

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perencanaan Geometrik

2.1.1 Pengertian

Perencanaan geometrik jalan merupakan suatu perencanaan rute dari suatu ruas jalan secara lengkap, menyangkut beberapa komponen jalan yang dirancang berdasarkan kelengkapan data dasar yang didapatkan dari suatu hasil survey lapangan, kemudian dianalisis berdasarkan acuan perencanaan yang berlaku. Acuan perencanaan yang dimaksud adalah sesuai dengan standar perencanaan geometrik di Indonesia. (Hamirhan Saodang, 2010). Adapun data yang dibutuhkan dalam perencanaan geometrik adalah:

1. Data Lalu Lintas

Data lalu lintas adalah data utama yang diperlukan dalam perencanaan teknik jalan, karena kapasitas jalan yang akan direncanakan tergantung dari komposisi lalu lintas yang akan menggunakan pada suatu segmen jalan yang akan ditinjau. Besarnya volume atau arus lalu lintas diperlukan untuk menentukan jumlah dan lebar jalan, pada satu jalur dalam penentuan karakteristik geometrik, sedangkan jenis kendaraan akan menentukan kelas beban atau muatan sumbu terberat yang akan berpengaruh langsung pada perencanaan konstruksi perkerasan (Hamirhan Sodang, 2004).

2. Faktor Topografi

Keadaan topografi dalam penetapan trase jalan memegang peranan yang sangat penting, karena akan mempengaruhi penetapan alinyemen, kelandaian jalan, jarak pandangan, penampang melintang, saluran tepi dan lain sebagainya.

Untuk lokasi dengan daerah datar, pengaruhnya tidak begitu nyata, penentuan trase dapat dengan bebas ditarik kemana saja, disesuaikan dengan arah dan tujuan rute jalan raya yang direncanakan.

Untuk trase jalan pada daerah perbukitan, selalu mengikuti kontur dari topografi, sehingga banyak yang berkelok-kelok karena untuk mempertahankan kelandaian memanjang (*grade*) jalan. Namun demikian yang paling utama adalah *grade* disesuaikan dengan persyaratan yang ada, agar kendaraan-kendaraan berat masih bisa melaluinya.

Persyaratan ini mengatur kelandaian memanjang maksimum (*grade*) jalan, agar semua jenis kendaraan yang diijinkan pada ruas tersebut dapat mempertahankan kecepatan rencananya, dan tidak sampai terhenti akibat keterbatasan kapasitas mesin yang dimiliki kendaraan.

2.1.2 Klasifikasi Jalan

Berdasarkan tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota, jalan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis:

1. Klasifikasi Jalan Menurut Fungsi Jalan

Klasifikasi jalan menurut fungsi jalan terbagi atas:

a. Jalan Arteri

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

b. Jalan Kolektor

Jalan kolektor merupakan jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.

c. Jalan Lokal

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

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.

Tabel 2.1 Klasifikasi Jalan Menurut Kelas Jalan dalam MTS

Fungsi	Kelas	MTS (Ton)
Arteri	I	>10
	II	10
	III A	8
Kolektor	III A	8
	III B	
Lokal	III C	8

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Klasifikasi jalan menurut kelas jalan dalam LHR merupakan penentuan kelas jalan berdasarkan kapasitas lalu lintas harian yang dilayani dalam satuan smp.

Tabel 2.2 Klasifikasi Jalan Menurut Kelas Jalan dalam LHR

Fungsi	Kelas	LHR (smp)
Arteri	I	>20.000
Kolektor	II A	6.000 – 20.000
	II B	1.500 – 8.000
	II C	< 20.000
Lokal	III	-

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

3. Klasifikasi Jalan Menurut Medan Jalan

Medan jalan diklasifikasikan berdasarkan kondisi sebagian besar kemiringan medan yang diukur tegak lurus garis kontur. Klasifikasi menurut medan jalan untuk perencanaan geometrik dapat dilihat dalam tabel 2.3

Tabel 2.3 Klasifikasi Jalan Menurut Medan Jalan

No.	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan (%)
1	Datar	D	< 3
2	Perbukitan	B	3-25
3	Pegunungan	G	> 25

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Keseragaman kondisi medan yang diproyeksikan harus mempertimbangkan keseragaman kondisi medan menurut rencana trase jalan dengan mengabaikan perubahan-perubahan pada bagian kecil dari segmen rencana jalan tersebut.

2.1.3 Karakteristik Geometrik

Dalam perencanaan geometrik jalan terdapat beberapa karakteristik geometrik antara lain:

1. Tipe Jalan

Tipe jalan menentukan jumlah lajur dan arah pada suatu segmen jalan, untuk jalan-jalan luar kota sebagai berikut :

- a. 2 lajur 1 arah (2/1 TB)
- b. 2 lajur 2 arah tak terbagi (2/2 TB)
- c. Lajur 2 arah tak terbagi (4/2 TB)
- d. Lajur 2 arah terbagi (4/2 B)
- e. Lajur 2 arah terbagi (6/2 B)

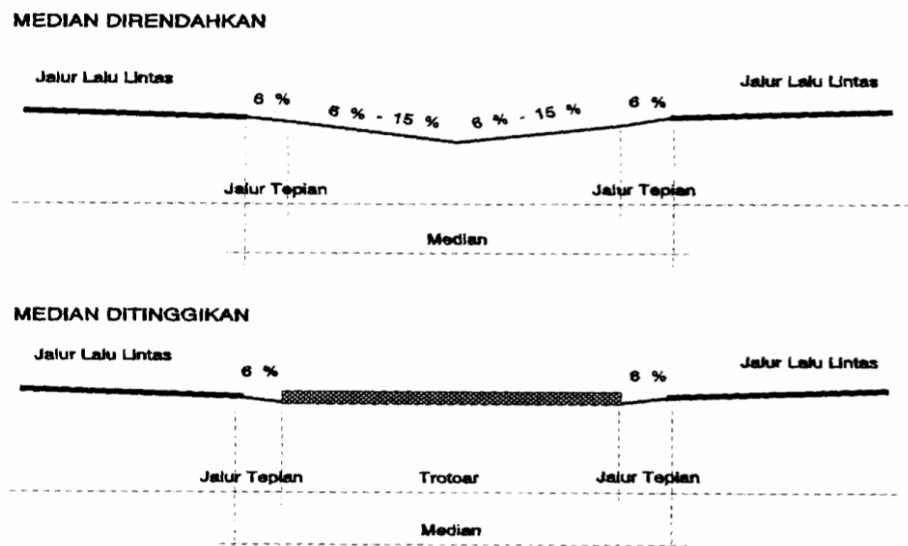
2. Bagian-Bagian Jalan

a. Median

Median adalah bagian bangunan jalan yang secara fisik memisahkan dua jalur lalu lintas yang berlawanan arah. Jalan 2 arah dengan 4 lajur atau lebih perlu dilengkapi median. Fungsi median jalan adalah untuk :

- 1) Memisahkan dua aliran lalu lintas yang berlawanan arah.
- 2) Uang lapak tunggu penyeberang jalan.

- 3) Penempatan fasilitas jalan.
- 4) Tempat prasarana kerja sementara.
- 5) Penghijauan.
- 6) Tempat berhenti darurat (jika cukup luas).
- 7) Cadangan lajur (jika cukup luas), dan
- 8) Mengurangi silau dari sinar lampu kendaraan dari arah yang berlawanan.



(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Gambar 2.1 Median Direndahkan dan Ditinggikan

b. Lajur

Lajur adalah bagian jalur lalu lintas yang memanjang, dibatasi oleh marka lajur jalan, memiliki lebar yang cukup untuk dilewati suatu kendaraan bermotor sesuai kendaraan rencana.

Lebar lajur tergantung pada kecepatan dan kendaraan rencana, yang dalam hal ini dinyatakan dengan fungsi dan kelas jalan seperti ditetapkan dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4 Lebar Lajur Ideal

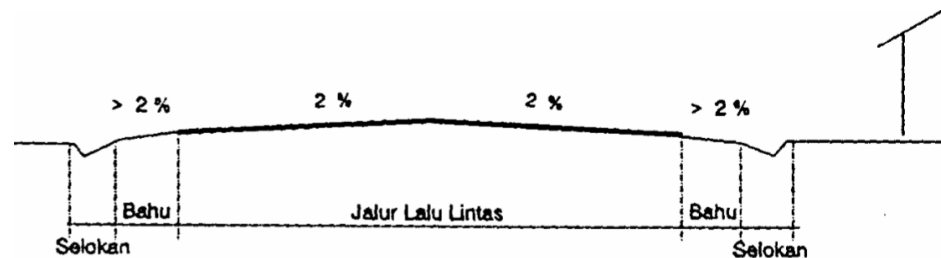
Fungsi	Kelas	Lebar Lajur Ideal (m)
Arteri	I	3,75
	II, III A	3,50
Kolektor	III A, III B	3,00
Lokal	III C	3,00

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Jumlah lajur ditetapkan dengan mengacu kepada MKJI berdasarkan tingkat kinerja yang direncanakan, dimana untuk suatu ruas jalan dinyatakan oleh nilai rasio anantara volume terhadap kapasitas yang nilainya tidak lebih dari 0,80.

Untuk kelancaran drainase permukaan, lajur lalu lintas pada alinyemen lurus memerlukan kemiringan melintang normal sebagai berikut :

- a. 2 – 3 % untuk perkerasan aspal dan perkerasan beton.
- b. 4 – 5 % untuk perkerasan kerikil.



(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

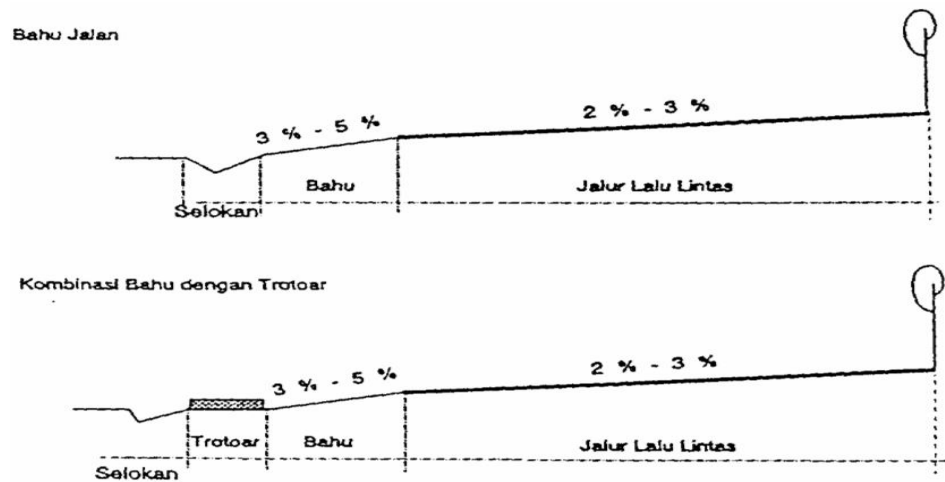
Gambar 2.2 Kemiringan Melintang Jalan Normal

c. Bahu Jalan

Bahu jalan adalah bagian jalan yang terletak di tepi jalur lalu lintas dan harus diperkeras, kemiringan bahu jalan normal antara 3-5%. Fungsi bahu jalan adalah sebagai berikut :

- 1) Lajur lalu lintas darurat, tempat berhenti sementara, dan atau tempat parkir darurat.

- 2) Ruang bebas samping bagi lalu lintas.
- 3) Penyangga sampai untuk kestabilan perkerasan jalur lalu lintas.



(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Gambar 2.3 Bahu Jalan

d. Jalur Lalu Lintas

Jalur lalu lintas adalah bagian jalan yang dipergunakan untuk lalu lintas kendaraan yang secara fisik berupa perkerasan jalan.

- 1) Batas jalur lalu lintas dapat berupa : median, bahu, trotoar, pulau jalan, dan separator.
- 2) Jalur lalu lintas dapat terdiri dari beberapa lajur.
- 3) Jalur lalu lintas dapat terdiri atas beberapa tipe:
 - a) 1 jalur – 2 lajur – 2 arah (2/2 TB)
 - b) 1 jalur – 2 lajur – 1 arah (2/1 TB)
 - c) 2 jalur – 4 lajur – 2 arah (4/2 TB)
 - d) 2 jalur – n lajur – 2 arah (n12B)

Keterangan :

TB = Tidak terbagi

B = Terbagi

n = Jumlah lajur

4) Lebar jalur

Lebar jalur sangat ditentukan oleh jumlah dan lebar lajur peruntukannya. Tabel 2.5 menunjukkan lebar jalur dan bahu jalan sesuai VLHR-nya.

Lebar jalur minimum adalah 4,5 meter, memungkinkan 2 kendaraan kecil saling berpapasan. Papasan dua kendaraan besar yang terjadi sewaktu-waktu dapat menggunakan bahu jalan.

Tabel 2.5 Penentuan Lebar Jalur dan Bahu Jalan (m)

VLHR Smp/hari	Arteri				Kolektor				Lokal			
	Ideal		Minimum		Ideal		Minimum		Ideal		Minimum	
	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu
< 3.000	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,0	4,5	1,0
3.000 – 10.000	7,0	2,0	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,0
10.001– 25.000	7,0	2,0	7,0	2,0	7,0	2,0	MENGACU PADA PERSYARATAN IDEAL		TIDAK DITENTUKAN			
> 25.000	2n×3,5	2,0	2×7,0	2,0	2n×3,5	2,0						

(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

3. Ruang Penguasaan Jalan

Berdasarkan tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota, ruang penguasaan jalan terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

a. Ruang Manfaat Jalan (RUMAJA)

Ruang manfaat jalan yaitu daerah meliputi seluruh badan jalan, saluran tepi jalan, dan ambang pengaman. Ruang manfaat jalan dibatasi oleh :

- 1) Lebar antara batas ambang pengaman konstruksi jalan dikedua sisi jalan.
- 2) Tinggi 5 meter di atas permukaan perkerasan pada sumbu jalan.

