0,005933$$

Y= Pemakaian satu ban (liter per 1000km)

S= Kecepatan

4. Persamaan dari biaya pemeliharaan

- Biaya suku cadang

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 0,0000064 * S + 0,0005567$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 0,0000332 * S + 0,00020891$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 0,0000191 * S + 0,00015400$$

Y= Biaya suku cadang berdasarkan harga kendaraan yang dapat di *depresiasikan* (liter per 1000km)

S= Kecepatan

- Biaya mekanik

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 0,00362 * S + 0,36267$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 0,02311 * S + 1,97733$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 0,01511 * S + 1,21200$$

Y= Jam kerja mekanik (liter per 1000km)

S= Kecepatan

5. Persamaan dari penyusutan (depresiasi)

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 1 / (2,5 * S + 125)$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 1 / (9 * S + 450)$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 1 / (6 * S + 300)$$

Y= Depresiasi per 1000 km berdasarkan harga kendaraan yang dapat di *depresiasikan*

S= Kecepatan

6. Persamaan dari suku bunga

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 150 / (500 * S)$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 150 / (2571,42857 * S)$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 150 / (1714,28571 * S)$$

Y= Biaya akibat suku bunga per 1000 km berdasarkan setengah harga kendaraan yang dapat di *depresiasikan*

S= Kecepatan

7. Persamaan dari asuransi

$$\text{GOL I (sedan)} : Y = 38 / (500 * S)$$

$$\text{GOL IIA (bus)} : Y = 60 / (2571,42857 * S)$$

$$\text{GOL IIB (truk)} : Y = 61 / (1714,28571 * S)$$

Y= Asuransi per 1000 km berdasarkan setengah harga kendaraan baru

S= Kecepatan

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

8. Persamaan dari waktu perjalanan *crew* kendaraan

GOL I (sedan) : Y= - -

GOL IIA (bus) : Y= 1000 / S

GOL IIB (truk) : Y= 1000 / S

Y= Waktu perjalanan *crew* kendaraan (per 1000 km)
kendaraan baru

S= Kecepatan

Rata – rata jumlah *crew* kendaraan.

GOL I (sedan) : Supir 1

GOL IIA (bus) : Supir 1 ; kondektur 1,7

GOL IIB (truk) : Supir 1 ; kenek 1

9. Overhead (biaya tak terduga)

GOL I (sedan) : -

GOL IIA (bus) : 10 % dari sub total

GOL IIB (truk) : 10 % dari sub total

2.2.1.8 Analisa tarif tol dan lalu lintas yang teralihkan setelah tarif tol berlaku

Tarif tol $\leq 70\%$ x (BOK jalan lama – BOK jalan baru) \rightarrow UU No.13/1980

Setelah diperoleh tarif tol, kemudian dicari lalu lintas teralihkan setelah tarif tol berlaku dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- ◆ Menghitung koefisien kekenyalan (e), yaitu koefisien yang menunjukkan pengaruh biaya perjalanan terhadap volume lalu lintas, dengan menggunakan persamaan :

$$\left[\frac{VB_{ij}}{VA_{ij}} \right] = \left[\frac{CA_{ij}}{CB_{ij}} \right]^e$$

Keterangan : VB_{ij} = Volume lalu lintas melalui jalan lama.

VA_{ij} = Volume lalu lintas melalui jalan baru (jalan tol)

CA_{ij} = Biaya perjalanan jenis suatu kendaraan melalui jalan baru

CB_{ij} = Biaya perjalanan jenis suatu kendaraan melalui jalan lama

e = Koefisien kekenyalan

- ◆ Setelah diperoleh e , maka λ dapat dicari dengan persamaan :

$$\frac{VA_{ij}}{VA_{ij} + VB_{ij}} = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(C_{Bij} - C_{Aij})}}$$

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

- ◆ Menghitung kembali biaya perjalanan melalui jalan tol yang sudah termasuk tarif tol, dengan persamaan :

$$C'_{Aij} = C_{Aij} + \text{tarif tol}$$

- ◆ Menghitung lalu lintas teralihkan setelah tarif tol berlaku, dengan persamaan :

$$\frac{V_{Aij'}}{V_{Aij} + V_{Bij}} = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(C_{Aij'} - C_{Bij})}}$$

Keterangan : $V_{Aij'}$ = Volume lalu lintas jalan baru setelah tarif tol berlaku.

V_{Bij} = Volume lalu lintas melalui jalan lama.

V_{Aij} = Volume lalu lintas melalui jalan baru sebelum tarif tol berlaku

$C_{Aij'}$ = Biaya perjalanan melalui jalan tol yang termasuk tarif tol

C_{Bij} = Biaya perjalanan jenis suatu kendaraan melalui jalan lama

e = Koefisien kekenyalan

2.2.2 Aspek Geometrik

Perencanaan geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang dititik beratkan pada perencanaan bentuk fisik sehingga dapat memenuhi fungsi dasar dari jalan yaitu memberi pelayanan yang optimum pada arus lalu lintas. Perencanaan geometrik secara umum mempunyai unsur menyangkut aspek – aspek perencanaan bagian jalan :

- Perencanaan trase
- Potongan melintang
- Alinyemen horisontal
- Alinyemen vertikal
- Landai jalan
- Jarak pandang

2.2.2.1 Perencanaan Trase

Faktor Topografi

Topografi merupakan faktor dalam menentukan lokasi jalan dan pada umumnya mempengaruhi penentuan trase jalan, seperti : landai jalan, jarak pandang, penampang melintang dan lain-lainnya.

Bukit, lembah, sungai dan danau sering memberikan pembatasan terhadap lokasi dan perencanaan trase jalan. Hal demikian perlu diakaitkan pula pada kondisi medan yang direncanakan.

Kondisi medan sangat dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut :

- Tikungan
Jari-jari tikungan dan pelebaran perkerasan sedemikian rupa sehingga terjamin keamanan jalannya kendaraan-kendaraan dan pandangan bebas yang cukup luas.
- Tanjakan
Adanya tanjakan yang cukup curam dapat mengurangi kecepatan kendaraan dan kalau tenaga tariknya tidak cukup, maka berat muatan kendaraan harus dikurangi, yang berarti mengurangi kapasitas angkut dan sangat merugikan.

Faktor Geologi

Kondisi geologi suatu daerah dapat mempengaruhi pemilihan suatu trase jalan. Adanya daerah-daerah yang rawan secara geologis seperti : daerah patahan atau daerah bergerak baik vertikal maupun horizontal akan merupakan daerah yang tidak baik untuk dibuat suatu trase jalan dan memaksa suatu rencana trase jalan untuk dirubah atau dipindahkan.

Keadaan tanah dasar dapat mempengaruhi lokasi dan bentuk geometrik jalan misalnya : daya dukung tanah dasar yang jelek dan muka air tanah yang tinggi. Kondisi iklim juga dapat mempengaruhi penetapan lokasi dan bentuk geometrik jalan.

Faktor Tata Guna Lahan

Tata guna lahan merupakan hal yang paling mendasar dalam perencanaan suatu lokasi jalan, karena itu perlu adanya suatu musyawarah yang berhubungan langsung dengan masyarakat berkaitan tentang pembebasan tanah sarana transportasi.

Dengan demikian akan merubah kualitas kehidupan secara keseluruhan dari suatu daerah dan nilai lahannya yang akan berwujud lain.

Akibat dibangunnya suatu lokasi jalan baru pembebasan lahan ternyata sering menimbulkan permasalahan yang sulit dan kontroversial. Pada prinsipnya pembebasan tanah untuk suatu lokasi jalan ialah sama seperti membeli tanah untuk kegiatan ekonomi lainnya, yang akan menggantikan penggunaan sebelumnya.

Faktor Lingkungan

Dalam beberapa tahun belakangan ini semakin terbukti bahwa banyak kegiatan produktif manusia mempunyai pengaruh terhadap lingkungan.

Pengaruh ini harus dipertimbangkan dalam kaitannya dengan kegiatan tersebut secara keseluruhan, salah satu kegiatan produktif tadi ialah pembangunan sarana jalan. Oleh karena itu pembangunan jalan harus mempertimbangkan faktor amdal (Analisa Mengenai Dampak Lingkungan)

2.2.2.2 Potongan Melintang

Potongan melintang jalan terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

❖ Jalur lalu lintas.

Lebar jalur lalu lintas untuk berbagai klasifikasi perencanaan dapat dilihat pada Tabel 2.19 di bawah ini.

