

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Arti dan Tujuan Perencanaan Geometrik

Perencanaan geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang dititik beratkan pada alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal 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 dan jalur lalu lintas, tikungan, drainase, kelandaian jalan serta galian dan timbunan. Tujuan dari perencanaan geometrik jalan adalah menghasilkan infrastruktur yang aman, efesiensi pelayanan arus lalu lintas dan memaksimalkan ratio tingkat penggunaan/biaya pelaksanaan. (Sukirman,1999).

2.2 Ketentuan dalam Perencanaan Geometrik Jalan

Ketentuan-ketentuan dasar ini merupakan syarat batas sehingga penggunaannya harus dibatasi sedikit mungkin agar dapat menghasilkan jalan yang optimal.

2.2.1 Klasifikasi jalan

Berdasarkan Peraturan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997, klasifikasi jalan terbagi menjadi :

1. Klasifikasi jalan menurut fungsinya dibagi menjadi 3 :
 - a. Jalan Utama

Jalan utama adalah jalan raya yang melayani lalulintas tinggi antara kota-kota penting. Jalan utama harus direncanakan untuk dapat melayani lalulintas cepat dan berat.

b. Jalan Sekunder

Jalan sekunder adalah jalan raya yang melayani lalu lintas yang cukup tinggi antara kota-kota penting dan kota-kota yang lebih kecil serta melayani daerah sekitarnya.

c. Jalan Penghubung

Jalan penghubung adalah jalan untuk keperluan dari suatu aktivitas daerah yang juga dipakai sebagai jalan yang menghubungkan antara jalan-jalan yang sama atau yang lebih kecil atau setingkat lebih rendah dari jalan penghubung.

2. Klasifikasi jalan menurut kelas jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan ton.

Klasifikasi menurut kelas jalan dan ketentuannya serta kaitannya dengan klasifikasi menurut fungsi jalan dapat dilihat dalam tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat MST (ton)
Arteri	I	>10
	II	10
	IIIA	8
Kolektor	IIIA	8
	IIIB	

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

3. Klasifikasi jalan menurut medan jalan

Berdasarkan perhitungan rata-rata dari ketinggian muka tanah lokasi rencana, maka dapat diketahui lereng melintang yang digunakan untuk

menentukan golongan medan. Klasifikasi jalan berdasarkan medan jalan dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

Golongan Medan	Lereng Melintang (%)
Datar (D)	< 3
Perbukitan (B)	3 - 25
Pegunungan (G)	> 25

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

4. Klasifikasi jalan menurut wewenang pembinaan jalan

Menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997.

a. Jalan Nasional :

Yaitu jalan yang menghubungkan ibukota – ibukota provinsi. Biaya pembangunan dan perawatannya ditanggung oleh pemerintah pusat.

b. Jalan Provinsi :

Yaitu jalan yang menghubungkan kota dalam satu propinsi. Biaya pembangunan dan perawatannya ditanggung oleh pemerintah Propinsi.

c. Jalan Kabupaten / Kotamadya :

Yaitu jalan yang meliputi kabupaten ataupun kotamadya. Biaya pembangunan dan perawatannya ditanggung oleh pemerintah kabupaten.

d. Jalan Desa :

Jalan yang menghubungkan lingkungan desa. Biaya pembangunan dan perawatannya ditanggung oleh pemerintah desa.

e. Jalan Khusus :

Yaitu jalan yang dibangun oleh suatu instansi, badan hukum ataupun perorangan untuk kepentingan masing- masing. Biaya pembangunan dan perawatannya ditanggung oleh suatu instansi, badan hukum ataupun perorangan yang terkait.

2.2.2 Parameter perencanaan geometrik jalan

Dalam pedoman Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota (No.38/TBM/1997), bentuk geometrik jalan harus ditetapkan sedemikian rupa sehingga jalan yang bersangkutan dapat memberikan pelayanan yang optimal kepada lalu lintas sesuai fungsinya.

Dalam perencanaan geometrik jalan terdapat tiga tujuan utama yaitu :

- a. Memberikan keamanan dan kenyamanan, seperti jarak pandangan, ruang yang cukup bagi manuver kendaraan dan koefisien gesek permukaan jalan yang cukup.
- b. Menjamin suatu perancangan ekonomis.
- c. Memberikan suatu keseragaman geometrik jalan sehubungan dengan jenis medan (*terrain*).

Berikut ini adalah parameter yang digunakan dalam perencanaan geometrik jalan raya antara lain :

1. Karakteristik Lalu Lintas

Data lalu lintas adalah data utama yang diperlukan untuk perencanaan teknik jalan, karena kapasitas jalan yang akan direncanakan tergantung dari komposisi lalu lintas yang akan menggunakan jalan pada suatu segmen jalan yang di tinjau.

Analisis data lalu lintas dilakukan untuk menentukan kapasitas jalan, akan tetapi jalan harus dilakukan bersamaan dengan perencanaan geometrik dan lainnya, karena saling bersangkutan satu sama lain. Unsur lalu lintas benda atau pejalan kaki sebagai bagian dari lalu lintas diatas roda disebut kendaraan dalam unit (Hendarsin,2000).

2. Volume Lalu Lintas

Sukirman (1999) dalam “Dasar – dasar Perencanaan Geometrik Jalan” menyebutkan bahwa, Volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan dalam satu satuan waktu (hari,jam,menit). Volume lalu lintas dalam SMP ini menunjukkan besarnya

jumlah lalu lintas harian rata-rata (LHR) yang melintasi jalan tersebut. Dari lalu lintas rata-rata (LHR) yang didapatkan kita dapat mengklasifikasi jalan tersebut dapat dilihat pada :

Tabel 2.3 Klasifikasi Jalan

No	Klasifikasi Jalan	Kelas	Lalulintas Harian (smp)
1.	Jalan utama	I	> 20.000
2.	Jalan sekunder	II A	6000 – 20.000
		II B	1.500 – 8.000
		II C	< 2.000
3.	Jalan penghubung	III	-

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

a. Lalulintas Harian Rata – rata Tahunan (LHRT)

Lalu lintas yang menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan selama 24 jam dalam satu tahun penuh.

Rumus umum :

$$LHRT = \frac{\text{jumlah lalu lin tas dalam satuan tahun}}{365} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

$LHRT$ = lalu lintas harian rata – rata tahunan

365 = Jumlah hari dalam setahun

b. Lalulintas Harian Rata – rata (LHR)

Jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan dibagi lamanya pengamatan itu sendiri.

Rumus umum :

$$LHR = \frac{\text{jumlah lalu lin tas dalam satuan tahun}}{\text{lamanya pengamatan}} \dots\dots\dots(2.2)$$

3. Kendaraan Rencana

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

Tabel 2.4 Dimensi Kendaraan Rencana

Kategori kendaraan rencana	Dimensi Kendaraan (cm)			Tonjolan (cm)		Radius putar (cm)		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 : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

Dilihat dari bentuk, ukuran, dan daya dari kendaraan-kendaraan yang mempergunakan jalan, kendaraan-kendaraan tersebut dikelompokkan menjadi :

a. Kendaraan ringan / kecil

Ialah kendaraan bermotor ber as dua dengan empat roda dengan jarak as 2,0 - 3,0 m (meliputi : mobil penumpang, oplet, mikrobus, *pick up*, dan truk kecil sesuai dengan sistem klasifikasi Bina Marga)

b. Kendaraan sedang

Ialah kendaraan bermotor dengan dua gandar, dengan jarak 3,5 -5,0 m (termasuk bus kecil, truk dua as dengan enam roda, sesuai dengan sistem klasifikasi Bina Marga)

c. Kendaraan berat / besar

– Bus besar

bus dengan dua atau tiga gandar dengan jarak 5,0 – 6,0 m

– Truck besar

truck tiga gandar dan truck kombinasi tiga, jarak gandar (gandar pertama dan gandar kedua) < 3,5 (sesuai dengan sistem klasifikasi Bina Marga)

- d. Sepeda motor
kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda (meliputi : sepeda motor dan kendaraan roda tiga sesuai dengan sistem klasifikasi Bina Marga)
- e. Kendaraan tak bermotor
Kendaraan dengan roda yang digerakkan oleh orang atau hewan (meliputi: sepeda, becak, kereta kuda, dan kereta dorong sesuai dengan sistem klasifikasi Bina Marga)

4. Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan pada suatu ruas jalan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan seperti tikungan, kemiringan jalan, jarak pandang, dan lain-lain.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya kecepatan rencana antara lain :

- a. Kondisi pengemudi dan kendaraan yang bersangkutan
- b. Sifat fisik jalan dan keadaan medan sekitarnya
- c. Sifat dan tingkat penggunaan daerah
- d. Cuaca
- e. Adanya gangguan dari kendaraan lain
- f. Batasan kecepatan yang di izinkan

Tabel 2.5 Kecepatan Rencana, Sesuai Klasifikasi Fungsi dan Medan Jalan

Fungsi Jalan	Kecepatan Rencana V (km/jam)		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	70 – 120	60 – 80	40 – 70
Kolektor	60 – 90	50 – 60	30 – 50
Lokal	40 – 70	30 – 50	20 – 30

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

5. Volume Lalu Lintas

Volume lalulintas harian rata-rata (VLHR) adalah perkiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas dinyatakan dalam smp/hari.

a. Satuan mobil penumpang (smp)

Satuan mobil penumpang adalah angka satuan kendaraan dalam hal kapasitas jalan, dari berbagai tipe kendaraan telah di ubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan ekivalen mobil penumpang.

Tabel 2.6 Faktor Satuan Mobil Penumpang (smp)

No	Jenis Kendaraan	Kelas	SMP	
			Ruas	Simpang
1	Kendaraan Ringan • Sedan/Jeep • Oplet • Mikrobus • Pick – up	LV	1.00	1.00
2	Kendaraan Berat • Bus standar • Truk sedang • Truk berat	HV	1.20	1.30
3	Sepeda Motor	MC	0.25	0.40
4	Kendaraan Tak Bermotor • Becak • Sepeda • Gerobak, dll	UM	0.80	1.00

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

b. Ekuivalensi mobil penumpang (emp)

Faktor konversi sebagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kendaraan lainnya sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalu lintas (emp mobil penumpang = 1,0).

Tabel 2.7 Ekuivalensi Mobil Penumpang (emp)

No.	Jenis Kendaraan	Datar/ Bukit	Gunung
1.	Sedan, Jeep Station wagon	1,0	1,0
2.	Pick up, Bus kecil, Truck kecil	1,2 – 2,4	1,9 – 3,5
3.	Bus dan Truck besar	1,2 – 5,0	2,2 – 6,0

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

6. Jarak pandang

Jarak pandang adalah jarak yang diperlukan oleh seorang pengemudi pada saat mengemudi sedemikian sehingga jika pengemudi melihat suatu halangan yang membahayakan pengemudi dapat melakukan sesuatu untuk menghindari bahaya tersebut dengan aman. Syarat jarak pandang yang diperlukan dalam suatu perencanaan jalan raya untuk mendapatkan keamanan bagi lalu lintas adalah sebagai berikut :

a. Jarak Pandang Henti (Jh)

Jarak pandang henti adalah jarak pandang minimum yang diperlukan pengemudi untuk menghentikan kendaraan yang sedang berjalan setelah melihat adanya rintangan pada jalur yang dilaluinya. Jarak ini merupakan jarak yang ditempuh sewaktu melihat penghalang hingga pengemudi menginjak rem dan jarak untuk berhenti setelah menginjak rem.

Jarak pandang henti terdiri atas 2 elemen jarak yaitu :

1) Jarak tanggap

Jarak tanggap adalah jarak yang ditempuh oleh kendaraan sejak pengemudi melihat suatu sampai saat pengemudi menginjak rem.

2) Jarak pengereman

Jarak pengereman adalah jarak yang ditempuh untuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti. Jarak minimum ini harus dipenuhi dalam setiap bagian jalan raya, besar yang diperlukan dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Jarak Pandang Henti Minimum

V (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jh minimum (m)	250	175	120	75	55	40	27	16

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

Jarak Pandang Henti (Jh) dalam satuan meter, dapat dihitung dengan rumus:

$$J_h = \frac{V_R}{3,6} T + \frac{\left(\frac{V_R}{3,6}\right)^2}{2gf} \dots\dots\dots(2.3)$$

di mana :

VR = kecepatan rencana (km/jam)

T = waktu tanggap, ditetapkan 2,5 detik

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

f = koefisien gesek memanjang perkerasan jalan aspal, ditetapkan 0,35-0,55.

b. Jarak Pandang Mendahului (Jd)

Jarak pandang mendahului adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain didepannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke lajur semula. Jarak pandang mendahului di ukur berdasarkan asumsi tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan adalah 105 cm. Jarak kendaraan mendahului dengan kendaraan datang dan jarak pandang mendahului sesuai dengan Vr dapat dilihat pada tabel 2.9 dan 2.10

Tabel 2.9 Jarak Kendaraan Mendahului dengan Kendaraan Datang

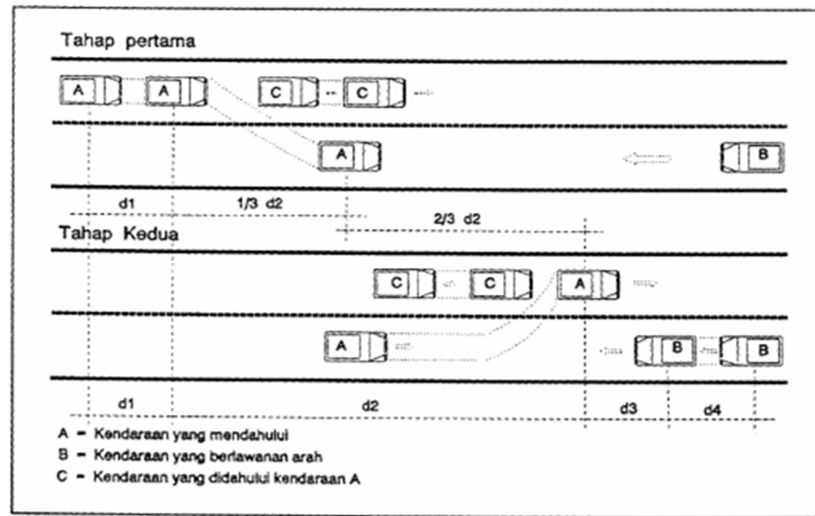
V (km/jam)	50–65	65–80	80–95	95 – 110
Jh minimum (m)	30	55	75	90

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

Tabel 2.10 Panjang jarak Pandang Mendahului berdasarkan Vr

V (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jd	800	675	550	350	250	200	150	100

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)



Gambar 2.1 Jarak Pandang Mendahului

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

$$J_d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \dots (2.4)$$

dimana :

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 berlawanan, yang besarnya diambil sama dengan $213 d_2$ (m).

c. Daerah Bebas Samping Di Tikungan

Daerah Bebas Samping Di Tikungan (E) adalah ruang untuk menjamin kebebasan pandang pengemudi kendaraan di tikungan, sehingga J_h dapat terpenuhi, dan dimaksudkan untuk memberikan kemudahan pandangan pengemudi di tikungan dengan membebaskan obyek-obyek penghalang sejauh E , yang diukur dari garis tengah lajur dalam sampai pada obyek penghalang, sehingga persyaratan untuk J_h terpenuhi.