3) Kedalaman ruang bebas 1,5 meter dibawah muka jalan.

b. Ruang Milik Jalan (RUMIJA)

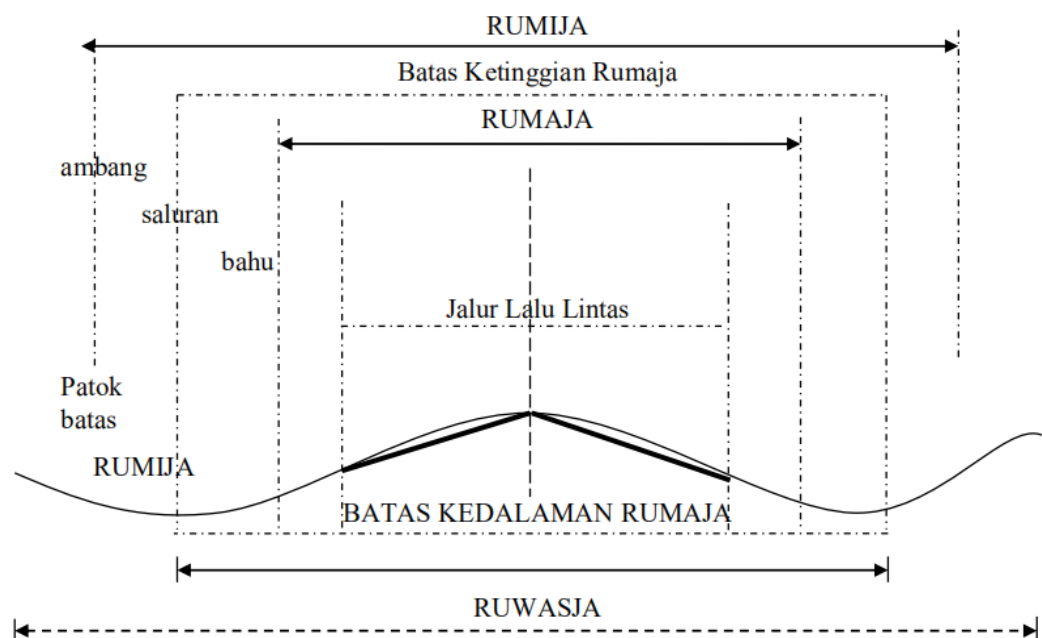
Ruang milik jalan adalah ruang yang dibatasi oleh lebar yang sama dengan rumaja ditambah ambang pengaman konstruksi jalan dengan tinggi 5 meter dan kedalaman 1,5 meter.

c. Ruang Pengawasan Jalan (RUWASJA)

Ruang pengawasan jalan adalah ruang sepanjang jalan diluar rumaja yang dibatsi oleh tinggi dan lebar tertentu, dengan ketentuan sebagai berikut :

- 1) Jalan arteri minimal 20 meter
- 2) Jalan kolektor minimum 15 meter
- 3) Jalan lokal minimum 10 meter

Untuk keselamatan pengguna jalan seperti yang dijelaskan diatasdapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini :



(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Gambar 2.4 Ruang Penguasaan Jalan

2.1.4 Parameter Perencanaan Geometrik Jalan

Dalam perencanaan geometrik jalan terdapat beberapa parameter perencanaan antara lain:

1. Kendaraan Rencana

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

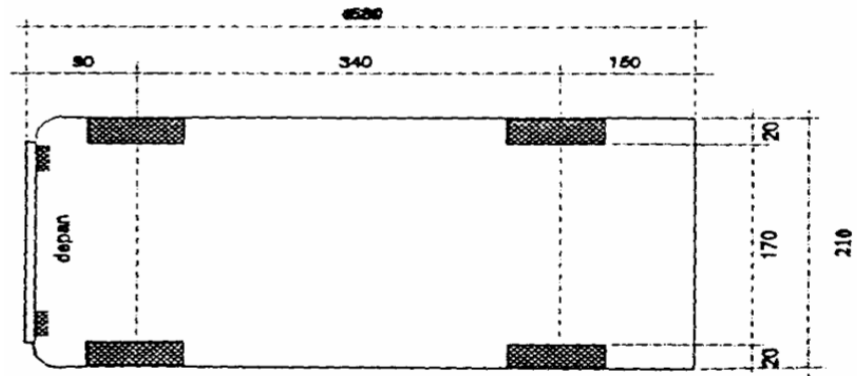
Kendaraan rencana dikelompokkan dalam 3 kategori :

- a. Kendaraan ringan/kecil, adalah kendaraan yang mempunyai 2 as dengan empat roda dengan jarak as 2,00 - 3,00 meter, meliputi : mobil penumpang, microbus, pick-up, dan truk kecil sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.
- b. Kendaraan sedang, adalah kendaraan yang mempunyai 2 as gandar dengan jarak as 3,5 - 5,00 meter.
- c. Kendaraan berat/besar, yaitu bus dengan dua atau tiga gandar dengan jarak as 5,00 - 6,00 meter.
- d. Truk besar, yaitu truk dengan tiga gandar dan truk kombinasi tiga, dengan jarak gandar (gandar pertama ke gandar kedua) <3,50 meter.
- e. Sepeda motor, yaitu kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda, meliputi ; sepeda motor dan kendaraan roda tiga.

Tabel 2.6 Dimensi Kendaraan Rencana

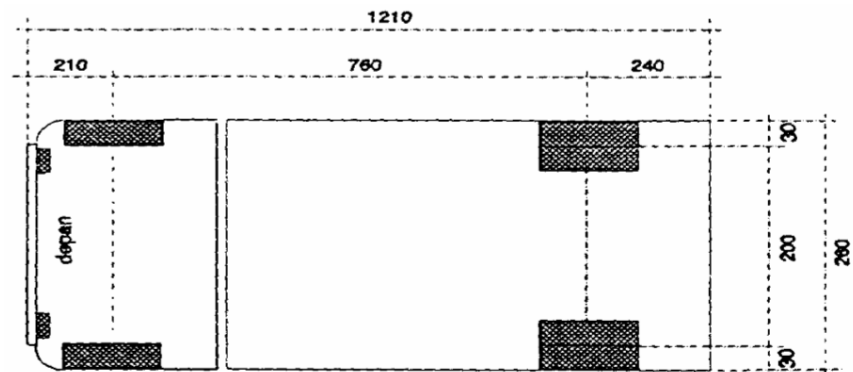
Kategori Kendaraan Rencana	Dimensi Kendaraan (cm)			Tonjolan (cm)		Radius Putar (cm)		Radius Tonjolan (cm)
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	belakang	Min	Maks	
Kecil	130	210	580	90	150	420	730	780
Sedang	410	260	1210	210	240	740	1280	1410
Besar	410	260	2100	120	90	290	1400	1370

(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)



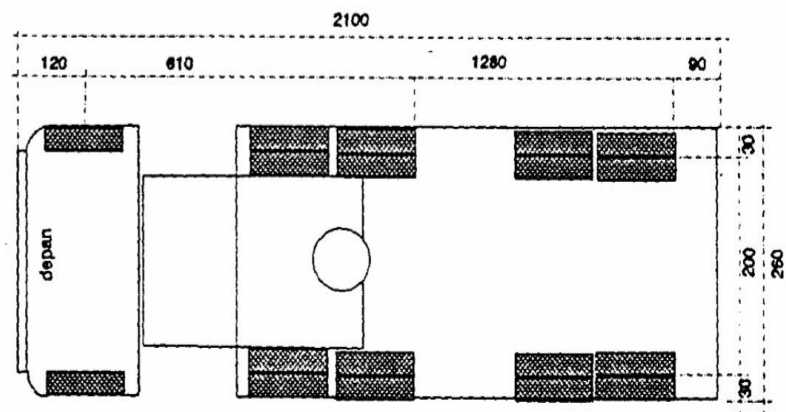
(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Gambar 2.5 Dimensi Kendaraan Kecil



(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Gambar 2.6 Dimensi Kendaraan Sedang



(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Gambar 2.7 Dimensi Kendaraan Besar

2. Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana (V_R) pada suatu ruas jalan adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan yang memungkinkan kendaraan-kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lengang, dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti. V_R untuk masing-masing fungsi jalan dapat ditetapkan dari tabel 2.7. untuk kondisi medan yang sulit, V_R suatu segmen jalan dapat diturunkan dengan syarat bahwa penurunan tersebut tidak lebih dari 20 km/jam.

**Tabel 2.7 Kecepatan Rencana (V_R)
Sesuai Klasifikasi Fungsi dan Klasifikasi Medan Jalan**

Fungsi	Kecepatan Rencana, V_R (Km/jam)		
	Datar	Bukit	Pegunungan
Arteri	70-120	60-80	40-70
Kolektor	60-90	50-60	30-50
Lokal	40-70	30-50	20-30

(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

3. Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas harian rata-rata (VLHR) adalah perkiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas yang dinyatakan dalam satuan mobil penumpang per hari (smp/hari).

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

Tabel 2.8 Satuan Mobil Penumpang (SMP)

Jenis Kendaraan	Nilai SMP
Sepeda	0,5
Mobil Penumpang / Sepeda Motor	1,0
Pick Up Combi	1,2
Truk Ringan (< 5 ton)	2,0
Truk Sedang (> 5 ton)	2,5
Truk Berat (> 10 ton)	3,0
Bus	3,0
Kendaraan Tak Bermotor	7,0

(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Nilai ekivalen mobil penumpang yang digunakan dalam satuan mobil penumpang dapat dilihat pada tabel 2.9 dibawah ini :

Tabel 2.9 Ekivalen Mobil Penumpang (EMP)

No.	Jenis Kendaraan	Datar/Perbukitan	Pegunungan
1	Sedan, Jeep, Station Wagon	1,00	1,00
2	Pick-up, Bus kecil, Truk kecil	1,20-2,40	1,90
3	Bus dan Truk besar	1,20-5,00	2,20-6,00

(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

4. Faktor Laju Pertumbuhan Lalulintas

Faktor pertumbuhan lalulintas berdasarkan formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan yang berlaku. Jika tidak tersedia data maka tabel faktor laju pertumbuhan lalulintas dapat digunakan (2015-2035) menurut manual desain perkerasan jalan (revisi Juni 2017).

Tabel 2.10 Faktor Laju Pertumbuhan Lalulintas (i) (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan Perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor Rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan Desa	1,00	1,00	1,00	1,00

(Sumber :Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017)

5. 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. (Shirley L. Hendarsin, 2000)

Menurut ketentuan Bina Marga, jarak pandang terbagi menjadi dua anatara lain sebagai berikut :

a. Jarak Pandang Henti (Jh)

Jarak pandang henti adalah jarak minimum yang diperlukan oleh setiap pengemudi untuk menghentikan kendaraannya dengan aman begitu melihat adanya halangan di depan. Setiap titik di sepanjang jalan harus memenuhi Jh. Jh diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 1-5 cm dan tinggi halangan 15 cm diukur dari permukaan jalan. Jh terdiri atas 2 elemen jarak, yaitu :

- 1) Jarak tanggap (Jht) adalah jarak yang ditempuh oleh kendaraan sejak pengemudi melihat suatu halangan yang menyebabkan ia harus berhenti sampai saat pengemudi menginjak rem.
- 2) Jarak pengereman (Jh) adalah jarak yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendraan berhenti.

Jh dalam satuan meter, dapat dihitung dengan rumus :

$$J_h = \frac{V_R}{3,6} T + \frac{\left(\frac{V_R}{3,6}\right)^2}{2gf} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

V_R = 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

Persamaan (2.1) disederhanakan menjadi :

$$JB_{hb} = 0,694 VB_{RB} + 0,004 \frac{V_R^2}{F} \dots\dots\dots(2.2)$$

Pada Tabel 2.11 terdapat J_h minimum yang dihitung berdasarkan persamaan (2.2) dengan pembulatan-pembulatan untuk berbagai V_R .

Tabel 2.11 Jarak Pandang Henti Minimum

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

(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

b. Jarak Pandang Mendahului (J_d)

Jarak pandang mendahului adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain didepannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke lajur semula.

J_d diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan adalah 105 cm. J_d dalam satuan meter ditentukan sebagai berikut:

$$J_d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \dots\dots\dots(2.3)$$

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).

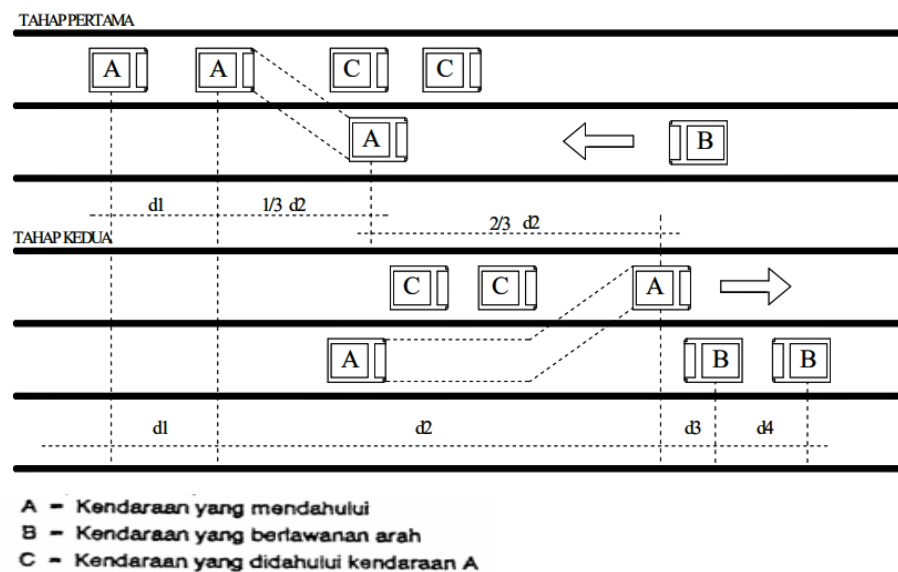
d_4 = Jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang datang dari arah berlawanan yang besarnya diambil sama dengan $213d_2$ (m).

Daerah mendahului harus disebar di sepanjang jalan dengan jumlah panjang minimum 30% dari panjang total jalan tersebut. J_d yang sesuai dengan V_R ditetapkan dalam tabel 2.12

Tabel 2.12 Jarak Pandang Mendahului

V_r (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
J_d (m)	800	670	550	350	250	200	15	100

(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)



(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Gambar 2.8 Jarak Pandang Mendahului

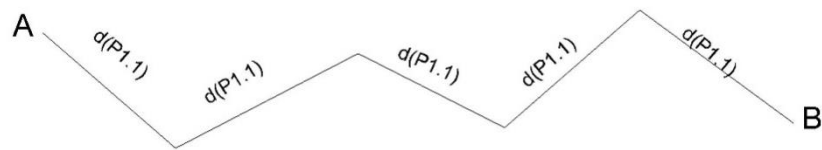
2.1.5 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal. Alinyemen horizontal dikenal juga dengan nama situasi jalan tau trase jalan. Alinyemen horizontal terdiri dari garis-garis lurus yang dihubungkan dengan garis-garis lengkung. Garis lengkung tersebut dapat

terdiri dari busur lingkaran ditambah busur peralihan saja ataupun busur lingkaran saja (Silvia Sukirman, 1999).