Tabel 2.19
Lebar jalur lalu lintas

Tipe Jalan / Kode	Lebar jalur lalu lintas (m)
MW 2/2 UD	7,0
MW 4/2 D	14,0
MW 6/2 D	21,0

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997

❖ Median

Median adalah bagian bangunan jalan yang secara fisik memisahkan dua jalur lalu lintas yang berlawanan arah.

Tabel 2.20
Lebar minimum median

Bentuk median	Lebar minimum (m)
Median ditinggikan	2,0
Median direndahkan	7,0

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Perkotaan 1992

❖ Bahu jalan

Jalur lalu lintas sebaiknya dilengkapi dengan bahu jalan, karena kinerja pada suatu arus tertentu akan meningkat dengan bertambahnya lebar bahu. Semua penampang melintang dianggap memiliki bahu yang diperkeras yang dapat digunakan untuk kendaraan berhenti, tetapi bukan untuk digunakan sebagai lajur lalu lintas.

Lebar bahu dapat dilihat pada Tabel 2.21.

Tabel 2.21
Lebar bahu jalan

Tipe Jalan / Kode	Lebar bahu (m)			
	Luar			Dalam
	Datar	Bukit	Gunung	
MW 2/2 UD	2,0	2,0	1,0	
MW 4/2 D	2,5	2,5	1,5	0,5
MW 6/2 D	2,5	2,5	1,5	0,5

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Perkotaan 1992

2.2.2.3 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horisontal merupakan proyeksi sumbu jalan tegak lurus bidang horisontal yang terdiri dari susunan garis lurus (tangen) dan garis lengkung (busur lingkaran, spiral). Bagian lengkung merupakan bagian yang perlu mendapat perhatian karena pada bagian tersebut dapat menjadi gaya sentrifugal yang cenderung melemparkan kendaraan keluar. Untuk mereduksi pengaruh perubahan geometri dari garis lurus menjadi lengkung lingkaran maka dibuat lengkung peralihan. Pada bagian ini perubahan antara bagian yang lurus dan lengkung dapat dilakukan secara berangsur-angsur sehingga kenyamanan pemakai jalan terjamin.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan lengkung horisontal adalah sebagai berikut :

a. Superelevasi (e)

Superelevasi merupakan kemiringan melintang permukaan jalan pada tikungan dengan maksud untuk mengimbangi pengaruh gaya sentrifugal di tikungan, sehingga kendaraan aman, nyaman dan stabil ketika melaju maksimum sesuai kecepatan rencana pada tikungan tersebut. Nilai superelevasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$e = \frac{V_R^2}{127 \times R_C} - f_M$$

f_M yang diambil $< f_M$ maksimum (= 0,14) untuk pertimbangan keamanan

b. Jari-jari tikungan

Jari-jari minimum tikungan (R_{\min}) dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$R_{\min} = \frac{V_R^2}{127 \cdot (e_{\max} + f_{\max})}$$

Keterangan : R_{\min} = jari-jari tikungan minimum (m)
 V_R = kecepatan rencana (km/jam)
 e_{\max} = superelevasi maksimum (%)
 f_{\max} = koefisien gesek maksimum

Tabel 2.22 di bawah merupakan jari-jari minimum yang disyaratkan dalam perencanaan alinyemen horizontal.

Tabel 2.22
Jari-jari minimum menurut tipe jalan

V_r (km/j)	Jari-Jari minimum (m)
80	210
60	110

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997

c. Lengkung peralihan

Ada tiga macam lengkung pada perencanaan alinyemen horisontal yaitu :

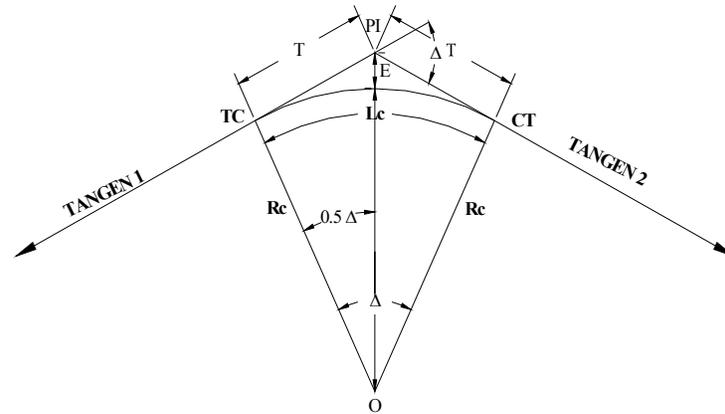
1. Full Circle

Tikungan jenis *full circle* umumnya digunakan pada tikungan yang mempunyai jari-jari tikungan besar dan sudut tangen kecil. Tabel 2.23 menunjukkan jari-jari minimum tikungan yang tidak memerlukan lengkung peralihan.

Tabel 2.23
Jari-jari minimum tanpa lengkung peralihan

$V_{R \min}$ (km/jam)	80	60
R_{\min} (m)	900	500

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997



Gambar 2.1 Sketsa tikungan *full circle*

Dalam mendesain tikungan jenis *full circle*, digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

$$T = R_c \cdot \tan(\Delta/2)$$

$$E_c = \frac{R_c \times (1 - \cos \Delta/2)}{\cos \Delta/2}$$

$$L_c = \Delta \cdot (2 \cdot \pi \cdot R_c) / 360 = 0,01745 \cdot \Delta \cdot R_c$$

$$\Delta_c = \alpha_2 - \alpha_1$$

Keterangan : α_1, α_2 = Sudut jurusan tangen I dan II

Δ_c = sudut luar di PI

TC = Titik awal tikungan

PI = Titik perpotongan tangen

CT = Titik akhir tikungan

O = Titik pusat lingkaran

T = Panjang tangen (jarak TC – PI atau jarak PI – CT)

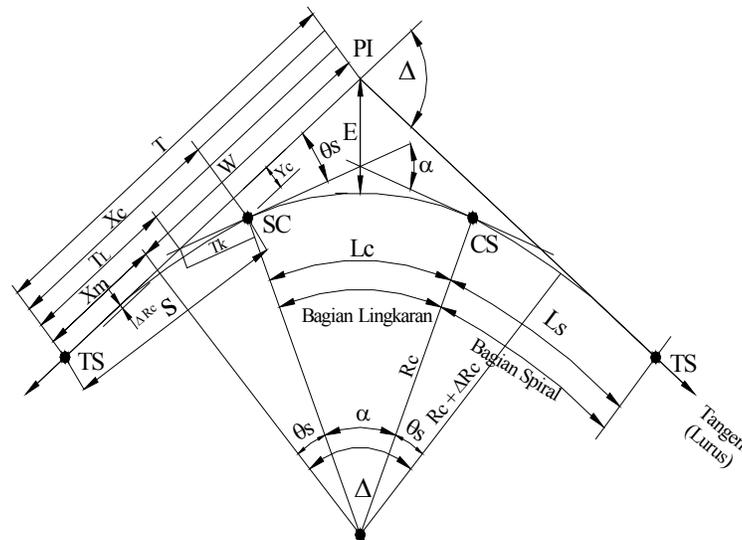
R_c = Jari-jari lingkaran (jarak O – TC atau ke CT atau ke setiap busur lingkaran)

E_c = Jarak PI ke lengkung circle

L_c = Panjang bagian lengkung circle

2. Spiral – Circle – Spiral

Tikungan jenis *Spiral – Circle – Spiral* (Gambar 2.2) digunakan pada tikungan yang mempunyai jari-jari dan sudut tangen yang sedang. Pada tikungan ini, perubahan dari tangen ke lengkung lingkaran dijembatani dengan adanya lengkung spiral (L_s). Fungsi dari lengkung spiral adalah menjaga agar perubahan gaya sentrifugal yang timbul pada waktu kendaraan memasuki atau meninggalkan tikungan dapat terjadi secara berangsur-angsur. Di samping itu, hal ini juga dimaksudkan untuk membuat kemiringan transisi lereng jalan menjadi superelevasi tidak terjadi secara mendadak dan sesuai dengan gaya sentrifugal yang timbul sehingga keamanan dan kenyamanan terjamin.



Gambar 2.2 Sketsa tikungan *spiral – circle – spiral*

L_s ditentukan dari 3 rumus di bawah ini dan diambil nilai yang terbesar.

