

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan ialah penggolongan jalan berdasarkan parameter-parameter tertentu. Klasifikasi jalan menurut kelas berkaitan dengan kemampuan jalan dalam menerima beban lalu lintas. Klasifikasi kelas jalan, fungsi jalan dan dimensi kendaraan maksimum yang diijinkan melalui jalan tersebut, menurut RSNI T-14-2004.

Klasifikasi jalan merupakan aspek penting yang pertama kali harus diidentifikasi sebelum melakukan perancangan jalan, karena kriteria desain suatu rencana jalan yang ditentukan dari standar desain ditentukan oleh klasifikasi jalan rencana. Pada prinsipnya klasifikasi jalan dalam standar desain (baik untuk jalan antar kota maupun jalan luar kota) didasarkan pada klasifikasi jalan menurut undang – undang dan peraturan pemerintah yang berlaku. Klasifikasi jalan di Indonesia menurut Bina Marga dalam Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota (TPGJAK) No: 038/TBM/1997, disusun pada tabel berikut :

Tabel 2. 1 Klasifikasi jalan

Fungsi jalan	Arteri			Kolektor			Lokal		
Kelas Jalan	I	II	III A		III B		III C		
Muatan Sumbu Terberat, (ton)	>10	10	8				Tidak ditentukan		
Tipe Medan	D	B	G	D	B	G	D	B	G
Kemiringan Medan, (%)	< 3	3-25	>25	< 3	3-25	>25	< 3	3-25	>25

Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

Klasifikasi menurut wewenang pembinaan jalan (administratif) sesuai

PP.No 26/1985 : Jalan Nasional, Jalan Propinsi, Jalan Kabupaten/Kotamadya,

Jalan Desa dan Jalan Khusus.

Keterangan : Datar (D), Perbukitan (B), dan Pegunungan (G).

Klasifikasi Jalan sebagai fungsinya dibagi menjadi :

1. Jalan Arteri

Jalan Arteri adalah Jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.

2. Jalan Kolektor

Jalan Kolektor adalah Jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.

3. Jalan Lokal

Jalan Lokal adalah Jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk yang tidak dibatasi.

2.2. Parameter Perencanaan Geometrik Jalan Raya

2.2.1. Kendaraan Rencana

Unsur jalan raya untuk tinjauan komponen geometrik direncanakan berdasarkan karakteristik-karakteristik dari unsur kendaraan, lalu lintas, pengendara, dan faktor-faktor lingkungan. Pertimbangannya adalah, jalan raya harus dapat menampung berbagai jenis kendaraan yang lewat, memberikan kemudahan pada para pengendara, dan layak dilalui untuk sejumlah kapasitas lalu lintas rencana, agar jalan aman, nyaman, ekonomis, dan aksesibilitasnya tinggi.

Beberapa parameter perencanaan geometrik dari unsur karakteristik kendaraan antara lain :

a) Dimensi kendaraan rencana

Kendaraan rencana adalah kendaraan yang dimensi dan radius putarnya dipakai sebagai acuan dalam perencanaan geometrik. Lihat Tabel 2.2

Kendaraan rencana dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu :

1. Kendaraan ringan/kecil, adalah kendaraan yang mempunyai 2 (dua) as dengan empat roda dengan jarak as 2,00 – 3,00 meter. Meliputi : mobil penumpang, mikrobus, pict – up, dan truk kecil sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.
2. Kendaraan sedang, adalah kendaraan yang mempunyai dua as gandar, dengan jarak as 3,5 – 5,00 meter. Meliputi : bus kecil, truk dua as dengan enam roda.
3. Kendaraan berat/besar, meliputi bus besar, yaitu bus dengan dua atau tiga gandar, dengan jarak as 5,00 – 6,00 meter.

Tabel 2. 2 Dimensi Kendaraan Rencana

Kategori Kendaraan Rencana	Dimensi Kendaraan (cm)			Tonjolan (cm)		Radius Putar		Radius Tonjolan (cm)
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang	Min	Maks	
Kecil	130	210	580	90	150	420	730	780
Sedang	410	260	1210	210	240	740	1280	1410
Besar	410	260	2100	120	90	290	1400	1370

Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

2.2.2. Penampang Melintang Jalan

Penampang melintang jalan merupakan potongan melintang tegak lurus jalan. Pada potongan melintang jalan dapat terlihat bagian – bagian jalan sebagai berikut :

A. Jalur Lalu Lintas

Jalur lalu lintas adalah keseluruhan bagian perkerasan jalan yang diperuntukan untuk lalu lintas kendaraan. Jalur lalu lintas terdiri dari beberapa lajur kendaraan. Jalur lalu lintas dapat terdiri dari beberapa tipe yaitu :

- 1 jalur – 2 lajur – 2 arah (2/2 TB)
- 1 jalur – 2 lajur – 1 arah (2/1 TB)
- 2 jalur – 4 lajur – 2 arah (4/2 B)
- 2 jalur – n lajur – 2 arah (n/2 B)

Keterangan : n = Jumlah lajur

TB = Tidak terbagi

B = Terbagi

Tabel 2. 3 Penentuan Lebar Jalur dan Bahu Jalan

VLHR (smp/hari)	ARTERI				KOLEKTOR				LOKAL			
	Ideal		Minimum		Ideal		Minimum		Ideal		Minimum	
	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)
<3.000	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,0	4,5	1,0
3.000 – 10.000	7,0	2,0	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,0
10.000 – 25.000	7,0	2,0	7,0	2,0	7,0	2,0	**)	**))	-	-	-	-
>25.000	2nx3,5*)	2,5	2x7,0*)	2,0	2nx3,5*)	2,0	**))	**))	-	-	-	-

Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

Keterangan:

**) = Mengacu pada persyaratan ideal

*) = 2 jalur terbagi, masing – masing $n \times 3,5$ m, di mana n = Jumlah lajur per jalur

- = Tidak ditentukan

B. Lajur Lalu Lintas

Lajur lalu lintas adalah bagian dari jalur lalu lintas yang memanjang, dibatasi oleh marka jalan, memiliki lebar yang cukup untuk dilewati suatu kendaraan bermotor atau lebih sesuai kendaraan rencana. Lebar lajur tergantung pada kecepatan dan kendaraan rencana yang dalam hal ini dinyatakan dengan fungsi dan kelas jalan seperti dalam Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Lebar Lajur Jalan Ideal

Fungsi	Kelas	Lebar Lajur Ideal (m)
Arteri	I, II, III A	3,75
		3,50
Kolektor	III A, III B	3,00
Lokal	III C	3,00

Sumber : Bina Marga, 1997

C. Bahu Jalan

Bahu jalan adalah jalur yang terletak berdampingan dengan jalur lalu lintas yang berfungsi sebagai ruangan untuk tempat berhenti sementara kendaraan, pejalan kaki, dan kendaraan lambat

D. Trotoar

Trotoar adalah jalur yang terletak berdampingan dengan jalur lalu lintas yang khusus dipergunakan untuk pejalan kaki (*pedestrian*). Lebar trotoar yang dibutuhkan ditentukan oleh volume pejalan kaki, tingkat pelayanan pejalan kaki yang diinginkan, dan fungsi jalan. Untuk itu lebar 1,5 – 3,0 m merupakan nilai yang umum dipergunakan.

E. Median

Median adalah jalur yang terletak ditengah jalan untuk membagi jalan dalam masing – masing arah. Lebar median bervariasi antara 1,0 – 12 m.

2.2.3. Volume Lalu Lintas Rencana

Volume Lalu Lintas Harian Rencana (VLHR) adalah prakiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas dinyatakan dalam SMP/hari. Volume

Jam Rencana (VJR) adalah prakiraan volume lalu lintas pada jam sibuk tahun rencana lalu lintas, dinyatakan dalam SMP/jam. Maka dapat dihitung dengan rumus :

$$VJR = VLRH \times \frac{K}{F} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

K (disebut faktor K) = faktor volume lalu lintas jam sibuk

F (disebut faktor F) = faktor variasi tingkat lalu lintas perseperempat jam dalam satu jam

VJR digunakan untuk menghitung jumlah lajur jalan dan fasilitas lalu lintas lainnya yang diperlukan. Penentuan faktor K dan faktor F berdasarkan volume lalu lintas harian terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Penentuan faktor K dan Faktor F berdasarkan volume lalu lintas harian

VLHR			FAKTOR-K (%)	FAKTOR-F (%)
>		50.000	4-6	0,9 - 1
30.000	-	50.000	6-8	0,8-1
10.000	-	30.000	6-8	0,8-1
5.000	-	10.000	8-10	01,6-0,8
1.000	-	5.000	10 - 12	0,6-0,8
< 1.000			12 - 16	< 0,6

Sumber: TPGJAK NO.038/T/BM/1997

2.2.4. Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana (VR) pada suatu ruas jalan adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan yang memungkinkan kendaraan-kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lenggang dan pengaruh samping jaman yang tidak berarti. Lihat Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Kecepatan rencana (VR)

Fungsi	Kecepatan Rencana, V_R Km/Jam		
	Datar	Bukit	Pegunungan
Arteri	70 – 120	60 – 80	40 – 70
Kolektor	60 – 90	50 - 60	30 – 50

Lokal	40 -70	30 - 50	20 - 30
Catatan : Untuk kondisi medan yang sulit, VR suatu segmen jalan dapat diturunkan, dengan syarat bahwa penurunan tersebut tidak lebih dari 20 km/jam			

Sumber : Bina Marga, 1997

2.3. Perencanaan Geometrik Jalan Raya

Perencanaan geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang dititik-beratkan pada perencanaan bentuk fisik sehingga dapat memenuhi fungsi dasar dari jalan yang memberikan kenyamanan yang optimal pada arus lalu lintas sesuai dengan kecepatan yang direncanakan. Secara umum perencanaan geometrik terdiri dari aspek-aspek perencanaan trase jalan, badan jalan yang terdiri dari bahu jalan, jalur lalu lintas, tikungan, drainase, kelandaian jalan serta galian dan timbunan (Sukirman,1999).

Tujuan dari perencanaan geometrik jalan adalah menghasilkan infrastruktur yang aman, efisiensi pelayanan arus lalu lintas dan memaksimalkan *ratio* tingkat penggunaan atau biaya pelaksanaan.

Dasar perencanaan geometrik adalah sifat, gerakan, ukuran kendaraan, sifat pengemudi dalam mengendalikan gerakan kendaraannya dan karakteristik arus lalu lintas serta harus mengutamakan tingkat keamanan dan kenyamanan laju kendaraan.

2.3.1. Jarak Pandang

Jarak pandang (*sight distance*) adalah suatu jarak yang diperlukan oleh seorang pengemudi pada saat mengemudi sedemikian, sehingga jika pengemudi melihat sesuatu halangan yang membahayakan, maka pengemudi dapat melakukan suatu tindakan untuk menghindari bahaya tersebut dengan aman.

Jarak pandang terbagi menjadi dua bagian, yaitu Jarak Pandang Henti (J_h) dan Jarak Pandang Mendahului (J_d).

2.3.1.1. Jarak Pandang Henti (J_h)

Jarak pandang henti (J_h) adalah jarak minimum yang diperlukan oleh setiap pengemudi untuk menghentikan kendaraannya dengan aman, begitu melihat adanya

halangan didepan. Setiap titik di sepanjang jalan harus memenuhi jarak pandang henti (Jh). Jarak pandang henti diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan adalah 15 cm, diukur dari permukaan jalan. Jarak pandang henti (Jh), terdiri dari dua komponen, yaitu :

- 1) Jarak tanggap (d_1), adalah jarak yang ditempuh oleh kendaraan sejak pengemudi melihat suatu halangan yang menyebabkan ia harus berhenti sampai saat pengemudi menginjak rem.

$$d_1 = 0,278.V.t \dots\dots\dots(2. 2)$$

- 2) Jarak pengereman (J_{hr}), adalah jarak yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti.

$$d_2 = \frac{V^2}{2.g.f} \text{ Untuk jalan mendatar} \dots\dots\dots(2. 3)$$

$$d_2 = \frac{V^2}{254 (f \pm l)} \text{ Bila ada kelandaian} \dots\dots\dots(2. 4)$$

Jarak pandang henti (Jh), dalam satuan meter, dapan dihitung dengan rumus :

$$Jh = d_1 + d_2$$

- 1) Untuk jalan datar

$$Jh = 0,278.V.t + \frac{V^2}{254f} \dots\dots\dots(2. 5)$$

- 2) Untuk jalan dengan kelandaian tertentu

$$Jh = 0,278.V.t + \frac{V^2}{254 (f \pm l)} \dots\dots\dots(2. 6)$$

Keterangan :

V = kecepatan (km/jam)

t = waktu tanggap, ditetapkan 2,5 detik

g = percepatan gravitasi, ditetapkan 9,8 m/det²

f = koefisien gesek memanjang

l = kelandaian jalan (%)

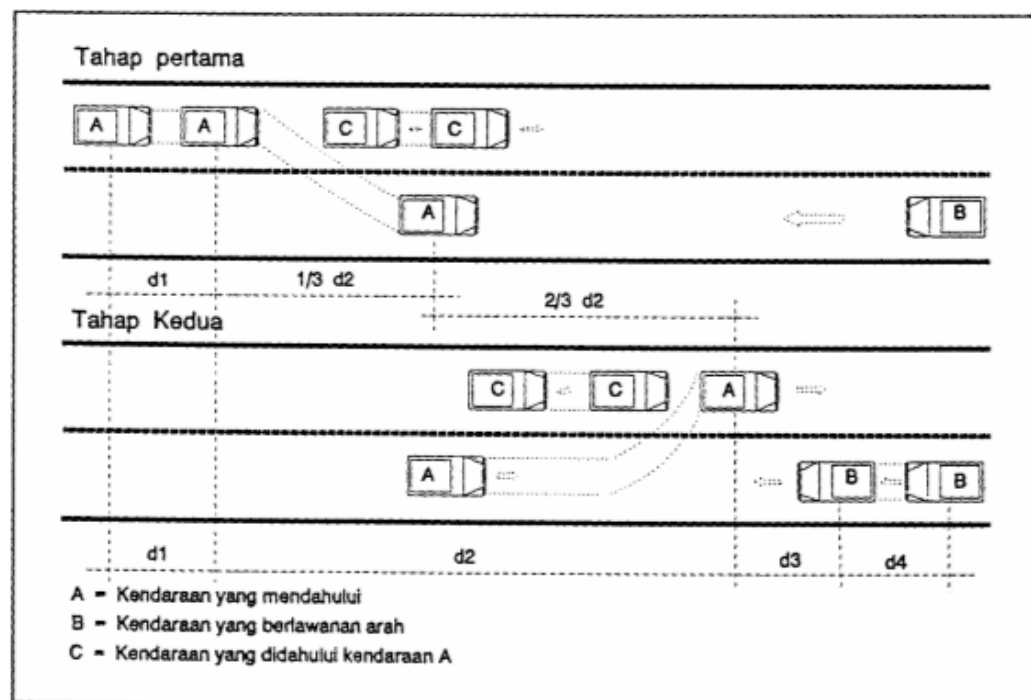
Tabel 2. 7 Jarak Pandang Henti (J_h) minimum

V^R , Km/Jam	120	100	80	60	50	40	30	20
J_h , minimum (m)	250	175	120	75	55	40	27	16

Sumber : Bina Marga, 1997

2.3.1.2. Jarak Pandang Mendahului (J_d)

Jarak pandang mendahului (J_d) adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain didepannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke jalur semula. Gambaran jarak pandang mendahului dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Sumber : Bina Marga, 1997

Gambar 2. 1 Jarak pandang mendahului

Jarak pandang mendahului (J_d), dalam satuan meter ditentukan sebagai berikut :

$$J_d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk ketentuan jarak pandang minimum, dapat dilihat pada Tabel 2.9. Keterangan :

d_1 = jarak yang ditempuh selama waktu tanggap (m)

d_2 = jarak yang ditempuh selama mendahului sampai dengan kembali ke lajur semula (m)

d_3 = jarak antara kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai (m)

d_4 = jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang datang dari arah yang berlawanan, yang besarnya diambil sana dengan $2/3 d_2$ (m)

Rumus yang dipergunakan adalah :

$$d_1 = 0,278 t_1 (VR - m + \frac{a \cdot t_1}{2}) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$d_2 = 0,278 VR t_2 \dots\dots\dots(2.9)$$

$d_3 = 30 - 100$ meter (dapat dilihat pada Tabel 2.8.)

$$d_4 = 2/3 d_2$$

Keterangan :

t_1 : waktu dalam detik , $\infty 2,12 + 0,026 VR$,

t_2 : waktu kendaraan berada di jalur lawan , (detik), $\infty 6,56 + 0,048 VR$,

a : percepatan rata-rata km/jam/detik, $\infty 2,052 + 0,0036 VR$,

m : perbedaan kecepatan dari kendaraan rata-rata dalam keadaan mendahului dan kendaraan yang didahului (biasanya 10-15 km/jam)

VR : kecepatan kendaraan rata-rata dalam keadaan mendahului, atau kecepatan rencana (km/jam)

d_1 : jarak kebebasan (m)

d_4 : jarak yang ditempuh kendaraan yang datang dari arah berlawanan

Tabel 2. 8 Besaran d_3

V^R , Km/Jam	50-65	65-80	80-95	95-110
d_3 , (m)	30	55	75	90

Sumber : Bina Marga, 1997

Tabel 2. 9 Panjang Jarak Pandang Mendahului

V^R , Km/Jam	120	100	80	60	50	40	30	20
J_d , (m)	800	670	550	350	250	200	150	100

Sumber : Bina Marga, 1997

Menurut Bina Marga (1997) daerah untuk mendahului, harus disebar di sepanjang jalan dengan jumlah panjang minimum 30 % dari panjang total ruas jalan tersebut.