1. Menentukan Titik Koordinat dan Jarak

Penentuan titik penting yang diperoleh dari pemilihan rencana alinyemen horizontal. Gambar koordinat dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



(Sumber :Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

Gambar 2.9 Koordinat dan Jarak

Titik penting yang perlu ditentukan koordinatnya adalah :

- a. Titik awal proyek dengan simbol A.
- b. Titik P1.1, P1 n sebagai titik potong (*Point of Intersection*) dari dua bagian lurus rencana alinyemen horizontal.
- c. Titik akhir proyek dengan simbol B.

Jarak yang dihitung setelah penentuan koordinat adalah :

- $d_{A - P1.1}$ = jarak titik A ke titik P1 1.
- $d_{P1.1 - P1.2}$ = jarak titik P1 1 ke titik P1 2.
- $d_{P1.2 - P1.3}$ = jarak titik P1 2 ke titik P1 3.
- $d_{P1.3 - B}$ = jarak titik P1 3 ke titik B.

Rumus yang dipakai untuk menghitung jarak adalah :

$$d = \sqrt{(X1 - X2)^2 + (Y2 - Y1)^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- d = Jarak titik A ke titik P1 1
- X2 = Koordinat titik P1 1 pada sumbu X
- X1 = Koordinat titik A pada sumbu X
- Y1 = Koordinat titik A pada Sumbu Y
- Y2 = Koordinat titik P1 1 pada sumbu Y

2. Menghitung Sudut Jurusan, Sudut Azimuth dan Sudut Bearing

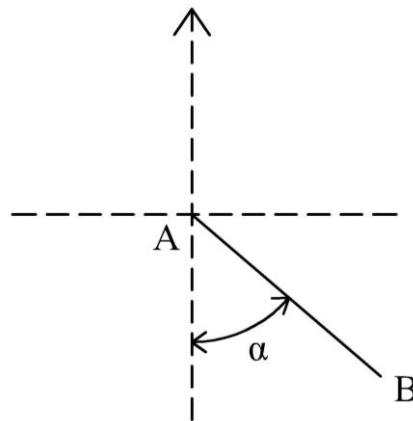
Setelah menentukan koordinat dan menghitung panjang garis tangen maka selanjutnya menghitung sudut jurusan, sudut azimuth dan sudut bearing.

a. Sudut Jurusan

Sudut jurusan adalah sudut yang besarnya tidak lebih dari 90° .

Rumus menghitung sudut jurusan adalah:

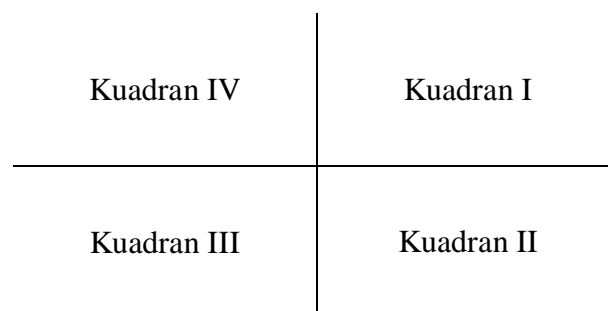
$$\alpha_A = \text{arc tg} \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \dots\dots\dots(2.5)$$



Gambar 2.10 Sudut Jurusan

b. Sudut Azimuth

Sudut azimuth adalah sudut yang diukur searah jarum jam dari arah utara ke titik yang dituju. Besar sudut azimuth adalah 0° - 360° Sebelum menghitung sudut azimuth, harus dilihat terlebih dahulu letak kuadrannya.



Gambar 2.11 Kuadran

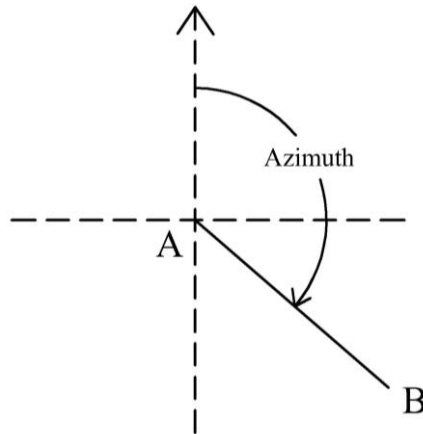
Berikut adalah rumus sudut azimuth berdasarkan kuadrat diatas:

Kuadran I : Azimuth = α(2.6)

Kuadran II : Azimuth = $180^\circ - \alpha$ (2.7)

Kuadran III : Azimuth = $180^\circ + \alpha$ (2.8)

Kuadran IV : Azimuth = $360^\circ - \alpha$ (2.9)



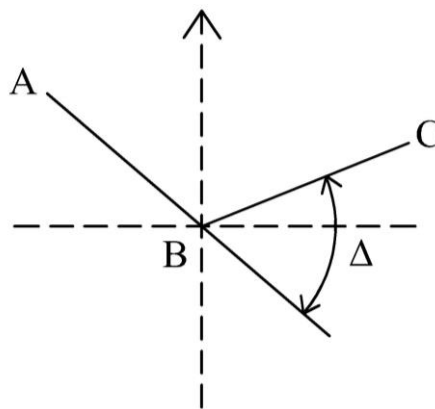
Gambar 2.12 Sudut Azimuth

c. Sudut Bearing

Sudut bearing adalah sudut yang diukur dari utara maupun selatan yang berputar searah ataupun berlawanan arah yang menunjukkan besar sudut dari suatu titik ke titik lain.

Rumus menghitung sudut bearing adalah:

$\Delta_1 = \text{Azimuth B (terbesar)} - \text{Azimuth A (terkecil)}$(2.10)



Gambar 2.13 Sudut Bearing

3. Menghitung Medan Jalan

Berdasarkan perhitungan rata-rata dari ketinggian muka tanah lokasi rencana, maka dapat diketahui lereng melintang yang digunakan untuk menentukan golongan medan, dapat dilihat pada tabel 2.3 apakah medan jalan tersebut datar, perbukitan atau pegunungan.

4. Jenis-Jenis Tikungan

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

a. Tikungan *Full Circle* (FC)

Full circle adalah jenis tikungan yang hanya terdiri dari bagian suatu lingkaran saja. Tikungan full circle hanya digunakan untuk R (jari-jari tikungan) yang besar agar tidak terjadi patahan, karena dengan R kecil maka diperlukan superelevasi yang besar. Jari-jari tikungan untuk tikungan jenis *full circle* ditunjukkan pada tabel 2.13 berikut ini:

Tabel 2.13 Jari-jari 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 1997)

Rumus yang digunakan pada tikungan *full circle* yaitu:

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

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

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

$$\text{Kontrol} = 2 \cdot T_c > L_c \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

Δ = Sudut tikungan

O = Titik pusat lingkaran

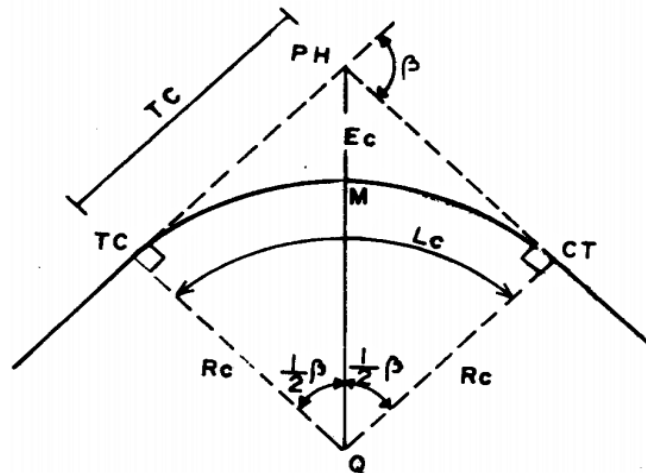
T_c = Panjang tangen jarak dari T_c ke PI atau PI ke T_c

R_c = Jari-jari lingkaran

L_c = Panjang busur lingkaran

E_c = Jarak luar dari PI ke busur lingkaran

Komponen-komponen untuk lingkaran full circle dapat dilihat pada gambar 2.11



(Sumber: *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*, 1999)

Gambar 2.14 Full Circle

b. Tikungan *Spiral–Circle–Spiral* (SCS)

Lengkung peralihan dibuat untuk menghindari terjadinya perubahan alinyemen yang tiba-tiba dari bentuk lurus ke bentuk lingkaran, jadi lengkung peralihan ini diletakkan antara bagian lurus dan bagian lingkaran (*circle*), yaitu sebelum dan sesudah tikungan berbentuk busur lingkaran. Lengkung peralihan dengan bentuk spiral banyak digunakan juga oleh Bina Marga. Dengan adanya lengkung peralihan (*Ls*), menurut Tata Cara

Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, (1997), diambil nilai terbesar dari persamaan dibawah ini:

1) Berdasarkan tabel lengkung peralihan minimum dan superelevasi Metode Bina Marga

2) Berdasarkan waktu tempuh maksimum (3 detik), untuk melintasi lengkung peralihan ,maka panjang lengkung:

$$L_S = \frac{V_R}{3.6} \times T \dots\dots\dots(2.15)$$

3) Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal

$$L_S = 0.022 \frac{V_R^3}{R_c.C} - 2.727 \frac{V_R - e}{C} \dots\dots\dots(2.16)$$

4) Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian

$$L_S = \frac{e_m - e_n}{3.6\Gamma_e} \times V_R \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

T = Waktu tempuh pada lengkung peralihan, ditetapkan 3 detik.

V_R = Kecepatan rencana (km/jam)

e = Superelevasi

C = Perubahan percepatan diambil 0,3 – 1,0 disarankan 0,4 m/det²

R = Jari- jari busur lingkaran (m)

e_m = Superelevasi maksimum

e_n = Superelevasi normal

Γ_e = Tingkat pencapaian perubahan kemiringan melintang jalan (m/m/detik)

Untuk $V_R = 70$ km/jam nilai r maks = 0,035 m/m/det

Untuk $V_R = 80$ km/jam nilai r maks = 0,025 m/m/det

Tabel 2.14 Panjang Lengkung Peralihan Minimum dan Superelevasi yang Dibutuhkan (e maksimum = 10% Metode Bina Marga

D (o)	R (m)	V = 50 km/jam		V = 60 km/jam		V = 70 km/jam		V = 80 km/jam		V = 90 km/jam	
		e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls
0,250	5730	LN	0	LN	0	LN	0	LN	0	LN	0
0,500	2865	LN	0	LN	0	LP	60	LP	70	LP	75
0,750	1910	LN	0	LP	50	LP	60	0,020	70	0,025	75
1,000	1432	LP	45	LP	50	0,021	60	0,027	70	0,033	75
1,250	1146	LP	45	LP	50	0,025	60	0,033	70	0,040	75
1,500	955	LP	45	0,023	50	0,030	60	0,038	70	0,047	75
1,750	819	LP	45	0,026	50	0,035	60	0,044	70	0,054	75
2,000	716	LP	45	0,029	50	0,039	60	0,049	70	0,060	75
2,500	573	0,026	45	0,036	50	0,047	60	0,059	70	0,072	75
3,000	477	0,030	45	0,042	50	0,055	60	0,068	70	0,081	75
3,500	409	0,035	45	0,048	50	0,062	60	0,076	70	0,089	75
4,000	358	0,039	45	0,054	50	0,068	60	0,082	70	0,095	75
4,500	318	0,043	45	0,059	50	0,074	60	0,088	70	0,099	75
5,000	286	0,048	45	0,064	50	0,079	60	0,093	70	0,100	75
6,000	239	0,055	45	0,073	50	0,088	60	0,098	70	Dmaks = 5,12	
7,000	205	0,062	45	0,080	50	0,094	60	Dmaks = 6,82			
8,000	179	0,068	45	0,086	50	0,098	60				
9,000	159	0,074	45	0,091	50	0,099	60				
10,000	143	0,079	45	0,095	60	Dmaks = 9,12					
11,000	130	0,083	45	0,098	60						
12,000	119	0,087	45	0,100	60						
13,000	110	0,091	50	Dmaks = 12,79							
14,000	102	0,093	50								
15,000	95	0,096	50								
16,000	90	0,097	50								
17,000	84	0,099	60								
18,000	80	0,099	60								
19,000	75	Dmaks = 18,85									

Keterangan :

LN = lereng jalan normal diasumsikan = 2 %

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

I = = diperhitungkan dengan mempertimbangkan rumus modifikasi Shortt, landai relatif maksimum (gambar 12), jarak tempuh 2 detik, dan lebar perkerasan 2 x 3,75 m.

(Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan, 1999)

Adapun rumus-rumus yang digunakan pada tikungan

spiral-circle-spiral, yaitu:

$$F_m = 0,192 - 0,000652 V \dots\dots\dots (2.18)$$

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127 (e_{\max} + f_m)} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$D_{\max} = \frac{181913,53 (e_{\max} + f_{\max})}{V^2} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$D = \frac{1432,39}{R} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$e_p = - \left(\frac{e_{\max}}{D_{\max}^2} \cdot D^2 \right) + \left(\frac{2 \cdot e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D \right) \dots\dots\dots (2.22)$$

Menentukan sudut lengkung bagian spiral

$$\theta_s = \frac{90 \cdot L_s}{\pi \cdot R} \dots\dots\dots (2.23)$$

Menentukan sudut lengkung bagian circle

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_s \dots\dots\dots (2.24)$$

Menentukan p, k, Lc, L, Ts dan Es

$$p = \frac{L_s^2}{6 \cdot R} - R (1 - \cos \theta_s) \dots\dots\dots (2.25)$$

$$k = L_s - \frac{L_s^3}{40 R^2} - R \sin \theta_s \dots\dots\dots (2.26)$$

$$L_c = \frac{\Delta_c}{360} \cdot 2\pi R \dots\dots\dots (2.27)$$

$$T_s = (R + p) \tan \frac{\Delta}{2} + k \dots\dots\dots (2.28)$$

$$E_s = \frac{(R+p)}{\cos^2 \frac{\Delta}{2}} - R \dots\dots\dots (2.29)$$

Menentukan absis titik SC pada garis tangen / jarak titik TS ke titik SC

$$X_s = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40 R^2} \right) \dots\dots\dots (2.30)$$

Menentukan koordinat SC pada garis tegak lurus tangen

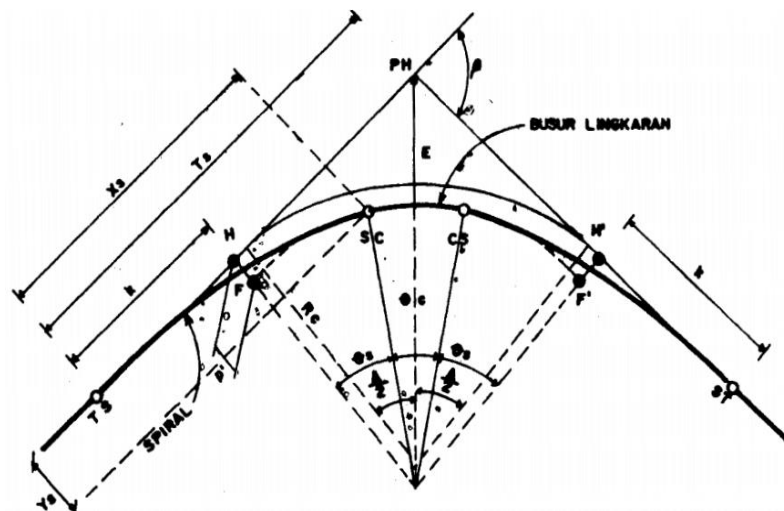
$$Y_s = \frac{L_s^2}{6 R} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$L_{\text{total}} = L_c + 2L_s \dots\dots\dots (2.32)$$

$$\text{Kontrol} = L_{\text{total}} < 2 \cdot T_s \dots\dots\dots (2.33)$$

Syarat tikungan *spiral-circle-spiral*

$$L_c > 2 \cdot L_s \dots\dots\dots (2.34)$$



(Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan, 1999)

Gambar 2.15 Spiral-Circle-Spiral

c. Tikungan *Spiral-Spiral* (SS)

Jenis tikungan ini digunakan pada tikungan yang tajam. Lengkung horizontal berbentuk spiral-spiral adalah lengkung tanpa busur lingkaran, sehingga SC berimpit dengan titik CS. Adapun rumus-rumus yang digunakan pada tikungan spiral-spiral, yaitu :

$$F_m = 0,192 - 0,000652 V \dots\dots\dots(2.35)$$

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 (e_{max} + f_m)} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$D_{maks} = \frac{181913,53 (e_{max} + f_{maks})}{V^2} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$D = \frac{1432,39}{R} \dots\dots\dots(2.38)$$

$$e_p = -\left(\frac{e_{maks}}{D^2_{maks}} \cdot D^2\right) + \left(\frac{2 \cdot e_{maks}}{D_{maks}} \cdot D\right) \dots\dots\dots(2.39)$$

$$L_s = \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R}{90} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$\theta_s = \frac{\Delta}{2} \dots\dots\dots(2.41)$$

$$p = p^* \times L_s \dots\dots\dots(2.42)$$

$$k = k^* \times L_s \dots\dots\dots(2.43)$$

$$T_s = (R + P) \tan \frac{\Delta}{2} + k \dots\dots\dots(2.44)$$

$$E_s = \frac{(R+P)}{\cos \frac{1}{2}\Delta} - R \dots\dots\dots(2.45)$$

$$L_{total} = 2 \times L_s \dots\dots\dots(2.46)$$

$$\text{Kontrol} = L_{total} < 2 \cdot T_s \dots\dots\dots(2.47)$$

Keterangan :

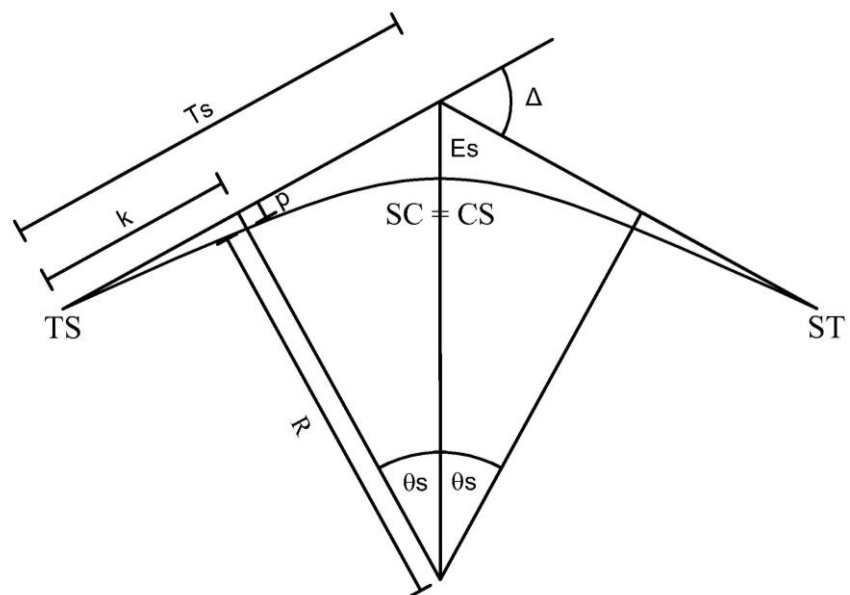
E_s = Jarak dari PI ke lingkaran

T_s = Jarak dari titik TS ke PI

R = Jari-jari lingkaran

K = Absis dan p pada garis tangen spiral

p = Pergeseran tangen terhadap sudut lengkung spiral



Gambar 2.16 Spiral-Spiral

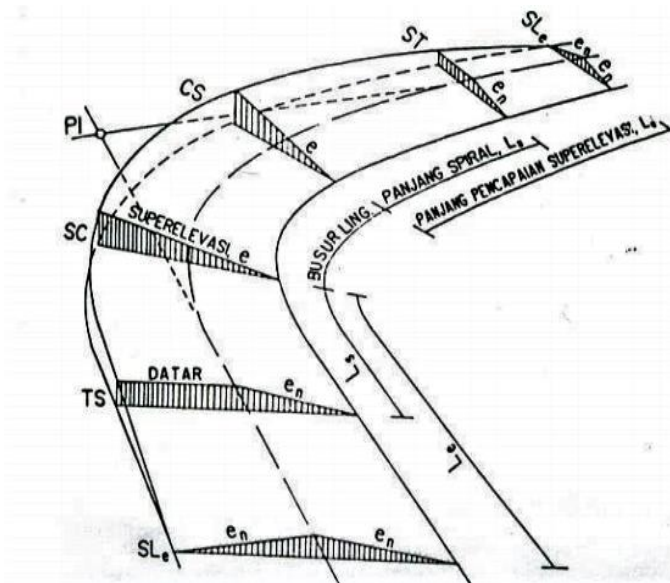
Tabel 2.15 Nilai p* dan k* untuk Ls = 1

Qs	p*	k*	qs	p*	k*	qs	p*	k*
0,5	0,00073	0,5	14	0,02067	0,49899	27,5	0,04228	0,49594
1	0,00145	0,49999	14,5	0,02143	0,49892	28	0,04314	0,49578
1,5	0,00218	0,49999	15	0,02219	0,49884	28,5	0,04399	0,49562
2	0,00291	0,49998	15,5	0,02296	0,49876	29	0,04486	0,49546
2,5	0,00364	0,49997	16	0,02372	0,49868	29,5	0,04572	0,49529
3	0,00437	0,49995	16,5	0,02449	0,49859	30	0,0466	0,49512
3,5	0,0051	0,49994	17	0,02527	0,4985	30,5	0,04747	0,49494
4	0,00582	0,49992	17,5	0,02604	0,49841	31	0,04836	0,49477
4,5	0,00656	0,4999	18	0,02682	0,49831	31,5	0,04924	0,49458
5	0,00729	0,49987	18,5	0,02761	0,49822	32	0,05013	0,4944
5,5	0,00802	0,49985	19	0,02839	0,49812	32,5	0,05103	0,49421
6	0,00948	0,49982	19,5	0,02918	0,49801	33	0,05193	0,49402
6,5	0,01022	0,49978	20	0,02997	0,49791	33,5	0,05284	0,49382
7	0,01022	0,49975	20,5	0,03077	0,4978	34	0,05375	0,49362
7,5	0,01096	0,49971	21	0,03156	0,49769	34,5	0,05467	0,49341
8	0,01169	0,49974	21,5	0,03237	0,49757	35	0,0556	0,49321
8,5	0,01243	0,49931	22	0,03317	0,49745	35,5	0,05625	0,49299
9	0,01317	0,49959	22,5	0,03398	0,49733	36	0,05746	0,49278
9,5	0,01391	0,49954	23	0,03479	0,49721	36,5	0,0584	0,49256
10	0,01466	0,49949	23,5	0,03561	0,49708	37	0,05935	0,49233
10,5	0,0154	0,49944	24	0,03643	0,49695	37,5	0,0603	0,4921
11	0,01615	0,49938	24,5	0,03725	0,49681	38	0,06126	0,49187
11,5	0,01689	0,49932	25	0,03808	0,49668	38,5	0,06222	0,49163
12	0,01764	0,49926	25,5	0,03891	0,49654	39	0,06319	0,49139
12,5	0,0184	0,4992	26	0,03975	0,49639	39,5	0,06417	0,49115
13	0,01915	0,49913	26,5	0,04059	0,49625	40	0,06515	0,4909
13,5	0,01991	0,49906	27	0,04143	0,49609	-	-	-

2.1.6 Superelevasi

Menurut (Shieley L. Hendarsin, 2000) pencapaian superelevasi antara lain sebagai berikut:

- Superelevasi dapat dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus sampai kemiringan penuh (superelevasi) pada bagian lengkung.
- 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 (SC).
- Pada bagian *full circle*, pencapaian superelevasi dilakukan secara linier, diawali dari bagian lurus sepanjang $2/3 L_s$ sampai dengan bagian lingkaran penuh sepanjang $1/3 L_s$.
- Pada tikungan *spiral-spiral*, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral.
- Superelevasi tidak diperlukan jika radius cukup besar, untuk itu cukup lereng luar diputar sebesar lereng normal (LN) atau bahkan tetap lereng normal (LN).

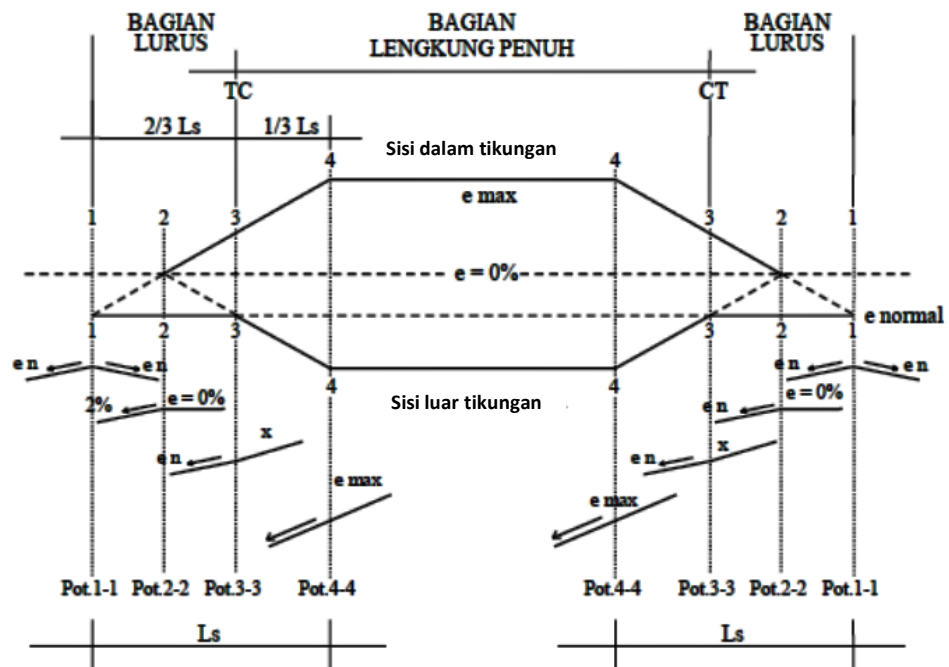


(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

Gambar 2.17 Perubahan Kemiringan Melintang pada Tikungan

Diagram superelevasi digambar berdasarkan elevasi sumbu jalan sebagai garis nol. Elevasi tepi perkerasan diberi tanda positif (+) atau negatif (-) ditinjau dari ketinggian sumbu jalan. Tanda positif untuk elevasi tepi perkerasan yang terletak lebih tinggi dari sumbu jalan dan tanda negatif untuk elevasi tepi perkerasan yang terletak lebih rendah dari sumbu jalan. (Silvia Sukirman, 1999). Berikut adalah diagram superelevasi dari berbagai tikungan:

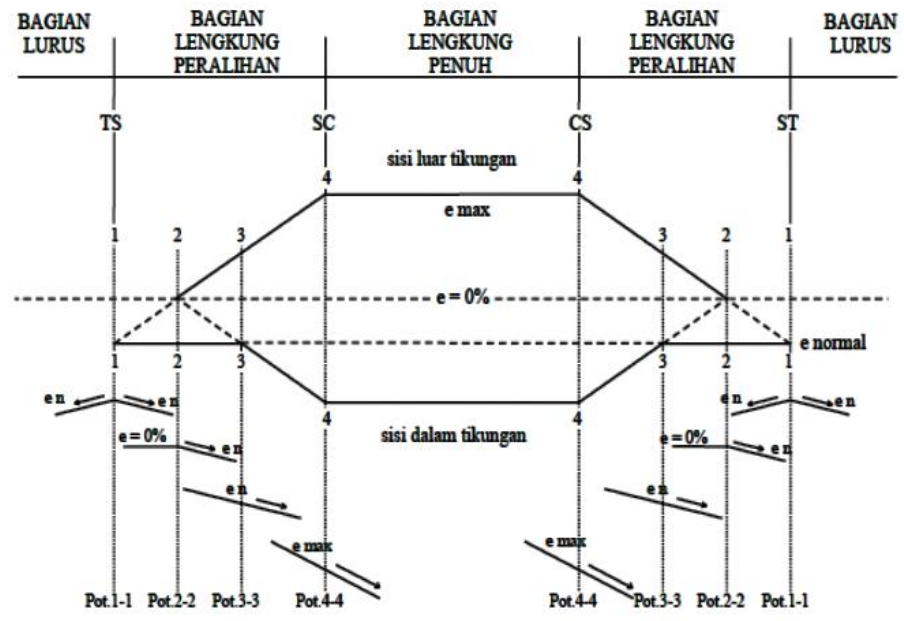
a. Tikungan *Full Circle* (FC)