1. Berdasarkan waktu tempuh maksimum di lengkung peralihan.

$$L_s = \frac{V_R \times T}{3,6}; T \text{ diambil 3 detik}$$

2. Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal.

$$L_s = \frac{0,022 \cdot V_R^3}{R_c \cdot C} - \frac{2,727 \cdot V_R \cdot e}{C}; C \text{ diambil } 1 - 3 \text{ m/detik}^3$$

3. Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian.

$$L_s = \frac{(e_{\max} - e_n) \cdot V_R}{3,6 \cdot r_e}; r_e \text{ diambil } 0,035 \text{ m/detik}$$

$$4. L_s = B.m.e$$

Keterangan : B = Lebar perkerasan (jalur/arah)

e = Kemiringan melintang jalan

m = seper landai relatif

Besarnya landai relatif dapat dilihat pada tabel 2.24 yang ditentukan berdasarkan kecepatan rencana

Tabel 2.24
Landai relatif maks

Kecepatan rencana	60	80
Landai relatif maks	1/125	1/150

Sumber : Dasar-dasar PGJ oleh Silvia Sukirman

Rumus elemen-elemen tikungan adalah sebagai berikut :

- $X_c = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40R_c^2} \right)$
- $Y_c = \frac{L_s^2}{6R_c}$
- $\theta_s = \frac{28,648 \times L_s}{R_c}$
- $\Delta R_c = Y_c + R_c (\cos \theta_s - 1)$
- $X_m = X_c - R_c \times \sin \theta_s$
- $W = (R_c + \Delta R_c) \times \tan \frac{\Delta}{2}$
- $T = X_m + W$
- $\theta_C = \Delta - 2 \cdot \theta_s$
- $L_c = \frac{\Delta + (2 \cdot \theta_s)}{180} \cdot (\pi \cdot R_c)$
- $E_s = \frac{R_c + p}{\cos \Delta / 2} - R_c$
- $L_T = L_c + 2 \cdot L_s$

Keterangan : TS = Titik awal spiral (titik dari tangen ke *spiral*)

ST = Titik akhir *spiral*

SC = Titik dari *spiral* ke *circle*

CS = Titik dari *circle* ke *spiral*

Xc, Yc = Koordinat SC atau CS terhadap TS-PI atau PI-TS

L_s = Panjang *spiral*

R_c = Jari-jari lingkaran (jarak O – TC atau ke CT atau ke setiap titik busur lingkaran)

θ_s = Sudut – *spiral*

X_M = Jarak dari TS ke titik proyeksi pusat lingkaran pada tangen

PI = Titik perpotongan tangen

L_c = Panjang *circle* (busur lingkaran)

E_s = Panjang eksternal total dari PI ke tengah busur lingkaran

L_T = Panjang total lengkung SCS

3. *Spiral – Spiral*

Tikungan jenis spiral-spiral digunakan pada tikungan tajam dengan sudut tangen yang besar. Pada prinsipnya lengkung *spiral-spiral* (Gambar 2.3) sama dengan lengkung *spiral-circle-spiral*. Hanya saja pada tikungan *spiral-spiral* tidak terdapat busur lingkaran sehingga nilai lengkung tangen (L_t) adalah 2 kali lengkung spiral L_s . Pada nilai $L_c = 0$ atau $S_c = 0$ tidak ada jarak tertentu dalam masa tikungan yang sama miringnya sehingga tikungan ini kurang begitu bagus pada superelevasi.

Rumus yang digunakan :

$$L_s = (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \theta_s) / 180$$

$$T_s = [(R + p) \cdot \tan \Delta / 2] + k$$

$$E_s = [(R + p) \cdot \sec \Delta / 2] - R$$

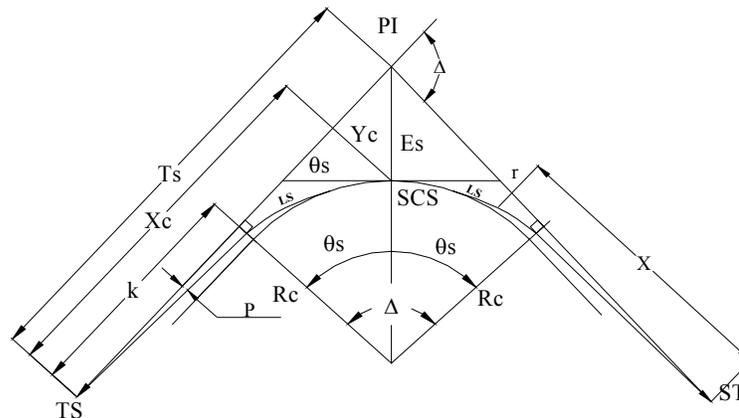
$$L_t = (2 \cdot L_s) + L_c \quad \text{dengan } L_c = 0 \\ = 2 \cdot L_s$$

Keterangan : L_s = Panjang spiral

T_s = Titik awal spiral

E_s = Jarak eksternal dari PI ke tengah busur spiral

L_t = Panjang busur spiral



Gambar 2.3 Sketsa tikungan spiral - spiral

2.2.2.4 Pelebaran Jalur Lalu Lintas di Tikungan

Pada saat kendaraan melewati tikungan, roda belakang kendaraan tidak dapat mengikuti jejak roda depan sehingga lintasannya berada lebih ke dalam dibandingkan dengan lintasan roda depan.

Pelebaran pada tikungan dimaksudkan untuk mempertahankan konsistensi geometrik jalan, agar kondisi operasional lalu lintas di tikungan sama dengan bagian lurus. Pelebaran perkerasan pada tikungan mempertimbangkan :

- Kesulitan pengemudi untuk menempatkan kendaraan tetap pada lajunya.
- Penambahan lebar ruang (lajur) yang dipakai saat kendaraan melakukan gerakan melingkar. Dalam segala hal pelebaran di tikungan harus memenuhi gerak perputaran kendaraan rencana sedemikian sehingga kendaraan rencana tetap pada lajunya.

Rumus :

$$B = \sqrt{\left(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25\right)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25$$

Rc = Radius lajur sebelah dalam $- \frac{1}{2}$ lebar perkerasan $+ \frac{1}{2} b$

$$Z = \frac{0,105V}{\sqrt{R}}$$

$$B_t = n(B + C) + Z$$

$$\Delta b = B_t - B_n$$

Keterangan :

B = lebar perkerasan tikungan pada lajur sebelah dalam (m)

b = lebar kendaraan rencana (truk) = 2,5 m

Z = Kesukaran dalam mengemudi di tikungan (m)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

R = Radius Lengkung (m)

B_t = lebar total perkerasan di tikungan

n = jumlah lajur

C = lebar kebebasan samping dikiri dan dikanan kendaraan

Δb = tambahan lebar perkerasan ditikungan (m)

2.2.2.5 Superelevasi

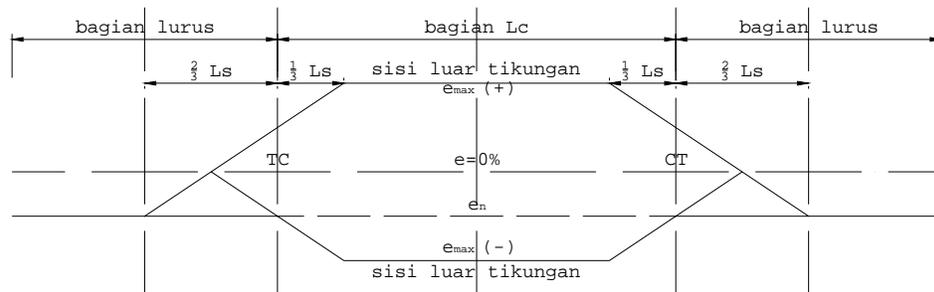
Superelevasi menunjukkan besarnya perubahan kemiringan melintang jalan secara berangsur-angsur dari kemiringan normal menjadi kemiringan maksimum pada suatu tikungan horisontal yang direncanakan. Dengan demikian dapat menunjukkan kemiringan melintang jalan pada setiap titik dalam tikungan.

Nilai superelevasi yang tinggi mengurangi gaya geser kesamping dan menjadikan gerakan kendaraan pada tikungan lebih nyaman. Jari-jari minimum yang tidak memerlukan superelevasi ditunjukkan pada Tabel 2.20.