Asumsi yang diambil pada saat menentukan jarak pandang mendahului :

- 1) Kendaraan yang didahului kecepatannya tetap
- 2) Kecepatan kendaraan yang mendahului lebih besar dari kecepatan kendaraan yang didahului;
- 3) Perlu waktu pengambilan keputusan mendahului bila ruang untuk mendahului telah tercapai;
- 4) Apabila start terlambat pada saat menyiap, harus kembali ke lajur, dan kecepatan rata-rata saat mendahului ± 15 km/jam lebih besar dari kendaraan yang didahului;
- 5) Pada saat kembali ke jalur semula perlu jarak dengan kendaraan yang arahnya berlawanan.

Jarak pandangan diukur dari tinggi mata pengemudi ke puncak sebuah obyek. Menurut Bina Marga, tinggi mata pengukur sebesar $T = 105$ cm. Terdiri dari asumsi tinggi jok yaitu 50 cm ditambah asumsi tinggi mata orang posisi duduk sebesar 55 cm.

2.3.2. Alinyemen Horizontal

Alinemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal. Alinemen horizontal dikenal juga dengan nama “situasi jalan” atau “trase jalan”. Alinemen horizontal terdiri dari garis-garis lurus (biasa disebut “tangen”), yang

dihubungkan dengan garis lengkung. Garis lengkung tersebut dapat terdiri dari busur lingkaran ditambah dengan lengkung peralihan atau busur-busur peralihan saja ataupun busur lingkaran saja.

2.3.2.1. Panjang Bagian Lurus

Pada elemen geometrik berupa alinyemen horizontal, bila topografi berupa daerah datar, dapat terjadi bagian lurus (tangen) menjadi sangat panjang.

Dengan mempertimbangkan faktor keselamatan pemakaian jalan, ditinjau dari segi kelelahan pengemudi, maka panjang maksimum bagian jalan yang lurus harus di tempuh dalam waktu tidak lebih dari 2,50 menit (sesuai V_R). Panjang bagian lurus dapat ditetapkan pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Panjang Bagian Lurus Maksimum

Fungsi	Panjang bagian lurus maksimum (m)		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	3000	2500	2000
Kolektor	2000	1750	1500

Sumber : Bina Marga, 1997

2.3.2.2. Jari – Jari Tikungan Minimum

Kendaraan pada saat melalui tikungan dengan kecepatan (V) akan menerima gaya sentrifugal yang menyebabkan kendaraan tidak stabil. Untuk mengimbangi gaya sentrifugal tersebut, perlu dibuat suatu kemiringan melintang jalan pada tikungan yang disebut *superelevasi* (e).

Pada saat kendaraan melalui daerah superelevasi, akan terjadi gesekan arah melintang jalan antara ban kendaraan dengan permukaan aspal yang menimbulkan gaya gesekan melintang. Perbandingan gaya gesekan melintang dengan gaya normal disebut koefisien gesekan melintang (f).

Rumus umum untuk legkung horizontal adalah :

$$R = \frac{V^2}{127 (e+f)} \dots\dots\dots(2. 10)$$

$$D = \frac{25}{2 \pi R} \times 360^\circ \dots\dots\dots(2. 11)$$

Untuk menghindari terjadinya kecelakaan, maka untuk kecepatan tertentu dapat dihitung jari – jari minimum, untuk superelevasi maksimum dan koefisien gesekan maksimum dari rumus :

$$R_{\min} = \frac{V_R^2}{127 (e_{\max}+f)} \dots\dots\dots(2. 12)$$

$$D_{\max} = \frac{181913,53 (e_{\max}+f)}{V_R^2} \dots\dots\dots(2. 13)$$

Keterangan :

$R_{\min}$ = jari – jari tikungan minimum, (m)

V_R = kecepatan kendaraan rencana, (km/jam)

$e_{\max}$ = superelevasi maksimum, (%)

F = koefisien gesekan, untuk perkeerasan aspal $f=0,14 - 0,24$

D = derajat lengkung

$D_{\max}$ = derajat maksimum

Tabel 2. 11 Panjang Jari – jari Minimum (dibulatkan) untuk $e_{\max}$ 10%

V_R (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jari – Jari Minimum $R_{\min}$ (m)	600	370	210	110	80	50	30	15

Sumber : Bina Marga, 1997

Untuk kecepatan rencana < 80 km/jam berlaku $f_{\max} = - 0,00065 V + 0,192$

80 – 112 km/jam berlaku $f_{\max} = - 0,00125 V + 0,24$

2.3.2.3. Tipe Lengkung Horizontal

Pada perencanaan alinemen horizontal, umumnya akan ditemui dua bagian jalan, yaitu : bagian lurus dan bagian lengkung atau umum disebut tikungan yang terdiri dari 3 jenis tikungan yang digunakan, yaitu :

1. Lingkaran (Full Circle = F-C)
2. Spiral-Lingkaran-Spiral (Spiral- Circle- Spiral = S-C-S)
3. Spiral-Spiral (S-S)

Pemilihan desain lengkung tikungan merupakan proses yang kompleks dan berlangsung secara berulang (iteratif). Sehingga, merupakan hal yang penting untuk mengetahui tahapan-tahapan dalam penentuan jenis desain lengkung yang ideal.

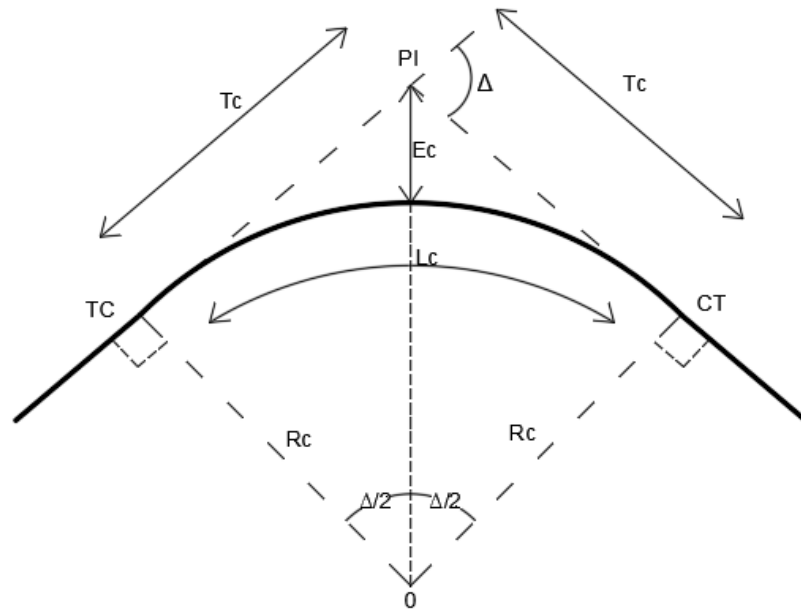
a. Lingkaran (*Full Circle =F-C*)

Full Circle (FC) adalah jenis tikungan yang hanya terdiri dari bagian suatu lingkaran saja . Tikungan FC hanya digunakan untuk jari – jari tikungan yang besar agar tidak terjadi patahan,karena dengan jari – jari kecil maka diperlukan superelevasi yang besar.

Tabel 2. 12 Jari – jari tikungan yang tidak memerlukan lengkungan peralihan

V _r (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
R _{min}	2500	1500	900	500	350	250	130	60

Sumber : Bina Marga, 1997



Gambar 2. 2 Lengkung *Full Circle*

Keterangan :

Δ = Sudut tikungan

O = Titik pusat lingkaran

Tc = Panjang tangen jarak dari TC ke PI atau PI ke CT

Rc = Jari – jari lingkaran

Lc = Panjang busur lingkara

Ec = Jarak luar dari PI ke busur lingkaran

$$Tc = Rc \cdot \text{Tg. } \frac{1}{2} \Delta \dots\dots\dots(2. 14)$$

$$Ec = \frac{Rc (1 - \cos \frac{1}{2} \Delta)}{\cos \frac{1}{2} \Delta}$$

$$Ec = Tc \cdot \text{tg. } \frac{1}{4} \Delta \dots\dots\dots(2. 15)$$

$$Lc = \frac{\Delta \cdot \pi}{180} \cdot Rc, \Delta \text{ dalam derajat} \dots\dots\dots(2. 16)$$

$$Lc = 0,01745 \Delta \cdot Rc, \Delta / \beta \text{ dalam derajat} \dots\dots\dots(2. 17)$$

$$Lc = \Delta Rc, \Delta \text{ dalam radial} \dots\dots\dots(2. 18)$$

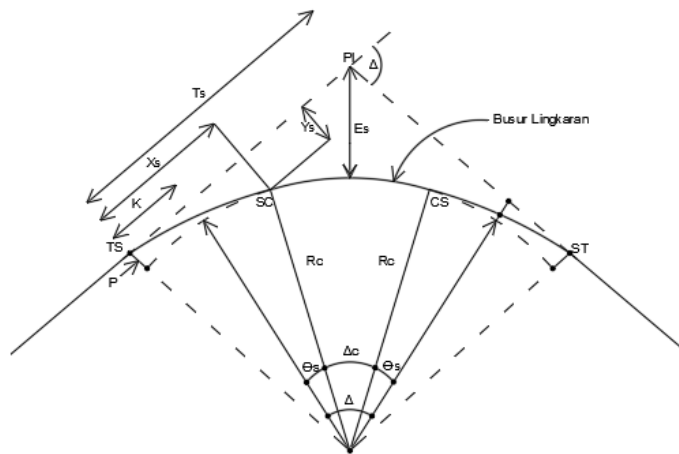
Karena lengkung hanya berbentuk busur lingkaran saja, maka pencapaian superelevasi dilakukan sebagian pada jalan yang lurus dan sebagian lagi pada bagian lengkung, sedangkan bagian lengkung peralihan tidak ada, maka panjang daerah pencapaian kemiringan disebut sebagai panjang peralihan fiktif (Ls').

Bina Marga menempatkan $\frac{3}{4} Ls'$ dibagian lurus (sebelah kiri TC atau sebelah kanan CT) dan $\frac{1}{4} Ls'$ ditempatkan dibagian lengkung (sebelah kanan TC atau sebelah kiri CT). Dengan menggambarkan diagram superelevasi, dapat ditentukan bentuk penampang melintang titik TC dan CT, serta titik-titik sepanjang lengkung. lihat Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Diagram superelevasi berdasarkan Bina Marga pada tikungan *Full Circle* (lingkaran penuh)

b. Lengkung Spiral – Circle – Spiral (S-C-S)



Gambar 2. 4 Lengkung Spiral – Lingkaran –Spiral (SCS)

Lengkung TS-SC adalah lengkung peralihan berbentuk spiral (clothoid) yang menghubungkan bagian lurus dengan radius tak terhingga di awal spiral (sebelah kiri TS) dan bagian berbentuk lingkaran dengan radius = R_c di akhir spiral (sebelah kanan SC). Titik TS adalah titik peralihan bagian lurus ke bagian berbentuk spiral dan titik SC adalah titik peralihan bagian spiral ke bagian lingkaran.

Keterangan :

X_s = Absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik Ts ke SC (jarak lurus lengkung peralihan).

Y_s = Ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen, jarak tegak lurus ke Titik SC pada lengkung.

L_s = Panjang lengkung peralihan (panjang titik TS ke SC atau CS ke ST).

L_c = Panjang busur lingkaran (panjang titik SC ke CS).

T_s = Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST.

TS = Titik dari tangen ke spiral.

SC = Titik dari spiral ke lingkaran.

E_s = Jarak dari PI ke busur lingkaran.

θ_s = Sudut lengkung spiral.

R_c = Jari – jari lingkaran.

p = Pergeseran tangen terhadap spiral.

k = Absis dari p pada garis tangen spiral.

Rumus yang dipergunakan :

$$X = L \left(1 - \frac{L^2}{40R^2} \right) \qquad Y = \frac{L^2}{6R}$$

Jika panjang lengkung peralihan dari TS ke SC adalah L_s dan R pada SC adalah R_c , maka rumus yang dipergunakan adalah :

$$X_s = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40 R_c^2} \right) \quad Y_s = \frac{L_s^2}{6 R_c}$$

Besarnya sudut spiral pada titik SC, adalah :

$$\theta_s = \frac{L_s}{2 R_c} \text{ radial} \quad \theta_s = \frac{90 L_s}{\pi R_c} \text{ derajat}$$

$$p = \frac{L_s^2}{6 R_c} - R_c (1 - \cos \theta_s) \quad k = L_s - \frac{L_s^3}{40 R_c^2} - R_c \sin \theta_s$$

Untuk $L_s = 1 \text{ m}$, $p = p'$ $k = k'$

Untuk $L_s = L_s$, $p = p' \cdot L_s$ $k = k' \cdot L_s$

Nilai p' dan k' dapat diambil dari tabel 2.13.

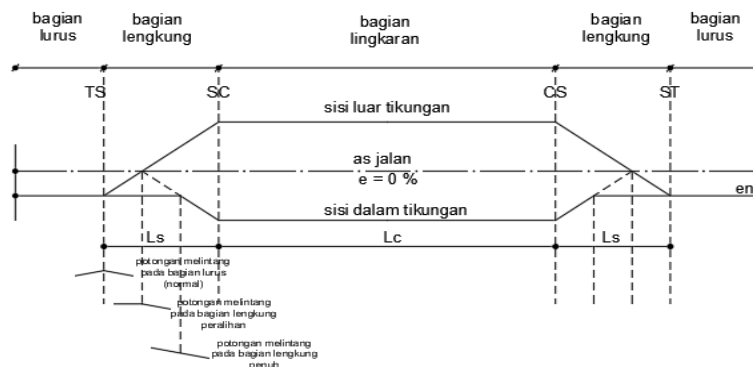
Sudut pandang busur lingkaran = Δ_c , dan sudut spiral = θ_s , Jika besar sudut perpotongan kedua tangen adalah Δ , maka :

$$\Delta_c = \Delta - \theta_s$$

$$E_s = (R_c + p) \sec \frac{1}{2} \Delta - R_c$$

$$T_s = (R_c + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k$$

$$L_s = \frac{\theta_c}{180} \pi R_c \dots\dots\dots(2. 19)$$



Gambar 2. 5 Diagram superelevasi berdasarkan Bina Marga pada tikungan *Spiral Circle Spiral (S-C-S)*

Tabel 2. 13 Besaran p' dan k'

θ_s	p'	k'
0,5	0,0007315	0,4999987
1,0	0,0014631	0,4999949
1,5	0,0021948	0,4999886
2,0	0,00290268	0,4999797
2,5	0,0036591	0,4999682
3,0	0,0043919	0,4999542
3,5	0,0051251	0,4999377
4,0	0,0058589	0,4999186
4,5	0,0065934	0,4998970
5,0	0,0073286	0,4998727
5,5	0,0080647	0,4998459
6,0	0,0088016	0,4998166
6,5	0,0095396	0,4997846
7,0	0,0102786	0,4997501
7,5	0,0110188	0,4997130
8,0	0,0117602	0,4996732
8,5	0,012503	0,4996309
9,0	0,0132471	0,4995859
9,5	0,0139928	0,4995383
10,0	0,0147400	0,4994880
10,5	0,0154888	0,4994351
11,0	0,0162394	0,4993795
11,5	0,0169919	0,4993213
12,0	0,0177462	0,4992603
12,5	0,0185025	0,4991966
13,0	0,0192608	0,4991303
13,5	0,0200213	0,4990611
14,0	0,0207840	0,4989893
14,5	0,0215490	0,4989146
15,0	0,0223165	0,4988372
15,5	0,0230863	0,4987570
16,0	0,0238588	0,4986739
16,5	0,0246338	0,4985880
17,0	0,0254116	0,4984993
17,5	0,0261921	0,4984077

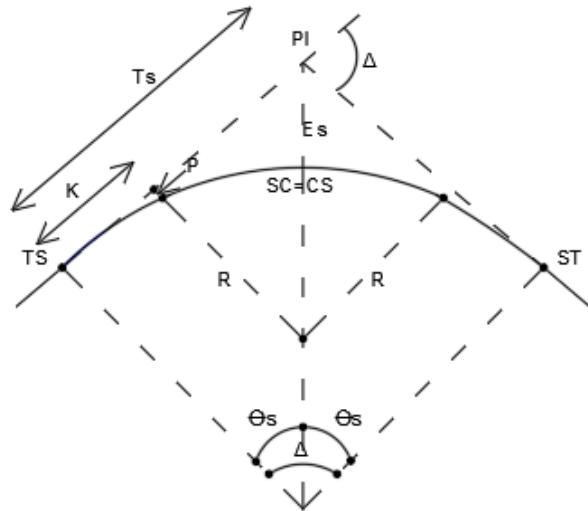
θ_s	p'	k'
20,5	0,0309385	0,4977965
21,0	0,0317409	0,4976842
21,5	0,0325466	0,4975688
22,0	0,0333559	0,4974504
22,5	0,0341687	0,4973288
23,0	0,0349852	0,4972042
23,5	0,0358055	0,4970764
24,0	0,0366296	0,4969454
24,5	0,0374576	0,4968112
25,0	0,0382895	0,4966738
25,5	0,0391255	0,4965331
26,0	0,0399657	0,4963891
26,5	0,0408101	0,4962418
27,0	0,0416587	0,4960912
27,5	0,0425117	0,4959372
28,0	0,0433692	0,4957798
28,5	0,0442312	0,4956189
29,0	0,0450978	0,4954546
29,5	0,0459690	0,4952868
30,0	0,046845	0,4951154
30,5	0,0477258	0,4949405
31,0	0,0486115	0,494762
31,5	0,0495022	0,4945798
32,0	0,0503979	0,4943939
32,5	0,0512988	0,4942044
33,0	0,0522048	0,4940111
33,5	0,0531162	0,493814
34,0	0,0540328	0,4936131
34,5	0,0549549	0,4934084
35,0	0,0558825	0,4931997
35,5	0,0568156	0,4929872
36,0	0,0577544	0,4927706
36,5	0,0586989	0,4925501
37,0	0,0596492	0,4923254
37,5	0,0606053	0,4920967

Sumber : Dasar – dasar Perencanaan Geometrik Jalan, Oleh Silvia Sukirman,1999.