- Ada dua bentuk Daerah Bebas Samping Di Tikungan, yaitu: Jarak Pandang Henti (J_h)
- Jarak Pandang Menyiap (J_d)

Adapun rumusan Daerah Bebas Samping Di Tikungan (E), adalah:

$$(J_h) E = R \left\{ 1 - \cos\left(\frac{90^\circ \cdot J_h}{\pi R}\right) \right\} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$(J_d) E = R \left\{ 1 - \cos\left(\frac{90^\circ \cdot L}{\pi R}\right) + \frac{1}{2} (J_d - L_t) \sin\left(\frac{90^\circ \cdot L}{\pi R}\right) \right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

R = jari-jari tikungan (m)

J_h = jarak pandang henti (m)

L_t = panjang tikungan (m)

2.3 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal adalah proyeksi horizontal dari sumbu jalan tegak lurus bidang peta situasi jalan. Alinyemen horizontal merupakan trase jalan yang terdiri dari :

1. Garis tegak lurus (garis tangen), merupakan jalan bagian lurus
2. Lengkung horizontal yang disebut tikungan

2.3.1 Penentuan trase jalan

Pada perencanaan alinyemen horizontal pada seluruh bagian harus dapat memberikan pelayanan yang sesuai dengan fungsinya serta keamanan dan kenyamanan pemakainya.

Untuk membuat trase jalan yang baik dan ideal, maka harus memperhatikan syarat-syarat berikut :

1. Syarat Ekonomis
 - a. Penarikan trase jalan yang tidak terlalu banyak memotong kontur, sehingga dapat menghemat biaya dalam pelaksanaan pekerjaan galian dan timbunan nantinya.
 - b. Penyediaan material dan tenaga kerja yang diharapkan tidak terlalu jauh dari lokasi proyek sehingga dapat menekan biaya.

2. Syarat Teknis

Tujuannya adalah untuk mendapatkan jalan yang memberikan rasa keamanan dan kenyamanan bagi pemakai jalan tersebut. Oleh karena itu perlu diperhatikan keadaan topografi tersebut, sehingga dapat dicapai perencanaan yang baik sesuai dengan keadaan daerah setempat.

2.3.2 Bagian lurus

Dengan mempertimbangkan faktor keselamatan pemakai jalan, ditinjau dari segi kelelahan pengemudi, maka panjang maksimum bagian jalan yang lurus harus ditempuh dalam waktu $\leq 2,5$ menit (sesuai V_r). Nilai panjang bagian lurus maksimum dapat dilihat pada tabel 2.11

Tabel 2.11 Panjang Bagian Lurus Maksimum

Fungsi Jalan	Panjang Bagian Lurus Maksimum (m)		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	3000	2500	2000
Kolektor	2000	1750	1500

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

2.3.3 Tikungan

Bagian yang sangat kritis pada alinyemen horizontal adalah bagian tikungan, dimana terdapat gaya sentrifugal yang menyebabkan kendaraan tidak stabil. Gaya sentrifugal ini mendorong kendaraan secara radial keluar jalur. Atas dasar ini maka perencanaan tikungan agar dapat memberikan keamanan dan kenyamanan perlu mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

1. Jari-jari lengkung minimum

Untuk menghindari terjadinya kecelakaan, maka untuk kecepatan tertentu ditentukan jari-jari minimum untuk superelevasi maksimum 10%. Nilai panjang jari-jari minimum dapat dilihat pada tabel 2.12

Tabel 2.12 Panjang Jari-jari Minimum untuk emaks = 10%

V (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jari-jari minimum (m)	600	370	210	110	80	50	30	15

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

2. Bentuk-bentuk tikungan

Didalam suatu perencanaan garis lengkung maka perlu diketahui hubungan kecepatan rencana dengan kemiringan melintang jalan (superelevasi) karena garis lengkung yang direncanakan harus dapat mengurangi gaya sentrifugal secara berangsur-angsur mulai dari nol sampai nol kembali. Bentuk tikungan dalam perencanaan tersebut adalah :

a. Bentuk tikungan *full circle*

Bentuk tikungan ini digunakan pada tikungan yang mempunyai jari-jari besar dan sudut tangen yang relatif kecil. Atas dasar ini maka perencanaan tikungan dapat memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan raya, dalam merencanakan tikungan harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Lengkung peralihan
- 2) Kemiringan melintang (superelevasi)
- 3) Pelebaran perkerasan jalan
- 4) Kebebasan samping

Jenis tikungan *full circle* ini merupakan jenis tikungan yang paling ideal ditinjau dari segi keamanan dan kenyamanan pengendara dan kendaraannya, namun apabila ditinjau dari penggunaan lahan dan biaya pembangunannya yang relatif terbatas, jenis tikungan ini merupakan pilihan yang sangat mahal.

Adapun batasan dimana diperbolehkan menggunakan *full circle* adalah sebagai berikut sesuai tabel 2.13

Tabel 2.13 Jari-Jari Minimum Yang Tidak Memerlukan Lengkung Peralihan

V (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jari-jari minimum (m)	2500	1500	900	500	350	250	130	60

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

Rumus-rumus yang digunakan pada tikungan *full circle*, yaitu :

$$D_{\max} = \frac{1432,4}{R_{\min}}; D = \frac{1432,4}{R} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$e = -\frac{e_{\max}}{D^2_{\max}} \cdot D^2 + \frac{2e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D \dots\dots\dots(2.8)$$

$$L's = (e + en) \cdot \frac{1}{2} \cdot Bm \dots\dots\dots(2.9)$$

$$L's = 0,022 \cdot \frac{V^3}{R \cdot c} - 2,727 \cdot \frac{V \cdot e}{c} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$Tc = R \tan \frac{1}{2} \Delta \dots\dots\dots(2.11)$$

$$Ec = T \tan \frac{1}{4} \Delta \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Lc = \frac{\pi}{180} \Delta R \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

Δ = Sudut tikungan atau sudut tangen

Tc = Jarak Tc dan PI

R = Jari-jari

Ec = Jarak PI ke busur lingkaran

Lc = Panjang busur lingkaran

Ls = Lengkung peralihan fiktif

D = Derajat lengkung

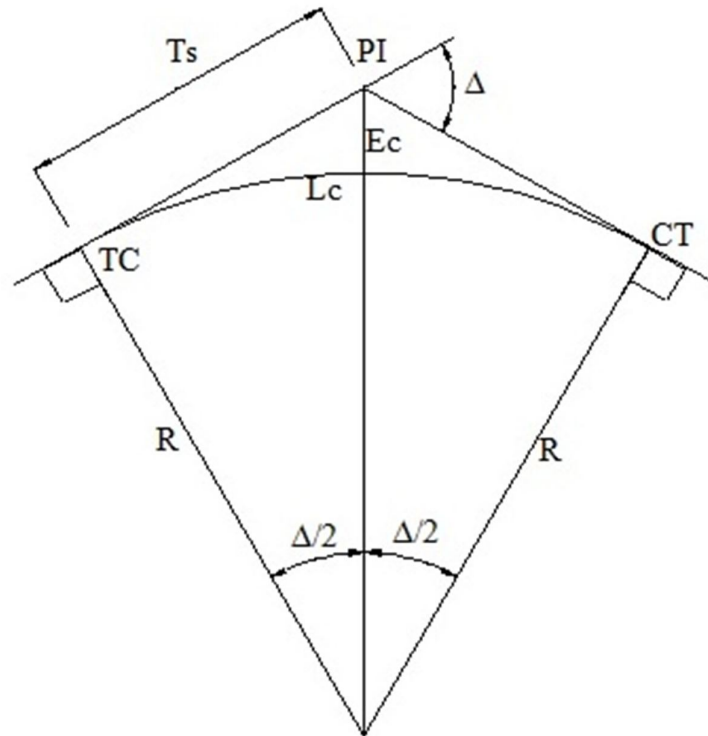
V = Kecepatan

B = Lebar jalan

C = Perubahan percepatan

f_m = Koefisien gesekan melintang = $0,19 - 0,000625 V$

m = Landai relatif = $2.V + 40$



Gambar 2.2 Bentuk Tikungan *Full Circle*

b. Tikungan *spiral-circle-spiral*

Bentuk tikungan ini digunakan pada daerah-daerah perbukitan atau pegunungan, karena tikungan jenis ini memiliki lengkung peralihan yang memungkinkan perubahan menikung tidak secara mendadak dan tikungan tersebut menjadi aman. Adapun jari-jari yang di ambil untuk tikungan *spiral-circle-spiral* ini haruslah sesuai dengan kecepatan dan tidak mengakibatkan adanya kemiringan tikungan yang melebihi harga maksimum yang ditentukan, yaitu :

- Kemiringan maksimum antar jalan kota : 0,10
- Kemiringan maksimum jalan dalam kota : 0,08
- Rumus-rumus yang digunakan pada tikungan *spiral-circle-spiral*, yaitu

Tabel 2.14 Jari-Jari Minimum Yang Memerlukan Lengkung Peralihan

V (km/jam)	120	100	90	80	60	50	40	30	20
Jari-jari minimum (m)	600	370	280	210	115	80	50	30	15

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

$$D_{\max} = \frac{1432,4}{R_{\min}}; D = \frac{1432,4}{R} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$e = -\frac{e_{\max}}{D^2_{\max}} \cdot D^2 + \frac{2e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D \dots\dots\dots (2.15)$$

$$L's = \frac{V}{3,6} T \dots\dots\dots (2.16)$$

$$L's = \frac{(e_{\max} - en)}{3,6 \Gamma e} V \dots\dots\dots (2.17)$$

$$L's = 0,022 \cdot \frac{V^3}{R \cdot c} - 2,727 \cdot \frac{V \cdot e}{c} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$T_s = (R + P) \tan \frac{1}{2} \Delta + k \dots\dots\dots (2.19)$$

$$E_s = \frac{R + P}{\cos \frac{1}{2} \Delta} - R \dots\dots\dots (2.20)$$

$$L = L_c + 2 L_s \dots\dots\dots (2.21)$$

$$L_c = \frac{(\Delta - \Phi_s)}{180} \cdot \pi \cdot R \dots\dots\dots (2.22)$$

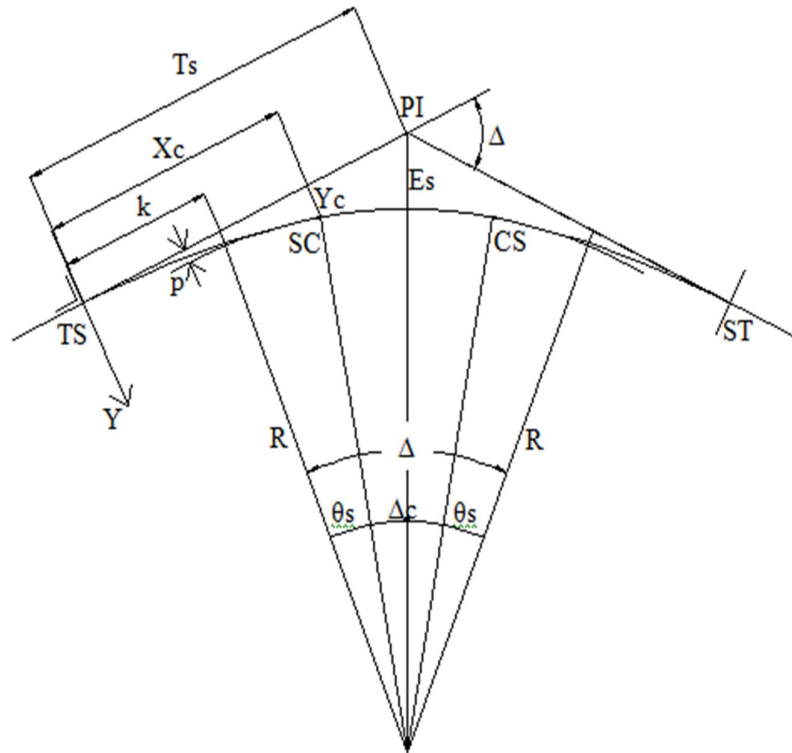
$$\Delta = \Delta - 2.\theta_s \dots\dots\dots (2.23)$$

$$X_s = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40 R c^2} \right) \dots\dots\dots (2.24)$$

$$Y_s = \frac{L_s^2}{6 R c} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

- Γ_e = Tingkat pencapaian perubahan kelandaian $V \leq 70$ km/jam $\Gamma_e \max = 0,035\text{m/m/det}$, $V \geq 80$ km/jam $\Gamma_e \max = 0,025\text{m/m/dt}$
- Δ = Sudut tikungan atau sudut tangen
- 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
- T_s = Titik perubahan dari tangen ke spiral
- R = Jari-jari
- E_s = Jarak PI ke busur lingkaran
- L_c = Panjang lengkung lingkaran
- L_s = Lengkung peralihan fiktif
- D = Derajat lengkung
- V = Kecepatan
- B = Lebar jalan
- C = Perubahan percepatan
- f_m = Koefisien gesekan melintang = $0,19 - 0,000625 V$
- m = Landai relatif = $2.V + 40$



Gambar 2.3 Bentuk Tikungan *Spiral-Circle-Spiral*

Kontrol :

$$L_c > 20 \text{ m}$$

$$L > 2 T_s$$

Jika $L < 20 \text{ m}$, gunakan jenis tikungan *spiral-spiral*

c. Tikungan *spiral-spiral*

Bentuk tikungan ini digunakan pada tikungan yang tajam.

Rumus-rumus yang digunakan pada tikungan *spiral-spiral*, yaitu :

Tabel 2.15 Jari-Jari Minimum Yang Memerlukan Lengkung Peralihan

V (km/jam)	120	100	90	80	60	50	40	30	20
Jari-jari minimum (m)	600	370	280	210	115	80	50	30	15

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

$$D_{\max} = \frac{1432,4}{R_{\min}}; D = \frac{1432,4}{R} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$e = -\frac{e_{\max}}{D^2_{\max}} \cdot D^2 + \frac{2e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D \dots\dots\dots (2.27)$$

$$L's = \frac{(e_{\max} - en)}{3,6 \Gamma e} \cdot V \dots\dots\dots (2.28)$$

$$L's = 0,022 \cdot \frac{V^3}{R \cdot c} - 2,727 \cdot \frac{V \cdot e}{c} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$Ls^* = \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R}{90} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$Ts = (R + P) \tan \frac{1}{2} \Delta + k \dots\dots\dots (2.31)$$

$$Es = \frac{R + P}{\cos \frac{1}{2} \Delta} - R \dots\dots\dots (2.32)$$

$$L = 2 \cdot Ls \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana :

Δ = Sudut tikungan atau sudut tangen

Ts = Titik perubahan dari tangen ke spiral

R = Jari-jari

Es = Jarak PI ke busur lingkaran

Ls = Lengkung peralihan fiktif

D = Derajat lengkung

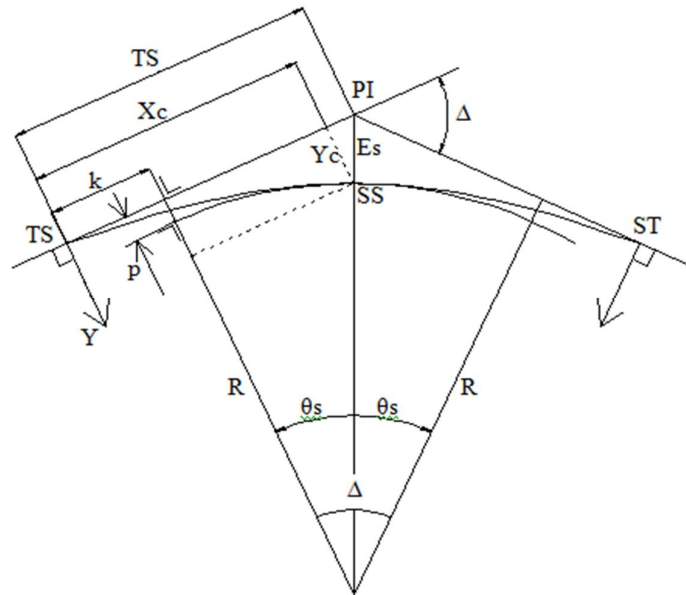
V = Kecepatan

B = Lebar jalan

C = Perubahan percepatan

f_m = Koefisien gesekan melintang = 0,19 – 0,000625 V

m = Landai relatif = 2.V + 4



Gambar 2.4 Bentuk Tikungan *Spiral-Spiral*

3. Superelevasi

Penggambaran superelevasi dilakukan untuk mengetahui kemiringan-kemiringan jalan pada bagian tertentu, yang berfungsi untuk mempermudah dalam pekerjaannya atau pelaksanaannya dilapangan.