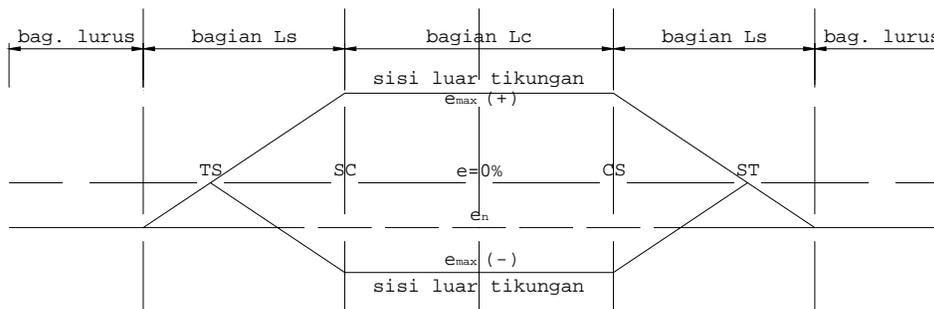
Pada jalan lurus, superelevasi badan jalan sebesar - 2%, yang merupakan superelevasi minimum (normal). Dan superelevasi maksimum sebesar 10%.

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

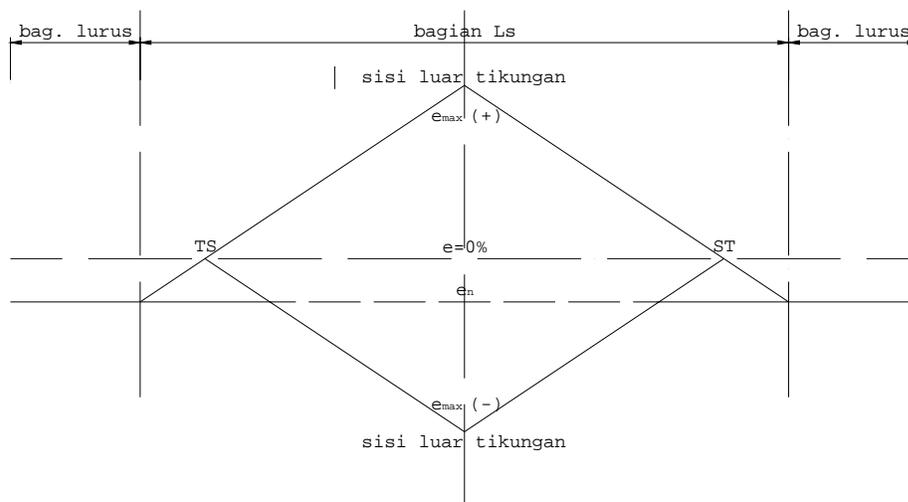
Diagram superelevasi untuk tipe tikungan F-C, S-C-S, dan S-S dapat dilihat pada Gambar 2.4, Gambar 2.5, Gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.4 Diagram superelevasi pada tikungan F-C



Gambar 2.5 Diagram superelevasi pada tikungan S-C-S



Gambar 2.6 Diagram superelevasi pada tikungan S-S

2.2.2.6 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal merupakan penampang melintang jalan dimana alinyemen ini merupakan proyeksi sumbu jalan ke bidang vertikal tegak lurus penampang melintang jalan. Tujuan perencanaan lengkung vertikal adalah :

- Mengurangi guncangan akibat perubahan kelandaian.
- Menyediakan jarak pandang henti.

Perencanaan alinyemen vertikal harus sedemikian rupa sehingga trase jalan yang dihasilkan memberikan tingkat kenyamanan dan tingkat keamanan yang optimal. Perhitungan dimulai dari data elevasi *point of vertical intersection* (PVI), kemudian baru dihitung besaran-besaran sebagai berikut :

- Panjang lengkung vertikal L_v dalam meter
- Pergeseran vertikal E_v dalam meter
- Elevasi permukaan jalan di PLV dan PTV
- Elevasi permukaan jalan antara PLV, PVI, dan PTV pada setiap stasiun yang terdapat pada alinyemen.

Rumus-rumus yang digunakan adalah :

$$A = g_1 - g_2$$

$$E_v = (A \cdot L_v) / 800$$

- Keterangan :
- A = Perbedaan aljabar landai
 - g_1, g_2 = Kelandaian jalan (%)
 - E_v = Jarak antara lengkung vertikal dengan PV
 - L_v = Panjang lengkung vertikal

Lengkung vertikal terdiri dari dua jenis, yaitu lengkung vertikal cekung (Gambar 2.7), dan lengkung vertikal cembung (Gambar 2.8).

a. Lengkung vertikal cekung

Lengkung vertikal cekung adalah lengkung vertikal dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada dibawah permukaan jalan. Lengkung vertikal cekung berbentuk parabola sederhana. Panjang lengkung vertikal cekung dipengaruhi hal-hal sebagai berikut :

- Jarak penyinaran lampu kendaraan

a) Untuk $S < L$

$$L_v = \frac{A \times S^2}{150 + 3,5.S}$$

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

b) Untuk $S > L$

$$L_v = 2 \times S - \frac{150 + 3,5.S}{A}$$

- Jarak pandangan bebas

a) Untuk $S < L$

$$L_v = \frac{A \times S^2}{3480}$$

b) Untuk $S > L$

$$L_v = 2 \times S - \frac{3480}{A}$$

- Kenyamanan mengemudi

$$L_v = \frac{A \times V r^2}{380}$$

- Syarat drainase

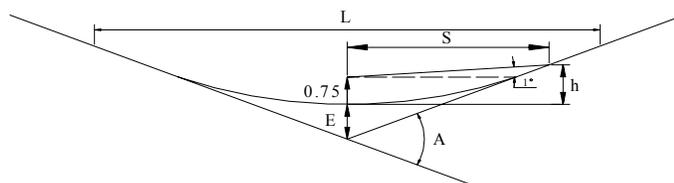
$$L_v = 40 \times A$$

Keterangan : A = Perbedaan aljabar kedua tangen = $g_2 - g_1$

S = Jarak pandangan (m)

L_v = Panjang lengkung vertikal cekung (m)

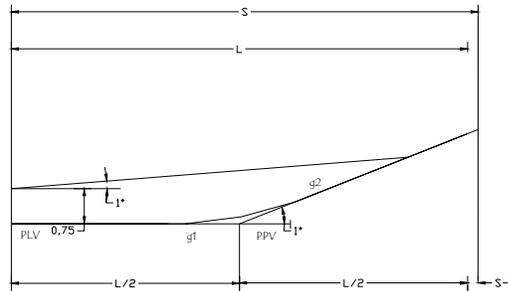
Untuk lengkung vertikal cekung dengan jarak pandangan akibat penyinaran lampu depan $< L$:



Gambar 2.7 Sketsa lengkung vertikal cekung

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

Untuk lengkung vertikal cekung dengan jarak pandangan akibat penyinaran lampu depan $> L$:



Gambar 2.8 Sketsa lengkung vertikal cekung

b Lengkung vertikal cembung

Bentuk lengkungnya ditentukan oleh :

1. Jarak pandang bebas seluruhnya dalam daerah lengkungan
2. Jarak pandangan berada di luar dan di dalam daerah lengkungan
3. Panjang lengkung vertikal cembung berdasarkan kebutuhan drainase $L = 50A$
4. Panjang lengkung vertikal cembung dihitung berdasarkan :

- Syarat keamanan terhadap JPH

a) Untuk $S < L$

$$L_v = \frac{A \times S^2}{399}$$

b) Untuk $S > L$

$$L_v = 2 \times S - \frac{399}{A}$$

- Syarat keamanan terhadap JPM

a) Untuk $S < L$

$$L_v = \frac{A \times S^2}{960}$$

b) Untuk $S > L$

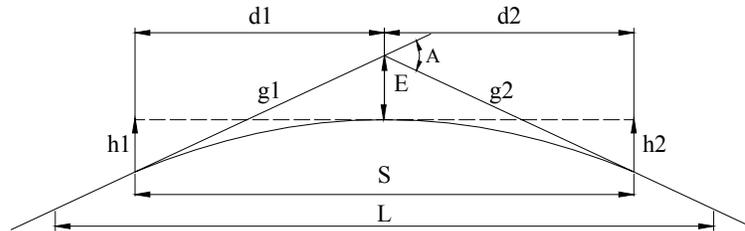
$$L_v = 2 \times S - \frac{960}{A}$$

- Syarat kenyamanan

$$L_v = \frac{A \times V_r^2}{360}$$

- Syarat drainase

$$L_v = 40 \times A$$



Gambar 2.9 Sketsa lengkung vertikal cembung

2.2.3 Landai Jalan

Berdasarkan arus lalu lintas, landai jalan ideal adalah landai datar (0%), tetapi jika didasarkan pada kriteria desain drainase maka jalan yang memiliki kemiringan adalah yang terbaik. Landai jalan dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Landai Melintang

Untuk menggambarkan perubahan nilai superelevasi pada setiap segmen di tikungan jalan maka perlu dibuat diagram superelevasi. Kemiringan melintang badan jalan minimum pada jalan lebar (e) adalah sebesar 2 %, sedangkan nilai e maksimum adalah 10 % untuk medan datar. Pemberian batas ini dimaksudkan untuk memberikan keamanan optimum pada konstruksi badan jalan di tikungan dimana nilai ini didapat dari rumusan sebagai berikut :

$$e_{\max} + f_m = \frac{V_R^2}{127 \cdot R_{\min}}$$

Dimana : e_{\max} = Kemiringan melintang jalan

f_m = Koefisien gesekan melintang

Besarnya nilai f_m didapat dari grafik koefisien gesekan melintang sesuai dengan AASTHO 1986.