18,0	0,0269756	0,4983132
18,5	0,0277619	0,4982158
19,0	0,0285513	0,4981154
19,5	0,0293438	0,4980121
20,0	0,0301396	0,4979058

38,0	0,0615673	0,4918639
38,5	0,0625354	0,4916269
39,0	0,0635095	0,4913857
39,5	0,0644897	0,4911402
40,0	0,0654762	0,4908904

c **Lengkung Spiral – Spiral (S - S)**



Gambar 2. 6 Lengkung Spiral – Spiral (SS)

Lengkung horizontal berbentuk spiral – spiral adalah lengkung tanpa busur lingkaran, sehingga titik SC berimpit dengan titik CS. Panjang busur lingkaran $L_c = 0$, dan $\theta_s = \frac{1}{2} \Delta$. Rc yang dipilih harus sedemikian rupa sehingga Ls yang dibutuhkan lebih besar dari pada Ls yang menghasilkan landai relatif minimum yang disyaratkan. Tabel 2.13 dan Tabel 2.14 hanya digunakan untuk menentukan besar superelevasi yang dibutuhkan saja. Panjang lengkung peralihan (Ls), harus dicari dari rumus :

$$L_s = \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R_c}{90} \dots\dots\dots(2. 20)$$

Dengan sudut $\theta_s = \frac{1}{2} \Delta$

Rumus lainnya dari lengkung *spiral-circle-spiral* tetap dapat digunakan, dengan memperhatikan hal khusus diatas.

Tabel 2. 14 Panjang lengkung peralihan minimum dan superelevasi yang dibutuhkan (e maksimum = 10% metoda Bina Marga)

D (O)	R (m)	V = 50 km/jam		V = 60 km/jam		V = 70 km/jam		V = 80 km/jam		V = 90 km/jam	
		e	Ls	E	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls
0,250	5730	LN	0	LN	0	LN	0	LN	0	LN	0
0,500	2865	LN	0	LN	0	LP	60	LP	70	LP	75
0,750	1910	LN	0	LP	50	LP	60	0,020	70	0,025	75
1.000	1432	LP	45	LP	50	0,021	60	0,027	70	0,033	75
1.250	1146	LP	45	LP	50	0,025	60	0,033	70	0,040	75
1.500	955	LP	45	0,023	50	0,030	60	0,038	70	0,047	75
1.750	819	LP	45	0,026	50	0,035	60	0,044	70	0,054	75
2.000	716	LP	45	0,029	50	0,039	60	0,049	70	0,060	75
2.500	573	0,026	45	0,036	50	0,047	60	0,059	70	0,072	75
3.000	477	0,030	45	0,042	50	0,055	60	0,068	70	0,081	75
3.500	409	0,035	45	0,048	50	0,062	60	0,076	70	0,089	75
4.000	358	0,039	45	0,054	50	0,068	60	0,082	70	0,095	75
4.500	318	0,043	45	0,059	50	0,074	60	0,088	70	0,099	75
5.000	286	0,048	45	0,064	50	0,079	60	0,093	70	0,100	75
6.000	239	0,055	45	0,073	50	0,088	60	0,098	70	Dmaks = 5,12	
7.000	205	0,062	45	0,080	50	0,094	60	Dmaks = 6,82			
8.000	179	0,068	45	0,086	50	0,098	60				
9.000	159	0,074	45	0,091	50	0,099	60				
10.000	143	0,079	45	0,095	60	D mak= 9,12					
11.000	130	0,083	45	0,098	60						
12.000	119	0,087	45	0,100	60						
13.000	110	0,091	50	D mak=12,79							
14.000	102	0,093	50								
15.000	95	0,096	50								
16.000	90	0,097	50								
17.000	84	0,099	60								
18.000	80	0,099	60								
19.000	75	D mak=18,85									

LN : Lereng jalan normal diasumsikan = 2%

LP : Lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat superelevasi sebesar lereng jalan normal = 2%

Ls : diperhitungkan dengan mempertimbangkan rumus modifikasi Shortt, landai relatif maksimum, jarak tempuh 2 detik, dan lebar perkerasan 2 x 3,75 m

Sumber : Dasar – dasar Perencanaan Geometrik Jalan, Oleh Silvia Sukirman,1999.

Tabel 2. 15 Panjang lengkung peralihan minimum dan superelevasi yang dibutuhkan (e maksimum = 8 % metoda Bina Marga)

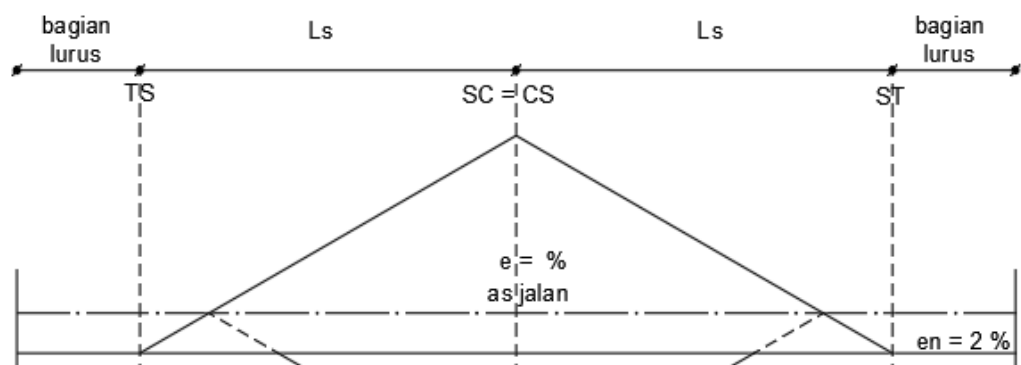
D	R	V = 50 km/jam		V = 60 km/jam		V =70 km/jam		V =80 km/jam		V = 90 km/jam	
(O)	(m)	e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls
0,25	5730	LN	0	LN	0	LN	0	LN	0	LN	0
0,50	2865	LN	0	LN	0	LN	60	LP	70	LP	75
0,75	1910	LN	0	LP	50	LP	60	LP	70	0,025	75
1,00	1432	LP	45	LP	50	LP	60	0,026	70	0,032	75
1,25	1146	LP	45	LP	50	0,025	60	0,031	70	0,038	75
1,50	955	LP	45	0,022	50	0,029	60	0,036	70	0,045	75
1,75	819	LP	45	0,025	50	0,033	60	0,041	70	0,050	75
2,00	716	LP	45	0,028	50	0,037	60	0,046	70	0,055	75
2,50	573	0,025	45	0,034	50	0,044	60	0,054	70	0,064	75
3,00	477	0,029	45	0,040	50	0,050	60	0,060	70	0,070	75
3,50	409	0,033	45	0,045	50	0,056	60	0,065	70	0,075	75
4,00	358	0,037	45	0,049	50	0,061	60	0,071	70	0,079	75
4,50	318	0,041	45	0,053	50	0,064	60	0,074	70	0,080	75
5,00	286	0,044	45	0,057	50	0,068	60	0,077	70	Dmak= 4,67	
6,00	239	0,050	45	0,063	50	0,074	60	0,080	70		
7,00	205	0,056	45	0,068	50	0,078	60	Dmak= 6,25			
8,00	179	0,060	45	0,073	50	0,080	60				
9,00	159	0,064	45	0,076	50	Dmak= 8,43					
10,00	143	0,068	45	0,078	50	LN : Lereng jalan normal diasumsikan = 2% LP : Lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat superelevasi sebesar lereng jal normal = 2% Ls : diperhitungkan dengan mempertimbangk rumus modifikasi Shortt, landai relatif maksimum, jarak tempuh 2 detik, dan					
11,00	130	0,071	45	0,079	50						
12,00	119	0,074	45	Dmak= 11,74							
13,00	110	0,076	45								
14,00	102	0,078	45								
15,00	95	0,079	45								
16,00	90	0,080	45								
17,00	84	0,080	45								
		Dmak= 17,74									

LN : Lereng jalan normal diasumsikan = 2%

LP : Lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat superelevasi sebesar lereng jalan normal = 2%

Ls : diperhitungkan dengan mempertimbangkan rumus modifikasi Shortt, landai relatif maksimum, jarak tempuh 2 detik, dan lebar perkerasan 2 x 3,75 m

Sumber : Dasar – dasar Perencanaan Geometrik Jalan, Oleh Silvia Sukirman,1999.



Gambar 2. 7 Diagram superelevasi pada tikungan *Spiral Spiral (S-S)*

2.3.2.4. Superelevasi

Superelevasi dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus, sampai ke kemiringan maksimum (superelevasi) pada bagian lengkung jalan. Dengan mempergunakan diagram superelevasi, dapat ditentukan bentuk penampang melintang pada diagram titik di suatu lengkung horizontal yang direncanakan.

Diagram superelevasi digambarkan berdasarkan elevasi sumbu jalan sebagai garis nol. Ada tiga cara dalam menggambarkan diagram superelevasi, yaitu :

- 1) Sumbu jalan dipergunakan sebagai sumbu putar.
- 2) Tepi perkerasan jalan sebelah dalam digunakan sebagai sumbu putar.
- 3) Tepi perkerasan jalan sebelah luar digunakan sebagai sumbu putar.

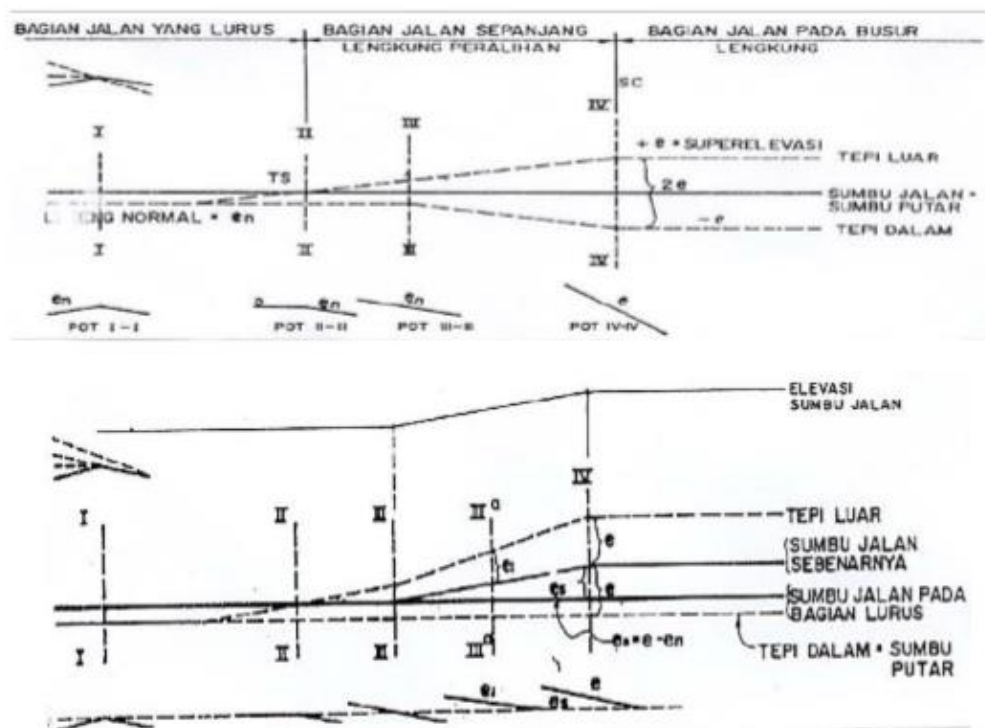
Untuk jalan raya yang mempunyai median (jalan raya terpisah), pencapaian kemiringan didasarkan pada lebar serta bentuk penampang melintang median yang bersangkutan dan dapat dilakukan dengan menggunakan ketiga cara tersebut diatas., yaitu :

- 1) Masing-masing perkerasan diputar sendiri-sendiri dengan menggunakan sumbu jalan masing-masing jalur jalan sebagai sumbu putar.

- 2) Kedua perkerasan diputar sendiri-sendiri dengan sisi median sebagai sumbu putar, sedangkan median dibuat dalam kondisi datar.
- 3) Seluruh jalur jalan termasuk median diputar dalam satu bidang yang sama, dan sumbu putarnya adalah sumbu median.

Diagram superelevasi antara cara AASHTO dan cara Bina Marga mempunyai perbedaan, yaitu :

- a. Cara AASHTO, penampang melintang sudah mulai berubah pada titik TS (Tikungan-Spiral).
- b. Cara Bina Marga, penampang melintang pada titik TS (Tikungan-Spiral) masih berbentuk penampang melintang normal.



Sumber : Dasar – dasar Perencanaan Geometrik Jalan, Oleh Silvia Sukirman, 1999.

Gambar 2. 8 Alternatif penggambaran diagram superelevasi.

Superelevasi tidak diperlukan, jika radius tikungan cukup besar. Dalam kondisi begitu, cukup lereng luar diputar, sebesar lereng normal (LP) atau bahkan tetap sebagai lereng normal (LN).

Untuk daerah yang licin akibat sering turun hujan dan berkabut sebaiknya e maksimum = 8 %, dan di daerah perkotaan yang sering terjadi kemacetan lalu lintas dianjurkan untuk menggunakan nilai e maksimum berkisar antara 4 – 6 %. Pada daerah persimpangan tempat pertemuan beberapa jalur jalan, e maksimum yang dipergunakan sebaiknya rendah, bahkan tanpa menggunakan superelevasi. AASHTO menganjurkan pemakaian beberapa nilai e maksimum yaitu 4 %, 6 %, 8 %, 10 % dan 12 %. Bina Marga untuk jalan di luar kota menganjurkan untuk menggunakan nilai e maksimum 8 % dan 10 %. Nilai e maksimum 10 % digunakan untuk kendaraan dengan kecepatan > 30 Km/jam.

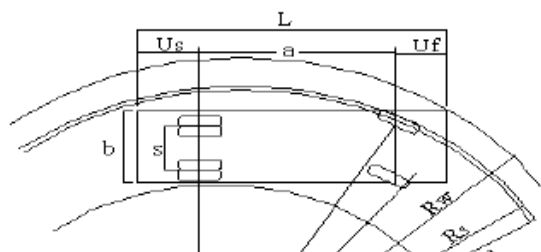
2.3.2.5. Pelebaran Perkerasan

Pelebaran perkerasan dilakukan pada tikungan-tikungan yang tajam, agar kendaraan tetap dapat mempertahankan lintasannya pada jalur yang telah disediakan. Perkerasan harus diperlebar, bila radius lengkungan lebih kecil dari 120 m, untuk menjaga agar pandangan bebas kearah samping terhadap kendaraan lain. Pelebaran tidak diperlukan lagi bilamana kecepatan rencana kurang dari 30 km/jam.

Elemen – elemen dari pelebaran perkerasan tikungan terdiri dari :

1. Off tracking (U)
2. Kesukaran dalam mengemudi di tikungan (Z)

Gambar dari pelebaran perkerasan pada tikungan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2. 9 Pelebaran Perkerasan Pada Tikungan

Rumus yang digunakan :

$$B = n(b' + c) + (n+1) Td + Z \dots\dots\dots (2. 21)$$

$$b' = b + b'' \dots\dots\dots (2. 22)$$

$$b'' = Rd^2 - \sqrt{Rd^2 - p^2} \dots\dots\dots (2. 23)$$

$$Td = \sqrt{Rd^2 - A(2p + A - Rd)} \dots\dots\dots (2. 24)$$

$$\varepsilon = B.W \dots\dots\dots (2. 25)$$

Keterangan:

B = Lebar perkerasan pada tikungan

n = Jumlah jalur lalu lintas

b = Lebar lintasan truk pada jalur lurus

b' = Lebar lintasan truk pada tikungan

p = Jarak As roda depan dengan roda belakang truk

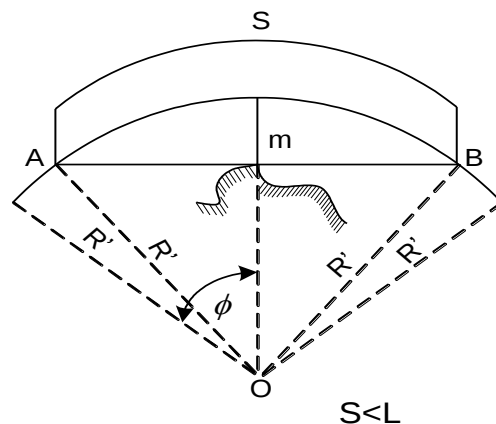
A = Tonjolan depan sampai bumper

W = Lebar perkerasan

- Td = Lebar melintang akibat tonjolan depan
- Z = Lebar tambahan akibat kelelahan pengemudi
- c = Kebebasan samping
- ϵ = Pelebaran perkerasan
- Rd = Jari-jari rencana

2.3.2.6. Jarak Pandang Pada Lengkung Horizontal

Jarak pandangan pengemudi kendaraan yang bergerak pada lajur tepi sebelah dalam sering kali dihalangi gedung – gedung, hutan – hutan kayu, tebing galian dan lain sebagainya.



Gambar 2. 10 Jarak Pandangan Pada Lengkung Horizontal untuk $S \leq L$

- Garis AB = Garis pandangan
- Lengkung AB = Jarak pandangan
- m = Jarak kebebasan samping (m)
- θ = Setengah sudut pusat lengkung sepanjang L
- S = Jarak pandang (m)
- L = Panjang busur lingkaran (m)

R' = Radius sumbu lajur sebelah dalam (m)

Rumus :

$$S = \frac{\pi \phi R'}{90} \dots\dots\dots (2. 26)$$

$$\phi = \frac{90 S}{\pi R'} = \frac{28,65 S}{R'} \dots\dots\dots (2. 27)$$

$$m = R' (1 - \cos \phi) \dots\dots\dots (2. 28)$$

2.3.3. Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah perpotongan bidang vertikal dengan bidang permukaan perkerasan jalan melalui sumbu jalan untuk jalan 2 lajur 2 arah atau melalui tepi dalam masing-masing perkerasan untuk jalan dengan median. Seringkali disebut juga sebagai penampang memanjang jalan (Sukirman,S., 1999).

Ditinjau dari titik perencanaan, bagian landai vertikal dapat berupa landai positif (tanjakan), atau landai negatif (turunan), sehingga terdapat kombinasi yang berupa lengkung cembung dan lengkung cekung, serta akan ditemui pula kelandaian nol (datar).