(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

Gambar 2.18 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Full Circle*

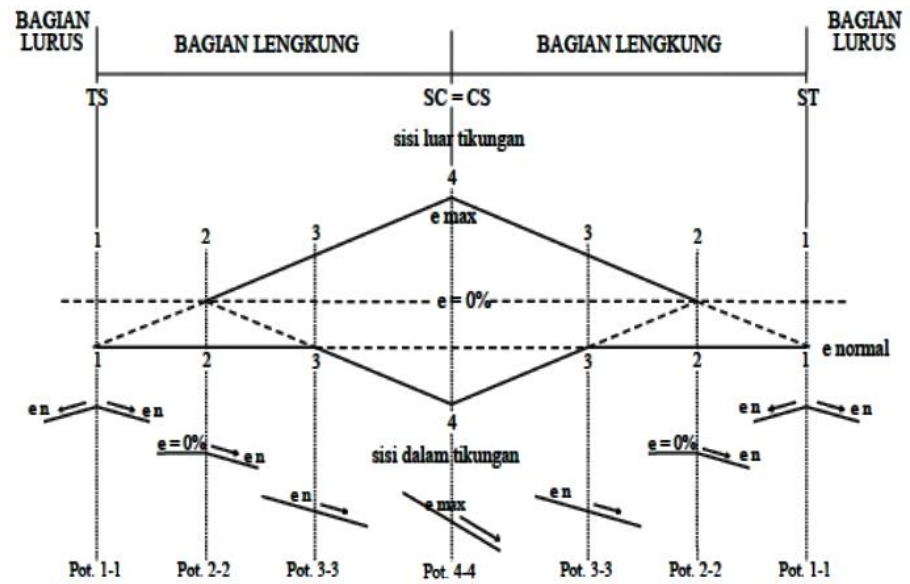
b. Tikungan *Spiral-Spiral* (SS)



(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

Gambar 2.19 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Spiral-Spiral*

c. Tikungan *Spiral-Circle-Spiral* (SCS)



(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

Gambar 2.20 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Spiral-Circle-Spiral*

Tabel 2.16 Nilai E (m), untuk $J_h < L_t$

R(m) \ V_R	J_h								
	20	30	40	50	60	80	100	120	
5000									1,6
3000									2,6
2000							1,9		3,9
1500							2,6		5,2
1200						1,5	3,2		6,5
1000						1,8	3,8		7,8
800						2,2	4,8		9,7
600						3,0	6,4		13,0
500						3,6	7,6		15,5
400					1,8	4,5	9,5		$R_{min} = 500$
300					2,3	6,0		$R_{min} = 350$	
250				1,5	2,8	7,2			
200				1,9	3,5		$R_{min} = 210$		
175				2,2	4,0				
150				2,5	4,7				
130			1,5	2,9	5,4				
120			1,7	3,1	5,8				
110			1,8	3,4		$R_{min} = 115$			
100			2,0	3,8					
90			2,2	4,2					
80			2,5	4,7					
70		1,5	2,8		$R_{min} = 80$				
60		1,8	3,3						
50		2,3	3,9						
40		3,0		$R_{min} = 50$					
30		$R_{min} = 30$							
20	1,6							$R' \infty R$	
15	2,1								
	$R_{min} = 15$								

(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

b. Jika $J_h > L_t$

$$E = R' \left(1 - \cos \frac{28,65 J_h}{R'} \right) + \left(\frac{J_h - L_t}{2} \sin \frac{28,65 J_h}{R'} \right) \dots \dots \dots (2.49)$$

Dimana:

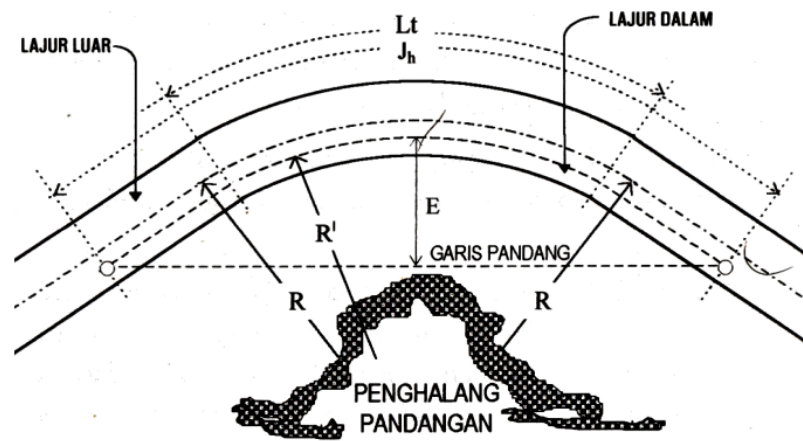
E = Jarak bebas samping (m)

R = Jari-jari tikungan (m)

R' = Jari-jari sumbu lajur dalam (m)

J_h = Jarak pandang henti (m)

L_t = Panjang tikungan (m)



(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

Gambar 2.22 Daerah Bebas Samping di Tikungan, untuk $J_h > L_t$

Tabel 2.17 Nilai E (m), untuk $J_h > L_t$

R (m) \ V _R	J _h								
	20	30	40	50	60	80	100	120	120
	16	27	40	55	75	120	175	250	
6000									1,6
5000									1,9
3000							1,6		3,1
2000							2,5		4,7
1500						1,5	3,3		6,2
1200						2,1	4,1		7,8
1000						2,5	4,9		9,4
800					1,5	3,2	6,1		11,7
600					2,0	4,2	8,2		15,6
500					2,3	5,1	9,8		18,6
400				1,8	2,9	6,4	12,2		R _{min} = 500
300			1,5	2,4	3,9	8,5		R _{min} = 350	
250			1,8	2,9	4,7	10,1			
200			2,2	3,6	5,8		R _{min} = 210		
175		1,5	2,6	4,1	6,7				
150		1,7	3,0	4,8	7,8				
130		2,0	3,5	5,5	8,9				
120		2,2	3,7	6,0	9,7				
110		2,4	4,1	6,5		R _{min} = 115			
100		2,6	4,5	7,2					
90	1,5	2,9	5,0	7,9					
80	1,6	3,2	5,6	8,9					
70	1,9	3,7	6,4		R _{min} = 80				
60	2,2	4,3	7,4						
50	2,6	5,1	8,8						
40	3,3	6,4		R _{min} = 50					
30	4,4	8,4							
20	6,4		R _{min} = 30					R' ∞ R	
15	8,4								
	R _{min} = 15								

(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

2.1.8 Pelebaran Perkerasan di Tikungan

Pelebaran perkerasan atau jalur lalu lintas di tikungan, dilakukan untuk mempertahankan kendaraan tetap pada lintasannya (lajurnya) sebagaimana pada bagian lurus. Hal ini terjadi karena pada kecepatan tertentu kendaraan pada tikungan cenderung untuk keluar jalur akibat posisi roda depan dan roda belakang yang tidak sama, yang tergantung dari ukuran kendaraan. (Shirley L. Hendarsin, 2000).

Adapun rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan pelebaran jalan pada tikungan menurut buku dasar-dasar perencanaan geometrik jalan (Silvia Sukirman, 1999) sebagai berikut:

$$R_w = \sqrt{(R_i + b)^2 + (p + A)^2} \dots \dots \dots (2.50)$$

Keterangan:

R_w = Radius lengkung terluar dari lintasan kendaraan pada lengkung horizontal untuk lajur sebelah dalam.

R_i = Radius lengkung terdalam dari lintasan kendaraan pada lengkung horizontal untuk lajur sebelah dalam.

$$R_i = \sqrt{(R_c^2 - (p + A)^2)} \dots \dots \dots (2.51)$$

$$U = B - b \dots \dots \dots (2.52)$$

Keterangan:

R_c = Radius lengkung untuk lintasan luar roda depan

U = *Off tracking*

p = Jarak antar gandar = 6,5m

A = Tonjolan depan kendaraan = 1,5m

b = Lebar kendaraan = 2,5m

$$B = \sqrt{\left(\sqrt{R_c^2 - (p+A)^2} + \frac{1}{2}b\right)^2 + (p+A)^2} - \sqrt{R_c^2 - (p+A)^2} + \frac{1}{2}b \dots\dots (2.53)$$

$$= \sqrt{\left(\sqrt{R_c^2 - 64} + 1,25\right)^2 + 64} - \sqrt{R_c^2 - 64} + 1,25 \dots\dots\dots (2.54)$$

Keterangan:

B = Lebar perkerasan yang ditempati satu kendaraan ditikungan pada lajur sebelah dalam (m)

$$R_c = R - \frac{1}{4}B_n + \frac{1}{2}b \dots\dots\dots (2.55)$$

Keterangan:

R = Jari-jari busur lingkaran pada tikungan (m)

B_n = Lebar total perkerasan pada bagian lurus (m)

b = Lebar kendaraan rencana (m)

$$Z = 0,015 \frac{V}{\sqrt{R}} \dots\dots\dots (2.56)$$

Keterangan:

Z = Lebar tambahan akibat kesukaran mengemudi di tikungan

V = Kecepatan rencana (km/jam)

R = Jari-jari tikungan

$$B_t = n (B + C) + Z \dots\dots\dots (2.57)$$

Keterangan:

B = Lebar perkerasan yang ditempati satu kendaraan ditikungan pada lajur sebelah dalam (m)

N = Jumlah lajur lalu lintas

C = Lebar kebebasan samping kiri dan kanan kendaraan (1,0 m)

$$\Delta b = B_t - B_n \dots\dots\dots (2.58)$$

Keterangan:

Δb = Tambahan lebar perkerasan ditikungan (m)

Pelebaran perkerasan pada tikungan dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan kendaraan akan keluar dari lajunya karena dipicu dengan kecepatan yang terlalu tinggi. Pelebaran ini dilakukan sepanjang pencapaian superelevasi.

2.1.9 Alinyemen Vertikal

Alinyemen Vertikal adalah perencanaan elevasi sumbu jalan pada setiap titik yang ditinjau, berupa profil memanjang.

Pada perencanaan alinyemen vertikal akan ditemui kelandaian positif (tanjakan) dan kelandaian negatif (turunan), sehingga kombinasinya berupa lengkung cembung dan lengkung cekung. Disamping kedua lengkung tersebut ditemui juga kelandaian = 0 (datar).

Kondisi tersebut dipengaruhi oleh keadaan topografi yang dilalui oleh route jalan rencana. Kondisi topografi tidak hanya berpengaruh pada perencanaan alinyemen horizontal, tetapi juga mempengaruhi perencanaan alinyemen vertikal. (Shirley L. Hendarsin, 2000).

1. Kelandaian

Untuk menghitung dan merencanakan lengkung vertikal, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu :

a. Karakteristik Kendaraan pada Kelandaian

Hampir seluruh kendaraan penumpang dapat berjalan dengan baik dengan kelandaian 7-8 % tanpa adanya perbedaan dibandingkan dengan bagian datar. Pengamatan menunjukkan bahwa mobil penumpang pada kelandaian 3% hanya sedikit sekali pengaruhnya dibandingkan dengan jalan datar. Sedangkan untuk truk, kelandaian akan lebih besar pengaruhnya.

b. Kelandaian Maksimum

Kelandaian maksimum dimaksudkan agar kendaraan dapat bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti. Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh mampu bergerak dengan kecepatan tidak

kurang dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah.

Tabel 2.18 Kelandaian Maksimum yang Diijinkan

V_R (km/jam)	120	110	100	80	60	50	40	< 40
Kelandaian Maksimum (%)	3	3	4	5	8	9	10	10

(Sumber : TPGJAK No.038 / T / BM / 1997)

c. Kelandaian Minimum

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

d. Panjang Kritis Suatu Kelandaian

Panjang kritis ini diperlukan sebagai batasan panjang kelandaian maksimum agar pengurangan kecepatan kendaraan tidak lebih banyak dari separuh V_R . Lama perjalanan pada panjang kritis tidak lebih dari satu menit.

Tabel 2.19 Panjang Kritis (m)

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

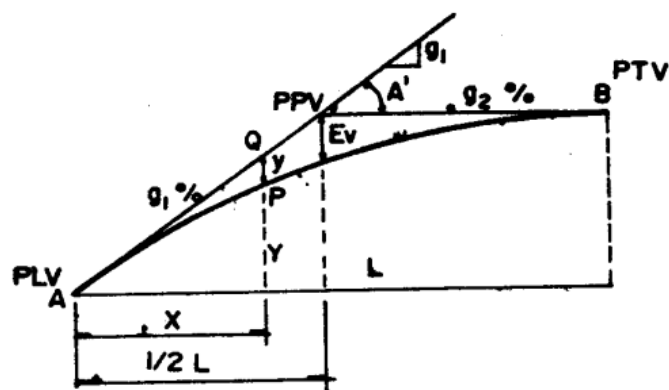
(Sumber : TPGJAK No.038 / T / BM / 1997)

e. Lajur Pendakian Pada Kelandaian Khusus

Pada jalur jalan dengan rencana volume lalu lintas yang tinggi, terutama untuk tipe 2/2 TB, maka kendaraan berat akan berjalan pada lajur pendakian dengan kecepatan V_R , sedangkan kendaraan lain masih dapat bergerak dengan kecepatan V_R , sebaliknya dipertimbangkan untuk dibuat lajur 40 tambahan pada bagian kiri dengan ketentuan untuk jalan baru menurut MKJI didasarkan pada BHS (Biaya Siklus Hidup).