Pembuatan kemiringan jalan didesain dengan pertimbangan kenyamanan, keamanan, komposisi kendaraan dan variasi kecepatan serta efektifitas kerja dari alat-alat berat pada saat pelaksanaan.

2. Landai Memanjang

Pengaruh dari adanya kelandaian dapat dilihat dari berkurangnya kecepatan kendaraan atau mulai dipergunakannya gigi rendah pada kendaraan jenis truk yang terbebani secara penuh. Panjang landai kritis atau maksimum yang belum mengakibatkan gangguan lalu lintas adalah

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

yang mengakibatkan penurunan kecepatan maksimum 25 km/jam. Kelandaian yang besar akan mengakibatkan penurunan kecepatan truk yang cukup berarti jika kelandaian tersebut dibuat pada jalan yang cukup panjang, tetapi kurang berarti jika panjang jalan dengan hanya pendek saja.

Panjang maksimum yang diijinkan sesuai dengan kelandaianya (panjang kritis) adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 2.25

Tabel 2.25 Panjang kritis

Vr (km/jam)	Kelandaian (%)	Panjang Kritis (m)
80	4	630
	5	460
	6	360
	7	270
	8	230
	9	230
	10	200
60	4	320
	5	210
	6	160
	7	120
	8	110
	9	90
	10	80

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan antar kota 1997

2.2.4 Aspek Perkerasan Jalan

Struktur perkerasan jalan adalah bagian konstruksi jalan raya yang diperkeras dengan lapisan konstruksi tertentu yang memiliki ketebalan, kekuatan dan kekakuan serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya dengan aman.

2.2.5 Metode Perencanaan Struktur Perkerasan

Dalam perencanaan jalan, perkerasan merupakan bagian terpenting dimana perkerasan berfungsi sebagai berikut :

- Menyebarkan beban lalu lintas sehingga besarnya beban yang dipikul *sub grade* lebih kecil dari kekuatan *sub grade* itu sendiri.
- Melindungi *sub grade* dari air hujan.
- Mendapatkan permukaan yang rata dan memiliki koefisien gesek yang mencukupi sehingga pengguna jalan lebih aman dan nyaman dalam berkendara.

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

Salah satu metode perkerasan jalan adalah jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan lentur adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran aspal dengan agregat yang memiliki ukuran butir tertentu sehingga memiliki kepadatan, kekuatan dan *flow* tertentu. Jenis perkerasan jalan yang lain adalah perkerasan kaku (*rigid pavement*) yaitu perkerasan beton semen dimana terdiri dari campuran campuran semen PC, agregat halus dan air yang digelar dalam satu lapis.

Untuk Perencanaan Jalan Tol Semarang Bawen dipakai jenis perkerasan lentur. Desain tebal perkerasan dihitung agar mampu memikul tegangan yang ditimbulkan oleh beban kendaraan, perubahan suhu, kadar air dan perubahan volume pada lapisan bawahnya. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perkerasan lentur adalah sebagai berikut :

a. *Umur rencana*

Pertimbangan yang digunakan dalam umur rencana perkerasan jalan adalah pertimbangan biaya konstruksi, pertimbangan klasifikasi fungsional jalan dan pola lalu lintas jalan yang bersangkutan dimana tidak terlepas dari satuan pengembangan wilayah yang telah ada.

b. *Lalu lintas*

Analisa lalu lintas berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan komposisi beban sumbu kendaraan berdasarkan data terakhir dari pos-pos resmi setempat.

c. *Konstruksi jalan*

Konstruksi jalan terdiri dari tanah dan perkerasan jalan. Penetapan besarnya rencana tanah dasar dan material-materialnya yang akan menjadi bagian dari konstruksi perkerasan harus didasarkan atas survey dan penelitian laboratorium.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tebal perkerasan jalan adalah :

- Jumlah jalur (N) dan Koefisien distribusi kendaraan (C)
- Angka ekuivalen (E) beban sumbu kendaraan
- Lalu lintas harian rata-rata
- Daya dukung tanah (DDT) dan CBR
- Faktor regional (FR)

Struktur perkerasan lentur terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut :

1. Lapis Permukaan (*Surface Course*)

a. Lapis aus :

- Sebagai lapis aus yang berhubungan dengan roda kendaraan.
- Mencegah masuknya air pada lapisan bawah (lapis kedap air).

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

b. Lapis perkerasan :

- Sebagai lapis perkerasan menahan beban roda, lapisan ini memiliki kestabilan tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- Sebagai lapis yang menyebarkan beban ke lapis bawahnya, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain dibawahnya yang mempunyai daya dukung lebih jelek.

2. Lapis Pondasi (*Base Course*)

Merupakan lapis pondasi atas yang berfungsi sebagai :

- Sebagai lantai kerja bagi lapisan diatasnya.
- Sebagai lapis peresapan untuk lapis pondasi bawah.
- Menahan beban roda dan menyebarkan ke lapis bawahnya.
- Mengurangi *compressive stress sub base* sampai tingkat yang dapat diterima.
- Menjamin bahwa besarnya regangan pada lapis bawah bitumen (*material surface*), tidak akan menyebabkan *cracking*.

3. Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

Memiliki fungsi sebagai berikut :

- Menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- Mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapisan pondasi.
- Untuk efisiensi penggunaan material.
- Sebagai lapis perkerasan.
- Sebagai lantai kerja bagi lapis pondasi atas.

4. Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Tanah dasar adalah tanah setebal 50 – 100 cm diatas dimana akan diletakkan lapisan pondasi bawah. Lapisan tanah dasar bisa berupa tanah asli yang dipadatkan. Jika tanah aslinya baik dan cukup hanya dipadatkan saja. Bisa juga tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi baik dengan kapur, semen, atau bahan lainnya. Pemadatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum, diusahakan agar kadar air tersebut konstan selama umur rencana, hal ini dapat dicapai dengan perlengkapan drainase yang memenuhi syarat.

2.2.5.1 Prosedur Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur

Dalam menghitung tebal perkerasan lentur pada Perencanaan Jalan Tol Semarang-Bawen berdasarkan pada petunjuk perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metode analisa komponen SKBI 2.3.26.1987 Departemen Pekerjaan Umum.

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. LHR setiap jenis kendaraan ditentukan sesuai dengan umur rencana.

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

2. Lintas ekivalen permulaan (LEP), dihitung dengan rumus :

$$LEP = \sum (LHR \cdot C_j \cdot E_j)$$

3. Lintas ekivalen akhir (LEA), dihitung dengan rumus :

$$LEA = \sum [LHR \cdot (1+i)^n \cdot C_j \cdot E_j]$$

Keterangan : C_j = Koefisien distribusi kendaraan
 E_j = Angka ekivalen beban sumbu kendaraan
 n = Tahun rencana
 i = Faktor pertumbuhan lalu lintas

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada jalur rencana ditentukan menurut tabel 2.26 dibawah ini.

Tabel 2.26
Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah Jalur	Kendaraan Ringan *)		Kendaraan Berat **)	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 jalur	1,00	1,00	1,00	1,00
2 jalur	0,60	0,50	0,70	0,50
3 jalur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 jalur	-	0,30	-	0,45
5 jalur	-	0,25	-	0,425
6 jalur	-	0,20	-	0,40

*) berat total < 5 ton, misalnya : mobil penumpang, pick up, mobil hantaran.