2.3.3.1. Landai Maksimum

Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh mampu bergerak dengan kecepatan tidak kurang dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah. Berikut adalah tabel untuk kelandaian maksimum yang diijinkan berdasarkan kecepatan rencana:

Tabel 2. 16 Kelandaian Maksimum yang Diijinkan

Landai _{maks} , (%)	3	3	4	5	8	9	10	10
V _r , (km/jam)	120	110	100	80	60	50	40	40

Sumber: TPGJAK NO.038/T/BM/1997

2.3.3.2. Landai Minimum

Pada jalan yang menggunakan kerb pada tepi perkerasannya, perlu dibuat kelandaian minimum 0,5 % untuk keperluan kemiringan saluran samping, karena kemiringan jalan dengan kerb hanya cukup untuk mengalirkan air kesamping.

2.3.3.3. Panjang Kritis landai

Panjang kritis suatu kelandaian diperlukan sebagai batasan panjang kelandaian maksimum agar pengurangan kecepatan kendaraan tidak lebih dari separuh V_R . Berikut adalah panjang kritis yang dapat digunakan berdasarkan kecepatan pada awal tanjakan dan kelandaian:

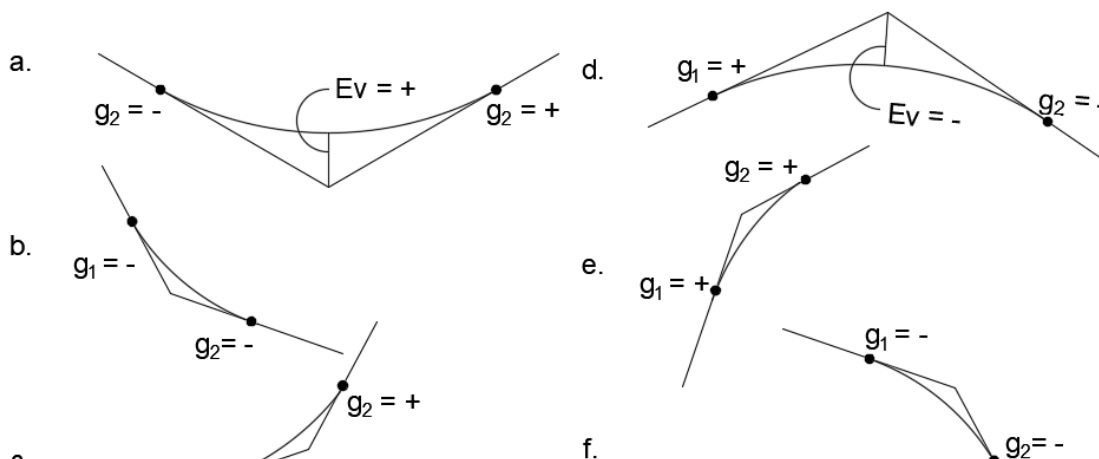
Tabel 2. 17 Panjang Kritis, (m)

Kecepatan pada awal tanjakan, (km/jam)	Kelandaian, (%)						
	4	5	6	7	8	9	10
80	630	460	360	270	230	230	200
60	320	210	160	120	110	90	80

Sumber: TPGJAK NO.038/T/BM/1997

2.3.3.4. Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal harus disediakan pada setiap lokasi yang mengalami perubahan kelandaian dengan tujuan mengurangi guncangan akibat perubahan kelandaian dan menyediakan jarak pandang henti. Lengkung vertikal dapat berbentuk salah satu dari enam kemungkinan pada gambar 2.11.



Sumber : *Dasar – dasar Perencanaan Geometrik Jalan, Oleh Silvia Sukirman, 1999.*

Gambar 2. 11 Jenis lengkung vertikal dilihat dari titik perpotongan kedua tangen

Panjang lengkung vertikal dapat dihitung dengan berdasarkan kepada beberapa pertimbangan sebagai berikut :

$$g = \frac{\text{elevasi akhir} - \text{elevasi awal}}{\text{Sta akhir} - \text{sta awal}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2. 29)$$

$$A = g_1 - g_2 \quad \dots\dots\dots (2. 30)$$

$$Ev = \frac{A \times Lv}{800} \quad \dots\dots\dots (2. 31)$$

$$y = \frac{A \times x^2}{200 \times Lv} \quad \dots\dots\dots (2. 32)$$

Berdasarkan syarat keluwesan bentuk :

$$Lv = 0,6 \times V \quad \dots\dots\dots (2. 33)$$

Berdasarkan syarat drainase :

$$Lv = 40 \times A \quad \dots\dots\dots (2. 34)$$

Berdasarkan syarat kenyamanan pengemudi :

$$Lv = V \times t \quad \dots\dots\dots (2. 35)$$

Berdasarkan pengurangan goncangan :

$$Lv = \frac{V^2 \times A}{360} \quad \dots\dots\dots (2. 36)$$

Keterangan :

L_v = Panjang lengkung vertikal (m)

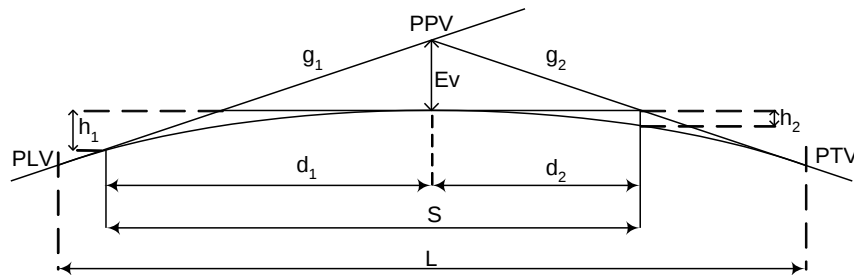
V = Kecepatan rencana (km/jam)

A = Perbedaan grade / kelandaian (%)

t = ditentukan 3 detik

a. Lengkung vertikal cembung

Pada lengkung vertikal cembung, pembatasan berdasarkan jarak pandangan dapat dibedakan atas 2 keadaan yaitu:



Gambar 2. 12 Jarak pandangan pada lengkung vertikal cembung ($S < L$)

Keterangan :

PLV = Titik awal lengkung parabola

PPV = Titik perpotongan kelandaian g_1 dan g_2

g = Kemiringan tangen : (+) naik, (-) turun

A = Perbedaan aljabar landai ($g_2 - g_1$) %

E_v = Pergeseran vertikal titik tengah besar lingkaran (PPV – m) meter

S = Jarak pandang

d_1 = Tinggi mata pengaruh

d_2 = Tinggi halangan

➤ Jarak pandang berada seluruhnya dalam daerah lengkung ($S < L$).

- Jarak Pandangan henti menurut Metode Bina marga

$$L = \frac{A.S^2}{399} \dots\dots\dots (2.37)$$

- Jarak Pandangan menyiap menurut Metode Bina marga

$$L = \frac{A.S^2}{960} \dots\dots\dots (2.38)$$

➤ Jarak pandangan berada diluar dan didalam daerah lengkung ($S > L$)

- Jarak Pandangan Henti Menurut Bina Marga

$$L = 2.S - \frac{399}{A} \dots\dots\dots (2.39)$$

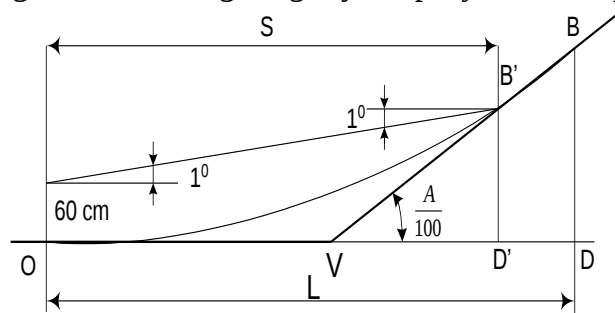
- jarak Pandangan menyiap Menurut Bina Marga

$$L = 2.S - \frac{960}{A} \dots\dots\dots (2.40)$$

b. Lengkung vertikal cekung

Lengkung vertikal cekung adalah lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangent berada di bawah permukaan jalan.

- Lengkung vertikal cekung dengan jarak penyinaran lampu depan $< L$.



Gambar 2. 13 Lengkung vertikal cekung dengan jarak pandangan penyinaran lampu depan $< L$

$$DB = \frac{A}{100} - \frac{L}{2}$$

$$D'B' = \left(\frac{S}{L} \right)^2 (DB)$$

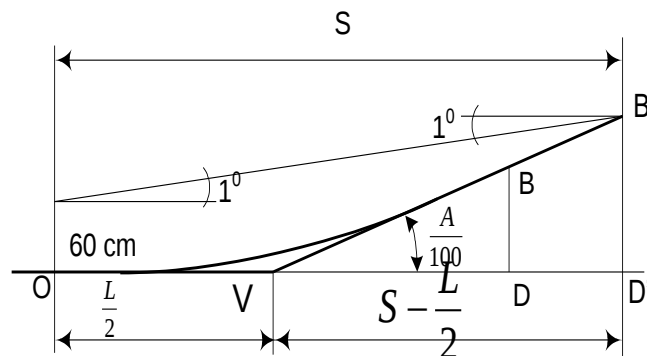
$$D'B' = \frac{S^2 A}{200 L}$$

$$\text{Tg } 1^\circ = 0,0175$$

$$\frac{S^2 A}{200 L} = 0,60 + S \text{ tg } 1^\circ$$

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3,50 S} \dots\dots\dots (2. 41)$$

- lengkung vertikal cekung dengan jarak penyinaran lampu depan > L.



Gambar 2. 14 Lengkung vertikal cekung dengan jarak pandangan penyinaran lampu depan > L.

$$D'B' = \frac{A}{100} (S - \frac{1}{2} L)$$

$$= 0,60 + S \text{ tg } 1^\circ$$

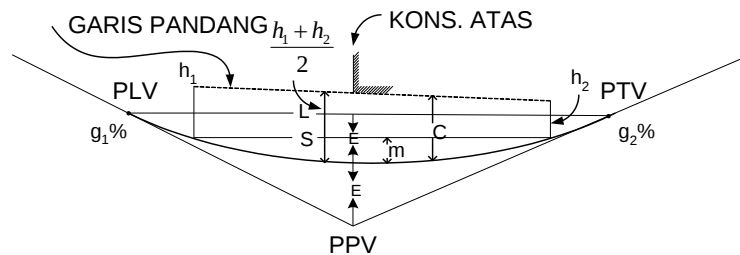
$$= 0,60 + 0,0175 S$$

$$\frac{A}{100} (S - \frac{1}{2}L) = 0,60 + 0,0175 S$$

$$L = 2S - \frac{120 + 3,5 S}{A} \dots\dots\dots (2. 42)$$

- Jarak pandangan $S < L$

Diasumsikan titik PPV berbeda di bawah bangunan



Gambar 2. 15 Jarak pandangan bebas di bawah bangunan pada lengkung vertikal cekung dengan $S < L$.

Rumus:

$$\left(\frac{S}{L}\right)^2 = \frac{m}{E} \quad ; \quad E = \frac{AL}{800}$$

$$\left(\frac{S}{L}\right)^2 = \frac{800 m}{AL}$$

$$L = \frac{S^2 A}{800 m} \quad ; \quad m = \frac{S^2 A}{800 m}$$

Jika jarak bebas dari bagian bawah bangunan atas ke jalan adalah C, maka :

$$m = C - \frac{h_1 - h_2}{2}$$

$$\frac{S^2 A}{800 L} = C - \frac{h_1 - h_2}{2}$$

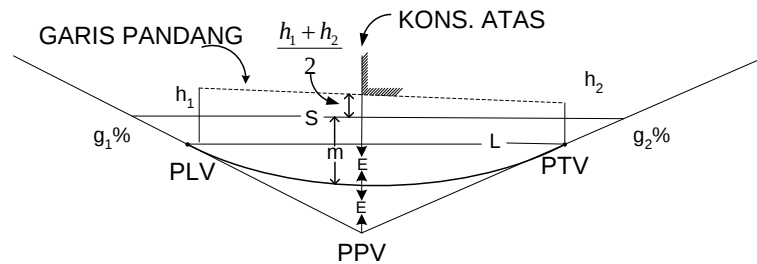
$$L = \frac{S^2 A}{800 C - 400(h_1 + h_2)} \dots\dots\dots (2.43)$$

Jika ; $h_1 = 1,80 \text{ m}$, $h_2 = 0,50 \text{ m}$, $C = 5,50 \text{ m}$, maka

$$L = \frac{A S^2}{3480} \dots\dots\dots (2.44)$$

- Jarak pandangan

Diasumsikan titik PPV berada di bawah bangunan



Gambar 2. 16 Jarak pandangan bebas di bawah bangunan pada lengkung vertikal cekung dengan $S > L$

Rumus :

$$\frac{S}{L} = \frac{E + m}{2E}$$

$$\frac{S}{L} = \frac{1}{2} + \frac{m}{2E}$$

$$E = \frac{AL}{800}$$

$$m = C - \frac{h_1 - h_2}{2}$$

$$L = 2S - \frac{800C - 400(h_1 + h_2)}{S^2 A} \dots\dots\dots (2.45)$$

Jika ; $h_1 = 1,80$ m, $h_2 = 0,50$ m, $C = 5,50$ m, maka

$$L = 2S - \frac{3480}{A} \dots\dots\dots (2.46)$$

Berdasarkan Bentuk Visual Lengkung Vertikal Cekung

$$L = \frac{AV^2}{380}$$

V = kecepatan rencana, km/jam.

A = perbedaan aljabar landai.

L = panjang lengkung vertikal cekung.

2.4. Galian Dan Timbunan

Cara menghitung volume galian maupun timbunan dari gambar potongan melintang. Dari gambar-gambar tersebut dapat dihitung luas galian dan timbunan, sedangkan masing-masing jarak antara profil dapat dilihat dari potongan memanjang. Berikut adalah tabel cara perhitungan galian dan timbunan:

Tabel 2. 18 Perhitungan Galian dan Timbunan

Pot	sta	Luas penampang melintang (m ²)				Jarak (m)	Volume (m ²)	
		G	T	Rata-rata			G	T
				G	T			
	1	AG1	AT1					
				AG1+AG2	AT1+AT2			
	2	AG2	AT2	2	2	J	$J \left(\frac{AG1 + AG2}{2} \right)$	$J \left(\frac{AT1 + AT2}{2} \right)$
				AG2+AG3	AT2+AT3			
				2	2	J	$J \left(\frac{AG2 + AG3}{2} \right)$	$J \left(\frac{AT2 + AT3}{2} \right)$
Jumlah							$J \left(\frac{AG1 + AG2}{2} \right)$	$J \left(\frac{AT1 + AT2}{2} \right)$

2.5. Perencanaan Drainase

Drainase didefinisikan sebagai tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi suatu kawasan / lahan, sehingga fungsi kawasan / lahan tidak terganggu (Suripin, 2004).

Perencanaan drainase merupakan satu kesatuan yang sulit dipisahkan dalam perencanaan jalan raya, karena dengan adanya sistem drainase yang baik diharapkan dapat membuang lipasan air hujan dari permukaan jalan yang dapat mempengaruhi keawetan jalan dan keamanan bagi para pengguna jalan.

Dasar perencanaan drainase pada jalan lingkaran utara ruas jalan Garuda – jalan Moh Hatta yaitu dengan mengumpulkan data-data curah hujan maksimum pada stasiun hujan yang terdekat dengan lokasi proyek.

Data yang ideal adalah data yang sesuai dengan yang dibutuhkan. Tetapi dalam praktek sangat sering dijumpai data yang tidak lengkap, hal ini dapat disebabkan beberapa hal, antara lain :

- a. kerusakan alat
- b. kelalaian petugas
- c. penggantian alat
- d. bencana (pengrusakan) dan sebagainya

Dalam memperkirakan besarnya data yang hilang, harus diperhatikan pula pola penyebaran hujan pada stasiun yang bersangkutan maupun stasiun-stasiun sekitarnya.

Rumus yang digunakan untuk mencari data curah hujan yang hilang:

$$P_x = \left(\frac{P_A + P_B + P_C}{n} \right) \dots\dots\dots (2. 47)$$

dengan :

P_x = curah hujan yang hilang,

P_A, P_B, P_C = curah hujan pada stasiun A,B,C,

n = jumlah stasiun.

2.5.1. Analisis Hidrologi

Analisis dilakukan berdasarkan data curah hujan, topografi daerah, karakteristik daerah pengairan, serta perhitungan frekuensi banjir rencana.

Hasil analisis hidrologi adalah besarnya debit air yang harus ditampung oleh saluran drainase permukaan jalan. Dari besaran debit air rencana, selanjutnya dapat diperhitungkan dimensi saluran drainase permukaan samping jalan berdasarkan analisa/perhitungan hidrolika.

2.5.1.1. Analisa Curah Hujan

a. Metode Rata-rata Aljabar

Merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan curah hujan. Metode rata-rata aljabar adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan didalam dan sekitar daerah yang dianalisis.

$$R = 1/n (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2.48)$$

Keterangan :

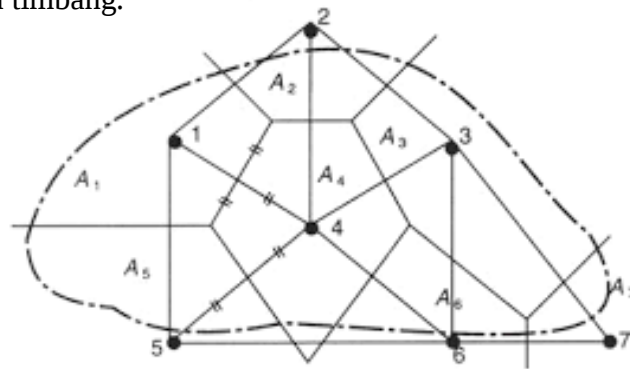
R = Curah hujan daerah

n = jumlah titik atau pos pengamatan

R₁, R₂, ..., R_n = curah hujan disetiap titik pengamatan

b. Metode Poligon Thiessen

Metode poligon thiessen adalah perhitungan curah hujan yang dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan jika titik-titik didalam daerah pengamatan tidak tersebar merata. Metode ini sering digunakan pada analisis hidrologi karena lebih teliti dan obyektif dibanding metode lainnya, dan dikenal juga sebagai metode rata – rata timbang.