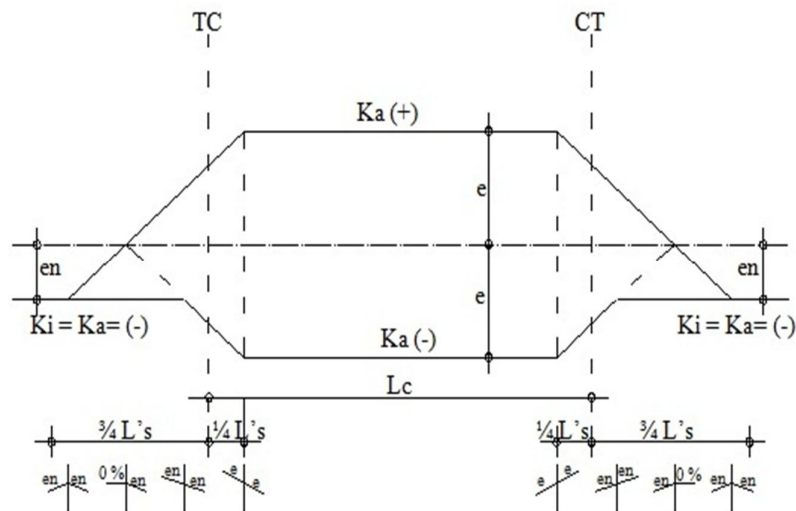
a. Pencapaian superelevasi

- 1) Superelevasi dapat dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus sampai kemiringan penuh (superelevasi) pada bagian lengkung
- 2) Pada tikungan *spiral-circle-spiral*, pencapaian superelevasi dilakukan secara linier, diawali dari bentuk normal sampai lengkung peralihan (TS) yang berbentuk pada bagian lurus jalan, lalu dilanjutkan sampai superelevasi penuh pada akhir bagian lengkung peralihan
- 3) Pada tikungan *full circle*, pencapaian superelevasi dilakukan secara linier, diawali dari bagian lurus sepanjang $2/3 L_s$ sampai dengan bagian lingkaran penuh sepanjang $1/3 L_s$

- 4) Pada tikungan *spiral-spiral*, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral
- 5) Superelevasi tidak diperlukan jika raiud cukup besar, untuk itu cukup lereng luar diputar sebesar lereng normal (LP). Atau bahkan tetap lereng normal (LN)

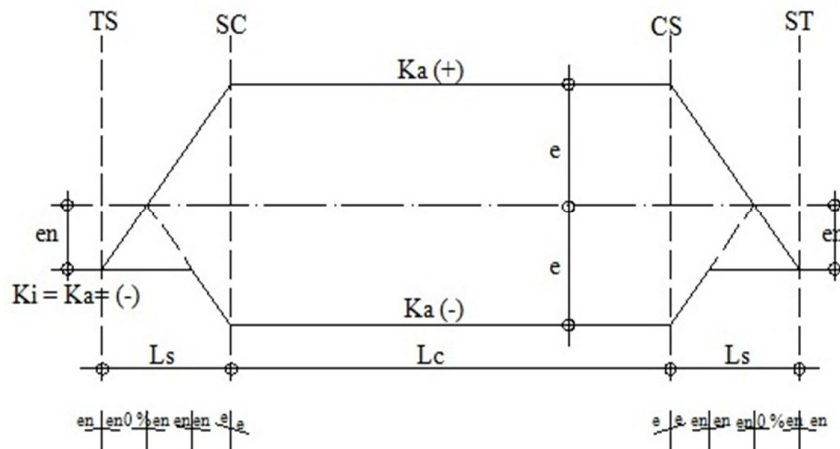
b. Diagram superelevasi

1) Tikungan *full circle*



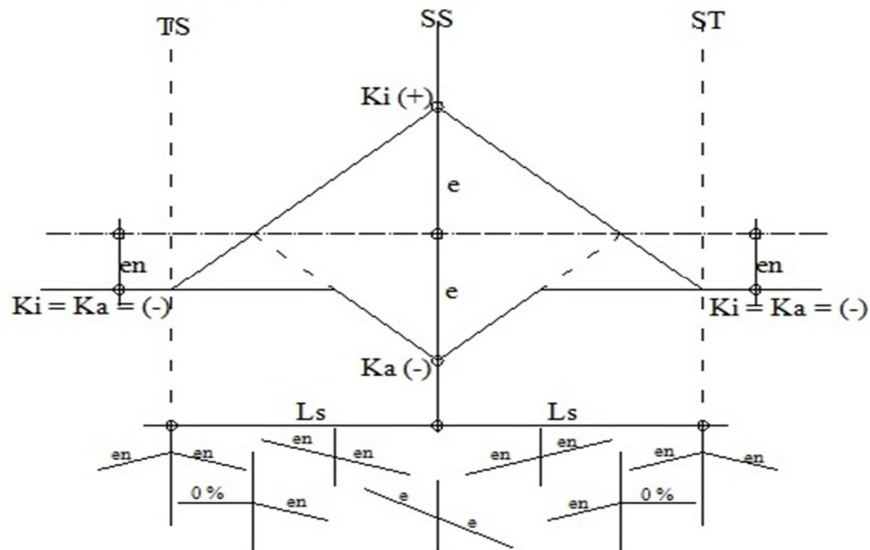
Gambar 2.5 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Full Circle*

2) Tikungan *spiral-circle-spiral*



Gambar 2.6 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Spiral-Circle-Spiral*

3) Tikungan *spiral-spiral*



Gambar 2.7 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Spiral-Spiral*

2.3.4 Pelebaran perkerasan pada tikungan

Kendaraan yang bergerak dari jalan lurus menuju tikungan, seringkali tidak dapat mempertahankan lintasannya pada lajur yang disediakan. Hal ini disebabkan karena :

1. Pada waktu berbelok pertama kali hanya roda depan, sehingga lintasan roda belakang agak keluar lajur (*off tracking*).
2. Jarak lintasan kendaraan tidak lagi berimpit, karena bumper depan dan belakang kendaraan akan mempunyai lintasan yang berbeda dengan lintasan roda depan dan roda belakang kendaraan.
3. Pengemudi akan mengalami kesulitan dalam mempertahankan lintasannya tetap pada lajur jalannya terutama pada tikungan-tikungan yang tajam atau pada kecepatan tinggi.

Untuk menghindari hal-hal tersebut diatas maka pada tikungan yang tajam perlu perkerasan jalan yang diperlebar. Pelebaran perkerasan ini merupakan faktor dari jari-jari lengkung, kecepatan kendaraan, jenis, dan ukuran kendaraan rencana yang akan dipergunakan sebagai jalan perencanaan.

Pada umumnya truck tunggal sebagai dasar penentuan tambahan lebar perkerasan yang dibutuhkan. Tetapi pada jalan-jalan dimana banyak dilewati kendaraan berat, jenis kendaraan semi trailer merupakan kendaraan yang cocok dipilih untuk kendaraan rencana.

Tentu saja pemilihan jenis kendaraan rencana ini sangat mempengaruhi kebutuhan akan pelebaran perkerasan dan biaya pelaksanaan jalan tersebut. Pelebaran perkerasan pada tikungan sangat bergantung pada jari-jari tikungan, sudut tikungan dan kecepatan rencana.

Elemen-elemen dari pelebaran perkerasan tikungan terdiri dari:

a. *Off Tracking*

Untuk perencanaan geometrik jalan antar kota, Bina Marga memperhitungkan lebar B dengan mengambil posisi kritis kendaraan yaitu pada saat roda depan kendaraan pertama kali dibelokkan dan tinjauan dilakukan pada lajur sebelah dalam.

Rumus:

$$B = R_w - R_i \dots\dots\dots(2.34)$$

$$R_i + b = \sqrt{(R_w^2 - (p + A)^2)} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$R_w = \sqrt{(R_i + b)^2 + (p + A)^2} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$R_i = R_w - B \dots\dots\dots(2.37)$$

$$R_w - B + b = \sqrt{(R_w^2 - (p + A)^2)} \dots\dots\dots(2.38)$$

$$B = R_w + b - \sqrt{(R_w^2 - (p + A)^2)} \dots\dots\dots(2.39)$$

Keterangan:

b = lebar kendaraan rencana

B = lebar perkerasan yang ditempati satu kendaraan ditingkungan pada lajur sebelah dalam

R_w = radius lengkung terluar dari lintasan kendaraan pada lengkung horizontal untuk lajur sebelah dalam. Besarnya R_w dipengaruhi oleh tonjolan depan (A) kendaraan dan

sudut belokan roda depan (α)

Ri = radius lengkung terdalam dari lintasan kendaraan pada lengkung horizontal untuk lajur sebelah dalam. Besarnya Ri dipengaruhi oleh jarak gandar kendaraan (p).

Rc = Radius lajur sebelah dalam – 0,5 lebar perkerasan + 0,5b

$$Rc^2 = (Ri + 0,5b)^2 + (p + A)^2$$

$$(Ri + 0,5b)^2 = Rc^2 - (p + A)^2$$

$$(Ri + 0,5b)^2 = \sqrt{Rw^2 - (p + A)^2} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$Ri = \sqrt{Rw^2 - (p + A)^2} - 0,5b \dots\dots\dots(2.41)$$

$$Rw = \sqrt{\left\{ \sqrt{Rc^2 - (p - A)^2} + \frac{1}{2}b \right\}^2 + (p + A)^2} \dots\dots\dots(2.42)$$

$$B = \sqrt{\left\{ \sqrt{Rc^2 - (p - A)^2} + \frac{1}{2}b \right\}^2 + (p + A)^2} \dots\dots\dots(2.43)$$

b. Kesukaran Dalam Mengemudi di Tungkungan

Semakin tinggi kecepatan kendaraan dan semakin tajam tikungan tersebut, semakin besar tambahan pelebaran akibat kesukaran dalam mengemudi. Hal ini disebabkan oleh karena kecenderungan terlemparnya kendaraan 29actor29 luar dalam gerakan menikung tersebut.

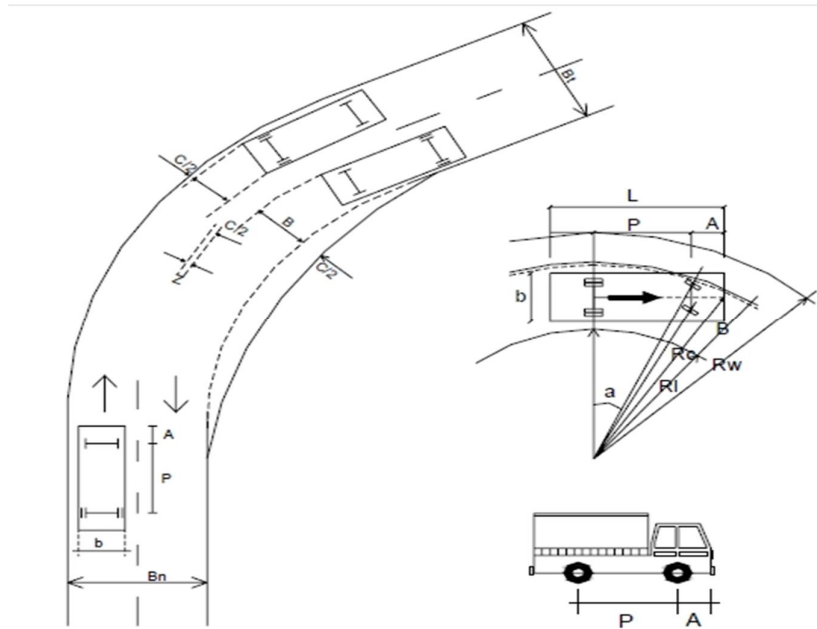
$$Z = 0,105 V/R \dots\dots\dots(2.44)$$

Keterangan:

V = Kecepatan, km/jam

R = Radius lengkung, m

Kebebasan samping di kiri dan kanan jalan tetap harus dipertahankan demi keamanan dan tingkat pelayanan jalan. Kebebasan samping © sebesar 0,5 m , 1 m, dan 1,25 m cukup memadai untuk jalan dengan lebar lajur 6 m, 7 m, dan 7,50 m.



Gambar 2.8 Pelebaran Perkerasan Pada Tungkungan

Keterangan:

- b = lebar kendaraan rencana
- B = lebar perkerasan yang ditempati suatu kendaraan ditungkungan pada lajur sebelah dalam
- U = $B - b$
- C = lebar kebebasan samping di kiri dan kanan kendaraan
- Z = lebar tambahan akibat kesukaran mengemudi di tungkungan
- B_n = lebar total perkerasan pada bagian lurus
- B_t = lebar total perkerasan di tungkungan = $n(B+C) + Z$
- n = jumlah lajur
- Δb = tambahan lebar perkerasan di tungkungan = $B_t - B_n$

2.4 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah bidang tegak yang melalui sumbu jalan atau proyeksi tegak lurus bidang gambar. Profil ini menggambarkan tinggi rendahnya jalan terhadap muka tanah asli, sehingga memberikan gambaran terhadap kemampuan kendaraan dalam keadaan naik dan bermuatan penuh.

Alinyemen vertikal sangat erat hubungan dengan besarnya biaya pembangunan, biaya penggunaan kendaraan serta jumlah lalu lintas. Kalau pada alinyemen horizontal yang merupakan bagian kritis adalah lengkung horizontal (bagian tikungan) maka pada alinyemen vertikal yang merupakan bagian kritis justru pada bagian lurus. Kemampuan pendakian dari kendaraan truck dipengaruhi oleh panjang pendakian (panjang kritis landai) dan besarnya landai.

2.4.1 Landai maksimum dan panjang maksimum landai

Panjang kritis landai adalah panjang yang masih dapat diterima tanpa mengakibatkan gangguan lalu lintas. Panjang kritis ini di perlukan sebagai batasan panjang kelandaian maksimum agar pengurangan kecepatan kendaraan tidak lebih dari separuh V_r .