**) berat total \geq 5 ton, misalnya : bus, truk, traktor, semi trailer, trailer.

Angka Ekivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus daftar di bawah ini:

$$\text{Angka ekivalen sumbu tunggal} = \left\{ \frac{\text{beban satu sumbu tunggal dalam Kg}}{8160} \right\}^4$$

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

$$\text{Angka ekivalen sumbu ganda} = 0,086 \times \left\{ \frac{\text{beban satu sumbu tunggal dalam Kg}}{8160} \right\}^4$$

$$\text{Angka ekivalen tridem} = 0,053 \times \left\{ \frac{\text{beban satu sumbu tunggal dalam Kg}}{8160} \right\}^4$$

4. Lintas ekivalen tengah (LET), dihitung dengan rumus :

$$LET = 1/2 \cdot (LEP + LEA)$$

5. Lintas ekivalen rencana (LER), dihitung dengan rumus :

$$LER = LEP \times FP$$

Keterangan : FP = faktor penyesuaian = UR/10

6. Mencari indeks tebal permukaan (ITP) berdasarkan hasil LER, sesuai dengan nomogram yang tersedia. Faktor-faktor yang berpengaruh yaitu DDT atau CBR, faktor regional (FR), indeks permukaan dan koefisien bahan-bahan *sub base*, *base* dan lapis permukaan.

- Nilai DDT diperoleh dengan menggunakan nomogram hubungan antara DDT dan CBR.
- Nilai FR (Faktor Regional) dapat dilihat pada Tabel 2.27

Tabel 2.27
Faktor Regional

Curah Hujan	Kelandaian I (<6%)		Kelandaian II (6-10%)		Kelandaian III (>10%)	
	% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat	
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
Iklm I <900mm/th	0,5	1,0-1,5	1,0	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
Iklm II <900mm/th	1,5	2,0-2,5	2,0	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

- Indeks Permukaan awal (IP_0) dapat dicari dengan menggunakan Tabel 2.28 yang ditentukan dengan sesuai dengan jenis lapis permukaan yang akan digunakan

Tabel 2.28
Indeks Permukaan pada awal umur rencana (IP_0)

Jenis lapis permukaan	IP_0	Roughnes (mm/km)
Laston	≥ 4	≤ 1000
	3,9-3,5	> 1000
Lasbutag	3,9-3,5	≤ 2000
	3,4-3,0	> 2000
HRA	3,9-3,5	≤ 2000
	3,4-3,0	> 2000
Burda	3,9-3,5	< 2000
Burtu	3,4-3,0	< 2000
Lapen	3,4-3,0	≤ 3000
	2,9-2,5	> 3000
Latasbum	2,9-2,5	
Buras	2,9-2,5	
Latasir	2,9-2,5	
Jalan tanah	$\leq 2,4$	
Jalan kerikil	$\leq 2,4$	

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

- Besarnya nilai Indeks Permukaan akhir (IP_t) dapat ditentukan dengan tabel 2.29.

Tabel 2.29
Indeks Permukaan pada akhir umur rencana (IP_t)

LER	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0-1,5	1,5	1,5-2,0	-
10-100	1,5	1,5-2,0	2,0	-
100-1000	1,5-2,0	2,0	2,0-2,5	-
> 1000	-	2,0-2,5	2,5	2,5

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

7. Menghitung tebal lapisan perkerasannya berdasarkan nilai ITP yang didapat.

$$ITP = a_1.D_1 + a_2.D_2 + a_3.D_3$$

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

Keterangan : a_1, a_2, a_3 = kekuatan relatif untuk lapis permukaan (a_1), lapis pondasi atas (a_2), dan lapis pondasi bawah (a_3).

D_1, D_2, D_3 = tebal masing-masing lapisan dalam cm untuk lapisan permukaan (D_1), lapis pondasi atas (D_2), dan lapis pondasi bawah (D_3).

- Nilai kekuatan relatif untuk masing-masing bahan dapat dilihat pada Tabel 2.30

Tabel 2.30
Koefisien kekuatan relatif (FR)

Koefisien kekuatan relatif			Kekuatan bahan			Jenis Bahan
			MS (kg)	Kt (kg/cm ²)	CBR (%)	
a1	a2	a3				
0,40			744			Laston
0,35			590			
0,32			454			
0,30			340			
0,35			744			Asbuton
0,31			590			
0,28			454			
0,26			340			
0,30			340			<i>Hot Rolled Asphalt</i>
0,26			340			Aspal macadam
0,25						Lapen mekanis
0,20						Lapen manual
	0,28		590			Laston atas
	0,26		454			
	0,24		340			
	0,23					Lapen mekanis
	0,19					Lapen manual
	0,15			22		Stabilitas tanah dengan semen
	0,13			18		
	0,15			22		Stabilitas tanah dengan kapur
	0,13			18		

Lanjutan Tabel 2.30

Koefisien kekuatan Relatif			Kekuatan bahan			Jenis bahan
a1	A2	a3	MS (kg)	Kt (kg/cm ²)	CBR (%)	
	0,14				100	Pondasi macadam basah
	0,12				60	Pondasi macadam kering
	0,14				100	Batu pecah (kelas A)
	0,13				80	Batu pecah (kelas B)
	0,12				60	Batu pecah (kelas C)
		0,13			70	Sirtu/pitrun (kelas A)
		0,12			50	Sirtu/pitrun (kelas B)
		0,11			30	Sirtu/pitrun (kelas C)
		0,10			20	Tanah/lempung kepasiran

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

- Di dalam pemilihan material sebagai lapisan pada perkerasan harus diperhatikan tebal minimum perkerasan yang besarnya dapat dilihat pada Tabel 2.31

Tabel 2.31
Tebal minimum lapisan
a. Lapis permukaan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
3,00-6,70	5	Lapen /aspal macadam, HRA, Asbuton, Laston
6,71-7,49	7,5	Lapen/aspal macadam, HRA, Asbuton, Laston
7,50-9,99	7,5	Asbuton, Laston
≥10,00	10	Laston

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

Tabel 2.32
b. Lapis pondasi

ITP	Tebal minimum (cm)	Bahan
<3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen atau kapur
3,00-7,49	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen atau kapur
7,90-9,99	10	Laston atas
	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen atau kapur, pondasi macadam
10,00 - 12,24	15	Laston atas
	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen atau kapur, pondasi macadam, lapen, laston atas
$\geq 12,15$	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen atau kapur, pondasi macadam, lapen, laston atas

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

2.2.5.2 Kontrol Tebal Perkerasan terhadap Metode AASHTO

Metode ini dikembangkan dengan lebih menyesuaikan dengan kondisi lingkungan. Beban standar yang digunakan adalah 8,16 ton = 18 kips = 18.000 lbs. Parameter daya dukung tanah dinyatakan dalam modulus resilien atau korelasi dengan CBR. Kondisi lingkungan diakomodir dalam koefisien drainase, dan kehilangan tingkat pelayanan akibat swelling. Dibandingkan dengan metode AASHTO 72, AASHTO 86 ini lebih bersifat analitis. Prosedur perhitungan Tebal perkerasan jalan dengan menggunakan metode AASHTO 86.

1. Tingkat pertumbuhan tahunan, dihitung dengan rumus :

$$Gr = \{ ((1+g)^n - 1)/g \} \quad \text{dimana : } g = \text{tingkat pertumbuhan lalu lintas (\%)}$$

2. Reabilitas (R) dan simpangan baku (So)

Reabilitas adalah nilai jaminan bahwa perkiraan beban lalu lintas yang akan memakai jalan tersebut dapat dipenuhi.

Fungsi jalan untuk jalan tol, harga R adalah antara 80 – 99,9%

Simpangan baku keseluruhan (So) yang dianjurkan AASHTO 1993 adalah antara 0,35 – 0,45

3. Data lalu lintas yang dipakai adalah LHR dan komposisi kendaraan, dimana data tersebut akan digunakan untuk menentukan besarnya beban lalu lintas yang dinyatakan dalam Equivalent Standard Axle Load (ESAL). Sebagai beban standard adalah 8,16 ton = 18 kips = 18000 lbs.