Gambar 2. 17 Metode Polygon Thiessen

$$\bar{R} = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + \dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.49)$$

Keterangan :

$\bar{R}$ = hujan rata rata suatu DAS

R = hujan di tiap tiap stasiun

A = Luas area dibatasi polygon

c. Metode Isohyet

Metode isohyet adalah cara rasional yang terbaik jika garis-garis isohyet dapat digambar dengan teliti.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1} + 2}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (2.50)$$

atau

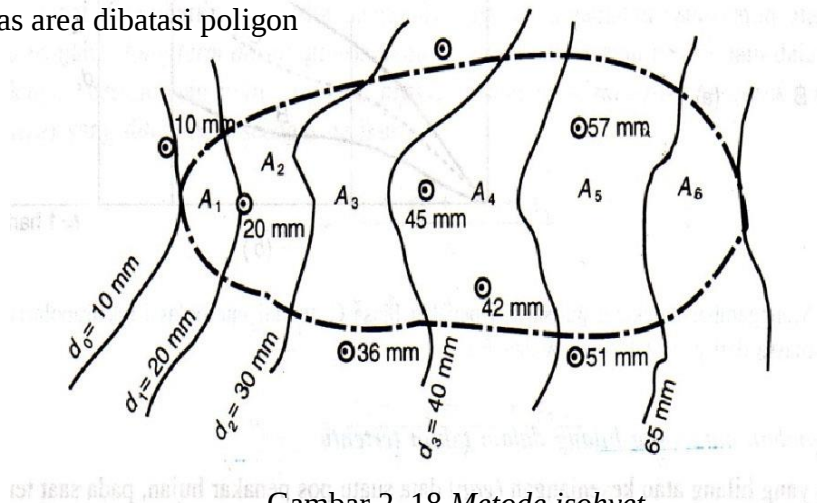
$$\bar{R} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.51)$$

Keterangan :

$\bar{R}$ = hujan rata rata suatu DAS

I = garis isohyet ke i

A = Luas area dibatasi poligon



Gambar 2. 18 Metode isohyet

2.5.1.2. Cara Memilih Metoda

Pemilihan metoda mana yang cocok dipakai pada suatu DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga factor berikut :

1. Jaring – jarring pos penakar hujan
2. Luas DAS
3. Topografi DAS

Tabel 2. 19 Cara Memilih Metoda Curah Hujan

Faktor - Faktor	Syarat - Syarat	Jenis Metoda
Jaring - jaring pos penakar hujan dalam DAS	Jumlah pos penakar hujan cukup	Metoda <i>Isohiet</i> , Metoda Rata - Rata Aljabar atau Metoda <i>Thiessen</i> bisa dipakai
	Jumlah pos penakar hujan terbatas	Metoda Rata - Rata Aljabar atau Metoda <i>Thiessen</i>
	Pos penakar hujan tunggal	Metoda Hujan Titik
Luas DAS	DAS Besar ($>5000 \text{ km}^2$)	Metoda <i>Isohiet</i>
	DAS Sedang (500 s/d 5000 km^2)	Metoda <i>Thiessen</i>
	DAS Kecil ($<500 \text{ km}^2$)	Metoda Rata - Rata Aljabar
Topografi DAS	Pegunungan	Metoda Rata - Rata Aljabar
	Dataran	Metoda <i>Thiessen</i>
	Berbukit dan tidak beraturan	Metoda <i>Isohiet</i>

Sumber: Suripin, 2004

2.5.2. Analisis Frekuensi

Tujuan analisis frekuensi data hidrologi berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi terjadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan.

Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan dimasa yang akan datang akan masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu.

Analisis frekuensi dapat menggunakan beberapa macam distribusi, parameter pemilihan jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 2.20

Tabel 2. 20 Parameter Pemilihan Jenis Distribusi

Jenis Sebaran	Kriteria
Log Normal	$Cs = 3 Cv + Cv^2 = 0,159$
	$Cv = 0,06$
Log Pearson Tipe III	$Cs \neq 0$
	$Cv = 0,3$
Gumble	$Cs \leq 1,1396$
	$Ck \leq 5,4002$
Normal	$Cs = 0$
	$Ck = 3$

Sumber : Suripin 2004

a. Distribusi Gumble

$$X_T = \bar{X} + \left[\frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \right] \times STDEV \dots\dots\dots (2.52)$$

$$X_T = \bar{X} + K \times STDEV \dots\dots\dots (2.53)$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left[\ln \frac{T_r}{T_r - 1} \right] \dots\dots\dots (2.54)$$

Keterangan :

X_T = CH / intensitas hujan pada periode T_r

Y_{tr} = factor ln dari T_r

Y_n = reduce mean factor. Nilai Y_n dapat dilihat pada Tabel 2.22

S_n = reduce standard deviation. Nilai S_n dapat dilihat pada Tabel 2.23

T_r = tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun dst)

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata hitung variant

STDEV = Deviasi standar nilai variant

K = Faktor probabilitas, nilai K = $Y_{tr} - Y_n / S_n$

b. Distribusi Normal

$$X_T = \bar{X} + K_T \times STDEV \dots\dots\dots (2. 55)$$

Keterangan :

X_T = CH / intensitas hujan pada periode T_r

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata hitung variant

STDEV = Deviasi standar nilai variant

K_T = Variabel reduksi gauss. Nilai K_T dapat dilihat pada Tabel 2.21

Tabel 2. 21 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang	Peluang	K_T
1	1,001	0,999	-3,050
2	1,005	0,995	-2,580
3	1,010	0,990	-2,330
4	1,050	0,952	-1,640
5	1,110	0,901	-1,280
6	1,250	0,800	-0,840
7	1,330	0,752	-0,670
8	1,430	0,699	-0,520
9	1,670	0,599	-0,250
10	2,000	0,500	0,000
11	2,500	0,400	0,250
12	3,330	0,300	0,520
13	4,000	0,250	0,670
14	5,000	0,200	0,840
15	10,000	0,100	1,280

No	Periode Ulang	Peluang	K _T
16	20,000	0,050	1,640
17	50,000	0,020	2,050
18	100,000	0,010	2,330
19	200,000	0,005	2,580
20	500,000	0,002	2,880
21	1000,000	0,001	3,090

Sumber : Suripin, 2004

Tabel 2. 22 Nilai Yn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5225	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,538	0,5388	0,5402	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5432
40	0,5436	0,5422	0,5448	0,5453	0,5463	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5504	0,5504	0,5508	0,5511	0,5519	0,5518
60	0,5521	0,5534	0,5527	0,5530	0,5535	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5552	0,5555	0,5555	0,5561	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5580	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5595	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599

Sumber : Suripin, 2004

Tabel 2. 23 Nilai Sn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	0,0628	1,0696	1,0696	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	0,1124	1,1159	1,1159	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	0,1413	1,1436	1,1436	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,159
50	0,1607	1,1623	1,1623	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	0,1747	1,1759	1,1759	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	0,1859	1,1866	1,1863	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	0,1938	1,1945	1,1945	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	0,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060

Sumber : Suripin, 2004

c. Distribusi Log Person Tipe III

$$\log(X_T) = \log(\bar{X}) + K \cdot STDEV \dots\dots\dots (2. 56)$$

$$X_T = 10^{(\log(\bar{X}) + K \cdot STDEV)} \dots\dots\dots (2. 57)$$

Keterangan :

X_T = CH/intensitas hujan pada T_r

K = Variabel standar bergantung C_s dan G

$STDEV$ = Standard deviation

T_r = tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun dst)

d. Distribusi Log Normal

$$\log(X_T) = \log(\bar{X}) + K_T \cdot STDEV \dots\dots\dots (2. 58)$$

$$X_T = 10^{(\log(\bar{X}) + K_T \cdot STDEV)} \dots\dots\dots (2. 59)$$

Keterangan :

K_T = Variabel reduksi gauss, terdapat pada Tabel 2.21

2.5.3. Pengujian Kecocokan Fungsi Distribusi

a. Uji Chi-Square

Uji Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca didalam kelas tersebut, dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(o_f - E_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots (2. 60)$$

$$K = 1 + 3,322 \times \text{Log}(n) \dots\dots\dots (2. 61)$$

$$Dk = K - (p + 1) \dots\dots\dots (2. 62)$$

Keterangan :

χ^2 = Parameter Chi-Kuadrat terhitung.

Ef = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya.

Of = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama.

n = Jumlah sub kelompok.

Dk = Derajat kebebasan.

p = Banyaknya parameter, untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2.

K = Jumlah kelas distribusi.

Jika $\chi^2_{\text{terhitung}} < \chi^2_{\text{kritis}}$, maka metode distribusi dapat diterima. Harga kritis Chi-Square terdapat pada Tabel 2.25

b. Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non parametric, dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk setiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat berbeda (D). Perbedaan maksimum yang dihitung (Dmaks) dibandingkan dengan perbedaan kritis (Dcr) untuk satu derajat nyata dan banyaknya varian tertentu.

$$P = \frac{m}{n + 1} 100\% \dots\dots\dots (2. 63)$$

Keterangan :

P = probabilitas (%)

m = nomor urut data dari seri data yang telah disusun

n = banyaknya data

Jika $(D_{maks}) < (D_{cr})$ maka sebaran sesuai dan dapat diterima. Harga kritis kolmogorov-smirnov terdapat pada Tabel 2.24

Tabel 2. 24 Harga kritis smirnov-kolmogorov

n	A			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
> 50	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Tabel 2. 25 Harga kritis chi-square

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,0001570	0,0009820	0,0039300	3,8410000	5,0240000	6,6350000	7,8790000
2	0,0100000	0,0201000	0,0506000	0,1030000	5,9910000	7,3780000	9,2100000	10,5970000
3	0,0717000	0,1150000	0,2160000	0,3520000	7,8150000	9,3480000	11,3450000	12,8380000
4	0,2070000	0,2970000	0,4840000	0,7110000	9,4880000	11,1430000	13,2770000	14,8600000
5	0,4120000	0,5540000	0,8310000	1,1450000	11,0700000	12,8320000	15,0860000	16,7500000
6	0,6760000	0,8720000	1,2370000	1,6350000	12,5920000	14,4490000	16,8120000	18,5480000
7	0,9890000	1,2390000	1,6900000	2,1670000	14,0670000	16,0130000	18,4750000	20,2780000
8	1,3440000	1,6460000	2,1800000	2,7330000	15,5070000	17,5350000	20,0900000	21,9550000
9	1,7350000	2,0880000	2,7000000	3,3250000	16,9190000	19,0230000	21,6660000	23,5890000
10	2,1560000	2,5580000	3,2470000	3,9400000	18,3070000	20,4830000	23,2090000	25,1880000
11	2,6030000	3,0530000	3,8160000	4,5750000	19,6750000	21,9200000	24,7250000	26,7570000
12	3,0740000	3,5710000	4,4040000	5,2260000	21,0260000	23,3370000	26,2170000	28,3000000
13	3,5650000	4,1070000	5,0090000	5,8920000	22,3620000	24,7360000	27,3880000	29,8190000
14	4,0750000	4,6600000	5,6290000	6,5710000	23,6850000	26,1190000	29,1410000	31,3190000
15	4,6010000	5,2290000	6,2620000	7,2610000	24,9960000	27,4480000	30,5780000	32,8010000
16	5,1420000	5,8120000	6,9080000	7,9620000	26,2960000	28,8450000	32,0000000	34,2670000

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
17	5,6970000	6,4080000	7,5640000	8,6720000	27,5870000	30,1910000	33,4090000	35,7180000
18	6,6250000	7,0150000	8,2310000	9,3900000	28,8690000	31,5260000	34,8050000	37,1560000
19	6,8440000	7,6330000	8,9070000	10,1170000	30,1140000	32,8520000	36,1910000	38,5820000
20	7,4340000	8,2600000	9,5910000	10,8510000	31,1400000	34,1700000	37,5660000	39,9970000
21	8,0340000	8,8970000	10,2830000	11,5910000	32,6710000	35,4790000	38,9320000	41,4010000
22	8,6430000	9,5420000	10,9820000	12,3380000	33,9240000	36,7810000	40,2890000	42,7960000
23	9,2600000	10,1960000	11,6890000	13,0910000	36,1720000	38,0760000	41,6380000	44,1810000
24	9,8860000	10,8560000	12,4010000	13,8480000	36,4150000	39,3640000	42,9800000	45,5580000
25	10,5200000	11,5240000	13,1200000	14,6110000	37,6520000	40,6460000	44,3140000	46,9280000
26	11,1600000	12,1980000	13,8440000	15,3790000	38,8850000	41,9230000	45,6420000	48,2900000
27	11,8080000	12,8790000	14,5730000	16,1510000	40,1130000	43,1940000	46,9630000	49,6450000
28	12,4610000	13,5650000	15,3080000	16,9280000	41,3370000	44,4610000	48,2780000	50,9930000
29	13,1210000	14,2560000	16,0470000	17,7080000	42,5570000	45,7220000	49,5880000	52,3360000
30	13,7870000	14,9530000	16,7910000	18,4930000	43,7330000	46,9790000	50,8920000	53,6720000

Sumber : Suripin, 2004

Tabel 2. 26 Distribusi log person tipe III untuk koefisien skewness (Cs)

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
	99	95	90	80	60	50	40	20	10	5	4	2	1	0,5	0,1
3,0	- 0,667	- 0,665	- 0,660	- 0,636	- -0,4760	- 0,396	- -0,1240	- 0,420	- 1,180	- 2,0950	- 2,278	- 3,152	- 4,051	- 4,970	- 7,250
2,5	- 0,799	- 0,790	- 0,771	- 0,711	- -0,4770	- 0,360	- -0,0673	- 0,518	- 1,250	- 2,0933	- 2,262	- 3,048	- 3,845	- 4,652	- 6,600
2,2	- 0,905	- 0,882	- 0,844	- 0,752	- -0,4707	- 0,330	- -0,0287	- 0,574	- 1,284	- 2,0807	- 2,240	- 2,970	- 3,705	- 4,444	- 6,200
2,0	- 0,990	- 0,949	- 0,895	- 0,777	- -0,4637	- 0,307	- -0,0017	- 0,609	- 1,302	- 2,0662	- 2,219	- 2,912	- 3,605	- 4,298	- 5,910
1,8	- 1,087	- 1,020	- 0,945	- 0,799	- -0,4543	- 0,282	- 0,0263	- 0,643	- 1,318	- 2,0472	- 2,193	- 2,848	- 3,499	- 4,147	- 5,660
1,6	- 1,197	- 1,093	- 0,994	- 0,817	- -0,4417	- 0,254	- 0,0557	- 0,675	- 1,329	- 2,0240	- 2,163	- 2,780	- 3,388	- 3,990	- 5,390
1,4	- 1,318	- 1,168	- 1,041	- 0,832	- -0,4273	- 0,225	- 0,0850	- 0,705	- 1,337	- 1,9962	- 2,128	- 2,706	- 3,271	- 3,828	- 5,110
1,2	- 1,449	- 1,243	- 1,086	- 0,844	- -0,4113	- 0,196	- 0,1140	- 0,732	- 1,340	- 1,9625	- 2,087	- 2,626	- 3,149	- 3,661	- 4,820
1,0	- 1,588	- 1,317	- 1,128	- 0,852	- -0,3933	- 0,164	- 0,1433	- 0,758	- 1,340	- 1,9258	- 2,043	- 2,542	- 3,022	- 3,489	- 4,540

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
0,9	- 1,660	- 1,353	- 1,147	- 0,854	- -0,3833	- 0,148	- 0,1577	- 0,769	- 1,339	- 1,9048	- 2,018	- 2,498	- 2,957	- 3,401	- 4,395
0,8	- 1,733	- 1,388	- 1,116	- 0,856	- -0,3733	- 0,132	- 0,1720	- 0,780	- 1,336	- 1,8877	- 1,998	- 2,453	- 2,891	- 3,312	- 4,250
0,7	- 1,806	- 1,423	- 1,183	- 0,857	- -0,3630	- 0,116	- 0,1860	- 0,790	- 1,333	- 1,8613	- 1,967	- 2,407	- 2,824	- 3,223	- 4,105
0,6	- 1,880	- 1,458	- 1,200	- 0,857	- -0,3517	- 0,099	- 0,2007	- 0,800	- 1,328	- 1,8372	- 1,939	- 2,359	- 2,755	- 3,132	- 3,960
0,5	- 1,955	- 1,491	- 1,216	- 0,856	- -0,3407	- 0,083	- 0,2140	- 0,808	- 1,323	- 1,8122	- 1,910	- 2,311	- 2,686	- 3,041	- 3,815
0,4	- 2,029	- 1,524	- 1,231	- 0,855	- -0,3290	- 0,066	- 0,2280	- 0,816	- 1,317	- 1,7862	- 1,880	- 2,261	- 2,615	- 2,949	- 3,670
0,3	- 2,104	- 1,555	- 1,245	- 0,853	- -0,3177	- 0,050	- 0,2413	- 0,824	- 1,309	- 1,7590	- 1,849	- 2,211	- 2,544	- 2,856	- 3,525
0,2	- 2,178	- 1,586	- 1,258	- 0,850	- -0,3053	- 0,033	- 0,2547	- 0,830	- 1,301	- 1,7318	- 1,818	- 2,159	- 2,472	- 2,763	- 3,380
0,1	- 2,252	- 1,616	- 1,270	- 0,846	- -0,2933	- 0,017	- 0,2673	- 0,836	- 1,292	- 1,7028	- 1,785	- 2,107	- 2,400	- 2,670	- 3,235
0,0	- 2,326	- 1,645	- 1,282	- 0,842	- -0,2807	- 0,000	- 0,2807	- 0,842	- 1,282	- 1,6728	- 1,751	- 2,054	- 2,326	- 2,576	- 3,090

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
-0,1	- 2,400	- 1,673	- 1,292	- 0,836	- -0,2673	0,017	0,2900	0,836	1,270	1,6417	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
-0,2	- 2,472	- 1,700	- 1,301	- 0,830	- -0,2547	0,033	0,3053	0,850	1,258	1,6097	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	- 2,544	- 1,726	- 1,309	- 0,824	- -0,2413	0,050	0,3177	0,853	1,245	1,5767	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	- 2,615	- 1,750	- 1,317	- 0,816	- -0,2280	0,066	0,3290	0,855	1,231	1,5435	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	- 2,686	- 1,774	- 1,323	- 0,808	- -0,2140	0,083	0,3407	0,856	1,216	1,5085	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	- 2,755	- 1,797	- 1,328	- 0,800	- -0,2007	0,099	0,3517	0,857	1,200	1,4733	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	- 2,824	- 1,819	- 1,333	- 0,790	- -0,1860	0,116	0,3630	0,857	1,183	1,4372	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	- 2,891	- 1,839	- 1,336	- 0,780	- -0,1720	0,132	0,3733	0,856	1,166	1,4010	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	- 2,957	- 1,858	- 1,339	- 0,769	- -0,1577	0,148	0,3833	0,854	1,147	1,3637	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	- 3,022	- 1,877	- 1,340	- 0,758	- -0,1433	0,164	0,3933	0,852	1,128	1,3263	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
-1,2	- 3,149	- 1,910	- 1,340	- 0,732	- -0,1140	0,195	0,4113	0,844	1,086	1,2493	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	- 3,271	- 1,938	- 1,337	- 0,705	- -0,0850	0,225	0,4273	0,832	1,041	1,1718	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	- 3,388	- 1,962	- 1,329	- 0,675	- -0,0557	0,254	0,4417	0,817	0,994	1,0957	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
-1,8	- 3,499	- 1,981	- 1,318	- 0,643	- -0,0263	0,282	0,4543	0,799	0,945	1,0200	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	- 3,605	- 1,996	- 1,302	- 0,600	- 0,0047	0,307	0,4637	0,777	0,895	0,9483	0,969	0,980	0,990	0,995	1,000
-2,2	- 3,705	- 2,006	- 1,284	- 0,574	- 0,0287	0,330	0,4707	0,752	0,844	0,8807	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	- 3,845	- 2,012	- 1,250	- 0,518	- 0,0673	0,360	0,4770	0,711	0,771	0,7893	0,793	0,798	0,799	0,802	0,802
-3,0	- 4,051	- 2,003	- 1,180	- 0,420	- 0,1240	0,396	0,4760	0,636	0,660	0,6650	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Sumber : Soemarto, C.D. 1987

2.5.4. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas - Durasi - Frekuensi (IDF = *Intensity - Duration - Frequency Curve*). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jam untuk membentuk lengkung IDF.