Lama perjalanan pada panjang kritis tidak lebih dari satu menit

Tabel 2.16 Panjang Kritis

Landai maksimum (%)	Landai maksimum (%)						
	4	5	6	7	8	9	10
80	630	460	360	270	230	230	200
60	320	160	160	120	110	90	80

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)

2.4.2 Lengkung vertikal

Pada setiap penggantian landai harus dibuat lengkung vertikal yang memenuhi keamanan, kenyamanan dan drainase yang baik. Lengkung vertikal adalah lengkung yang dipakai untuk mengadakan peralihan secara berangsur-angsur dari suatu landai ke landai berikutnya.

Maka persamaan umum dari lengkung vertikal, yaitu :

$$Y' = \pm \left[\frac{g_2 - g_1}{2.L} \right] . X^2 \dots\dots\dots (2.45)$$

Lengkung vertikal terbagi atas :

1. Lengkung vertikal cembung
2. Lengkung vertikal cekung

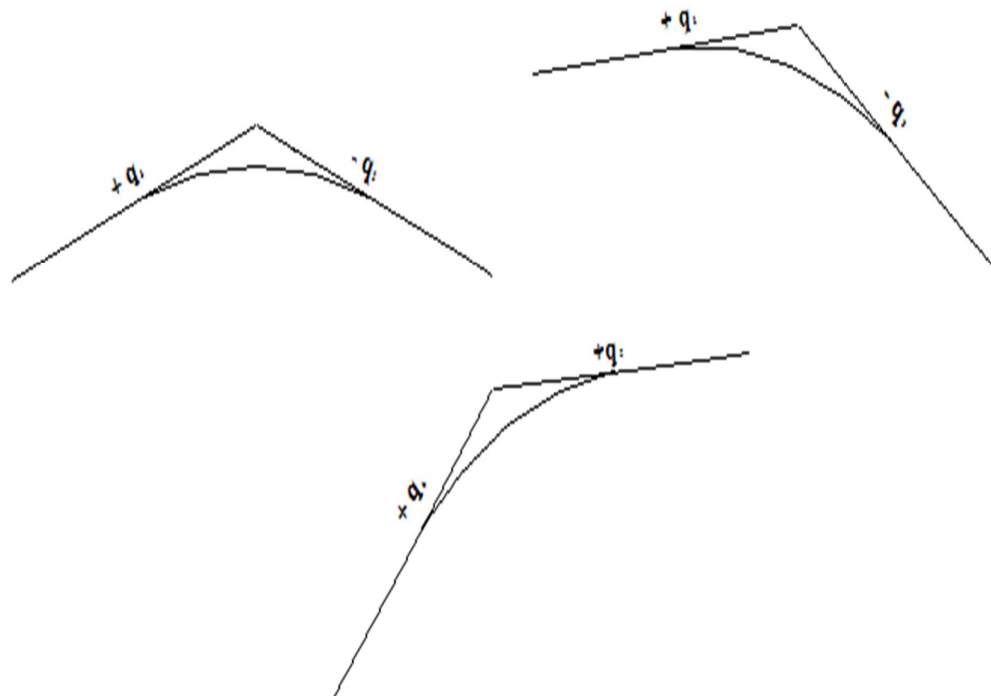
Kelandaian menaik diberi tanda (+), sedangkan kelandaian menurun diberi tanda (-). Ketentuan menaik atau menurun ditinjau dari sebelah kiri.

$$EV = \frac{A.L}{800} \dots\dots\dots(2.46)$$

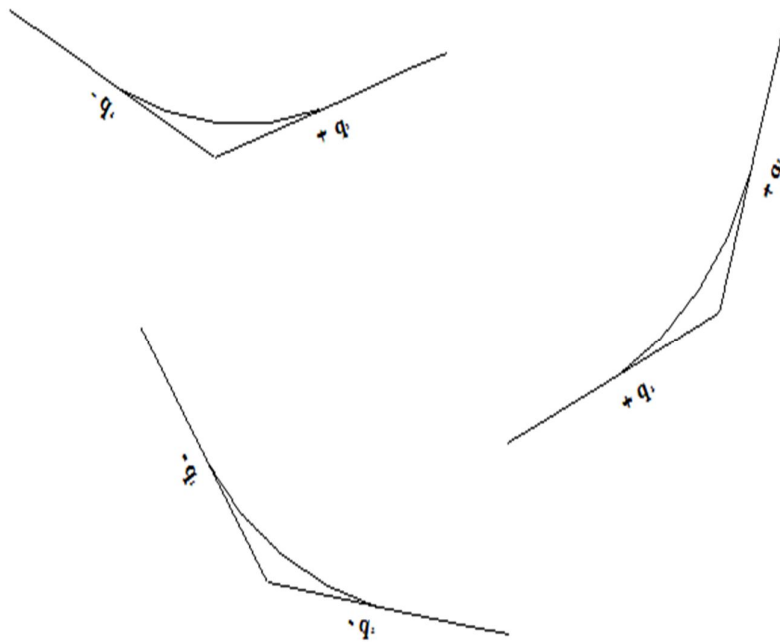
Dimana :

$$A = (g_1 + g_2)$$

L = Panjang lengkung vertikal



Gambar 2.9 Alinyemen Vertikal Cembung



Gambar 2.10 Alinyemen Vertikal Cekung

2.5 Perencanaan Galian dan Timbunan

Didalam perencanaan jalan raya diusahakan agar volume galian sama dengan volume timbunan. Dengan mengkombinasikan alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal memungkinkan kita untuk menghitung banyaknya volume galian dan timbunan.

Langkah-langkah perhitungan galian dan timbunan :

1. Penentuan stationing sehingga diperoleh panjang horizontal jalan dari alinyemen horizontal (trase)
2. Gambarkan profil memanjang (alinyemen vertikal) untuk memperlihatkan perbedaan tinggi muka tanah asli dengan tinggi muka perkerasan yang akan direncanakan
3. Gambarkan profil melintang pada tiap titik stationing sehingga dapat luas penampang galian dan timbunan
4. Hitung volume galian dan timbunan dengan mengkalikan luas penampang rata-rata dari galian atau timbunan dengan jarak antar patok

Penomoran (*stationing*) panjang jalan pada tahap perencanaan adalah memberi nomor pada interval-interval tertentu dari awal sampai akhir proyek stationing jalan dibutuhkan sebagai sarana informasi untuk dengan cepat mengenali lokasi yang sedang ditinjau dan sangat bermanfaat pada saat pelaksanaan dan perencanaan. Adapun interval untuk masing-masing penomoran jika tidak adanya perubahan arah tangen pada alinyemen horizontal maupun alinyemen vertikal adalah sebagai berikut :

- Setiap 100 m, untuk daerah datar
- Setiap 50 m, untuk daerah bukit
- Setiap 25 m, untuk daerah gunung

Stationing ini sama fungsinya dengan patok-patok km di sepanjang jalan, namun juga terdapat perbedaannya yaitu:

1. Patok km merupakan petunjuk jarak yang akan di ukur dari patok km, yang umumnya terletak di ibu kota provinsi atau kotamadya, sedangkan patok stationing merupakan petunjuk yang di ukur dari bawah sampai akhir proyek
2. Patok km merupakan patok permanent yang dipasang dengan ukuran standar yang berlaku, sedangkan patok stationing merupakan patok sementara selama masa pelaksanaan proyek jalan tersebut Pada tikungan penomoran dilakukan pada setiap komponen pada tikungan.

2.6 Perencanaan Tebal Perkerasan

Perkerasan jalan adalah suatu bagian konstruksi jalan yang terletak diatas tanah dasar yang bertujuan untuk melewati lalulintas dengan aman dan nyaman serta menerima dan meneruskan beban lalulintas ketanah dasar.

Jenis-jenis konstruksi perkerasan, yaitu :

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Konstruksi perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalulintas ke tanah. Konstruksi perkerasan lentur dipandang dari keamanan dan kenyamanan berlalu lintas haruslah

memenuhi syarat, seperti permukaan yang rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang dan permukaan yang cukup kaku sehingga tidak berubah bentuk akibat beban yang bekerja di atasnya. Konstruksi perkerasan terdiri dari:

- a. Lapis permukaan (*surface course*), berfungsi sebagai:
 - Lapis perkerasan penahan beban roda. Lapisan ini mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
 - Lapis aus, sebagai lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
 - Lapis kedap air, sebagai lapisan yang tidak tembus oleh air hujan yang jatuh di atasnya sehingga dapat melemahkan lapisan tersebut.
 - Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah.

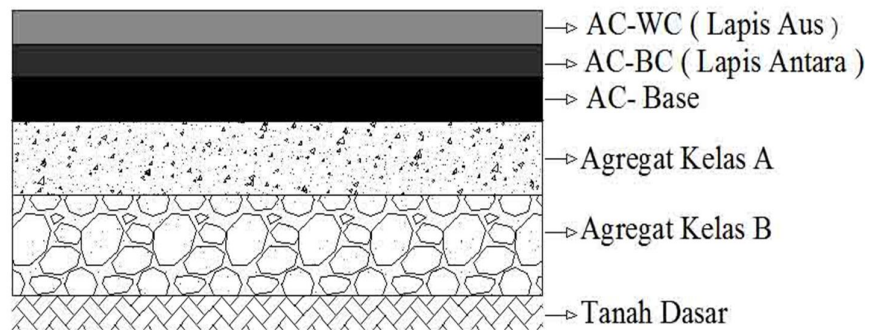
- b. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*), berfungsi untuk:
 - Menahan gaya lintang dan menyebarkan ke lapis dibawahnya.
 - Lapisan peresapan untuk lapis pondasi bawah.
 - Lantai kerja bagi lapisan permukaan.
 - Mengurangi *compressive stress* pada *sub-base* sampai tingkat yang dapat diterima.
 - Menjaga bahwa besarnya regangan pada lapis bawah bitumen (material surface) tidak akan menyebabkan cracking.

- c. Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*), berfungsi untuk:
 - Menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
 - Mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapisan pondasi.
 - Efisiensi penggunaan material.
 - Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
 - Lantai kerja bagi lapis pondasi atas.

d. Lapisan Tanah Dasar (*sub-grade*)

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

Adapun struktur lapisan perkerasan lentur dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.11 Struktur Lapisan Perkerasan Lentur

2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Konstruksi perkerasan kaku yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat yang terdiri atas plat (*slab*) beton semen sebagai lapis pondasi dan lapis pondasi bawah di atas tanah dasar. Dalam konstruksi perkerasan kaku, plat beton sering disebut sebagai lapis pondasi karena dimungkinkan masih adanya lapisan aspal beton di atasnya yang berfungsi sebagai lapis permukaan. Perkerasan beton yang

kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban ke bidang tanah dasar yang cukup luas sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari plat beton sendiri.

3. Perkerasan komposit (*composite pavement*)

Perkerasan komposit merupakan gabungan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) di atasnya, dimana kedua jenis perkerasan ini bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas. Untuk ini maka perlu ada persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar mempunyai kekakuan yang cukup serta dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton di bawah.

2.7 Parameter Perencanaan Tebal Perkerasan

Lapis perkerasan jalan berfungsi menerima dan menyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri. Dengan demikian dapat memberikan kenyamanan kepada pengemudi selama pelayanan jalan tersebut. Untuk itu dalam perencanaan konstruksi, lapis konstruksi perkerasan perlu sekali mempertimbangkan semua faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pelayanan konstruksi perkerasan jalan, seperti :

1. Sifat tanah dasar

Lapisan tanah dasar merupakan lapisan yang paling atas, yang nantinya akan diletakkan lapis perkerasan di atasnya. Kualitas tanah dasar akan sangat mempengaruhi kualitas dari konstruksi perkerasan secara keseluruhan. Sebelum dilakukan pekerjaan konstruksi perkerasan, tanah dasar ini terlebih dahulu harus diperiksa daya dukungnya. Pemeriksaan daya dukung tanah dapat dilakukan dengan CBR (*California Bearing Ratio*) merupakan cara yang paling sering digunakan di Indonesia, DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) dan lain sebagainya. CBR diperoleh dari hasil pemeriksaan contoh tanah yang telah disiapkan di laboratorium ataupun dilapangan. Sebelum dilakukan pengambilan contoh dilapangan, perlu dilakukan evaluasi terhadap kedalaman atau elevasi tanah dasar rencana,

sehingga para pengambil contoh dapat mengetahui pada lokasi atau posisi mana tanah harus diambil sebagai sample untuk di uji.

- a. Bila tanah dasar merupakan tanah hasil timbunan
Maka perlu ditinjau ketebalan lapisan timbunan tersebut. Untuk timbunan kurang dari 1 meter, maka sampel tanah diambil baik dari bahan timbunan maupun tanah aslinya. Untuk timbunan lebih dari 1 meter maka sampel tanah yang diambil cukup dari tanah timbunannya saja.
- b. Bila tanah dasar merupakan tanah hasil galian
Maka perlu diketahui kedalaman dari galian tersebut dari permukaan tanah aslinya. Dari kedalaman ini dapat diambil kesimpulan apakah perlu dilakukan test pit (sumur uji) atau cukup dilakukan analisa lapis dan sifat –sifat tanah lainnya dengan cara pemboran.
- c. Bila tanah dasar sama dengan muka tanah asli
Maka pengambilan contoh tanah dilakukan di sepanjang trase jalan. Interval pengambilan harus berdasarkan jenis tanah disepanjang trase tersebut. Untuk jenis tanah yang sama, maka pengambilan contoh dapat dilakukan dengan interval 1 km sekali, namun apabila terjadi pergantian jenis tanah, maka sampel tanah harus diambil pada setiap perubahan tersebut.

Penentuan nilai CBR untuk perencanaan jalan perlu mempertimbangkan segi ekonomis namun tidak mengorbankan segi kekuatan untuk konstruksi jalan yang akan dibangun. Pada kenyataannya, besarnya harga CBR pada setiap titik pengujian disepanjang jalur jalan tidaklah sama. Hal ini disebabkan oleh tidak seragamnya jenis dan kondisi tanah yang ada. Apabila perencanaan tebal lapis perkerasan hanya berdasarkan nilai CBR yang paling kecil, maka dapat dipastikan akan menghabiskan biaya yang cukup mahal.

Sebaliknya apabila diambil nilai CBR terbesar, maka dipastikan hasil perencanaan tidak akan memenuhi syarat. Sebaliknya sepanjang jalan

tersebut dibagi atas segmen-segmen jalan, dimana setiap segmennya mempunyai daya dukung yang hampir sama. Jadi segmen jalan adalah bagian dari panjang jalan yang mempunyai sifat-sifat tanah yang sama, antara lain daya dukung tanah, jenis tanah dan keadaan lingkungannya. Setiap segmen jalan mempunyai satu nilai CBR yang mewakili daya dukung tanah dasar dan digunakan untuk perencanaan tebal lapis perkerasan pada segmen jalan tersebut. Nilai CBR segmen dapat ditentukan dengan menggunakan cara analitis.