2. Lengkung Vertikal

Pergantian dari satu kelandaian ke kelandaian yang lain dilakukan dengan mempergunakan lengkung vertikal. Lengkung vertikal tersebut direncanakan sedemikian rupa sehingga memenuhi keamanan, kenyamanan dan drainase. (Hamirhan Saodang, 2010)



(Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan, 1999)

Gambar 2.23 Lengkung Vertikal

Keterangan:

g_1 dan g_2 = Besar kelandaian (%)

x = Jarak horizontal dari titik PLV ke titik yang ditinjau (m)

y' = Besarnya penyimpangan (jarak vertikal) antar garis kemiringan dengan lengkung (m).

E_v = Pergeseran vertikal dari titik PPV ke bagian lengkung (m)

L_v = Panjang lengkung vertikal (m)

PLV = Peralihan Lengkung Vertikal, yaitu titik peralihan dari bagian tangen ke bagian lengkung vertikal.

PPV = Pusat Perpotongan Vertikal, yaitu titik perpotongan kedua bagian tangen.

PTV = Peralihan Tangen Verikal, yaitu titik peralihan dari bagian lengkung vertikal ke bagian tangen

Kelandaian menaik diberi tanda (+) dan kelandaian menurun diberi tanda (-). Ketentuan pendakian atau penurunan ditinjau dari kiri ke kanan. Untuk menghitung perbedaan aljabar untuk kelandaian dapat digunakan rumus:

$$A = |g_1 - g_2| \dots \dots \dots (2.59)$$

Dimana:

A = Perbedaan kelandaian

g_1 = Kelandaian tangen dari PLV (%)

g_2 = Kelandaian tangen dari PTV (%)

Dari gambar diatas, besarnya defleksi (y') antara garis kemiringan (tangen) dan garis lengkung dapat dihitung dengan rumus:

$$y' = \left[\frac{A}{200 L_v} \right] \cdot x^2 \dots \dots \dots (2.60)$$

Dimana :

x = Jarak horizontal dari titik PLV ke titik yang ditinjau (m)

y' = Besarnya penyimpangan (jarak vertikal) antar garis kemiringan dengan lengkungan (m).

L_v = Panjang lengkung vertikal (m)

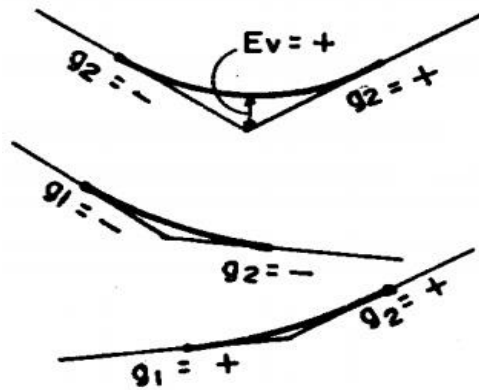
Untuk $x = \frac{1}{2} L_v$, maka $y' = E_v$ dirumuskan sebagai :

$$E_v = \frac{A \cdot L}{800} \dots \dots \dots (2.61)$$

Jenis lengkung vertikal dilihat dari letak titik perpotongan kedua bagian lurus (tangen), adalah :

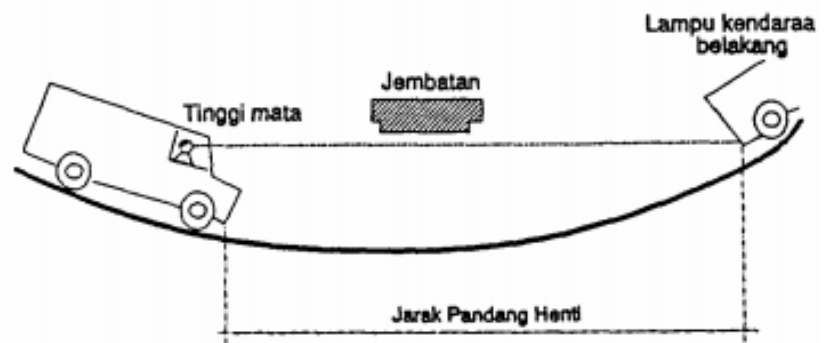
a. Lengkung Vertikal Cekung

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



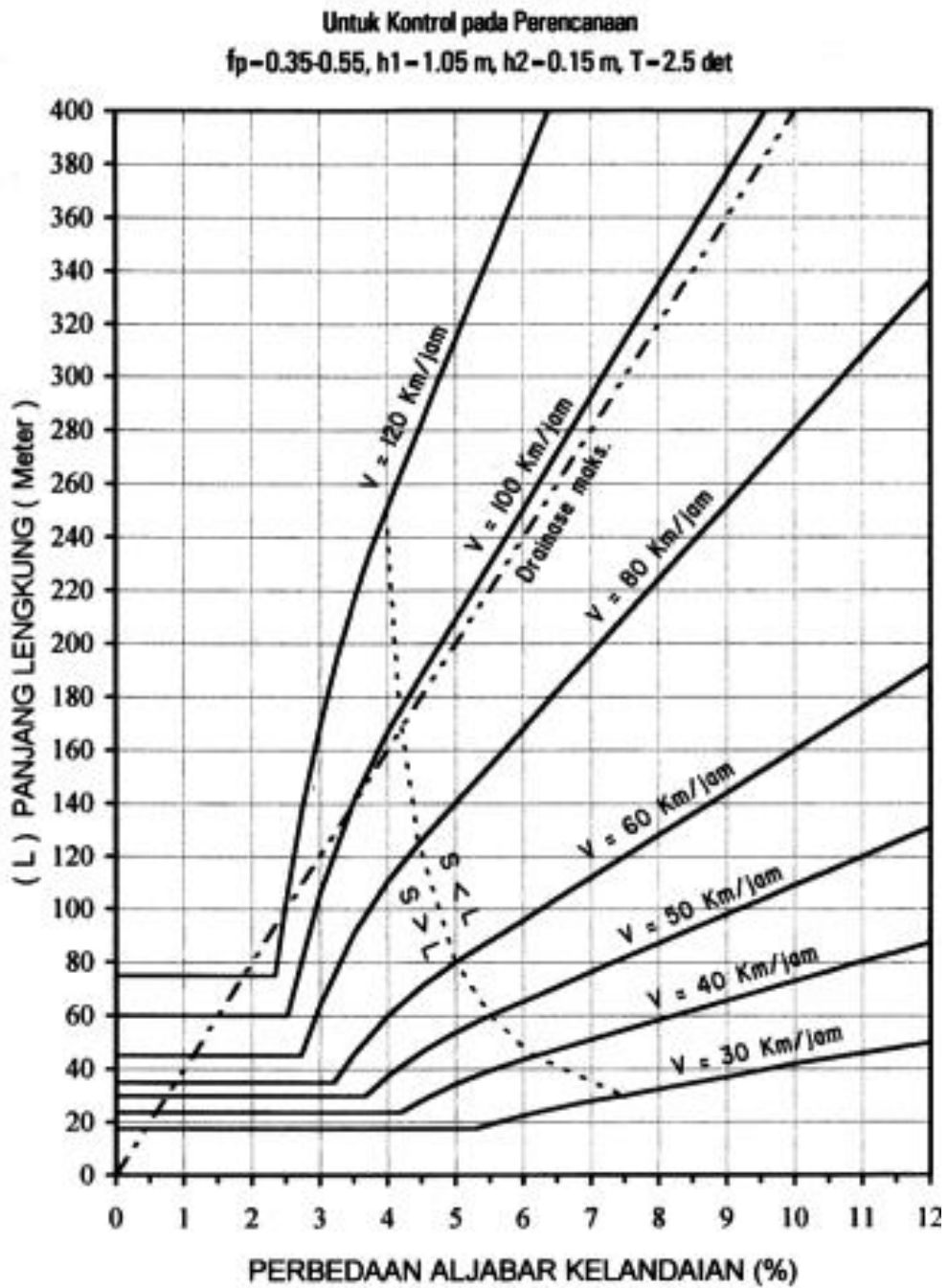
(Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan, 1999)

Gambar 2.24 Lengkung Vertikal Cekung



(Sumber : TPGJAK No.038 / T / BM / 1997)

Gambar 2.25 Jarak Pandang Lengkung Vertikal Cekung

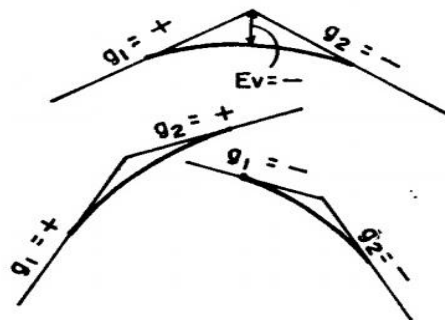


(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

Gambar 2.26 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cekung berdasarkan Jarak Pandang Henti (Jh)

b. Lengkung Vertikal Cembung,

Lengkung vertikal cembung adalah lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada di atas permukaan jalan yang bersangkutan.



(Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan, 1999)

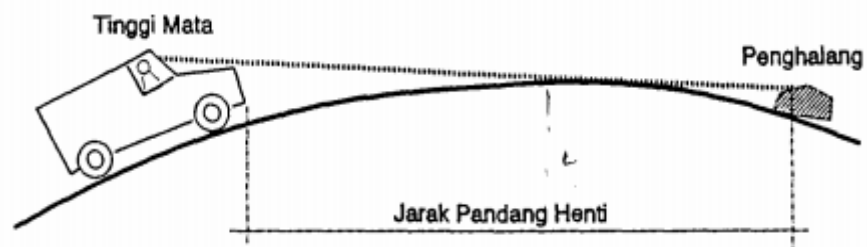
Gambar 2.27 Lengkung Vertikal Cembung

Ketentuan tinggi menurut Bina Marga (1997) untuk lengkung vertikal cembung terdapat pada tabel berikut.

Tabel 2.20 Ketentuan Tinggi untuk Jenis Jarak Pandang

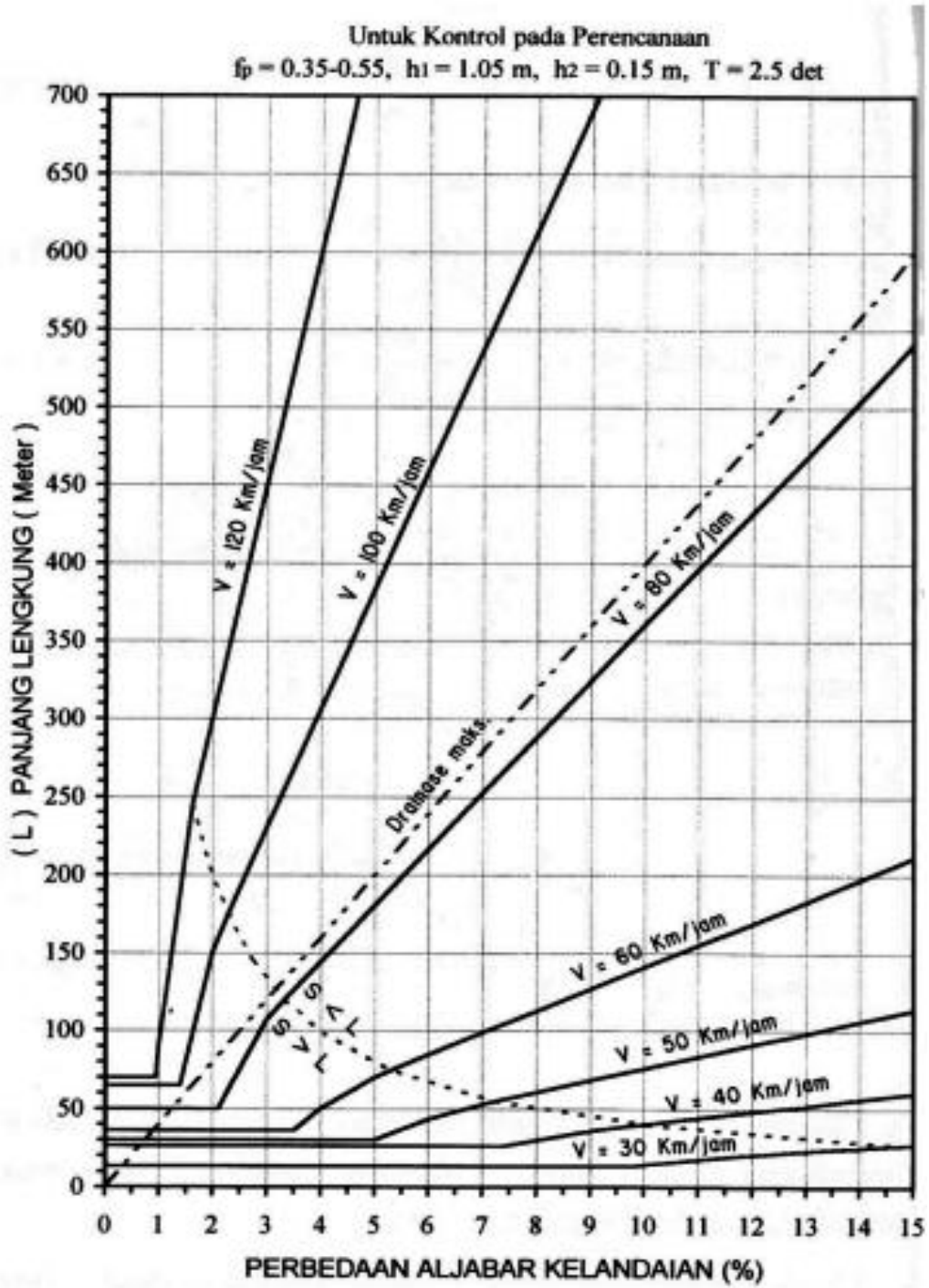
Untuk Jarak Pandang	h_1 (m) Tinggi Mata	h_2 (m) Tinggi Objek
Henti (Jh)	1,05	0,15
Mendahului (Jd)	1,05	1,05

(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)