Menentukan Intensitas Hujan dengan Menggunakan Metode mononobe
Rumus ini digunakan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung sebagai berikut :

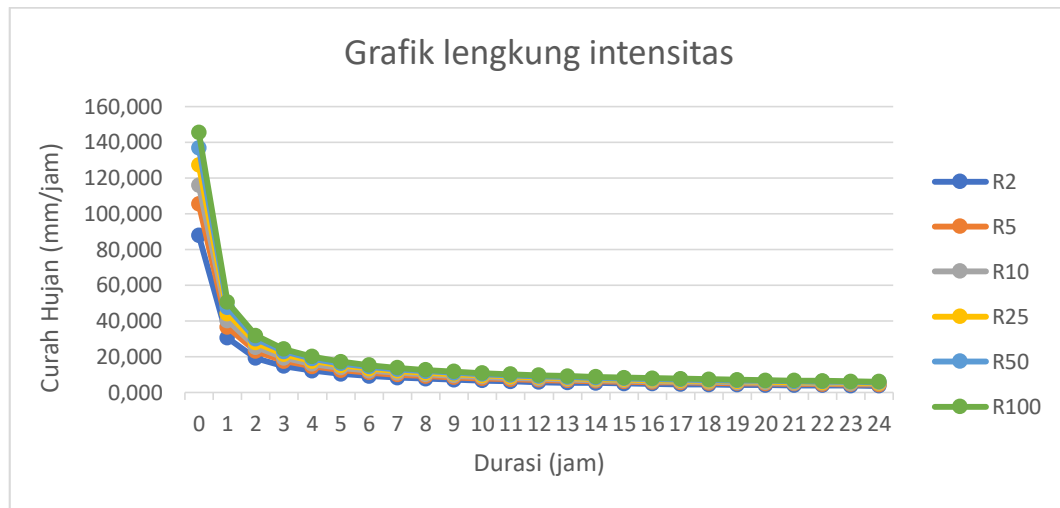
$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2. 64)$$

Keterangan :

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

R₂₄ = curah hujan maksimum harian (mm)



Gambar 2. 19 Grafik hubungan antara intensitas dengan durasi hujan

2.5.5. Menentukan Debit Aliran

$$Q_r = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad \dots\dots\dots (2. 65)$$

Keterangan :

Q_r = debit rencana ($m^3/detik$)

C = koefisien aliran permukaan ($0 \leq C \leq 1$)

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas DAS (ha)

0,00278 = Faktor konversi dari mm^3/jam menjadi $m^3/det.$ ($0.001 \text{ m}/3600 \text{ det}$) x 10000 m^2 .

2.5.6. Menentukan Koefisien Pengaliran (C)

Bila daerah pengaliran terdiri dari beberapa tipe kondisi permukaan yang mempunyai nilai C berbeda, harga C rata-rata ditentukan dengan persamaan :

$$C = \frac{C1.A1 + C2.A2 + C3.A3 + \dots + Cn.An \cdot fk}{A1 + A2 + A3 + \dots + An} \quad \dots\dots\dots (2. 66)$$

Keterangan :

A1,A2,A3 = Luas daerah pengaliran yang diperhitungkan sesuai dengan kondisi permukaan

C1,C2,C3 = Koefisien pengaliran yang sesuai dengan tipe kondisi permukaan

fk = Faktor limpasan

Tabel 2. 27 Harga koefisien pengaliran (C) dan faktor limpasan (fk)

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)	Faktor Limpasan (fk)
	bahan		
1	jalan beton & jalan aspal	0,70 – 0,95	
2	jalan kerikil & jalan tanah	0,40 – 0,70	
3	bahu jalan :		
	tanah berbutir halus	0,40 – 0,65	
	tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20	
	batuan masif keras	0,70 – 0,85	
	batuan masif lunak	0,60 – 0,75	
4	tata guna lahan :		
	daerah perkotaan	0,70 – 0,95	2
	daerah pinggir kota	0,60 – 0,70	1,5
	daerah industry	0,60 – 0,90	1,2
	permukiman padat	0,40 – 0,60	2
	permukiman tidak padat	0,40 – 0,60	1,5
	taman dan kebun	0,20 – 0,40	0,2
	persawahan	0,45 – 0,60	0,5
	perbukitan	0,70 – 0,80	0,4
	pegunungan	0,75 – 0,90	0,3

Sumber : Pd.T-02-2006-B

2.5.7. Menentukan Waktu Konsentrasi (Tc)

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat saluran (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi.

$$t_c = t_1 + t_2 \dots\dots\dots (2. 67)$$

$$t_0 = \left(\frac{2}{3} \cdot 3,28 \times I_o \times \frac{nd}{\sqrt{i_s}} \right)^{0,167} \dots\dots\dots (2. 68)$$

$$t_d = \frac{L}{60 \times V} \dots\dots\dots (2. 69)$$

Keterangan :

Tc = Waktu konsentrasi (menit)

t_0 = Waktu inlet (menit)

t_d = Waktu aliran (menit)

I_o = Jarak dari titik terjauh kefasilitas drainase (m)

i_s = Kemiringan daerah pengaliran

L = Panjang saluran

V = Kecepatan air rata-rata (m/dt)

Nd = Koefisien hambatan

Tabel 2. 28 Kemiringan satuan memanjang (i_s) berdasarkan jenis material

No	Jenis Material	kemiringan saluran (i_s %)
1	Tanah Asli	0 – 5
2	Kerikil	5 – 7,5
3	Pasangan	7,5

Sumber : Pd.T-02-2006-B

Tabel 2. 29 Kemiringan rata-rata saluran terhadap kecepatan rata-rata

Kemiringan rata-rata saluran (%)	Kecepatan rata-rata (m/det)
< 1	0,4
1 sampai < 2	0,6
2 sampai < 4	0,9
4 sampai < 6	1,2
6 sampai < 10	1,5
10 sampai < 15	2,4

Sumber : Hasmar, Halim., 2011

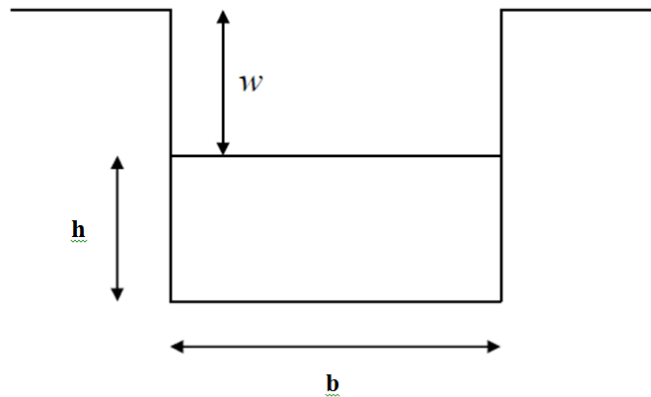
Tabel 2. 30 Koefisien hambatan (Nd) berdasarkan kondisi permukaan

No	Kondisi lapisan permukaan	Nd
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,02
3	Permukaan licin dan kokoh	0,1
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,2
5	Padang rumput dan rerumputan	0,4
6	Hutan gundul	0,6
7	Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,8

Sumber : Pd.T-02-2006-B

2.5.8. Menentukan Dimensi Saluran

Penentuan dimensi saluran harus sesuai dengan kebutuhan, sehingga biaya yang dikeluarkan menjadi ekonomis. Bentuk saluran drainase yang umum digunakan adalah bentuk saluran persegi.



Gambar 2. 20 Bentuk saluran persegi

Adapun langkah-langkah dalam menentukan dimensi saluran bentuk persegi adalah sebagai berikut :

- Menentukan bahan saluran, koefisien manning (n), kecepatan (V) pada saluran yang diijinkan, bentuk saluran, dan kemiringan saluran yang diijinkan.
- Menentukan kecepatan saluran < kecepatan saluran yang diijinkan.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i_s^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2. 70)$$

- Menentukan tinggi jagaan (W) dan lebar saluran (b), kemudian menghitung jari-jari hidrolis (R), tinggi muka air (h), dan debit saluran (Qs).

$$R = \frac{A}{P} = \frac{b \times h}{b + 2h} \dots\dots\dots (2. 71)$$

$$h = \frac{W^2}{0,5} \dots\dots\dots (2. 72)$$

$$Qs = A \times V \dots\dots\dots (2. 73)$$

Keterangan :

W = tinggi jagaan (m)

h = kedalaman air yang tergenang dalarn saluran (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

A = luas penampang basah (m^2)

P = keliling basah (m)

Q_r = debit banjir rencana

Q_s = debit saluran

- d. $Q_s < Q_r$, maka dimensi saluran dapat diterima, jika tidak maka perhitungan dimensi saluran harus diulang.

Tabel 2. 31 Angka kekasaran *Manning* (n)

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
	SALURAN BUATAN				
1	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
3	Saluran pada dinding bantuan, lurus, teratur	0,020	0,030	0,033	0,035
4	Saluran pada dinding bantuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,045	0,045
5	Saluran batuan yang dibedakan ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,033	0,035
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,020	0,025	0,028	0,030
	SALURAN ALAM				
8	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
9	Seperti no.8, tetapi ada timbunan atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10	Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir	0,030	0,035	0,040	0,045

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
11	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12	Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
13	Seperti no.10, sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,060
14	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
	SALURAN BUATAN, BETON, ATAU BATU KALI				
16	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian	0,025	0,030	0,033	0,035
17	Seperti no.16, tapi dengan penyelesaian	0,017	0,020	0,025	0,030
18	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19	Saluran beton halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20	Saluran beton pra cetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21	Saluran beton pra cetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

Sumber : Pd.T-02-2006-B

2.5.9. Terjunan

Bangunan terjun atau got miring diperlukan jika kemiringan permukaan lebih curam dari pada kemiringan maksimum saluran yang diijinkan.

Ada 4 bagian dari bangunan terjun yaitu :

1. Bagian Pengontrol, bagian ini terletak sebelah hulu (sebelum terjunan) berfungsi untuk mencegah permukaan air yang berlebihan.
2. Bagian Pembawa, bagian ini berupa terjunan dengan bentuk terjunan tegak atau terjunan miring. Jika beda tinggi terjunan $\geq 1,50$ m, maka bagian pembawa

berupa terjunan miring. Jika beda tinggi terjunan $\leq 1,50$ m, maka di pakai bangunan terjunan tegak.

3. Peredam Energi, berfungsi untuk mengurangi potensi kerusakan akibat energi yang terkandung dalam aliran sehingga tidak merusak konstruksi bangunan terjun.
4. Perlindungan Dasar, berfungsi untuk melindungi dasar dan dinding saluran dari gerusan air sesudah mengalami terjunan.

Penelitian tentang aliran superkritis yang terbentuk pada saluran terjunan tegak telah banyak dilakukan, antara lain oleh Moore (1943) Rand (1955) dan Dominguez (1958, 1974) (Montes, 1998). Berdasarkan penelitian Dominguez, pada kondisi saluran segi empat mendatar, diperoleh hubungan :

$$(Montes, 1998): d/yc = 3 [a/yc]^{0.3}$$

$$\text{Menurut Rand (1943): } d/yc = 4,3 [a/yc]^{0.19}$$

$$\text{Menurut Dominguez (1944) } L/yc = 18 - 20 [y1/yc]$$

Diasumsikan bahwa panjang loncatan harus memberikan panjang minimum kolam olakan:

$$LB/yc = 3 [a/yc]^{0.3} + (18 - 20 [y1/yc]) \dots\dots\dots (2. 74)$$

Tinggi energi yang terjadi dapat dirumuskan

$$E0 = a + 1,5 yc \dots\dots\dots (2. 75)$$

Berdasarkan penelitian Moore, Bakhmeteff, Feodoroff, dan Rand telah mendapatkan bukti bahwa geometri aliran pada pelimpah terjunan lurus dapat dijelaskan dengan fungsi bilangan terjunan yang didefinisikan sebagai (Chow, 1989):

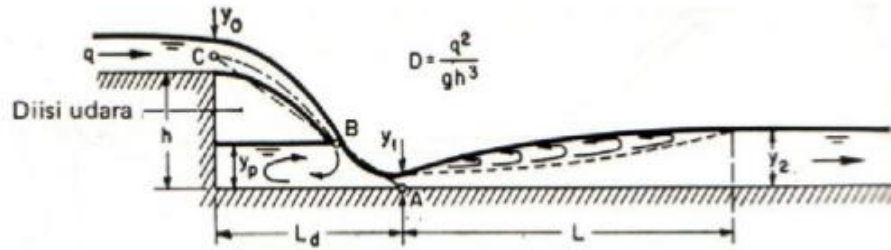
$$D = q^2/gh^3 \dots\dots\dots (2. 76)$$

Keterangan :

q : debit tiap satuan lebar, m²/dt

g : percepatan gravitasi bumi, m^2/dt (9,8)

h : tinggi terjunan.



Gambar 2. 21 Geometri aliran pada terjunan tegak (Chow, 1989)

$$L_d/h = 4.3 D^{0.27} \cdot h \dots\dots\dots (2. 77)$$

$$y_p/h = D^{0.22} \cdot h \dots\dots\dots (2. 78)$$

$$y_1/h = 0.54 D^{0.425} \cdot h \dots\dots\dots (2. 79)$$

$$y_2/h = 1.66 D^{0.27} \cdot h \dots\dots\dots (2. 80)$$

Keterangan :

L_d = panjang terjunan,

y_p = kedalaman genangan di bawah air limbah,

y_1 = kedalaman di kaki tirai luapan atau kedalaman pada tempat mulainya loncatan,

y_2 = tinggi muka air hilir.

2.6. Perencanaan Tebal Perkerasan

Lapisan perkerasan berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri, dengan demikian memberikan kenyamanan kepada si pengemudi selama masa pelayanan jalan (S.Sukirman:1999).

Perencanaan jalan lingkar utara ruas jalan Garuda – jalan Moh Hatta ini menggunakan jenis perkerasan lentur dengan metode Manual Desain Perkerasan Jalan

(MDP) nomor : 04/SE/Db/2017 . Konstruksi perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan – lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Susunan lapisan perkerasan lentur sebagai berikut :



Gambar 2. 22 Susunan lapisan perkerasan lentur

2.6.1. Umur Rencana

Umur rencana adalah jumlah waktu dalam tahun yang dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan yang baru. Pemilihan umur rencana dapat dilihat pada Tabel 2.32

Tabel 2. 32 Umur rencana perkerasan jalan baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir.	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (overlay), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
	Cement Treated Based (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Sumber : MDP 2017

2.6.2. Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan. Batasan ini tidak mutlak, perencana harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan dan kepraktisan pelaksanaan.

Tabel 2. 33 Pemilihan jenis perkerasaan

Struktur Perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 - 10	>10 – 30	>30 - 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan CBR $\geq$ 2,5%)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1, 2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal $\geq$ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1, 2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1, 2	-	-	-

Struktur Perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 - 10	>10 – 30	>30 - 200
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : MDP 2017

2.6.3. Lalu Lintas

Faktor lalu lintas sangat berpengaruh terhadap perencanaan perkerasan jalan, baik tebal perkerasan, atau pun pemilihan jenis perkerasan yang akan digunakan.

a. Analisis volume lalu lintas

Parameter yang penting dalam analisis struktur perkerasan adalah data lalu lintas yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana. Beban dihitung dari volume lalu lintas pada tahun survei yang selanjutnya diproyeksikan ke depan sepanjang umur rencana. Volume tahun pertama adalah volume lalu lintas sepanjang tahun pertama setelah perkerasan diperkirakan selesai dibangun atau direhabilitasi.

b. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku.