Perhitungan CBR dengan cara analitis dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$CBR_{\text{segmen}} = CBR_{\text{rata-rata}} - (CBR_{\text{maks}} - CBR_{\text{min}}) / R \dots \dots \dots (2.47)$$

Dimana nilai R tergantung dari jumlah data yang terdapat didalam satu segmen. Nilai R dapat dilihat pada tabel 2.17

Tabel 2.17 Nilai R Untuk Perhitungan CBR Segmen

Jumlah Titik Pengamatan	Nilai R
2	1,41
3	1,91
4	2,24
5	2,48
6	3,67
7	2,83
8	2,96
9	3,08
>10	3,18

(Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya, 1993)

2. Kinerja perkerasan jalan

Kinerja perkerasan jalan meliputi tiga hal utama yaitu :

- a. Keamanan yang ditentukan oleh nilai gesekan akibat kontak antara dua roda kendaraan dengan permukaan perkerasannya. Besarnya gaya gesek yang terjadi dipengaruhi oleh bentuk dan kondisi ban tekstur permukaan jalan dan kondisi cuaca
- b. Struktur perkerasan sehubungan dengan kondisi fisik dari perkerasan tersebut, misalnya retak-retak, alur, amblas, bergelombang, dan lain-lain
- c. Fungsi pelayanan sehubungan dengan bagaimana perkerasan tersebut memberikan pelayanan kepada pemakai jalan. Kondisi perkerasan dan fungsi pelayanannya merupakan satu kesatuan yang mendukung terwujudnya kenyamanan bagi pengemudi

3. Umur rencana

Umur rencana (UR) perkerasan jalan adalah jumlah waktu dalam satu tahun dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapisan permukaan yang baru. Selama umur rencana, pemeliharaan jalan tetap harus dilaksanakan seperti pelapisan nonstruktural yang berfungsi sebagai lapisan aus. Umur rencana untuk jalan yang baru dibuka pada umumnya diambil 20 tahun, sedangkan untuk peningkatan jalan pada umumnya diambil 10 tahun. Umur rencana lebih dari 20 tahun dipandang kurang ekonomis karena perkembangan lalu lintas terlalu besar atau sukar mendapat tingkat ketelitian yang memadai.

4. Lalu lintas

Tebal lapisan perkerasan jalan ditentukan dari beban yang akan dipikul dari arus lalu lintas yang hendak memakai jalan tersebut. Besarnya arus lalu lintas dapat diperoleh dari :

a. Angka ekuivalen kendaraan

Berat kendaraan ditransfer ke perkerasan jalan melalui roda-roda kendaraan yang terletak di ujung-ujung sumbu kendaraan. Setiap jenis kendaraan memiliki konfigurasi sumbu yang berbeda-beda. Sumbu depan merupakan sumbu tunggal roda tunggal, sedangkan sumbu

belakang dapat merupakan sumbu tunggal roda tunggal, sumbu tunggal roda ganda, ataupun sumbu ganda roda ganda. Dengan demikian setiap jenis kendaraan akan memiliki angka ekivalen yang merupakan hasil penjumlahan dari angka ekivalen sumbu depan dan sumbu belakang. Beban masing-masing sumbu dipengaruhi oleh titik berat dari kendaraan tersebut.

$$E = E_{\text{sumbu depan}} + E_{\text{sumbu belakang}} \dots\dots\dots(2.48)$$

$$E_{\text{sumbu depan}} = \text{Distribusi Beban}_{\text{sumbu depan}} \\ (\text{Beban}_{\text{sumbu tunggal, kg/8160}})^4 \dots\dots\dots(2.49)$$

$$E_{\text{sumbu belakang}} = \text{Distribusi Beban}_{\text{sumbu belakang}} \\ (\text{Beban}_{\text{sumbu tunggal, kg/8140}})^4 \dots\dots\dots(2.50)$$

Pada perencanaan tebal perkerasan sebaiknya tidak selalu mempergunakan angka ekivalen berdasarkan berat maksimum dan tidak juga menggunakan angka ekivalen berdasarkan berat kosong. Angka ekivalen yang digunakan untuk perencanaan adalah angka ekivalen berdasarkan berat kendaraan yang diharapkan selama umur rencana. Berat kendaran tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

- 1) Fungsi jalan, kendaraan berat yang memakai jalan arteri umumnya memuat muatan yang lebih berat daripada jalan lokal.
- 2) Keadaan medan, jalan yang mendaki mengakibatkan truk tidak mungkin memuat beban yang lebih berat dibandingkan dengan jalan pada medan datar.
- 3) Kondisi jembatan, jembatan-jembatan yang dibangun dengan kemampuan memikul beban yang terbatas jelas tidak mungkin untuk memikul beban truk yang melewati batas beban maksimum yang dapat dipikulnya.

- 4) Kegiatan ekonomi didaerah bersangkutan, jenis dan berat beban yang diangkut oleh kendaraan berat tergantung dari jenis kegiatan yang ada didaerah tersebut.
- 5) Perkembangan daerah, beban yang diangkut oleh kendaraan dapat berkembang sesuai dengan perkembangan daerah disekitar lokasi jalan

Dengan demikian, maka sebaiknya angka ekivalen yang dipergunakan untuk perencanaan tebal perkerasan adalah angka ekivalen hasil survey timbang yang telah dilakukan pada daerah tersebut.

b. Jumlah lajur dan koefisien distribusi kendaraan

Jalur rencana merupakan salah satu jalur lalulintas dari suatu ruas jalan raya yang terdiri dari satu lajur atau lebih. Jika jalan tidak mempunyai pembatas lajur, maka jumlah lajur ditentukan dari lebar perkerasan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.18

Tabel 2.18 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Lajur (n)
$L < 5,50 \text{ m}$	1 lajur
$5,50 \text{ m} \leq L < 8,25 \text{ m}$	2 lajur
$8,25 \text{ m} \leq L < 11,25 \text{ m}$	3 lajur
$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00 \text{ m}$	4 lajur
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75 \text{ m}$	5 lajur
$18,75 \text{ m} \leq L < 22,00 \text{ m}$	6 lajur

(Sumber : Perencanaan Teknik Jalan Raya Politeknik Negeri Bandung)

Persentase kendaraan pada lajur rencana dapat ditentukan dengan menggunakan koefisien distribusi kendaraan, untuk jenis kendaraan ringan dan berat. Koefisien distribusi kendaraan D_L dapat dilihat pada tabel 2.19

Tabel 2.19 Koefisien Distribusi Perlajur Rencana (D_L)

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 lajur	1,000	1,000	1,000	1,000
2 lajur	0,600	0,500	0,700	0,500
3 lajur	0,400	0,400	0,500	0,475
4 lajur	0,300	0,300	0,400	0,450
5 lajur	-	0,250	-	0,425
6 lajur	-	0,200	-	0,400

(Sumber : Perencanaan Teknik Jalan Raya Politeknik Negeri Bandung)

Keterangan :

- ❖ Berat total kendaraan ringan < 5 ton, misalnya : mobil penumpang, pick up, mobil hantaran
- ❖ Berat total kendaraan berat ≥ 5 ton, misalnya : bus, truck, traktor, semi trailer, trailer

c. Faktor ekuivalen beban sumbu kendaraan (LEF)

Load equivalency factor (LEF), setiap kelas kendaraan adalah sesuai dengan beban sumbu setiap kelas kendaraan, yaitu konfigurasi sumbu tunggal, sumbu ganda (*tandem*) dan tiga sumbu (*triple*). Faktor ekuivalen beban sumbu kendaraan dapat di hitung dengan persamaan :

$$LEF = \frac{Wt18}{Wtx} \dots\dots\dots(2.51)$$

$$\begin{aligned} \text{Log} \left(\frac{Wtx}{Wt18} \right) &= 4,79 \log (18 + 1) - 4,79 \log (lx + l_2) + 4,33 \log l_2 + \\ &\frac{\log \left(\frac{\Delta IP}{IP_o - IP_t} \right)}{0,40 + \frac{0,081(lx + l_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} l_2^{3,23}}} - \frac{\log \left(\frac{\Delta IP}{IP_o - IP_t} \right)}{0,40 + \frac{0,081(18 + 1)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19}}} \dots\dots\dots(2.52) \end{aligned}$$

Keterangan:

LEF = Angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang di timbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu standar

W_{tx} = Angka beban sumbu x pada akhir waktu t

W_{18} = Angka 18 –kip (80 KN) beban sumbu tunggal

l_x = Beban dalam kip pada suatu sumbu tunggal /sumbu ganda/sumbu triple

l_2 = Kode beban (1 poros tunggal, 2 tandem, 3 triple)

SN = Nilai struktural, fungsi dari ketebalan dan modulus setiap lapisan dan kondisi drainase dari pondasi dan pondasi bawah

ΔIP = Perbedaan antara indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0) dengan indeks pelayanan pada akhir umur rencana (I_{pt})

I_{pt} = Indeks pelayanan jalan hancur (min 1,5)

d. Akumulasi lalu lintas pada lajur rencana (W_{18})

W_{18} di berikan dalam komulatif beban sumbu standar. Untuk mendapatkan lalu lintas pada lajur rencana lalu lintas pada lajur rencana ini di berikan persamaan berikut pada lajur rencana lain:

$$W_{18} = 365 \times D_L \times W_{18} \dots\dots\dots(2.53)$$

Keterangan :

W_{18} = Akumulasi lalin pada lajur rencana pertahun

D_L = faktor distribusi lajur pada lajur rencana (tabel 2.17)

W_{18} = Akumulasi beban sumbu standar komulatif perhari, sesuai dengan

$$W_{18} = \sum_i^n B_{si} . LEFi \dots\dots\dots(2.54)$$

B_{si} = Beban setiap sumbu

$LEFi$ = Faktor ekivalen beban sumbu kendaraan

- e. Akumulasi beban sumbu standar selama umur rencana (W_t / W_{18})

Lalu lintas yang digunakan untuk perancangan tebal perkerasan lentur adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana.

Rumusan lalu lintas kumulatif ini adalah sebagai berikut :

$$W_t = W_{18} = W_{18} \times \left[\frac{(i + g)^{n-1}}{g} \right] \dots\dots\dots (2.55)$$

Keterangan :

$W_t = W_{18}$ = Jumlah beban sumbu tunggal standar komulatif pada lajur rencana

n = Umur pelayanan (tahun)

W_{18} = Beban sumbu standar komulatif 1 tahun , pada lajur rencana

g = Perkembangan lalulintas

5. Tingkat kepercayaan (*reabilitas*) R

Pengertian tingkat kepercayaan pada dasarnya merupakan cara untuk memasukkan faktor ketidak pastian kedalam proses perancangan perkerasan akan bertahan selama umur rencana.

Tabel. 2.20 Tingkat Reliabilitas untuk Berbagai Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan	Tingkat reliabilitas	
	Perkotaan	Antar kota
Bebas hambatan	85,0 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95

(Sumber : Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Kementerian Pekerjaan Umum)

penerapan konsep reabilitas harus memperhatikan langkah berikut :

- a. Definisikan klasifikasi fungsional jalan dan tentukan apakah merupakan jalan perkotaan atau antar kota.
- b. Pilih tingkat realibilitas dari rentang yang diberikan pada tabel
- c. Pilih deviasi standar (S_0) yang harus mewakili kondisi setempat rentang nilai S_0 adalah 0,35 – 0,45.

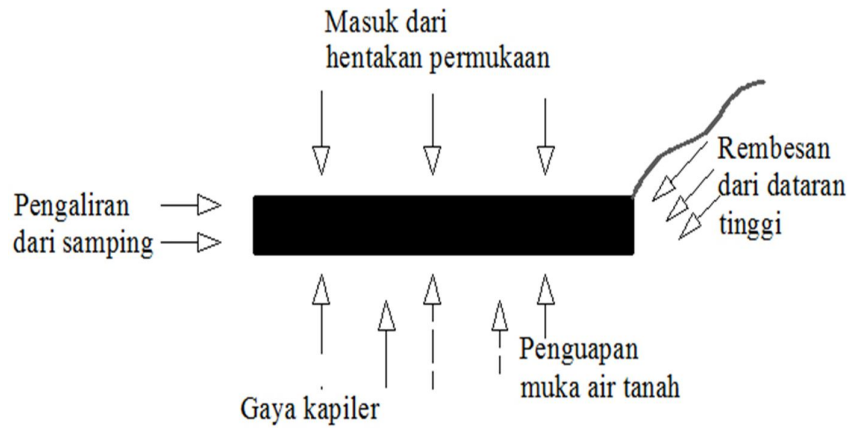
Tabel.2.21 Deviasi Normal Standar (Z_R) untuk Berbagai Tingkat Kepercayaan

Tingkat Kepercayaan R (%)	Deviasi Normal standar Z_R	Tingkat Kepercayaan R (%)	Deviasi Normal standar Z_R	Tingkat Kepercayaan R (%)	Deviasi Normal standar Z_R
50,00	-0,000	90,00	-1,282	96,00	-1,751
60,00	-0,253	91,00	-1,340	97,00	-1,881
70,00	-0,524	92,00	-1,405	98,00	-2,054
75,00	-0,674	93,00	-1,475	99,00	-2,327
80,00	-0,841	94,00	-1,555	99,90	-3,090
85,00	-1,037	95,00	-1,645	99,99	-3,750

(Sumber : Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Kementerian Pekerjaan Umum)

6. Drainase

Salah satu tujuan dari perancangan perkerasan jalan adalah agar lapisan pondasi, pondasi bawah dan tanah dasar terhindar dari pengaruh air, namun selama umur pelayanan masuknya air pada perkerasan sulit untuk dihindari, pada umumnya sumber air yang masuk kedalam sistem perkerasan baik melalui infiltrasi dari permukaan (misalnya melalui retakan lapisan permukaan), infiltrasi dari tepi perkerasan (misalnya dari parit / bahu yang tidak kedap air



Gambar 2.12 Ilustrasi sumber air yang dapat masuk ke perkerasan

Kualitas drainase menurut AASTHO 1993 adalah berdasarkan pada metoda *time-to-drain*. *Time-to-drain* adalah waktu yang di butuhkan oleh sistem perkerasan mengalirkan air dari keadaan jenuh sampai derajat kejenuhan 50%.

$$t = T_{50} \times md \times 24 \dots\dots\dots(2.56)$$

Keterangan :

t = Waktu penyerapan (*time to drain*)

T_{50} = Faktor waktu (*time factor*)

md = Faktor yang berhubungan dengan prioritas efektif, permeabilitas, resultan, panjang serta tebal lapisan drainase.

Untuk menghitung faktor kemiringan (*slope factor*) S_I dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_I = \frac{L_R \times S_R}{H} \dots\dots\dots(2.57)$$

Keterangan :

$$S_R = (S^2 + S_x^2)^{1/2} \dots\dots\dots(2.58)$$

$$L_R = W \left[1 + \left(\frac{S}{S_x} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.59)$$

md = tebal lapis permeabel (ft)

Nilai Md dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_d = \frac{n_e \times L_R^2}{kH} \dots\dots\dots(2.60)$$

Keterangan :

n_e = Porositas efektif lapisan drainase

k = Permeabilitas lapisan drainase dalam *feet* / hari sesuai persamaan 10 atau gambar .