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

$$W_{18} = 365 \times E_{\text{total}} \times D_d \times D_L \times Gr$$

Dimana : W_{18} = lintas ekivelen pada lajur rencana

D_d = faktor distribusi arah, untuk 2 arah = 50%

D_L = Faktor distribusi lajur = 80%

Gr = tingkat pertumbuhan tahunan (%)

4. Penentuan ΔPSI

$$\Delta PSI = p_o - p_t$$

P_o (initial serviceability index), ditetapkan sebesar 4,2 berdasarkan AASHO Road Test

P_t (terminal serviceability index) = - 2,5-3,0 (major highway)

- 2,0 (minor highway)

5. Kekuatan tanah dasar (M_R)

Kekuatan tanah dasar dinyatakan dengan modulus resilien tanah (M_R).

$$M_R (\text{psi}) = 1500 \times \text{CBR}$$

6. Menghitung tebal perkerasan

$$\text{Log } W_{18} = Z_R(S_0) + 9,36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \text{Log} M_R - 8,07$$

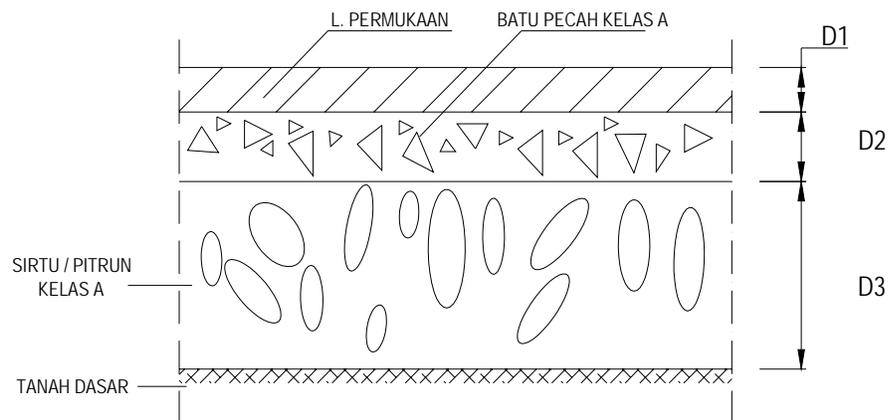
$$D_1 = SN_1 / a_1$$

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^*$$

$$D_2 = (SN_2 - SN_1^*) / (a_2 m_2)$$

$$SN_2^* = D_2^* \times a_2 \times m_2$$

$$D_3 = (SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)) / (a_3 m_3)$$



GAMBAR 5.- LAPISAN PERKERASAN

2.2.6 Perencanaan Saluran Drainase

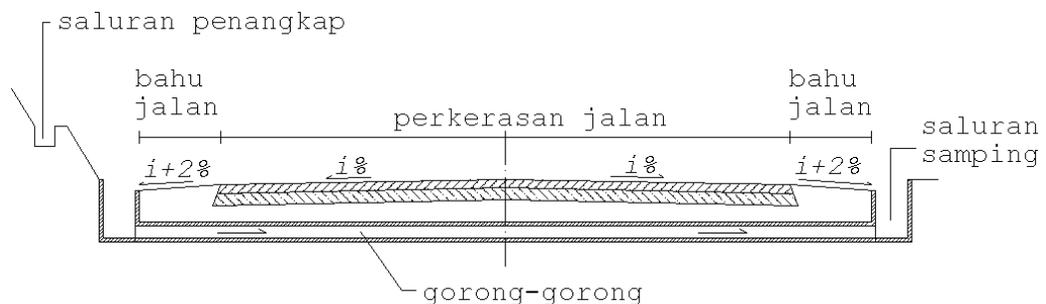
Saluran drainase adalah bangunan yang bertujuan mengalirkan air dari badan jalan secepat mungkin agar tidak menimbulkan bahaya dan kerusakan pada jalan. Dalam banyak kejadian, kerusakan konstruksi jalan disebabkan oleh air, baik itu air permukaan maupun air tanah. Air dari atas badan jalan yang dialirkan ke samping kiri dan atau kanan jalan ditampung dalam saluran samping (*side ditch*) yang bertujuan agar air mengalir lebih cepat dari air yang mengalir diatas permukaan jalan dan juga bertujuan untuk bisa mengalirkan kejenuhan air pada badan jalan.

Dalam merencanakan saluran samping harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Mampu mengakomodasi aliran banjir yang direncanakan dengan kriteria tertentu sehingga mampu mengeringkan lapis pondasi.
- Saluran sangat baik diberi penutup untuk mencegah erosi maupun sebagai trotoar jalan.
- Pada kemiringan memanjang, harus mempunyai kecepatan rendah untuk mencegah erosi tanpa menimbulkan pengendapan.
- Pemeliharaan harus bersifat menerus.
- Air dari saluran dibuang ke *outlet* yang stabil ke sungai atau tempat pengaliran yang lain
- Perencanaan drainase harus mempertimbangkan faktor ekonomi, faktor keamanan dan segi kemudahan dalam pemeliharaan.

2.2.6.1 Ketentuan-ketentuan

1. Sistem drainase permukaan jalan terdiri dari : kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan, selokan samping, gorong-gorong dan saluran penangkap (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Sistem drainase permukaan setiap 100 meter

2. Kemiringan melintang normal (e_n) perkerasan jalan untuk lapis permukaan aspal adalah 2% - 3%, Sedangkan untuk bahu jalan diambil $= e_n + 2\%$.
3. Selokan samping jalan
 - Kecepatan aliran maksimum yang diizinkan untuk material dari pasangan batu dan beton adalah 1,5 m/detik.

- Kemiringan arah memanjang (i) maksimum yang diizinkan untuk material dari pasangan batu adalah 7,5 %.
- Pematah arus diperlukan untuk mengurangi kecepatan aliran bagi selokan samping yang panjang dengan kemiringan cukup besar. Pemasangan jarak antar pematah arus dapat dilihat pada Tabel 2.33

Tabel 2.33
Jarak pematah arus

<i>i</i> (%)	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %
L (m)	16	10	8	7	6

- Penampang minimum selokan samping adalah 0,50 m².
4. Gorong-gorong pembuang air
- Kemiringan gorong-gorong adalah 0,5 % - 2 %.
 - Jarak maksimum antar gorong-gorong pada daerah datar adalah 100 m dan daerah pegunungan adalah 200 m.
 - Diameter minimum adalah 80 cm.

2.2.6.2 Perhitungan debit aliran

1. Intensitas curah hujan (I)

- Data yang diperlukan adalah data curah hujan maksimum tahunan, paling sedikit $n = 10$ tahun dengan periode ulang 5 tahun.
- Rumus menghitung Intensitas curah hujan menggunakan analisa distribusi frekuensi sbb :

$$X_T = \bar{x} + \frac{S_x}{S_n} \cdot (Y_T - Y_n)$$

$$I = 1/4 \cdot (90\% \cdot X_T)$$

Keterangan : X_T = besar curah hujan

\bar{x} = nilai rata-rata aritmatik curah hujan

S_x = standar deviasi

Y_T = variabel yang merupakan fungsi dari periode ulang, diambil = 1,4999.

Y_n = variabel yang merupakan fungsi dari n , diambil 0,4952 untuk $n = 10$

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

S_n = standar deviasi, merupakan fungsi dari n , diambil 0,9496 untuk $n = 10$

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

- Waktu konsentrasi (T_C) dihitung dengan rumus :

$$T_C = t_1 + t_2$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot L_0 \cdot \frac{nd}{\sqrt{s}} \right)^{0,167}$$

$$t_2 = \frac{L}{60 \cdot v}$$

Keterangan : T_C = waktu konsentrasi (menit)

t_1 = waktu inlet (menit)

t_2 = waktu aliran (menit)

L_0 = Jarak dari titik terjauh dari saluran drainase (m)

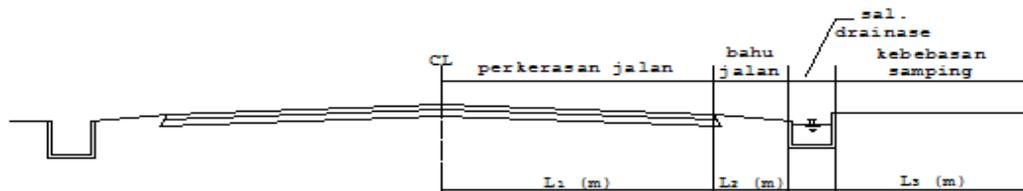
L = panjang saluran (m)

nd = koefisien hambatan, diambil 0,013 untuk lapis permukaan aspal

s = kemiringan daerah pengaliran

v = kecepatan air rata-rata di saluran (m/detik)

- Luas daerah pengaliran dan batas-batasnya sesuai yang terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Batas-batas daerah pengaliran

Batas daerah pengaliran yang diperhitungkan $L = L_1 + L_2 + L_3$ (m)

keterangan : L_1 = dari as jalan sampai tepi perkerasan.