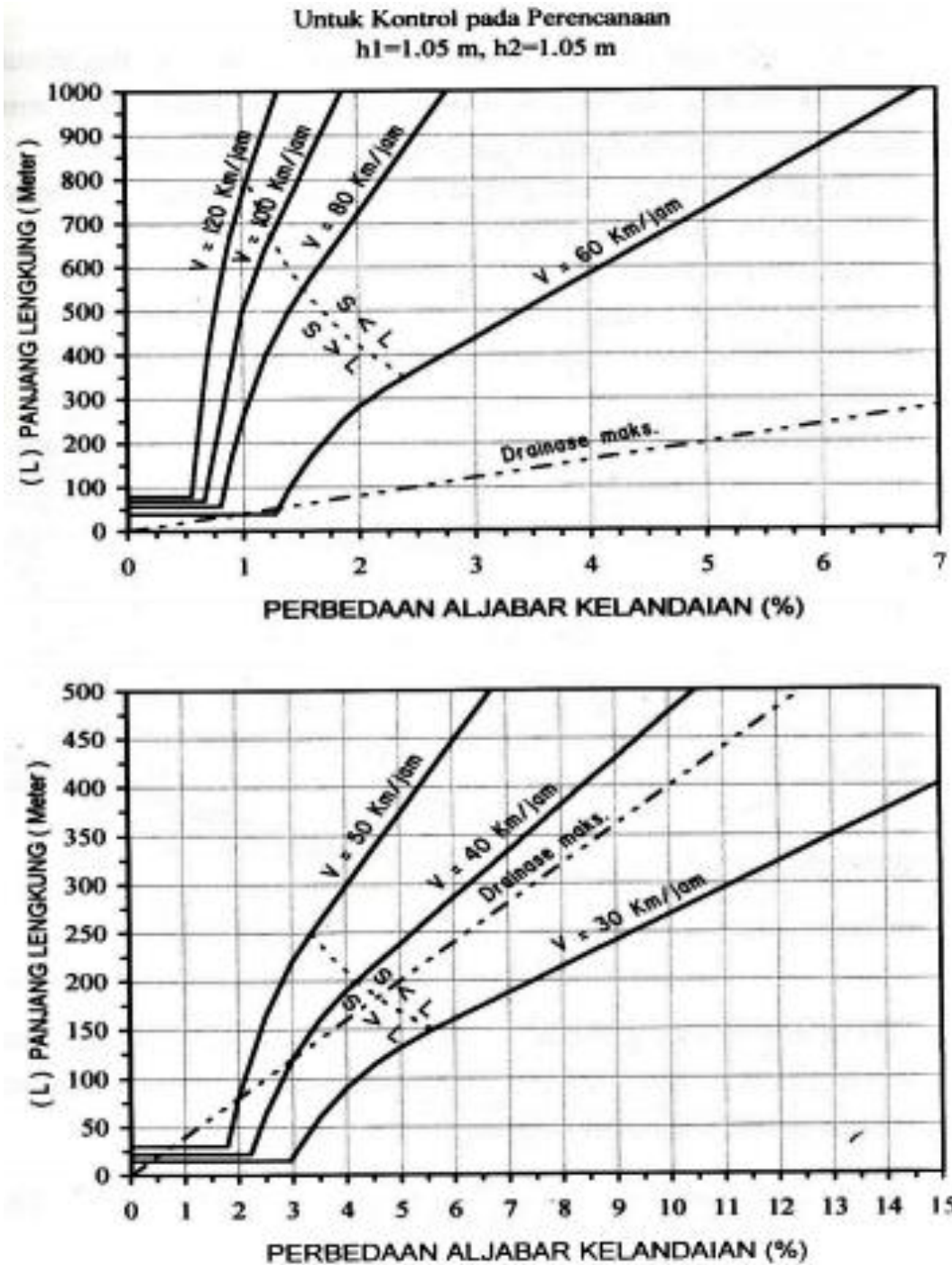
(Sumber : TPGJAK No.038 / T / BM / 1997)

Gambar 2.28 Jarak Pandang Lengkung Vertikal Cembung



(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

Gambar 2.29 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cembung berdasarkan Jarak Pandang Henti (Jh)



(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

Gambar 2.30 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cembung berdasarkan Jarak Pandang Mendahului (J_d)

2.1.10 Perencanaan Galian dan Timbunan

Dalam perencanaan jalan raya diusahakan agar volume galian sama dengan volume timbunan. Dengan mengkombinasikan alinyemen vertikal dan horizontal memungkinkan kita untuk menghitung banyaknya volume galian dan timbunan. Langkah-langkah dalam perhitungan galian dan timbunan, antara lain :

1. Penentuan *stationing* (jarak patok) sehingga diperoleh panjang horizontal jalan dari alinyemen horizontal (trase jalan).
2. Gambarkan profil memanjang (alinyemen vertikal) yang memperlihatkan perbedaan beda tinggi muka tanah asli dengan muka tanah rencana.
3. Gambar potongan melintang (*cross section*) pada titik *stationing*, sehingga didapatkan luas galian dan timbunan.
4. Hitung volume galian dan timbunan dengan mengalikan luas penampang rata-rata dari galian atau timbunan dengan jarak patok.

2.2 Perencanaan Tebal Perkerasan

Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas :

1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku yaitu perkerasan yang menggunakan semen (PC) sebagai bahan pengikat. Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh plat beton.

3. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Perkerasan Komposit yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dimana dapat berupa

perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur. (Silvia Sukirman, 1999).

2.2.1 Kriteria Perencanaan

Menurut pedoman perancangan tebal perkerasan lentur terdapat beberapa kriteria perencanaan, yaitu:

1. Lalu Lintas

a. Jumlah Lajur dan Lebar Lajur Rencana

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan, yang menampung lalu lintas terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, jumlah lajur ditentukan dari tabel lebar perkerasan berikut :

Tabel 2.21 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

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

(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

b. Distribusi Kendaraan Per Lajur Rencana

Distribusi kendaraan ringan dan berat yang lewat pada lajur rencana adalah sesuai dengan jumlah lajur dan arah. Distribusi kendaraan ringan dan berat pada lajur rencana dipengaruhi oleh volume lalu lintas, sehingga untuk menetapkannya diperlukan survey. Namun demikian, koefisien distribusi kendaraan (D_L) dapat menggunakan pendekatan sesuai pada tabel berikut:

Tabel 2.22 Koefisien Distribusi Kendaraan Per Lajur Rencana (D_L)

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

(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

Keterangan : *) Mobil Penumpang

***) Truk dan Bus

c. Faktor Ekuivalen Beban Sumbu Kendaraan (LEF)

Faktor ekuivalen beban sumbu kendaraan (*Load Equivalency Factor, LEF*) setiap kelas kendaraan adalah sesuai dengan beban sumbu setiap kelas kendaraan, yaitu konfigurasi sumbu tunggal, sumbu ganda (tandem), dan sumbu tiga (triple). Faktor ekuivalen sumbu kendaraan dapat dihitung melalui persamaan berikut ini:

$$LEF = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} \dots\dots\dots (2.62)$$

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}}\right) = 4,79 \log(18 + 1) - 4,79 \log(L_x + L_2) + 4,33 \log L_2$$

$$+ \frac{\log\left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f}\right)}{0,40 + \frac{0,081 (L_x + L_2)^{3,23}}{(SN+1)^{5,19} \cdot L_2^{3,23}}} - \frac{\log\left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f}\right)}{0,40 + \frac{0,081 (18 + 1)^{3,23}}{(SN+1)^{5,19}}} \dots\dots\dots (2.63)$$

Keterangan:

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

- W_{tx} = Angka beban sumbu x pada akhir waktu t
 W_{t18} = Angka 18-kip (80 KN) beban sumbu tunggal untuk waktu t
 L_x = Beban dalam kip pada satu sumbu tunggal atau pada sumbu ganda (tandem), atau satu sumbu tridem
 L_2 = Kode beban (1 untuk poros tunggal, 2 untuk poros tandem, dan 3 untuk as roda tridem)
 SN = Nilai Struktural, yang merupakan fungsi dari ketebalan dan modulus setiap lapisan dan kondisi drainase dari pondasi dan pondasi bawah
 ΔIP = Perbedaan antara indeks pelayanan pada umur rencana (IP_0) dengan indeks pelayanan pada akhir umur rencana (IP_t)
 IP_t = Indeks pelayanan jalan hancur (minimum 1,5)

d. Akumulasi Lalu Lintas pada Lajur Rencana (w_{18})

Akumulasi lalu lintas pada lajur rencana (w_{18}) diberikan dalam kumulatif beban sumbu standar. Untuk mendapatkan lalu lintas pada lajur rencana ini, digunakan persamaan berikut:

$$w_{18} = 365 \times D_L \times \hat{w}_{18} \dots\dots\dots(2.64)$$

Keterangan:

- w_{18} = Akumulasi lalu lintas pada lajur rencana per tahun
 D_L = Faktor distribusi lajur pada lajur rencana
 \hat{w}_{18} = Akumulasi beban sumbu standar kumulatif per hari, sesuai persamaan berikut:

$$w_{18} = \sum_i^n BS_i LEF_i \dots\dots\dots(2.65)$$

Keterangan:

- BS_i = Beban setiap sumbu kendaraan
 LEF_i = Faktor ekuivalen beban setiap sumbu kendaraan

e. Akumulasi Beban Sumbu Standar Selama Umur Rencana

(W_t atau W_{18})

Lalu lintas yang digunakan untuk perancangan tebal perkerasan lentur dalam pedoman ini adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana. Besaran ini dapat didapatkan dengan mengalikan beban sumbu standar kumulatif pada lajur rencana selama setahun (w_{18}) dengan besaran kenaikan lalu lintas (*traffic growth*). Secara numerik rumusan lalu lintas kumulatif ini adalah sebagai berikut:

$$W_t = W_{18} = w_{18} \times \left[\frac{(1+g)^n - 1}{g} \right] \dots\dots\dots (2.66)$$

Keterangan:

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

w_{18} = Beban sumbu standar kumulatif selama 1 tahun pada lajur rencana

n = Umur pelayanan (tahun)

g = Perkembangan lalu lintas (%)

2. Tingkat Kepercayaan (Reliabilitas)

Penyertaan tingkat kepercayaan pada dasarnya merupakan cara untuk memasukkan faktor ketidakpastian ke dalam proses perancangan, yaitu dalam rangka memastikan bahwa berbagai alternatif perancangan perkerasan akan bertahan selama umur rencana.

Tingkat reabilitas yang lebih tinggi menunjukkan jalan yang melayani lalu lintas paling banyak, sedangkan tingkat yang paling rendah, 50% menunjukkan jalan lokal.

Reliabilitas kinerja perancangan dikontrol dengan faktor reliabilitas (F_R) yang dikalikan dengan perkiraan lalu lintas (w_{18}) selama umur rencana. Untuk tingkat reliabilitas (R) yang diberikan, faktor reliabilitas merupakan fungsi dari deviasi standar keseluruhan

(*overall standard deviation, S_0*) yang memperhitungkan kemungkinan variasi perkiraan lalu lintas dan perkiraan kinerja untuk w_{18} yang diberikan. Dalam persamaan perancangan perkerasan lentur, tingkat kepercayaan (R) diakomodasi dengan parameter deviasi normal standar (*standard normal deviate, Z_R*).

Tabel 2.23 Tingkat Reliabilitas untuk Berbagai-macam Klasifikasi Jalan

Klasifikasi Jalan	Rekomendasi Tingkat Reliabilitas	
	Perkotaan	Antar Kota
Bebas Hambatan	85-99,9	80-99,9
Arteri	80-99	75-95
Kolektor	80-95	75-95

(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

Penerapan konsep reliabilitas harus memperhatikan langkah-langkah berikut ini:

- Definisikan klasifikasi fungsional jalan dan tentukan apakah merupakan jalan perkotaan atau jalan antar kota.
- Pilih tingkat reliabilitas dan rentang yang diberikan pada tabel 2.23
- Pilih deviasi standar (S_0) yang harus mewakili kondisi setempat.

Rentang nilai S_0 adalah 0,35-0,45.

Tabel 2.24 Deviasi Normal Standar (Z_R) untuk Berbagai Tingkat Kepercayaan (R)

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	-1,476	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 : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

3. Drainase

Klasifikasi drainase pada perkerasan jalan lentur berdasarkan fungsinya adalah drainase permukaan (*surface drainage*) dan drainase bawah permukaan (*sub surface drainage*).

Kualitas drainase menurut AASHTO 1993 maupun NCHRP 1-37A adalah berdasarkan pada metoda *time-to-drain*. *Time-to-drain* adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem perkerasan untuk mengalirkan air dari keadaan jenuh sampai pada derajat kejenuhan 50%.

Nilai dari *time-to-drain* ditentukan dengan persamaan di bawah ini.

$$t = T_{50} \times m_d \times 24 \dots\dots\dots(2.67)$$

Keterangan:

t = *Time-to-drain* (jam)

T_{50} = *Time factor*

m_d = Faktor yang berhubungan dengan porositas efektif, permeabilitas, resultan panjang serta tebal lapisan drainase.

Nilai *time factor* (T_{50}) ditentukan oleh geometri dari lapisan drainase. Geometri lapisan drainase terdiri atas resultan kemiringan (*resultant slope*, S_R), resultan panjang pengaliran (*resultant length*, L_R) dan ketebalan dari lapisan drainase. Ilustrasi dari geometri jalan disajikan pada Gambar 2.31. Nilai S_R dan L_R diperoleh berdasarkan pada panjang nyata dari lapisan drainase dan dihitung dengan menentukan terlebih dahulu kemiringan melintang (S_X) dan kemiringan memanjang (S).

Faktor-faktor geometri tersebut dipakai untuk menghitung nilai faktor kemiringan (*slope factor*, S_1) dengan persamaan berikut:

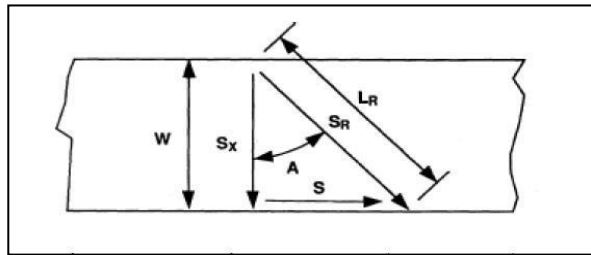
$$S_1 = \frac{L_R \times S_R}{H} \dots\dots\dots(2.68)$$

Keterangan:

S_R = $(S^2 + S_X^2)^{1/2}$

L_R = $W [1 + (S/S_X)^2]^{1/2}$

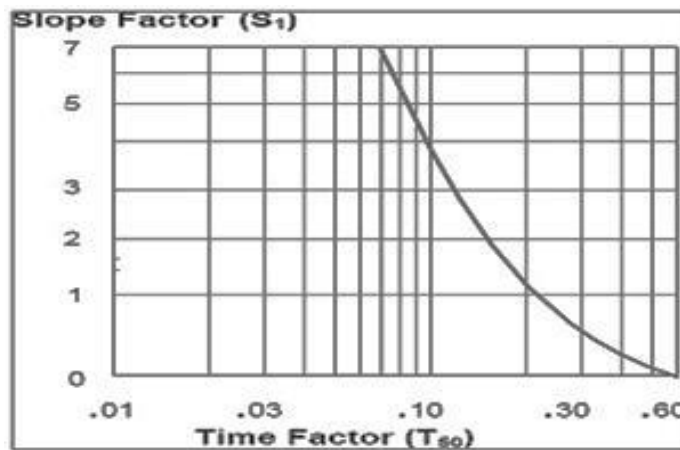
H = Tebal dari lapisan permeabel (ft)



(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

Gambar 2.31 Geometri Jalan (ERES-1999 dalam LRRB-2009)

Untuk menentukan nilai T digunakan suatu grafik T₅₀ seperti pada Gambar, grafik ini hanya dapat digunakan untuk satu derajat kejenuhan saja yaitu derajat kejenuhan 50%.