L_R = Resultan panjang (*feet*)

H = Tebal lapisan *permeabel* (ft) .

$$k = \frac{6,214 \times 10^5 \times D_{10}^{1,478} \times n^{6,654}}{P_{200}^{0,597}} \dots\dots\dots(2.61)$$

Keterangan :

P_{200} = berat agregat yang lolos saringan no.200 dalam persen

k = Permeabilitas lapisan drainase dalam *feet*

D_{10} = Ukuran efektif/ukuran yg 10% berat lolos saringan

n = porositas material (tanpa satuan) nilai rasio dari volume relatif dan total volume

persamaan untuk menentukan koefisien drainase yang akan di gunakan, mencakup :

- a. Menghitung porositas material

$$n = 1 \left(\frac{\gamma d}{62,4 G} \right) \dots\dots\dots (2.62)$$

Keterangan :

- n = Porositas material (tanpa satuan), nilai rasio dari volume relatif dan total volume
 γd = kepadatan kering dalam Ib/ft³
 G = berat jenis curah (*bulk*), biasanya sekitar 2,5-2,7

- b. Menghitung resultan kemiringan (*slope resultant*)

$$SR = (S^2 + S_x^2)^{1/2} \dots\dots\dots (2.63)$$

Keterangan :

- SR = Resultan kemiringan %
 S = Kemiringan memanjang lapisan drainase %
 S_x = Kemiringan melintang lapisan drainase

- c. Menghitung resultan panjang (*leght resultant*)

$$L R = W \left[1 + \left(\frac{S}{S_x^2} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2.64)$$

Keterangan :

- R = Resultan panjang (*feet*)
 W = Lebar lapisan drainase
 S = Kemiringan memanjang lapisan drainase %
 S_x = Kemiringan melintang lapisan drainase %

Nilai koefisien M yang akan digunakan dalam perancangan ditentukan dari kualitas drainase

Tabel 2.22 Definisi Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Air hilang dalam
Baik sekali	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1 minggu
Jelek	1 bulan
Jelek sekali	Air tidak akan mengalir

(Sumber : Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Kementerian Pekerjaan Umum)

Tabel 2.23 Koefisien Drainase (m) untuk Memodifikasi Koefisien Kekuatan Relatif Material *Untreated Base* dan *Subbase*

Kualitas Drainase	Persen waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh			
	< 1 %	1-5 %	5-25 %	>25 %
Baik sekali	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Baik	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Sedang	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Jelek	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,40	0,60
Jelek sekali	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

(Sumber : Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Kementerian Pekerjaan Umum)

7. Kinerja perkerasan

Pada metoda ini tingkat pelayanan perkerasan dinyatakan dengan indeks pelayanan "IP saat ini (*present serviceability indeks*, PSi) yang di peroleh berdasarkan hasil pengukuran ketidak rataan (roughness) dan kausar, (alur retak dan tambahan). Nilai PSi berkisar antara 0-5, nilai 5 menunjukkan bahwa perkerasan mempunyai kondisi yang ideal (paling baik). Untuk keperluan perancangan, di perlukan penentuan indeks pelayanan awal dan indeks pelayanan akhir.

Tabel 2.24 Indeks Pelayanan Perkerasan Lentur Pada Akhir Umur Rencana (IPt)

Klasifikasi jalan	Indeks pelayanan perkerasan lentur pada akhir umur rencana
Bebas hambatan	$\geq 2,5$
Arteri	$\geq 2,5$
Kolektor	$\geq 2,0$

(Sumber : Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Kementerian Pekerjaan Umum)

Indeks pelayanan awal (IP_0) di peroleh berdasarkan perkiraan penggunaan terhadap kondisi perkerasan yang selesai dibangun. Indeks pelayanan awal yang digunakan untuk perkerasan lentur adalah 4,2. Indeks pelayanan awal (IPt) merupakan tingkat pelayanan terendah yang masih dapat di terima sebelum perkerasan perlu di perkuat. Untuk jalan-jalan utama, indeks pelayanan akhir digunakan, min 2,5 sedangkan untuk jalan-jalan yang kelasnya rendah 2,0.

Tabel 2.25 Indeks Pelayanan Pada Awal IP_0

Klasifikasi jalan	Indeks pelayanan perkerasan lentur Pada awal umur rencana (IP_0)
Lapis beton aspal (Laston /AC) dan lapis beton aspal modifikasi (laston modifikasi / AC – Mod)	$\geq 4,0$
Lapis tipis beton aspal (Lataston / HRS)	$\geq 4,0$

(Sumber : Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Kementerian Pekerjaan Umum)

8. Koefisien kekuatan relatif (a)

Koefisien kekuatan relatif bahan jalan, baik campuran beraspal sebagai lapis permukaan, maupun lapis podasi bawah

Tabel 2.26 Koefisien Kekuatan Relatif Bahan (a)

Jenis Bahan	Kekuatan bahan						Koef. kekuatan		
	Modulus elastis		Stabilitas Marshall(kg)	Kuat tekan Bebas (kg/cm ²)	ITS Kpa	CBR %	a1	a2	a3
	(mpa)	(x1000Psi)							
1. LAPIS PERMUKAAN									
Laston modifikasi									
- lapis aus modifikasi	3200 ⁵	460	1000				0,414		
- lapis antara modifikasi laston	3500 ⁵	508	1000				0,360		
- lapis aus	3000 ⁵	435	800				0,400		
- lapis antara laston	3200 ⁵	464	800				0,344		
- lapis aus	2300 ⁵	340	800				0,350		
2. LAPIS PONDASI									
- lapis pondasi laston modifikasi 1	3700 ⁵	536	2250 ²					0,305	
- lapis pondasi laston	3300 ⁵	480	1800 ²					0,290	
- lapis pondasi laston	2400 ⁵	350	800						
- lapis pondasi LAPEN								0,190	
- CMRFB					300			0,270	

LANJUTAN

- Beton padat giling	5900	850		70 ³				0,230	
- CTB	5350	776		45				0,210	
- CTRB	4450	645		35				0,170	
- CTSB	4450	645		35				0,170	
- CTRSB	4270	619		30				0,160	
- Tanah semen	4000	580		24 ⁴				0,145	
- Tanah kapur	3900	566		20 ⁴				0,140	
- Ag. Kelas A	200	29			90			0,135	
3. LAPISAN PONDASI BAWAH									
- Ag. Kelas B	125	18			60			0,125	
- Ag. Kelas C	103	15			35			0,112	
- Konst.Talford									
- Pemasangan mekanis					52			0,104	
- Pemasangan manual					32			0,674	
- Material pilihan	84	12			10			0,080	

(Sumber : Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Kementerian Pekerjaan Umum)

Pemilihan tipe lapisan beraspal dan tingkatan yaitu dengan lalu lintas rencana serta kecepatan kendaraan

Tabel 2.27 Pemilihan Tipe Lapisan Beraspal Berdasarkan Lintas Rencana dan Kecepatan Kendaraan

Lalu lintas rencana (juta)	Tipe lapisan beraspal	
	Kec. Kendaraan 20-70 km/jam	Kec. Kendaraan ≥ 70 km/jam
< 0,30	Perancangan perkerasan lentur untuk LL rendah	
0,3 - 10	Lapis tipis beton aspal	Lapis tipis beton aspal (laston – HRS)
10 - 30	Lapis beton aspal (Laston – AC)	Lapis beton aspal (Laston – AC)
≥ 30	Lapis beton aspal Modifikasi (laston mod /AC – mod)	Lapis beton aspal Modifikasi (laston mod / AC – mod)

(Sumber : Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Kementerian Pekerjaan Umum)

Prosedur dalam perencanaan perkerasan lentur

a. Umum

Metode yang ditunjukkan untuk perancangan perkerasan lentur yang baru atau rekonstruksi perkerasan lama serta memberikan kesempatan kepada perancang dalam memilih alternatif perancangan yang paling optimum. Konsep kinerja perkerasan yang berlaku saat ini mencakup peninjauan terhadap kinerja fungsional, kinerja struktural dan keselamatan.

b. Penentuan nilai struktural yang diperlukan

1) Persamaan dasar

$$\log(W_{18}) = Z_R + S_0 + 9,36 \times \log(SN - 1) - 0,20 +$$

$$\frac{\log\left(\frac{\Delta IP}{IP_o - IP_t}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10}(MR) - 8,07 \dots\dots\dots(2.65)$$

Keterangan :

$W_{18} = W_t$ = Volume LL selama umur rencana

Z_R = Deviasi normal standar sebagai fungsi dari tingkat kepercayaan

S_o = Gabungan standar error untuk perkiraan LL rencana dan kerja

ΔIP = Perbedaan antara indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_o) dengan indeks pelayanan pada akhir umur rencana (IP_t)

MR = Modulus reseilen tanah dasar efektif (PSi)

IP_t = Indeks pelayanan jalan hancur (minimum = 1,50)

2) Estimasi lalu lintas

Untuk mengestimasi volume kumulatif lalu lintas selama umur rencana (W_{18}) adalah sesuai dengan prosedur diatas

3) Tingkat pelayanan dan pengaruh drainase adalah sesuai dengan prosedur

4) Modulus resilien tanah dasar efektif

Menentukan resilien akibat pengaruh musim, dapat di lakukan dengan pengujia CBR, kemudian dikorelasikan dengan modulus resilien

5) Pemilihan tebal lapisan

Perhitungan perancangan tebal perkerasan dengan persamaan

$$SN = a_{1-1} \times D_{1-1} + a_{1-2} \times D_{1-2} + a_2 \times D_2 \times M_2 + a_3 \times D_3 \times M_3 \dots\dots\dots(2.66)$$

Dimana :

a_1, a_2, a_3 = koefisien kekuatan relatif lapis permukaan, lapis pondasi dan lapis pondasi bawah

D_1, D_2, D_3 = Tebal lapis permukaan, lapis pondasi dan lapis pondasi bawah

M_2, M_3 = koefisien kekuatan relatif lapis permukaan, lapis pondasi dan lapis pondasi bawah

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

6) Analisa perancangan tebal lapisan

Struktur perkerasan hendaknya di rancang dengan tahapan perhitungan sebagai berikut.

1. Tetapkan umur rancana perkerasan dan jumlah lajur lalu lintas yang akan di bangun.
2. Tetapkan indek pelayanan akhir (IPt) dan susunan struktur perkerasa rancangan yang diinginkan.
3. Hitung CRB tanah dasar yang mewakili segmen, kemudian dihitung modulus reaksi tanah dasar (MR)
4. Hitung lalu lintas rencana selama umur rencana yang telah di tetapkan, yaitu berdasarkan volume, beban sumbu setiap kelas kendaraan, perkembangan lalu lintas. Untuk menganalisa lalu lintas selama umur rencana diperlukan coba-coba nilai SN dengan indeks pelayanan akhir yang telah di pilih.
5. Menentukan nilai struktural seluruh lapis perkerasan diatas tanah dasar. Dengan cara yang sama, selanjutnya menghitung nilai struktural bagian perkerasan diatas lapis pondasi bawah dan diatas lapis pondasi atas dengan menggunakan kekuatan lapis pondasi bawah dan diatas lapis pondasi atas.

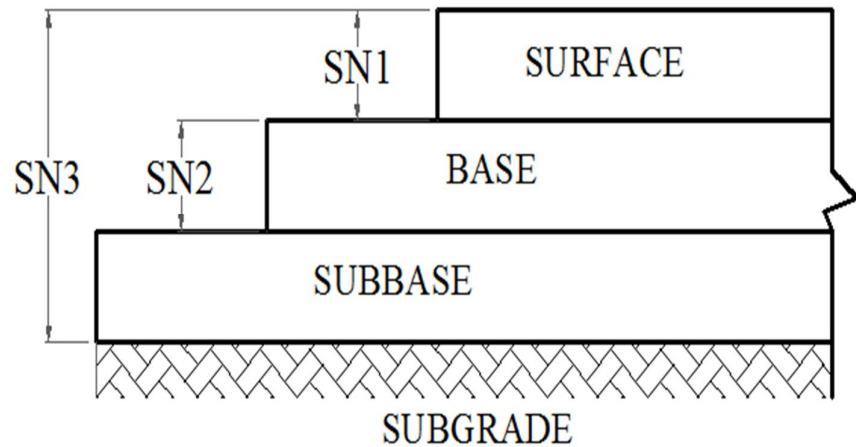
$$\overline{DI}^* \geq \frac{\overline{SN1}}{a_1} \dots\dots\dots(2.67)$$

$$\overline{SN1}^* \geq a_1 \cdot D_1 \overline{SN1} \dots\dots\dots(2.68)$$

$$D_2^* \geq \frac{\overline{SN1} - \overline{SN2}^*}{a_1 \cdot M_2} \dots\dots\dots(2.69)$$

$$\overline{SN1}^* + \overline{SN2} \geq \overline{SN2} \dots\dots\dots(2.70)$$

$$D_3 \geq \frac{\overline{SN3} - \{\overline{SN1}^* + \overline{SN2}\}}{a_3 M_3} \dots\dots\dots(2.71)$$



Gambar 2.13 Prosedur Menentukan Tebal Lapisan Melalui Analisis lapisan

Ketebalan minimum lapisan perkerasan, pada saat menentukan tebal lapisan perkerasan perlu di pertimbangkan keefektifannya dari segi biaya pelaksanaan konstruksi dan batasan pemeliharaan untuk menghindari kemungkinan dihasilkannya perancangan yang tidak praktis.

Tabel 2. 28 Tebal Minimum Lapis Perkerasan

Jenis bahan	Tebal minimum	
	Inch	Cm
1. LAPIS PERMUKAAN		
Laston modifikasi		
- lapis aus modifikasi	1,60	4,0
- lapis antara modifikasi	2,40	6,0
Laston		
- lapis aus	1,60	4,0
- lapis antara	2,40	6,0
Lasta ston		
- lapis aus	1,20	3,0
2. LAPIS PONDASI		
- lapis pondasi laston mdifikasi	2,9	7,5
- lapis pondasi laston	2,9	7,5
- lapis pondasi lataston	1,4	3,5
- lapis pondasi LAPEN	2,5	6,5
- CMRFB (<i>cold mix recycling foam bitumen</i>)	6,0	15,0
- beton padat giling (BPG / RCC)	6,0	15,0
- CTB (<i>cement treated base</i>)	6,0	15,0
- CTRB (<i>cement treated recycling base</i>)	6,0	15,0
- CTSB (<i>cement treated subbase</i>)	6,0	15,0
- CTRSB (<i>cement treated recycling subbase</i>)	6,0	15,0
- Tanah semen	6,0	15,0
- Tanah kapur	6,0	15,0
- Agregat kelas A	4,0	10
3. LAPIS PONDASI BAWAH		
- Agregat kelas B	6,0	15,0
- Agregat kelas C	6,0	15,0
- kontruksi telford	6,0	15,0
- material pilihan (<i>selected material</i>)	6,0	15,0

(Sumber : Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Kementerian Pekerjaan Umum)

2.8 Bangunan Pelengkap

Untuk memenuhi persyaratan kelancaran lalu lintas dan menghindari kerusakan akibat air yang berdampak pada kenyamanan pemakai jalan, diperlukan adanya bangunan pelengkap jalan.

2.8.1 Drainase

Drainase digunakan sebagai bangunan pelengkap jalan untuk mengalirkan air pada permukaan jalan secepat mungkin agar lalu lintas tetap lancar. Ada dua jenis drainase yaitu :

a. Drainase permukaan

Drainase permukaan berfungsi mengalirkan air hujan yang ada dipermukaan agar tidak menghambat arus lalu lintas di jalan tersebut dan juga mencegah air agar tidak merusak lapisan perkerasan jalan.

Menurut fungsinya drainase permukaan dibedakan menjadi:

1) Saluran samping

Saluran samping adalah saluran yang berada di sisi jalan yang dapat langsung menampung air dari badan jalan dan mengalirkannya keluar dari badan jalan.