Tabel 2. 34 Faktor laju pertumbuhan lalu lintas (%)

Fungsi Jalan	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : MDP 2017

Faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*) dengan rumus :

$$R = \frac{(1 + 0,01.i)^{UR} - 1}{0,01.i} \dots\dots\dots (2. 81)$$

Keterangan :

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = umur rencana (tahun)

Apabila diperkirakan akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan tahunan sepanjang total umur rencana (UR), dengan i_1 % selama periode awal (UR1 tahun) dan i_2 % selama sisa periode berikutnya (UR – UR1), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung dari formula berikut :

$$R = \frac{(1 + 0,01.i_1)^{UR} - 1}{0,01.i_1} + (1 + 0,01.i_1)^{(UR-1)} (1 + 0,01.i_2) \left\{ \frac{(1 + 0,01.i_2)^{(UR-UR1)} - 1}{0,01.i_2} \right\} \dots\dots\dots (2. 82)$$

Keterangan :

i_1 = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 1 (%)

i_2 = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 2 (%)

UR1 = umur rencana periode 1 (tahun)

Perhitungan diatas digunakan untuk periode rasio volume kapasitas (RVK) yang belum mencapai tingkat kejenuhan ($RVK \leq 0,85$). Apabila kapasitas lalu lintas diperkirakan tercapai pada tahun ke (Q) dari umur rencana (UR), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung sebagai berikut :

$$R = \frac{(1 + 0,01.i)^Q - 1}{0,01.i} + (UR - Q)(1 + 0,01.i)^{(Q-1)} \dots\dots\dots (2. 83)$$

c. Lalu lintas pada lajur rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL).

Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah.

Tabel 2. 35 Faktor distribusi lajur (DL)

Jumlah Lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : MDP 2017

d. Faktor ekivalen beban (*Vehicle damage factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan faktor ekivalen beban (*vehicle damage factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana.

Desain yang akurat memerlukan perhitungan beban lalu lintas yang akurat pula. Oleh sebab itu, survei beban gandar harus dilakukan apabila dimungkinkan.

Tabel 2. 36 Pengumpulan Data Beban Gandar

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar*
Jalan Bebas Hambatan*	1 atau 2
Jalan Raya	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

e. Beban sumbu standar kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, dengan menggunakan VDF masing-masing kendaraan niaga yang ditentukan sebagai berikut :

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \dots\dots\dots (2. 84)$$

Keterangan :

ESA_{TH-1} = kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle*) pada tahun pertama.

LHR_{JK} = lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari).

VDF_{JK} = Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga

DD = Faktor distribusi arah.

DL = Faktor distribusi lajur

CESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana.

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

2.6.4. Daya Dukung Tanah

Ruas jalan yang didesain harus dikelompokkan berdasarkan kesamaan segmen yang mewakili kondisi tanah dasar yang dapat dianggap seragam (tanpa perbedaan yang signifikan). Secara umum disarankan untuk menghindari pemilihan segmen seragam yang terlalu pendek. Jika nilai CBR yang diperoleh sangat bervariasi, perancang harus membandingkan manfaat dan biaya antara pilihan membuat segmen seragam yang pendek berdasarkan variasi nilai CBR tersebut.

Dua metode perhitungan CBR karakteristik diuraikan sebagai berikut.

a. Metode distribusi normal standar

Jika tersedia data yang cukup valid (minimum 10 titik data uji per segmen yang seragam) rumus berikut ini dapat digunakan :

$$\text{CBR karakteristik} = \text{CBR rata-rata} - f \times \text{deviasi standar} \dots\dots\dots (2. 85)$$

Dengan,

$f = 1,645$ (probabilitas 95%), untuk jalan tol atau jalan bebas hambatan.

$f = 1,282$ (probabilitas 90%), untuk jalan kolektor dan arteri.

$f = 0.842$ (probabilitas 80%), untuk jalan lokal dan jalan kecil.

Koefisien variasi (CV) maksimum dari data CBR untuk suatu segmen tidak lebih besar dari 25%. Koefisien variasi sampai dengan 30% masih boleh digunakan. Apabila jumlah data per segmen kurang dari 10 maka nilai CBR terkecil dapat mewakili sebagai CBR segmen.

b. Metode persentil

Metode persentil menggunakan distribusi data nilai CBR pada segmen seragam yang dianggap terdistribusi secara normal. Nilai persentil ke “x” dari suatu kumpulan data

membagi kumpulan data tersebut dalam dua bagian, yaitu bagian yang mengandung “x” persen data dan bagian yang mengandung $(100 - x)$ persen data.

Nilai CBR yang dipilih adalah adalah nilai persentil ke 10 yang berarti 10% data segmen yang bersangkutan lebih kecil atau sama dengan nilai CBR pada persentil tersebut. Atau 90% dari data CBR pada segmen seragam tersebut lebih besar atau sama dengan nilai CBR pada persentil tersebut.

Adapun prosedur perhitungan untuk persentil ke – 10 adalah sebagai berikut.

- i. Susun data CBR secara berurutan dari nilai terkecil hingga terbesar.
- ii. Hitung jumlah total data nilai CBR (n).
- iii. Hitung 10% dari (n), nilai yang diperoleh disebut sebagai indeks.
- iv. Jika indeks yang diperoleh dari langkah (iii) merupakan bilangan pecahan, lakukan pembulatan ke bilangan terdekat dan lanjutkan ke langkah v(a). Jika indeks yang dihasilkan berupa bilangan bulat, lanjutkan ke langkah v(b).
- v. (a) Dari kumpulan data yang sudah diurutkan (langkah 1), hitung mulai dari data terkecil hingga mencapai data diurutkan yang diperoleh dari langkah 3. Nilai CBR pada urutan tersebut adalah nilai CBR persentil ke – 10.
(b) Dari kumpulan data yang sudah diurutkan (langkah 1), hitung mulai dari data terkecil hingga mencapai data diurutkan yang diperoleh dari langkah 3. Nilai CBR persentil ke – 10 adalah nilai rata-rata dari dua nilai CBR yaitu CBR pada urutan tersebut dan urutan berikutnya.

Tabel 2. 37 Nilai VDF masing-masing kendaraan niaga daerah

Jenis Kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Papua			
	Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	11,7	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	14,0	11,9	10,2	8,0
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	8,2	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	13,5	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 38 Nilai VDF masing = masing jenis kendaraan niaga

	Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan -muatan yang diangkut	Kelompok Sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekvivalen Beban (VDF) (ESA /Kendaraan)	
	Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5
	1	1					30,4			
	2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan / Angkot / Pickup / Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
KENDARAAN NIAGA	5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
	5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1	1
	6a.1	6.1	Truk 2 sumbu - cargo ringan	1.1	muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
	6a.2	6.2	Truk 2 sumbu - ringan	1.2	tanah,pasir,besi,semen	2			0,8	0,8
	6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu - cargo sedang	1.2	muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
	6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu - sedang	1.2	tanah,pasir,besi,semen	2			1,6	1,7
	6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu - berat	1.2	muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
	6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu - berat	1.2	tanah,pasir,besi,semen	2			7,3	11,2
	7a1	9.1	Truk 3 sumbu - ringan	1.22	muatan umum	3	3,9	5,60	7,6	11,2
	7a2	9.2	Truk 3 sumbu - sedang	1.22	tanah,pasir,besi,semen	3			28,1	64,4
	7a3	9.3	Truk 3 sumbu - berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
	7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
	7c1	11	Truk 4 sumbu -trailer	1.2-22		4	0,3	0,50	13,6	24
	7c2.1	12	Truk 5 sumbu -trailer	1.2-22		5	0,7	1,00	19	33,2
	7c2.2	13	Truk 5 sumbu -trailer	1.2-222		5			30,3	69,7
	7c3	14	Truk 6 sumbu -trailer	1.22-222		6	0,3	0,50	41,6	93,7

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

Tabel 2. 39 Perkiraan lalu lintas untuk jalan lalu lintas rendah

Deskripsi jalan	LHR dua arah (kend/hari)	Kendaraan berat (% dari lalu lintas)	Umur rencana (th)	Pertumbuhan lalu lintas (%)	Faktor pengali pertumbuhan kumulatif lalu lintas	Kelompok sumbu/kendaraan berat	Kumulatif HVAG (kelompok sumbu)	Faktor ESA/HVAG	Beban lalu lintas desain (aktual) (ESA)
Jalan desa minor dengan akses kendaraan berat terbatas	30	3	20	1	22	2	14.454*	3,16	$4,5 \times 10^4$
Jalan kecil dua arah	90	3	20	1	22	2	21.681	3,16	7×10^4
Jalan lokal	500	6	20	1	22	2,1	252.945	3,16	8×10^5
Akses lokal daerah industri atau <i>quarry</i>	500	8	20	3,5	28,5	2,3	473.478	3,16	$1,5 \times 10^6$
Jalan kolektor	2000	7	20	3,5	28,5	2,2	1.585.122	3,16	5×10^6

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

2.6.5. Pondasi Perkerasan

Pondasi perkerasan tergantung kepada jenis tanah yang terdapat di lokasi perencanaan jalan.

a. Tanah dasar normal

Tanah dasar normal adalah tanah dasar yang secara umum mempunyai nilai CBR *in-situ* lebih besar dari 2,5%, termasuk pada daerah timbunan, galian dan permukaan tanah asli.

b. Tanah lunak

Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah terkonsolidasi normal atau sedikit *over konsolidasi* (*lightly over consolidated*), biasanya berupa tanah lempung atau lempung kelanauan dengan CBR kurang dari 2,5% dan kekuatan geser (q_c) lebih kecil dari 7,5 kPa, dan umumnya $IP > 25$.

Metode khusus diperlukan untuk mempersiapkan fondasi jalan yang memadai di atas tanah terkonsolidasi normal. Metode pemadatan permukaan biasa dan penggunaan pengujian CBR laboratorium tidak valid karena umumnya dalam keadaan jenuh dan tidak dapat dipadatkan secara biasa. Selain itu, apabila dalam keadaan kering, hanya lapis permukaan yang dapat dipadatkan dengan alat pemadat biasa, sedangkan kepadatan dan kekuatan geser lapisan di bawahnya akan tetap rendah pada kondisi jenuh.

Tanah terkonsolidasi normal yang mendapat pembebanan statik dan dinamik akan mengalami pergerakan yang jauh lebih besar (akibat konsolidasi sekunder atau rangkai) dibandingkan tanah dasar normal yang dipadatkan secara mekanik. Oleh sebab itu penyebab kerusakan yang berbeda berlaku pada jalan yang dibangun di atas tanah lunak.

c. Tanah aluvial kering

Tanah aluvial kering pada umumnya memiliki kekuatan sangat rendah (misalnya CBR $< 2\%$) di bawah lapis permukaan kering yang relatif keras. Kedalaman lapis

permukaan tersebut berkisar antara 400 – 600 mm. Metode termudah untuk mengidentifikasi kondisi tersebut adalah menggunakan uji DCP.

Tabel 2. 40 Desain Pondasi Jalan Minimum⁽¹⁾

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencan dengan umur rencan 40 tahun (juta ESA5)			Stabilisasi semen ⁽⁶⁾
			<2	2 - 4	>4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
≤ 6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan spesifikasi umu, Devisi 3- Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)	Tidak diperlukan perbaikan			300
5	SG5		-	-	100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2,5		175	250	350	
Tanah ekspansif (potensi pemuaian > 5%)			400	500	600	
Perkerasan diatas tanah lunak ⁽²⁾	SG1 ⁽³⁾	Lapis penopang ^{(4) (5)}	1000	1100	1200	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkeraasan lentur
		atau lapis penopang dan geogrid ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS dan DBTS untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	1000	1250	1500	

(1) Desain harus mempertimbangkan semua hal yang kritikal, syarat tambahan mungkin berlaku.

(2) Ditandai dengan kepadatan dan CBR lapangan yang rendah.

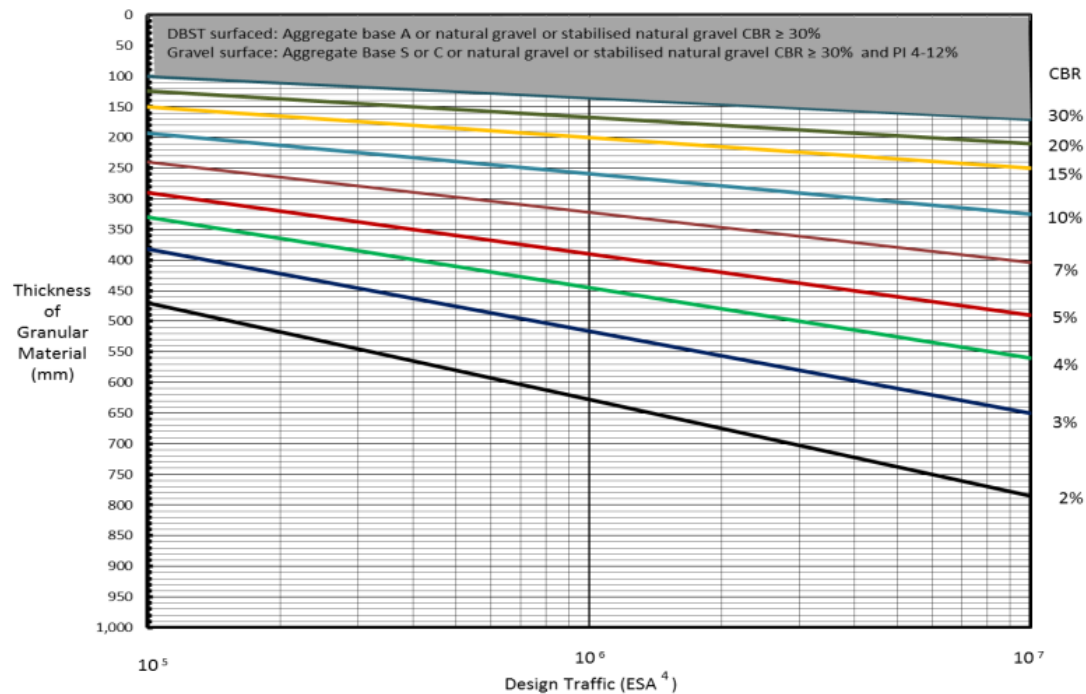
(3) Menggunakan nilai CBR insitu, karena CBR rendaman tidak relevan.

(4) Permukaan lapis penopang diatas tanah SG1 dan gambut diasumsikan mempunyai daya dukung setara nilai CBR 2,5% dengan demikian ketentuan perbaikan tanah SG2,5 berlaku

(5) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asal dipadatkan pada kondisi kering.

2.6.6. Desain Perkerasan

Salah satu metode desain yang dapat digunakan adalah metode Mekanistik Empiris, digunakan secara meluas di berbagai negara yang telah berkembang. Dengan metode ini analisis struktur perkerasan dilakukan menggunakan prinsip-prinsip mekanik yang keluarannya digunakan untuk memprediksi kinerja struktur berdasarkan pengalaman empiris. Kebutuhan pelapisan bahu jalan dapat dilihat pada Gambar 2.23



Gambar 2. 23 Bagan desain-7 Perkerasan tanpa penutup beraspal dan lapis beraspal tipis

2.6.7. Jenis – Jenis Perkerasan

Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*), yang berfungsi untuk menopang beban lalu-lintas. Jenis konstruksi perkerasan jalan pada umumnya ada dua jenis, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Jenis struktur perkerasan baru terdiri atas:

1. Perkerasan pada permukaan tanah asli.
2. Perkerasan pada timbunan.
3. Perkerasan pada galian.

Tipikal struktur perkerasan dapat dilihat pada Gambar berikut ini:

1. Perkerasan Lentur pada Permukaan Tanah Asli (*At Grade*)



2. Perkerasan Lentur pada Timbunan



3. Perkerasan Lentur pada Galian



Gambar 2. 24 Tipikal Struktur Perkerasan Lentur (Lalu Lintas Berat)

1. Perkerasan Kaku pada Permukaan Tanah Asli (*At Grade*)



2. Perkerasan Kaku pada Timbunan



3. Perkerasan Kaku pada Galian



Gambar 2. 25 Tipikal Struktur Perkerasan Kaku

Kelancaran arus lalu lintas sangat tergantung dari kondisi jalan yang ada, semakin baik kondisi jalan maka akan semakin lancar lalu lintasnya. Untuk itu dalam perencanaan jalan perlu dipertimbangkan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi fungsi pelayanan jalan tersebut seperti fungsi jalan, kinerja perkerasan, umur rencana, lalu lintas yang merupakan beban dari perkerasan jalan, sifat tanah dasar, kondisi lingkungan, sifat dan jumlah material yang tersedia di lokasi yang akan dipergunakan sebagai bahan lapis perkerasan, dan bentuk geometrik lapisan perkerasan. Berdasarkan bahan pengikatnya, perkerasan jalan dibagi menjadi 2 jenis :

a. Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan jalan yang bahan pengikatnya adalah beton semen, sehingga sering disebut juga perkerasan beton semen (*concrete pavement*). Perkerasan beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas tinggi akan mendistribusikan beban ke tanah dasar sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari pelat beton itu sendiri. Langkah-langkah perencanaan tebal perkerasan lentur dengan menggunakan metode Bina Marga adalah :

- 1) Menentukan daya dukung tanah dasar (DDT) dengan cara menggunakan pemeriksaan CBR. Nilai DDT diperoleh dari konversi nilai CBR tanah dasar dengan menggunakan :
 - a) Grafik korelasi nilai CBR dan DDT
 - b) Persamaan : $DDT = 1,6649 + 4,3592 \log (CBR)$
- 2) Menentukan umur rencana (UR) dari jalan yang hendak direncanakan.
- 3) Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas ($i\%$) selama masa pelak-sanaan dan selama umur rencana.
- 4) Menentukan faktor regional (FR). Hal-hal yang mempengaruhi nilai FR antara lain adalah:
 - a) Prosentase kendaraan berat.
 - b) Kondisi iklim dan curah hujan setempat.
 - c) Kondisi persimpangan yang ramai.
 - d) Keadaan medan.