L_2 = dari tepi perkerasan sampai tepi bahu jalan.

L_3 = tergantung kebebasan samping dengan panjang maksimum 100 m.

- Harga koefisien pengaliran (C) dihitung berdasarkan kondisi permukaan yang berbeda-beda.

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + C_3 \cdot A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

Keterangan :

C_1 = koefisien untuk jalan aspal = 0,70.

C_2 = koefisien untuk bahu jalan (tanah berbutir kasar) = 0,65.

C_3 = koefisien untuk kebebasan samping (daerah pinggir kota) = 0,60.

A_1, A_2, A_3 = luas masing-masing bagian.

4. Untuk menghitung debit pengaliran, digunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot C \cdot I \cdot A$$

Keterangan :

Q = debit pengaliran ($m^3/detik$)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

2.2.6.3 Perhitungan dimensi saluran dan gorong-gorong

Dimensi saluran dan gorong-gorong ditentukan atas dasar $F_e = F_d$

1. Luas penampang basah berdasarkan debit aliran (F_d)

$$F_d = Q / v \quad (m^2)$$

2. Luas penampang basah yang paling ekonomis (F_e)

- Saluran bentuk segi empat

$$\text{Rumus : } F_e = b \cdot d \quad \text{syarat : } b = 2 \cdot d$$

$$R = d / 2$$

- Gorong-gorong

$$\text{Rumus : } F_e = 0,685 \cdot D^2 \quad \text{syarat : } d = 0,8 \cdot D$$

$$P = 2 r$$

$$R = F / P$$

Keterangan :

F_e = Luas penampang basah ekonomis (m^2)

b = lebar saluran (m)

d = kedalaman air (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

D = diameter gorong-gorong (m)

r = jari-jari gorong-gorong (m)

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

3. Tinggi jagaan (w) untuk saluran segi empat $w = \sqrt{0,5 \cdot d}$
4. Perhitungan kemiringan saluran

$$\text{Rumus : } i = \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2$$

Keterangan : i = kemiringan saluran

v = kecepatan aliran air (m/detik)

n = koefisien kekasaran *manning*, (saluran pasangan batu) = 0,025

2.3 Analisa Kelayakan finansial

Evaluasi kelayakan suatu proyek adalah suatu aktifitas penelitian atau studi yang dilakukan secara komprehensif dari berbagai aspek dalam usaha mengkaji tingkat kelayakan dari suatu proyek (*Studi Kelayakan Proyek Transportasi, LPM – ITB*). Suatu proyek bisa dibilang layak ataupun tidak layak ketika dampak dari proyek tersebut memang sudah sesuai dengan tujuan yang telah dirumuskan dari permasalahan yang ada dan mampu mencapai sasaran-sasaran yang direncanakan secara tepat.

Dalam menganalisa antara keuntungan dan biaya dari suatu proyek kita perlu mengidentifikasi terlebih dahulu apakah proyek tersebut termasuk proyek yang menuntut kelayakan finansial ataukah kelayakan ekonomi. Kelayakan finansial akan menuntut efektifitas dan efisiensi pengalokasian dana ditinjau dari aspek *revenue earning* yang akan diperoleh dalam kurun waktu yang ditinjau, sedang kelayakan ekonomi memiliki sudut pandang yang berbeda. Kelayakan ekonomi memiliki sudut pandang yang lebih luas, yakni sudut pandang kepentingan masyarakat luas atau kepentingan pemerintah, dengan demikian dalam kajian ekonomis yang perlu diperhatikan adalah apakah suatu proyek akan memberi sumbangan atau mempunyai peranan yang positif dalam pembangunan ekonomi secara keseluruhan dan apakah pengalokasian dana tersebut cukup bermanfaat bagi kepentingan masyarakat luas.

Untuk proyek perencanaan jalan tol Semarang – Bawen termasuk dalam kategori proyek umum dengan *view point* yang dipakai adalah kelayakan finansial. Dalam proyek ini penekanan analisa yang dipakai adalah Biaya Operasional Kendaraan (BOK), selanjutnya akan digunakan sebagai salah satu pertimbangan apakah proyek tersebut memiliki nilai manfaat (*surplus benefit*).

Selain itu analisa kelayakan finansial sangat erat kaitannya dengan investasi yang akan ditanamkan oleh investor. Untuk menilai baik tidaknya suatu investasi dan untuk membantu dalam pengambilan keputusan diteruskan atau tidaknya suatu proyek digunakan indeks yang disebut kriteria investasi. Kriteria investasi yang lazim digunakan adalah :

Landasan Teori dan Standar Perencanaan

a. *Net Present Value* (Nilai Tunai Sekarang)

Metode ini berusaha membandingkan semua komponen biaya satu dengan yang lainnya. Dalam hal ini acuan yang digunakan adalah besaran netto saat ini atau *Net Present Value* (NPV). Artinya semua besaran komponen keuntungan dan biaya diubah dalam besaran nilai sekarang. Selanjutnya NPV didefinisikan sebagai selisih antara present value dari komponen keuntungan dan present value di komponen biaya secara matematis. Rumus NPV yaitu :

$$NPV = \left(\frac{Bt - Ct}{(1 + i)^n} \right)$$

Keterangan :

Bt : *Benefit* (keuntungan) pada tahun t

Ct : *Cost* (biaya) pada tahun t

n : Umur Proyek

i : *Discount Rate* (Suku Bunga Komersil)

Suatu proyek dikatakan layak bila $NPV > 0$, sedangkan jika $NPV = 0$, maka keuntungan yang diperoleh sama dengan modal yang dikeluarkannya dan jika $NPV < 0$, maka proyek dikatakan tidak layak.

b. *Internal Rate of Return* (IRR)

Didefinisikan sebagai nilai *discount rate* (i) yang membuat $NPV \text{ proyek} = 0$. Hal ini berarti keuntungan sama dengan biaya yang dikeluarkan. Secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{Bt - Ct}{(1 + IRR)^n} = 0$$

Keterangan :

Bt : *Benefit* (keuntungan) pada tahun t

Ct : *Cost* (biaya) pada tahun t

n : Umur Proyek

Biasanya rumus untuk menentukan IRR tidak dapat dipecahkan secara langsung namun dengan cara coba-coba (*Trial and Error*). Syarat yang digunakan sebagai ukuran adalah :

- Apabila $IRR > i$ (*discount rate*), maka proyek dikatakan layak.
- Apabila $IRR < i$ (*discount rate*), maka proyek tidak layak dilaksanakan.

c. *Net Benefit Cost Ratio* (Net B / C)

Indeks ini menggambarkan tingkat efektifitas pemanfaatan biaya terhadap keuntungan yang didapat. Secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$\text{Net B/C} = \frac{\frac{Bt - Ct}{(1+i)^n} \times (Bt - Ct > 0)}{\frac{Ct - Bt}{(1+i)^n} \times (Bt - Ct < 0)}$$

Keterangan :

Bt : *Benefit* (keuntungan) pada tahun t

Ct : *Cost* (biaya) pada tahun t

n : Umur Proyek

i : *Discount Rate* (Suku Bunga Komersil)

Suatu proyek dikatakan layak bila $\text{Net B / C} > 1$, sebaliknya jika $\text{Net B / C} < 1$ maka dikatakan tidak layak. Jika dua atau lebih proyek dibandingkan satu dengan yang lainnya maka proyek dengan BCR yang paling besarlah yang terbaik, karena hal ini menunjukkan tingkat efektifitas pemanfaatan biaya terhadap keuntungan yang diperoleh adalah yang terbesar.

Meskipun nilai BCR sangat baik mempresentasikan tingkat kelayakan proyek, tetapi hasil analisisnya sangat tergantung pada besarnya *discount rate* yang diterapkan. Dalam hal ini informasi yang akurat berkaitan dari indeks BCR. Hal yang sama juga berlaku untuk indeks NPV. Dari kedua indeks tersebut, akan terlihat bahwa makin akurat informasi yang kita peroleh berkaitan dengan *discount rate* maka semakin akurat pula indeks BCR atau NPV yang diperoleh.