2) Saluran pembuang

Saluran pembuang berfungsi untuk mengalirkan air dari saluran samping ke tempat pembuangan yang lebih rendah seperti sungai, rawa atau kolam.

3) Saluran penangkap

Saluran penangkap berfungsi untuk mengalirkan air permukaan dari daerah yang lebih tinggi, sebelum air mencapai badan jalan.

4) Gorong – gorong

Gorong – gorong adalah saluran melintang dan memotong badan jalan yang berada dibawah permukaan jalan yang berfungsi untuk mengalirkan air dari sisi jalan ke sisi jalan lainnya.

b. Drainase bawah

Drainase bawah harus dikerjakan terlebih dahulu sebelum pekerjaan badan jalan karena letaknya ada dibawah permukaan jalan yang biasa berfungsi penunjang utama dalam mengalirkan air.

2.8.2 Prinsip dan pertimbangan perencanaan drainase

- a. Prinsip-prinsip umum perencanaan drainase :
 - 1) Penggunaan yang efektif dan efisien
Perencanaan drainase haruslah sedemikian rupa sehingga fungsi fasilitas drainase sebagai penampung, pembagi dan pembuangan air dapat sepenuhnya berdaya guna dan berhasil guna.
 - 2) Ekonomis dan aman
Pemeliharaan dimensi dari fasilitas drainase haruslah mempertimbangkan factor ekonomis dan factor keamanan.
 - 3) Pemeliharaan
Perencanaan drainase haruslah mempertimbangkan pula segi kemudahan dan nilai ekonomis dari pemeliharaan system drainase tersebut.
- b. Pertimbangan dalam perencanaan drainase :
 - 1) Pada daerah yang datar dan lurus
Penanganan pengendalian air untuk daerah ini biasanya dengan membuat kemiringan perkerasan dan bahu jalan mulai dari tengah perkerasan menurun/ melandai ke arah selokan samping. Besarnya kemiringan bahu jalan biasanya diambil 2% lebih besar daripada kemiringan permukaan jalan.
 - 2) Daerah jalan yang lurus pada tanjakan/penurunan
Penanganan pengendalian air pada daerah ini perlu mempertimbangkan pula besarnya kemiringan alinyemen vertical jalan yang berupa tanjakan dan turunan agar aliran air secepatnya bisa mengalir secara keselokan samping. Untuk itu maka kemiringan melintang perkerasan jalan disarankan agar menggunakan nilai-nilai maksimum dari tabel diatas.
 - 3) Pada daerah tikungan
Kemiringan melintang pada perkerasan jalan pada daerah ini harus mempertimbangkan pula kebutuhan kemiringan jalan menurut persyaratan alinyemen horizontal jalan, karena kemiringan perkerasan

jalan harus dimulai dari sisi luar tikungan menurun/melandai kesisi dalam tikungan. Besarnya kemiringan pada daerah ini ditentukan oleh nilai maksimum dari kebutuhan kemiringan alinyemen horizontal atau kebutuhan kemiringan menurut keperluan drainase. Besarnya kemiringan melintang perkerasan/bahu jalan pada daerah tikungan.

2.8.3 Persyaratan teknis perencanaan drainase

Menurut Pd T-02-2006-B (Perencanaan Sistem Drainase Jalan) hal-hal yang perlu diperhatikan pada perencanaan drainase permukaan diuraikan di bawah ini:

1. Plot rute jalan dipesta topografi (L)
 - a. Plot rute jalan rencana pada topografi diperlukan untuk mengetahui gambaran topografi atau daerah kondisi sepanjang trase jalan yang akan dilalui dapat dipelajari.
 - b. Kondisi terrain pada daerah layanan diperlukan untuk menentukan bentuk dan kemiringan yang akan mempengaruhi poal aliran.
2. Inventarisasi data bangunan drainase (gorong-gorong jembatan, dll.) Eksisting meliputi lokasi, dimensi, arah aliran pembuangan dan kondisi data ini digunakan agar perencanaan system drainase jalan tidak mengganggu system drainase yang telah ada.
3. Segmen panjang segmen saluran (L)

Penentuan panjang segmen saluran(L) didasarkan pada:

 - a. Kemiringan rute jalan, disarankan kemiringan saluran mendekati kemiringan rute jalan.
 - b. Adanya tempat buangan air seperti badan air (misalnya sungai, waduk, dll).
 - c. Langkah coba-coba sehingga dimensi saluran paling ekonomis.
4. Luas daerah layanan (A)
 - a. Perhitungan luas daerah layanan didasarkan pada panjang segmen jalan yang ditinjau.
 - b. Luas daerah layanan (A) untuk saluran samping jalan perlu diketahui agar dapat diperkirakan daya tampungnya terhadap curah hujan atau

untuk memperkirakan volume limpasan permukaan yang akan ditampung saluran samping jalan.

- c. Luas daerah layanan terdiri atas luas setengah badan jalan (A1), luas bahu jalan (A2) dan luas daerah di sekitar (A3).
- d. Batasan luas daerah layanan tergantung dari daerah sekitar dan topografi dan daerah sekelilingnya. Panjang daerah pengaliran yang diperhitungkan terdiri atas setengah lebar badan jalan (I1) lebar bahu jalan (I2) dan daerah sekitar (I3) yang terbagi atas daerah perkotaan yaitu ± 10 m dan untuk daerah luar kota yang didasarkan pada topografi daerah tersebut.
- e. Jika diperlukan, pada daerah perbukitan, direncanakan beberapa saluran untuk menampung limpasan dari daerah bukit dengan batas daerah layanan adalah puncak bukit tersebut tanpa merusak stabilisasi lereng. Sehingga saluran tersebut hanya menenampung air dari luas daerah layanan daerah sekitar (A3).

5. Koefisien pengaliran (C)

Koefisien pengaliran (C) dipengaruhi kondisi permukaan tanah (tata guna lahan) pada daerah layanan dan kemungkinan perubahan tata guna lahan. Angka ini akan mempengaruhi debit yang mengalir, sehingga dapat diperkirakan daya tampung saluran. Untuk itu diperlukan peta topografi dan melakukan survei lapangan agar corak topografi di daerah proyek dapat lebih diperjelas. Diperlukan pula jenis sifat erosi dan tanah pada daerah sepanjang trase jalan rencana, antara lain tanah dengan permeabilitas nggi (sifat lulus air) atau tanah dengan tingkat erosi permukaan. Secara visual akan nampak pada daerah yang menunjukkan alur-alur pada permukaan.

6. Faktor limpasan (fk)

- a. Merupakan faktor atau angka yang dikalikan dengan koefisien run off biasa dengan tujuan agar kinerja saturan tidak melebihi kapasitasnya akibat daerah pengatiran yang terlalu luas. Harga faktor limpasan (fk) disesuaikan dengan kondisi permukaan tanah, seperti pada tabel 2.27.

Tabel 2.29 Koefisien Pengaliran (C) dan Faktor Limpasan (fk)

No	Kondisi permukaan tanah	Koefisien Pengaliran (C)	Faktor Limpasan (fk)
BAHAN			
1	Jalan beton dan jalan aspal	0,70 – 0,95	
2	Jalan krikil dan jalan tanah	0,40 – 0,70	
3	Bahu jalan :		
	dari tanah berbutir halus	0,40– 0,65	
	dari tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20	
	dari batuan masif keras	0,70 – 0,85	
	dari batuan masif lunak	0,60 – 0,75	
TATA GUNA LAHAN			
1	Daerah perkotaan	0,70 – 0,95	2,0
2	Daerah pinggiran kota	0,60 – 0,70	1,5
3	Daerah industri	0,60 – 0,90	1,2
4	Pemukiman padat	0,40 – 0,60	2,0
5	Pemukiman tidak padat	0,40 – 0,60	1,5
6	Taman dan kebun	0,45 – 0,60	0,2
7	Persawahan	0,70 – 0,80	0,5
8	Perbukitan	0,70 – 0,80	0,4
9	Pegunungan	0,75 – 0,90	0,3

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2006)

Keterangan:

- Harga koefisien pengaliran (C) untuk daerah datar diambil nilai C yang terkecil dan untuk daerah lereng diambil nilai C yang besar.
- Harga faktor limpasan (fk) hanya digunakan untuk guna lahan sekitar saluran selain bagian jalan.

- b. Bila daerah pengaliran atau daerah layanan terdiri dari beberapa tipe kondisi permukaan yang mempunyai nilai C yang berbeda, harga C rata-rata ditentukan dengan persamaan berikut.

$$C = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \dots\dots\dots(2.72)$$

Dimana :

C_1, C_2, C_3 , = koefisien pengaliran yang sesuai dengan tipe kondisi permukaan

A_1, A_2, A_3 = luas daerah pengaliran yang diperhitungkan sesuai dengan kondisi permukaan

fk = faktor limpasan sesuai guna lahan

7. Waktu konsentrasi (T_c)

- a. Waktu terpanjang menyalurkan aliran yang dibutuhkan untuk seluruh daerah layanan dalam menyalurkan air secara simultan (*run off*) setelah melewati titik-titik tertentu.

- b. Waktu konsentrasi untuk saluran terbuka dihitung dengan ini.

$$TC = t_1 + t_2 \text{ atau } Tc = t_0 + t_d \dots\dots\dots(2.73)$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times l_0 \times \frac{nd}{\sqrt{i_s}} \right)^{0,167} \dots\dots\dots(2.74)$$

$$t_2 = \frac{L}{l_0 \times V} \dots\dots\dots(2.75)$$

Dimana :

T_c = waktu konsentrasi (menit)

t_1/t_0 = waktu untuk mencapai awal saluran dari titik terjauh (menit)

t_2/t_d = waktu aliran dalam saluran sepanjang L dari ujung saluran
(menit)

l_0 = jarak titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

L = panjang saluran (m)

nd = koefisien hambatan

i_s = kemiringan saluran memanjang

V = kecepatan air rata-rata pada saluran drainase (m/detik)

Tabel 2.30. Kemiringan Saluran Memanjang (i_s)

No	Jenis material	Kemiringan saluran is (%)
1	Tanah asli	0 - 5
2	Kerikil	5 - 7,5
3	Pasangan	7,5

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2006)

Tabel 2.31. Koefisien Hambatan (nd)

No	Kondisi lapis permukaan	nd
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,020
3	Permukaan licin dan kokoh	0,100
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,200
5	Padang rumput dan rerumputan	0,400
6	Hutan gundul	0,600
7	Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,800

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2006)

8. Analisa hidrologi

a. Data curah hujan

Merupakan data curah hujan harian maksimum dalam setahun dinyatakan dalam mm/hari. Data curah hujan ini diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) yaitu stasiun curah hujan yang terletak pada daerah layanan saluran samping jalan.

Jika daerah layanan tidak memiliki data curah hujan, maka dapat digunakan data dari stasiun diluar daerah layanan yang dianggap masih dapat mewakili. Jumlah data curah hujan yang diperlukan minimal 10 tahun terakhir.

b. Periode ulang

Karakteristik hujan menunjukkan bahwa hujan yang besar tertentu mempunyai periode ulang tertentu. Periode ulang untuk pembangunan saluran drainase ditentukan 5 tahun, disesuaikan dengan peruntukannya.

c. Analisis frekuensi

Analisis frekuensi adalah suatu analisis data hidrologi dengan menggunakan statistika yang bertujuan memprediksi suatu besaran hujan atau debit dengan masa ulang tertentu. Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kata ulang (*return period*) diartikan sebagai waktu dimana hujan atau debit dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut (Sri Harto, 1993).

d. Intensitas curah hujan

Adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi. Intensitas curah hujan (I) mempunyai satuan mm/jam, berarti tinggi air persatuan waktu, misalnya mm dalam kurun waktu menit, jam, atau hari.

Formulasi perhitungan intensitas curah hujan perhitungan ini dilakukan sesuai SNI 03-241-1991, metode perhitungan debit banjir.

9. Untuk menghitung debit aliran air (Q) menggunakan rumus:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots(2.76)$$

Dimana :

Q = debit aliran air (m³/detik)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

A = luas daerah layanan (km)

Untuk memperoleh hasil intensitas curah hujan dibutuhkan data curah hujan daerah setempat. Perhitungan Curah Hujan yang digunakan adalah Metode Gumbel seperti di bawah ini :

$$R_{24} = \bar{X} + \frac{Y_t - Y_n}{\sigma n} \times S \dots\dots\dots (2.77)$$

Keterangan:

R_{24} = Curah Hujan Rancangan dengan kala ulang T tahunan (mm)

\bar{X} = Nilai rata aritmatik hujan kumulatif

S = Standar Deviasi

$$= \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.78)$$

Y_t = Variasi yang merupakan fungsi dari kala ulang (dilihat tabel 2.32)

Y_n = Nilai yang tergantung pada “n” (dilihat tabel 2.33)

S_n = Standar Deviasi yang merupakan Fungsi dari “n” (dilihat tabel 2.34)

Tabel 2.32 *Reduced variate* (Y_t)

Priode Ulang	<i>Reduced variate</i>
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001
200	5,2960
500	6,2140
1000	6,9190
5000	8,5390
10000	9,9210

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2006)

Tabel 2.33 *Reduced Mean* (Y_n)

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	0,5365	0,5371	0,5380	0,5388	0,5402	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5432
40	0,5436	0,5422	0,5449	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5519	0,5518
60	0,5521	0,5534	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5552	0,5555	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5576	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5595	0,9998	0,5598
100	0,56									

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2006)

Tabel 2.34 *Reduced Standard Deviation* (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	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,108
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1414	1,1458	1,1458	1,148	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,159
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,177	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,189	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,193
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,198	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,1013	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,206
100	1,2065									

(Sumber : *Perencanaan Sistem Drainase*, 2006)

2.8.4 Kriteria perencanaan saluran samping dan gorong-gorong

Perencanaan saluran terbuka secara hidrolika, jenis aliran yang terjadi adalah aliran terbuka (*open channel*), yaitu pengaliran air dengan permukaan bebas. Perencanaan ini digunakan untuk perencanaan saluran samping jalan maupun gorong-gorong.

a. Saluran samping

Kemiringan saluran ditentukan berdasarkan bahan yang digunakan. Hubungan antara bahan yang digunakan dengan kemiringan saluran arah memanjang dapat dilihat pada tabel 2.35.

Tabel 2.35 Kemiringan Saluran Air Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis Material	Kemiringan saluran (%)
1	Tanah asli	0 – 5
2	Kerikil	5 – 7,5
3	Pasangan	>7,5

(Sumber : *Perencanaan Sistem Drainase*, 2006)

Penampang minimum saluran 0,50 m².

Bahan bangunan saluran ditentukan oleh besarnya kecepatan rencana aliran air yang mengalir di saluran samping jalan tersebut. Seperti pada tabel 2.36.