- e) Kondisi drainase yang ada.
 - f) Pertimbangan teknis lainnya.
- 5) Menentukan Lintas Ekuivalen Jumlah repetisi beban yang akan menggunakan jalan tersebut dinyatakan dalam lintasan sumbu standar atau lintas ekuivalen. Lintas ekuivalen yang diperhitungkan hanya untuk jalur tersibuk atau lajur dengan volume tertinggi.
- a) Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP), lintas ekuivalen pada saat jalan tersebut dibuka atau pada awal umur rencana disebut Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP), yang diperoleh dari persamaan :

$$LEP = \sum A_j \times E_j \times C_j \times (1+i)^{n'}$$
 , dimana :
 - A_j = jumlah kendaraan untuk satu jenis kendaraan.
 - E_j = angka ekuivalen beban sumbu untuk satu jenis kendaraan.
 - C_j = koefisien distribusi kendaraan pada jalur rencana.
 - I = faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan sampai jalandibuka.
 - n' = jumlah tahun dari saat pengambilan data sampai jalandibuka.
 - J = jenis kendaraan
 - b) Lintas Ekuivalen Akhir (LEA), besarnya lintas ekuivalen pada saat jalan tersebut membutuhkan perbaikan struktural disebut Lintas Ekuivalen Akhir (LEA), yang diperoleh dari persamaan :

$$LEA = LEP (1+r)^{UR}$$
 , dimana :
 - LEP = Lintas Ekuivalen Permulaan.
 - r = Faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana.
 - UR = Umur rencana jalan tersebut.
 - c) Lintas Ekuivalen Tengah (LET), Lintas Ekuivalen Tengah diperoleh dengan persamaan :

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2}$$

- d) Lintas Ekuivalen Rencana (LER), besarnya lintas ekuivalen yang akan melintasi jalan tersebut selama masa pelayanan, dari saat dibuka sampai akhir umur rencana disebut Lintas Ekuivalen Rencana, yang diperoleh dari persamaan :

$$LER = LET \times FP, \text{ dimana :}$$

$$FP = \text{faktor Penyesuaian dan } FP = \frac{UR}{2}$$

- 6) Menentukan Indeks Permukaan (IP)
- Indeks Permukaan Awal (IP_o) yang ditentukan sesuai dengan jenis lapis permukaan yang akan dipakai.
 - Indeks Permukaan Akhir (IP_t) berdasarkan besarnya nilai LER dan klasifikasi jalan tersebut.
- 7) Menentukan Indeks Tebal Perkerasan (ITP) dengan menggunakan rumus dasar metode AASHTO 1972, yang telah memasukkan faktor regional yang terkait dengan kondisi lingkungan dan faktor daya dukung tanah dasar yang terkait dengan perbedaan kondisi tanah dasar, sehingga didapat persamaan :

$$\log W_{t18} \Rightarrow 9,36 \log (ITP \Rightarrow 1) - 0,20 \Rightarrow \frac{G_t}{0,4 \Rightarrow \frac{1094}{(ITP \Rightarrow 1)^{5,19}}}$$

+ log FR + 0,372 (DDT – 3,0), dengan :

$$GT = \frac{(IP_o - IP_t)}{(4, h^2 - 1,5)}, \text{ dimana :}$$

Gt	=	fungsi logaritma dari perbandingan antara kehilangan tingkat pelayanan dari IP = I _{po} sampai IP = I _{pt} dengan kehilangan tingkat pelayanan dari I _{po} sampai IP = 1,5.
----	---	--

Wt18	=	beban lalu lintas selama umur rencana atas dasar bebansumbu tunggal 18000 pon yang telah diperhitungkan terhadap faktor regional.
------	---	---

(Sumber : Sukirman, S., *Perkerasan Lentur Jalan Raya*,1999)

Selain dengan menggunakan rumus tersebut, untuk menentukan Indeks Tebal Perkerasan (ITP) dapat juga menggunakan nomogram-nomogram yang terdapat dalam buku Peteunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen (Bina Marga).

- 8) Menentukan koefisien kekuatan relatif (a) dan tebal minimum (D), setelah nilai ITP didapat kemudian ditentukan nilai koefisien kekuatan relatif.

- Koefisien kekuatan relatif dari jenis lapis perkerasan yang dipilih.
- Menentukan masing-masing tebal minimal lapis perkerasanyang telah ditentukan.
- Menentukan tebal lapis perkerasan yang akan dicari dengan persamaan :

$$ITP = a_1.D_1 + a_2.D_2 + a_3.D_3, \text{ dimana :}$$

a_1, a_2, a_3 = koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan.

D_1, D_2, D_3 = tebal masing-masing lapis perkerasan (cm).

Angka 1, 2, dan 3 masing-masing untuk lapis permukaan, lapis pondasi, dan lapis pondasi bawah.

Perkiraan tebal masing-masing lapis perkerasan tergantung dari ketebalan mini-mum yang ditentukan oleh Bina Marga.

b. Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan jalan yang pengikatnya adalah aspal. Lapisan perkerasan ini berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya sampai ke tanah dasar.

Parameter perencanaan perkerasan kaku metode Bina Marga 2002 tersebut antara lain adalah :

- 1) Lalu lintas, perhitungan lalu lintas dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (commercial vehicle), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Hanya diperhitungkan terhadap kendaraan niaga. Persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$JKNH = 365 \times JKNH \times R$$

$R = \frac{(1+i)^n - 1}{i \log(1+i)}$	Untuk i tetap
$R = \frac{(1+i)^m - 1}{i \log(1+i)} + (n+m)(1+i)^{m-1}$	Untuk i berhenti
$R = \frac{(1+i')^m - 1}{i \log(1+i)} + \frac{(1+i)^m [(1+i')^{n-m} - 1]}{i \log(1+i')}$	Untuk i berubah

Keterangan :

JKN = Jumlah kendaraan niaga

JKNH = JKNH harian saat jalan dibuka

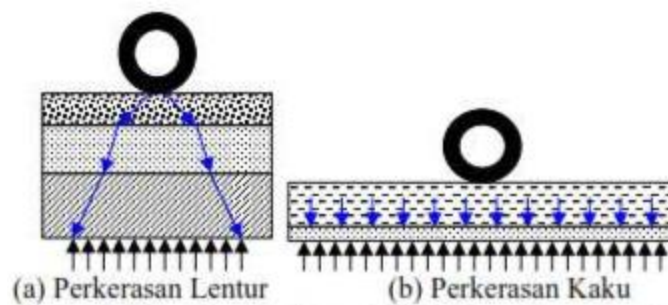
R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

n/m = Tahun rencana

i/i' = Pertumbuhan lalu lintas

- 2) Tanah dasar, daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR.
- 3) Pondasi bawah, bahan pondasi bawah dapat berupa bahan berbutir, stabilisasi, dan campuran beton kurus.
- 4) Material konstruksi, kekuatan beton dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (flexural strenght) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok yang besarnya 30-50 kg/cm².
- 5) Faktor erosi dan tegangan ekivalen, prosedur perencanaan perkerasan kaku didasarkan atas dua model kerusakan yaitu :
 - a) Retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat.
 - b) Erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan.

Prosedur ini mempertimbangkan ada tidaknya ruji pada sambungan atau bahu beton. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan dianggap sebagai perkerasan bersambung yang dipasang ruji. Data lalu lintas yang diperlukan adalah jenis sumbu dan distribusi beban serta jumlah repetisi masing-masing jenis sumbu/kombinasi beban yang diperkirakan selama umur rencana.



(Sumber : Ayu Fatimah Zahra, *Perkerasan Jalan*, 2011)

Gambar 2. 26 Skema Pembagian Beban Pada Perkerasan Jalan Raya

2.7. Ketebalan Lapis Perkerasan

Keterbatasan pelaksanaan pemadatan dan segregasi menentukan tebal struktur perkerasan. Perencana harus melihat batasan-batasan tersebut, termasuk ketebalan lapisan yang diizinkan. Jika pada bagan desain ditentukan bahwa suatu bahan dihamparkan lebih tebal dari yang diizinkan, maka bahan tersebut harus dihamparkan dan dipadatkan dalam beberapa lapisan.

Tabel 2. 41 Ketebalan lapisan yang diizinkan dan penghamparan

B a h a n	Tebal minimum (mm)	Tebal Yang Diperlukan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
HRS WC	30	30 – 50	tidak
HRS Base	35	35 – 50	ya
AC WC	40	40 – 50	tidak
AC BC	60	60 – 80	ya
AC – Base	75	80 – 120	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas A (gradasi dengan ukuran maksimum 37.5 mm)	120	150 -200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas B (gradasi dengan ukuran maksimum 50 mm)	150	150 – 200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas S (gradasi dengan ukuran maksimum 37,5 mm)	120	125 – 200	ya
CTB (gradasi dengan ukuran maksimum 30 mm) atau LMC	100	150 – 200	tidak
Stabilisasi tanah atau kerikil alam	100	150 – 200	tidak
Kerikil alam	100	100 – 200	ya

Sumber : MDP 2017

2.7.1. Daya Dukung Tepi Perkerasan

Struktur perkerasan memerlukan daya dukung tepi yang cukup, terutama apabila terletak pada tanah lunak atau tanah gembut. Ketentuan minimum adalah sebagai berikut :

- a. Setiap lapis perkerasan harus dipasang sampai lebar yang sama atau lebih dari nilai minimum.
- b. Timbunan tanpa penahan pada tanah lunak ($\text{CBR} < 2,5\%$) atau tanah gembut harus dipasang pada kemiringan tidak boleh lebih curam dari 1V : 3H.

Tabel 2. 42 Bagan desain-3 Desain perkerasan lentur opsi biaya minimum dengan CTB

Kriteria	F1	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas dibawah 10 huta ESA5 lihat bagian desain 3A-3B dan 3C	Lihat bagan desain 4 untuk alternatif kaku			
Reptisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur (10ESA)	> 10 - 30	> 30 -35	> 54 -100	> 100 - 200	> 200 -500
Jenis permukaan berpangkat	AC	AC			
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC	60	60	60	60	60
AC BC ATAU AC Base	75	100	125	160	220
CTB	150	150	150	150	150 - 150
Fondasi agregat kelas A	150	150	150	150	150

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 43 Bagan desain-3A Desain perkerasan lentur dengan HRS

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 CESA)	FF1 < 0,5	$0,5 \leq \text{FF2} \leq 4,0$
Jenis permukaan	HRS atau Penetrasi makadam	HRS
Struktur perkerasan	Tebal lapisan (mm)	
HRS WC	50	30
HRS Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas A atau LFA Kelas B atau kerikil alam atau laps distabilisasi dengan CBR > 10%	150	125

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 44 Bagan desain-3B Desain perkerasan lentur-aspal dengan lapis fondasi berbutir

Kriteria	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusi yang dipilih					Lihat catatan 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ESA5)	> 2	> 2 – 4	> 4 - 7	> 7 - 10	>10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)									
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1		2		3				

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 45 Bagan desain-3C Penyesuaian tebal lapis fondasi agregat A untuk tanah dasar $\text{CBR} \geq 7\%$ (hanya untuk bagan desain-3B)

Kriteria	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ESA5)	> 2	> 2 – 4	> 4 - 7	> 7 - 10	>10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LFA A (mm) PENYESUAIAN TERHADAP BAGAN DESAIN 3B									
Subgrade $\text{CBR} \geq 5,5 - 7$	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Subgrade $\text{CBR} \geq 7 - 10$	330	220	215	210	205	200	200	200	200
Subgrade $\text{CBR} \geq 10$	260	150	150	150	150	150	150	150	150
Subgrade $\text{CBR} \geq 15$	200	150	150	150	150	150	150	150	150

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 46 Bagan desain-5 Perkerasan berbutir dengan laburan

Jenis Lapisan Perkerasan	STRUKTUR PERKERASAN				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
	Beban sumbu 20 tahun pada lajur desain (ESA4x10)				
	< 0,1	0,1 - 0,5	> 0,5 - 4	> 4 - 10	> 10 - 30
	Ketebalan lapis perkerasan (mm)				
Burda	Ukuran agregat nominal 20 mm				
Lapis Fondasi Agregat Kelas A	200	250	300	320	340
Lapis Fondasi Agregat Kelas A, atau kelas B, atau kerikil alam, atau stabilisasi dengan CBR > 10%, pada subgrade dengan CBR $\geq$ 5%	100	101	102	103	104

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 47 Bagan desain-6 Perkerasan dengan stabilisasi tanah semen (*Soil Cement*)

Jenis Lapisan Perkerasan	STRUKTUR PERKERASAN		
	SC1	SC2	SC3
	Beban sumbu 20 tahun pada lajur daerah desain (ESA4 x 10)		
	< 0,1	< 0,1 - 0,5	> 0,5 - 4
	Ketebalan lapis perkerasan (mm)		
HRS, AC WC (halus), Burtu, atau bunda	50 (campuran beraspal)		
Lapis Fondasi Agregat Kelas A	160	220	300
Lapis Fondasi Agregat Kelas A atau B	110	150	200
Tanah distabilisasi (CBR 6% pada tanah dengan $\text{CBR} \geq 3\%$)	160	200	260

Sumber : MDP 2017

2.7.2. Pelapisan Bahu Jalan

Pelapisan bahu jalan terkadang diperlukan dalam beberapa kondisi agar mendapatkan hasil perencanaan yang baik.

a. Tebal lapis berbutir

Elevasi tanah dasar untuk bahu harus sama dengan elevasi tanah dasar perkerasan atau setidaknya pelaksanaan tanah dasar badan jalan harus dapat mengalirkan air dengan baik. Untuk memudahkan pelaksanaan, pada umumnya tebal lapis berbutir bahu dibuat sama dengan tebal lapis berbutir perkerasan.

b. Bahu tanpa pengikat

Lapis permukaan harus berupa lapis fondasi agregat kelas S, atau kerikil alam yang memenuhi ketentuan dengan Indeks Plastisitas (IP) antara 4% - 12%. Tebal lapis permukaan bahu LFA kelas S sama dengan tebal lapis beraspal tapi tidak lebih tebal dari 200 mm. Jika tebal lapis beraspal kurang dari 125 mm maka tebal minimum LFA kelas S 125 mm.

c. Bahu diperkeras

Bahu diperkeras untuk kebutuhan berikut :

- Jika terdapat kerb (bahu harus ditutup sampai dengan garis kerb)
- Gradien jalan lebih dari 4%
- Sisi yang lebih tinggi dari kurva superelevasi ($\text{superelevasi} \geq 0\%$). Dalam kasus ini, bahu pada sisi superelevasi yang lebih tinggi harus sama dengan superelevasi badan jalan.
- Jalan dengan LHRT lebih dari 10.000 kendaraan
- Jalan tol dan jalan bebas hambatan

Material bahu diperkeras dapat berupa penetrasi makadam, burtu/burda, beton aspal (AC), beton semen, dan kombinasi bahu beton 500 mm – 600 mm atau pelat beton dengan *tied shoulder*, atau bahu dengan aspal.

d. Lalu lintas untuk desain bahu

Beban lalu lintas desain pada bahu jalan tidak boleh kurang dari 10% lalu lintas lajur rencana, atau sama dengan lalu lintas yang diperkirakan dengan lapis penutup.

Pada umumnya, hal ini dapat dipenuhi dengan burda atau penetrasi makadam yang dilaksanakan dengan baik.

2.7.3. Kapaasitas Jalan

Penentuan kapasitas jalan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF}$$

dimana

C = Kapasitas

C_0 = Kapasitas dasar (Tabel 2.48)

FC_W = Faktor penyesuaian lajur lalu lintas (Tabel 2.49)

FC_{SP} = Faktor penyesuaian arah lalu lintas (Tabel 2.50)

FC_{SF} = Faktor penyesuaian gesekan samping (Tabel 2.52)

Tabel 2. 48 Kapasitas dasar jalan antar kota dengan 2 lajur 2 arah (2/2 UD)

Jenis dan alinyemen jalan (empat lajur terbagi)	Kapasitas dasar total dua arah (SMP/Jam/Lajur)
Datar	3100
Bukit	3000
Gunung	2900

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 49 Faktor penyesuaian pengaruh lebar lajur lalu lintas (FC_W) terhadap kapasitas

Jenis jalan	Lebar efektif lajur lalu lintas (W_c) (m)	FC_W
Empat lajur terbagi Enam lajur terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96

Dua lajur tak terbagi	3,50	1,00
	3,75	1,03
	Total dua arah	
	5,00	0,69
	6,00	0,91
	7,00	1,00
	8,00	1,08
	9,00	1,15
	10,00	1,21
	11,00	1,27

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 50 Faktor penyesuaian kapasitas karena pemisahan arah (FC_{SP})

Pemisahan arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FCSP	Dua lajur 2/2	1,000	0,970	0,940	0,910	0,880
	Empat lajur 4/2	1,000	0,975	0,950	0,925	0,900

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 51 Kelas hambatan samping

Frekwensi hambatan (dari kedua sisi jalan)	Kondisi tipikal	Kelas hambatan samping	
< 50	Pedalaman, pertanian atau daerah tertinggal, hampir tidak ada kegiatan	Sangat rendah	VL
50 – 149	Pedalaman, beberapa bangunan dan aktifitas disisi jalan	Rendah	L
150 – 249	Desa, aktifitas disisi jalan, terdapat angkutan lokal	Sedang	M
250 – 350	Desa, beberapa aktifitas pasar	Tinggi	H
> 350	Hampir berupa perkotaan, terdapat pasar dan aktifitas bisnis lainnya	Sangat tinggi	VH

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 52 Faktor penyesuaian kapasitas akibat pengaruh hambatan samping (FC_{SF})

Jenis jalan	Kelas hambatan	Faktor penyesuaian akibat pengaruh gesekan samping (FCSF)			
		≤ 0,5	1	1,5	≥ 2
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	0,95	1,01
2/2 D 4/2 D	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,88	0,91	0,64	0,98
	H	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH	0,80	0,83	0,88	0,93

Sumber : MDP 2017