Tabel 2.36 Kecepatan Aliran Air yang Diizinkan (V.izin)

No	Jenis Material	V izin (m/dt)
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,50
3	Lanau alluvial	0,60
4	Krikil halus	0,75
5	Lempung kokoh	0,75
6	Lempung padat	1,10
7	Krikil kasar	1,20
8	Batu-batu besar	1,50
9	Pasangan batu	1,50
10	Beton	1,50
11	Beton bertulang	1,50

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2006)

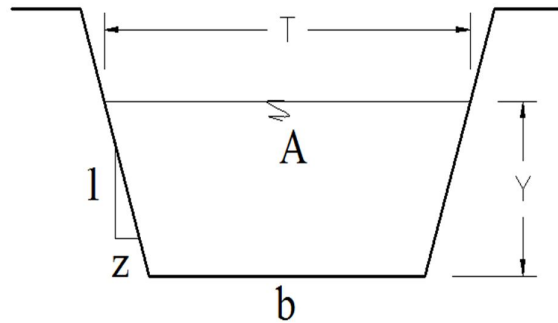
b. Gorong-gorong

Ditempatkan melintang jalan yang berfungsi untuk menampung air dari hulu saluran drainase dan mengalirkannya, dengan dimensi yang harus cukup besar untuk melewati debit air secara maksimum dari daerah pengaliran secara efisien dan dibuat dengan tipe permanen. Dimensi gorong-gorong minimum dengan diameter 80 cm, kedalaman minimum 1 m – 1,5 m dari permukaan jalan, memiliki kemiringan gorong - gorong antara 0,5% - 2% dan Jarak gorong-gorong pada daerah datar maksimum 100 meter.

2.8.5 Desain saluran samping dan gorong-gorong

Desain saluran dapat dibagi dalam beberapa jenis :

1. Saluran bentuk trapesium (saluran samping) :



Gambar 2.14 Saluran dengan Bentuk Trapesium

$$A = (b + z \cdot y) y \dots\dots\dots(2.79)$$

$$p = b + 2 \cdot y \sqrt{z^2 + 1} \dots\dots\dots(2.80)$$

$$T = b + 2 z y \dots\dots\dots(2.81)$$

$$D = \frac{A}{T} \dots\dots\dots(2.82)$$

$$V = K_{st} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots(2.83)$$

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots(2.84)$$

Penampang ekonomis :

$$b + 2 z y = 2 y \sqrt{z^2 + 1} \dots\dots\dots(2.85)$$

Tinggi jagaan :

$$W = \sqrt{0,5 x h} \dots\dots\dots(2.86)$$

Dimana :

A = luas penampang melintang (m^2)

b = lebar saluran (m)

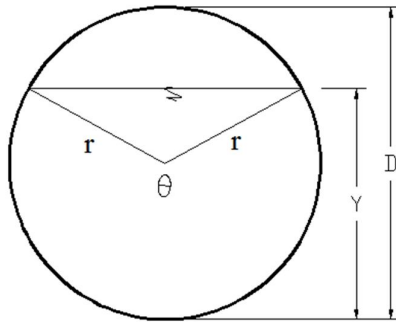
p = keliling basah (m)

T = lebar puncak (m)

y = kedalaman saluran yang tergenang air (m)

- D = kedalaman hidrolis (m)
 V = kecepatan rata-rata aliran (m/dt)
 I = kemiringan dasar saluran
 Q = debit aliran air (m³/detik)
 z = perbandingan kemiringan talud
 W = tinggi jagaan (m)
 h = tinggi muka air (m)

2. Saluran bentuk lingkaran (gorong-gorong) :



Gambar 2.15 Sketsa dengan Bentuk Lingkaran

$$A = \frac{1}{8}(\Theta - \sin \Theta) D^2 \dots\dots\dots(2.87)$$

$$p = \frac{1}{2} \cdot \Theta \cdot D \dots\dots\dots(2.88)$$

$$y = (1 - \cos \frac{1}{2} \Theta) \dots\dots\dots(2.89)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(2.90)$$

$$V = K_{st} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots(2.91)$$

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots(2.92)$$

Tinggi jagaan:

$$W = 0,2 \times D \text{ sehingga } y = 0,8 \times D \dots\dots\dots(2.93)$$

Dimana :

A = luas penampang melintang (m²)

p = keliling basah (m)

b = lebar saluran (m)

y = kedalaman saluran yang tergenang air (m)

r = jari-jari lingkaran (m)

R = luas penampang basah dibagi keliling penampang basah/ jari-jari hidrolis (m)

V = kecepatan rata-rata aliran (m/dt)

I = kemiringan dasar saluran (m)

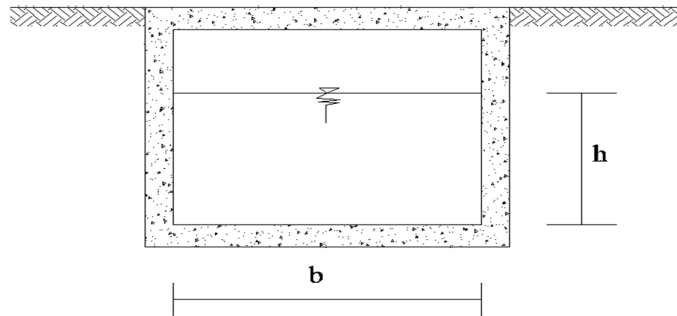
D = diameter saluran bentuk lingkaran (m)

θ = besar sudut dalam radial

W = tinggi jagaan

h = tinggi muka air (m)

4. Saluran bentuk persegi (gorong-gorong) :



Gambar 2.16 Sketsa dengan Bentuk Persegi

Besarnya intensitas curah hujan dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$I = \frac{R_t}{24} \times \left[\frac{24}{tc} \right]^{2/3} \dots\dots\dots(2.94)$$

Dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

- Rt = Frekuensi hujan
 Tc = Waktu konsentrasi (jam)

Sebelum mencari nilai intensitasnya kita terlebih dahulu harus mencari nilai Waktu Konsentrasi (Tc) dalam satuan jam.

$$Tc = 0,0195 \frac{L^{0,77}}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots(2.95)$$

Dimana :

- Tc = Waktu Konsentrasi (jam)
 L = Panjang Sungai (m)
 S = Perbandingan Beda tinggi sungai dengan Panjang Jembatan
 H = Beda tinggi awal aliran dengan rencana jembatan (m)

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots(2.96)$$

Dimana :

- Q = Debit limpsan (m³/jam)
 C = Koefisien pengaliran
 I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
 A = Luas daerah pengaliran (km²)

Syarat penampang ekonomis :

$$Ad = \frac{Q}{v} \dots\dots\dots(2.97)$$

$$b = 2h \dots\dots\dots(2.98)$$

$$A = b \times h \dots\dots\dots(2.99)$$

$$A = Ad \dots\dots\dots(2.100)$$

Tinggi jagaan (W)

$$W = \sqrt{0.5 \times h} \dots\dots\dots(2.101)$$

Dimana :

A = Luas daerah pengaliran (km^2)

A_d = Penampang basah saluran

W = tinggi jagaan

h = tinggi muka air (m)

2.9 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah suatu perencanaan, pelaksanaan, pengendalian dan koordinasi suatu proyek dari awal (gagasan) hingga berakhirnya proyek untuk menjamin pelaksanaan proyek secara tepat waktu, tepat biaya, dan tepat mutu.

1. Produksi kerja alat

Secara umum produksi kerja alat berat apapun jenisnya memiliki pola dan prinsip perhitungan yang sama. Langkah-langkah perhitungan yang harus dilakukan tidak jauh berbeda, hanya saja perhitungan produksi kerja untuk jenis alat tertentu memang memerlukan perhatian khusus karena relatif lebih kompleks.

Adapun langkah dasar perhitungan produksi kerja yaitu :

a. Menghitung kapasitas aktual

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung material yang terbawa dalam satu siklus kerja. Kapasitas aktual tergantung pada ukuran pembawa material yang ada pada setiap alat dan jenis material yang diolah.

b. Menghitung waktu siklus

Waktu siklus dihitung untuk mendapatkan jumlah siklus perjam. Waktu siklus tersebut terdiri dari waktu tetap dan waktu variabel. Waktu siklus sering ditetapkan sebagai waktu konstan untuk semua jenis material dan kondisi.

c. Menghitung produksi kerja kasar (PKK)

Menghitung produksi kerja kasar (PKK) adalah menentukan angka perkiraan produksi kerja tanpa mempertimbangkan faktor-faktor efisiensi dan faktor koreksi.

d. Menghitung produksi kerja aktual (PKA)

Menghitung produksi kerja aktual (PKA) adalah menentukan angka perkiraan produksi kerja dengan memperhitungkan semua faktor yang mempengaruhinya.

2. Biaya kepemilikan dan pengoperasian alat berat

Dalam pekerjaan yang besar seperti pekerjaan konstruksi selalu digunakan alat berat. Untuk operasi dengan alat-alat berat harus dipertimbangkan biaya-biaya yang disediakan untuk penggunaan alat, waktu yang harus disesuaikan, keuntungan yang diperoleh dan pertimbangan lainnya. Biaya untuk alat berat dapat dihitung dengan perkiraan yang dapat dipertanggung jawabkan. Biaya tersebut yaitu terdiri dari :

a. Biaya kepemilikan

Adalah biaya alat yang harus diperhitungkan selama alat yang bersangkutan dioperasikan, apabila alat tersebut milik sendiri

b. Biaya operasi

Adalah biaya yang dikeluarkan selama alat tersebut digunakan. Biaya operasi ini meliputi bahan bakar, minyak pelumas, pergantian ban dan perbaikan atau pemeliharaan serta penggantian suku cadang khusus.

3. Analisa satuan harga pekerjaan

Analisa satuan harga adalah perhitungan-perhitungan biaya yang berhubungan dengan pekerjaan-pekerjaan yang ada dalam suatu proyek. Guna dari satuan harga ini agar kita dapat mengetahui harga satuan dari tiap-tiap pekerjaan yang ada. Dari harga-harga yang terdapat didalam analisa satuan harga ini nantinya akan didapat harga keseluruhan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan rencana anggaran biaya.

4. Volume pekerjaan

volume pekerjaan adalah jumlah keseluruhan dari banyaknya (kapasitas) suatu pekerjaan yang ada. Volume pekerjaan berguna untuk menunjukkan banyak suatu kuantitas dari suatu pekerjaan agar didapat harga satuan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada didalam suatu proyek.

5. Rencana anggaran biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah merencanakan banyaknya biaya yang akan digunakan serta susunan pelaksanaannya. Dalam perencanaan anggaran biaya perlu dilampirkan analisa harga satuan bahan dari tiap pekerjaan agar jelas jenis-jenis pekerjaan dan bahan yang digunakan.

6. Rekapitulasi biaya

Rekapitulasi biaya adalah biaya total yang diperlukan setelah menghitung dan mengalikan dengan harga satuan yang ada. Dalam rekapitulasi terlampir pokok-pokok pekerjaan beserta biayanya. Biasanya untuk pekerjaan yang dilaksanakan oleh Instansi Pemerintah dalam rekap tersebut sudah dimasukkan pajak serta keuntungan dari kontraktor.

7. Rencana kerja

Rencana kerja adalah suatu pembagian waktu yang terperinci untuk setiap jenis pekerjaan mulai dari awal sampai akhir pekerjaan.

a. Kurva S

Kurva S dibuat berdasarkan bobot setiap pekerjaan dan lama waktu yang diperlukan untuk setiap pekerjaan dari tahap pertama sampai berakhir pekerjaan tersebut. Bobot pekerjaan merupakan persentase yang didapat dari perbandingan antara harga pekerjaan dengan harga total keseluruhan dari jumlah harga penawaran.

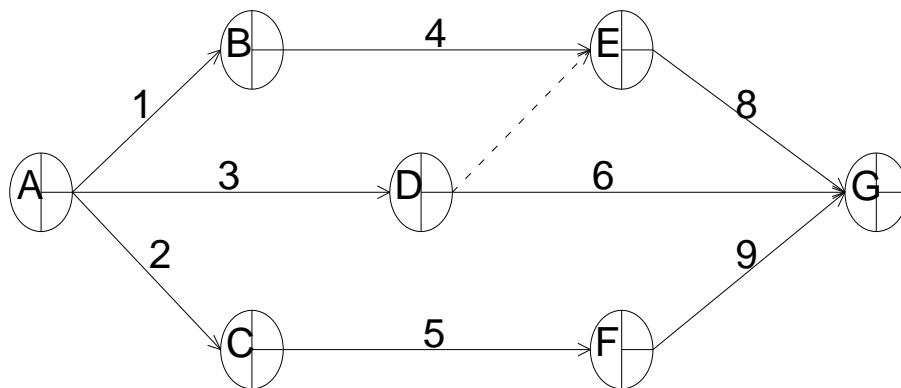
b. Barchart

Diagram barchart mempunyai hubungan yang erat dengan metode *network planning*. Barchart ditunjukkan dengan diagram batang yang dapat menunjukkan lamanya waktu pelaksanaan. Disamping itu juga dapat menunjukkan lamanya pemakaian alat dan bahan-bahan yang

diperlukan serta pengaturan hal-hal tersebut tidak saling mengganggu pelaksanaan pekerjaan.

c. *Network planning*

Dalam *network planning* dapat diketahui adanya hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan satu dengan yang lain. Hubungan ini digambarkan dalam suatu diagram *network*, sehingga kita akan dapat mengetahui bagian-bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan, pekerjaan mana yang menunggu selesainya, pekerjaan lain atau pekerjaan mana yang tidak perlu tergesa-gesa sehingga orang dan alat dapat digeser ketempat lain.

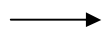



Gambar 2.17 Sketsa *Network planning*

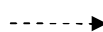
Adapun kegunaan dari NWP ini adalah :

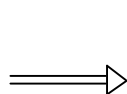
- Merencanakan, *scheduling* dan mengawasi proyek secara logis
- Memikirkan secara menyeluruh, tetapi juga secara mendetail dari proyek
- Mendokumentasikan dan mengkomunikasikan secara *scheduling* (waktu) dan alternatif-alternatif lain penyelesaiannya proyek dengan tambahan waktu
- Mengawasi proyek dengan lebih efisien, sebab hanya jalur-jalur kritis (*critical path*) saja yang perlu konsentrasi pengawasan ketat.

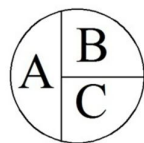
Adapun simbol yang sering digunakan dalam *Network Planning* adalah :

 *Arrow* Bentuk ini merupakan anak panah yang artinya aktifitas/kegiatan. Ini adalah suatu pekerjaan/tugas yang penyelesaiannya membutuhkan waktu tertentu. Anak panah selalu menghubungkan dua nodes, arah dari anak panah menunjukkan urutan-urutan waktu.

 *Node/event* Bentuknya merupakan lingkaran bulat yang artinya saat, peristiwa atau kejadian. Ini adalah permulaan atau akhir dari suatu atau lebih kegiatan.

 *Dummy* Bentuk ini merupakan anak panah putus-putus yang artinya semu. Yang dimaksud aktifitas semu adalah aktifitas yang tidak menekan waktu. Aktifitas semu hanya boleh dipakai bila menggambarkan hubungan-hubungan aktifitas yang ada dalam satu *network*.

 *Double arrow* Anak panah sejajar yang merupakan kegiatan lintasan kritis (*critical path*).



A = Nomor kejadian

B = EET (*Earliest Event Time*), waktu yang paling cepat, yaitu menjumlahkan durasi dari kejadian yang dimulai dari kejadian awal dilanjutkan kegiatan berikutnya dengan mengambil angka yang terbesar

C = LET (*Laetest Event Time*), waktu yang paling lambat, yaitu mengurangi durasi dari kejadian yang dimulai dari kegiatan paling akhir dilanjutkan kegiatan sebelumnya dengan mengambil angka terkecil