(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

Gambar 2.32 Grafik Time Factor untuk Derajat Kejenuhan 50% (FHWA, 2006)

Nilai “m_d” pada persamaan 2.42 dihitung dengan persamaan:

$$m_d = \frac{n_e L_R^2}{kH} \dots\dots\dots(2.69)$$

Keterangan:

- n_e = Porositas efektif lapisan drainase
- k = Permeabilitas lapisan drainase dalam feet/hari sesuai persamaan 2.45 atau Gambar 2.33.
- L_R = Resultan panjang (feet)
- H = Tebal lapisan drainase dalam feet

$$k = \frac{6,214 \times 10^5 \times D_{10}^{1,478} \times n^{6,654}}{P_{200}^{0,597}} \dots\dots\dots (2.70)$$

Keterangan:

- k = Permeabilitas lapisan drainase dalam feet/hari
- P₂₀₀ = Berat agregat yang lolos saringan no 200 dalam persen
- D₁₀ = Ukuran efektif atau ukuran butir agregat 10% berat lolos saringan.
- n = Porositas material (tanpa satuan), nilai rasio dari volume relatif dan total volume.

Persamaan untuk menentukan koefisien drainase yang akan digunakan, mencakup:

- a. Menghitung porositas material.

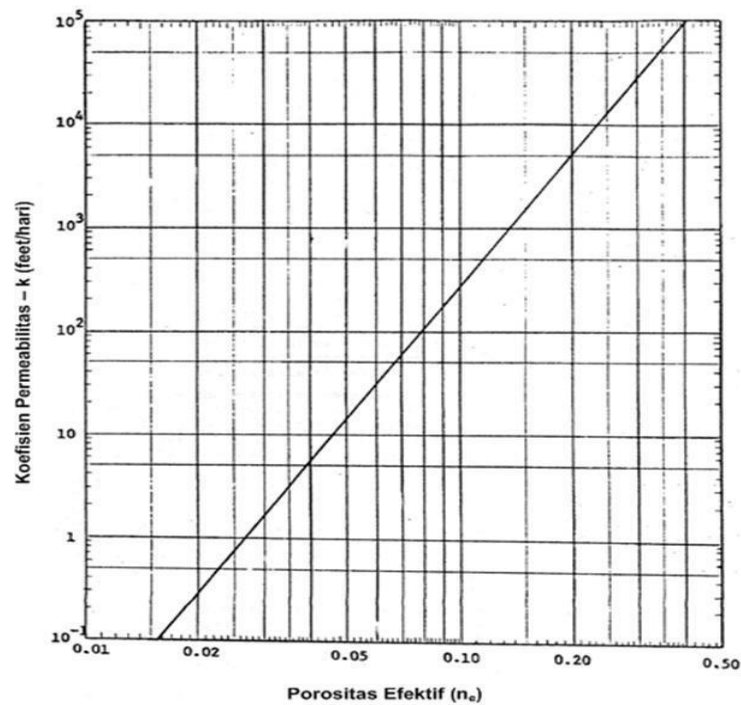
$$n = 1 - \left(\frac{\gamma_d}{62,4 G} \right) \dots\dots\dots (2.71)$$

Keterangan:

- n = Porositas material (tanpa satuan), nilai rasio dari volume relatif dan total volume.
- γ_d = Kepadatan kering dalam lb/ft³
- G = Berat jenis curah (*bulk*), biasanya sekitar 2,5 - 2,7

- b. Menghitung porositas efektif lapisan drainase.

Nilai porositas efektif (n_e) dapat menggunakan gambar 2.33.



(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

Gambar 2.33 Grafik untuk menetapkan porositas efektif, n_e (FHWA, 1990)

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

$$S_R = (S^2 + S_X^2)^{1/2} \dots\dots\dots (2.72)$$

Keterangan:

S_R = Resultan kemiringan(%)

S = Kemiringan memanjang lapisan drainase (%)

S_X = Kemiringan melintang lapisan drainase(%)

- d. Menghitung resultan panjang (*length resultant*)

$$L_R = W [1 + (S/S_X)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (2.73)$$

Keterangan:

L_R = Resultan panjang(feet)

W = Lebar lapisan drainase(feet)

S = Kemiringan memanjang lapisan drainase (%)

S_X = Kemiringan melintang lapisan drainase (%)

- e. Persamaan untuk menghitung *slope factor* (S_1) digunakan persamaan 2.68.
- f. Persamaan untuk menghitung faktor “ m_d ” digunakan persamaan 2.69.
- g. Persamaan untuk menghitung nilai *Time-to-drain* digunakan persamaan 2.67.

Langkah-langkah untuk menghitung nilai koefisien drainase (m) adalah sebagai berikut:

- a. Hitung nilai koefisien permeabilitas (k) dengan menggunakan persamaan 2.70.
- b. Hitung nilai porositas material (n) dengan menggunakan persamaan 2.71.
- c. Hitung nilai porositas efektif lapisan drainase (n_e) dengan gambar 2.33.
- d. Hitung resultan kemiringan (*slope resultant*, S_R) dengan menggunakan persamaan 2.72.
- e. Hitung resultan panjang (*length resultant*, L_R) dengan menggunakan persamaan 2.73.
- f. Hitung faktor kemiringan (*slope factor*, S_1) dengan menggunakan persamaan 2.68.
- g. Tentukan nilai *time factor* dengan derajat kejenuhan 50% (T_{50}) dari hasil perhitungan S_1 berdasarkan pada gambar 2.29.
- h. Hitung faktor “ m_d ” dengan menggunakan persamaan 2.69.
- i. Hitung nilai *Time-to-drain* (t) menggunakan persamaan 2.67.
- j. Dari nilai t yang diperoleh kemudian tentukan kualitas drainase dengan mengacu pada tabel 2.25.
- k. Nilai koefisien drainase m yang akan digunakan dalam perancangan ditentukan dari kualitas drainase hasil perhitungan di atas dan perkiraan persen waktu perkerasan yang dipengaruhi oleh air mendekati kondisi jenuh sesuai dengan tabel 2.26.

Koefisien drainase untuk mengakomodasi kualitas sistem drainase yang dimiliki perkerasan jalan dan definisi umum mengenai kualitas drainase disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.25 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: AASHTO 1993)

Kualitas drainase pada perkerasan lentur diperhitungkan dalam perancangan dengan menggunakan koefisien kekuatan relatif yang dimodifikasi. Faktor untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif ini adalah koefisien drainase (m) dan disertakan ke dalam Persamaan Nilai Struktural (*Structural Number*, SN) bersama-sama dengan koefisien kekuatan relatif (a) dan ketebalan (D).

Tabel dibawah ini memperlihatkan nilai koefisien drainase (m) yang merupakan fungsi dari kualitas drainase dan persen waktu selama setahun struktur perkerasan akan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh.

Penilaian koefisien drainase (m) dapat juga menggunakan pendekatan berdasarkan kondisi lapangan, terutama untuk perancangan rekonstruksi perkerasan lentur yang ada (*Indonesia Infrastructure Initiative*, 2011).

Tabel 2.26 Koefisien Drainase (m)

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 - 0,60	0,60
Jelek sekali	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

(Sumber: AASHTO 1993)

4. Kinerja Perkerasan

Pada metode ini tingkat pelayanan perkerasan dinyatakan dengan “indeks pelayanan (IP) saat ini” (*present serviceability index*, PSI), yang diperoleh berdasarkan hasil pengukuran ketidakrataan (*roughness*) dan kerusakan (alur, retak dan tambalan). Nilai PSI berkisar antara 0 sampai 5, nilai lima menunjukkan bahwa perkerasan mempunyai kondisi yang ideal (paling baik), sedangkan nilai nol menunjukkan bahwa perkerasan tidak dapat dilalui kendaraan. Untuk keperluan perancangan, diperlukan penentuan indeks pelayanan awal dan indeks pelayananakhir.

Indeks pelayanan awal (IP_o) diperoleh berdasarkan perkiraan pengguna jalan terhadap kondisi perkerasan yang selesai dibangun. Pada *AASHTO Road Test*, indeks pelayanan awal yang digunakan untuk perkerasan lentur adalah 4,2. Karena adanya variasi metode pelaksanaan dan standar bahan, indeks pelayanan awal sebaiknya ditetapkan menurut kondisi setempat. Indeks pelayanan akhir (IP_t) merupakan tingkat pelayanan terendah yang masih dapat diterima sebelum perkerasan perlu diperkuat atau direkonstruksi. Untuk jalan-jalan utama, indeks pelayanan akhir yang sebaiknya digunakan minimum 2,5; sedangkan untuk jalan-jalan yang kelasnya lebih rendah dapat digunakan 2,0.

Dalam menentukan indeks pelayanan perkerasan lentur pada akhir umur rencana (IP_t), perlu dipertimbangkan faktor-faktor klasifikasi fungsional jalan sebagaimana diperlihatkan pada tabel 2.27.

Dalam menentukan indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0), perlu diperhatikan jenis lapis permukaan perkerasan lentur pada awal umur rencana. Pada tabel 2.28 disajikan indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0) untuk beberapa jenis lapis perkerasan.

Tabel 2.27 Indeks Pelayanan Perkerasan Lentur pada Akhir Umur Rencana (IP_t)

Klasifikasi Jalan	Indeks Pelayanan Perkerasan Akhir Umur Rencana (IP_t)
Bebas hambatan	$\geq 2,5$
Arteri	$\geq 2,5$
Kolektor	$> 2,0$

(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

Tabel 2.28 Indeks Pelayanan pada Awal Umur Rencana (IP_0)

Jenis Lapis Perkerasan	IP_0
Lapis Beton Aspal (Laston/AC) dan Lapis Beton Aspal Modifikasi (LastonModifikasi/AC-Mod)	≥ 4
Lapis Tipis Beton Aspal (Lataston/HRS)	≥ 4

(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

5. Daya Dukung Tanah Dasar

Karakteristik bahan perkerasan pada pedoman ini ditetapkan berdasarkan modulus elastis atau modulus resilien. Untuk tanah dasar, modulus resilien harus ditentukan melalui pengujian di laboratorium (menurut AASHTO T 274) terhadap contoh yang representatif pada tekanan dan kondisi kadar air yang mencerminkan tekanan dan kadar air dilapangan.

Penentuan nilai modulus resilien untuk setiap titik pengujian dapat didekati dengan pengujian CBR, yaitu menggunakan Persamaan 2.74. Nilai CBR atau Modulus resilien (M_R) tanah dasar yang mewakili suatu titik pengujian adalah yang mewakili untuk kedalaman 100 cm serta cara untuk menentukan nilai CBR rata-rata pada setiap titik pengujian adalah mengacu pada *Austroad, Guideto Pavement Technology*, 2010 yang didasarkan pada daya dukung tanah menurut *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement - Japan Road Association, JRA (1980)*, yaitu:

a. CBR Titik

$$CBR_R = \left[\frac{\sum_i h_i CBR_i^{1/3}}{\sum_i h_i} \right]^3 \dots\dots\dots (2.74)$$

Keterangan:

CBR_R = CBR rata-rata

CBR_i = Nilai CBR pada setiap lapisan i

h_i = Tebal tiap-tiap lapisan i

Persyaratan penggunaan persamaan diatas memiliki kondisi sebagai berikut:

- 1) Ketebalan lapisan yang kurang dari 200mm harus di gabungkan dengan lapisan yang berdekatan. Nilai CBR yang lebih rendah harus diadopsi untuk lapisan gabungan.
- 2) Diasumsikan bahwa semakin ke atas, lapisan yang digunakan memiliki nilai CBR yang lebih tinggi, Persamaan ini tidak berlaku apabila lapisan yang lebih lemah ditempatkan pada bagian atas dari lapis pondasi bawah.
- 3) Apabila terdapat lapisan filter, lapisan ini tidak dimasukkan ke dalam perhitungan.
- 4) Nilai CBR maksimum penggunaan persamaan ini adalah 15%.

b. CBR Segmen Jalan

Jalan dalam arah memanjang cukup panjang dibandingkan dengan jalan dengan arah melintang. Jalan tersebut dapat saja melintasi jenis tanah dan keadaan medan yang berbeda-beda. Kekuatan tanah dasar dapat bervariasi antara nilai yang baik dan yang jelek. Dengan demikian akan tidak ekonomis jika perancangan tebal lapisan perkerasan jalan berdasarkan nilai yang terjelek dan tidak pula memenuhi syarat jika berdasarkan hanya nilai terbesar saja. Jadi segmen jalan adalah bagian dari panjang jalan yang mempunyai daya dukung tanah, sifat tanah, dan keadaan lingkungan yang relatif sama.

Setiap segmen mempunyai satu nilai CBR yang mewakili daya dukung tanah dasar dan digunakan untuk perancangan tebal lapisan perkerasan dari segmen tersebut. Nilai CBR segmen dapat ditentukan dengan mempergunakan cara analitis sesuai *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement-Japan Road Association, JRA (1980)*, yaitu seperti disajikan pada persamaan di bawah ini.

$$CBR_{\text{segmen}} = CBR_{\text{rata-rata}} - \frac{CBR_{\text{maks}} - CBR_{\text{min}}}{F} \dots\dots\dots (2.75)$$

Keterangan:

CBR_{segmen} = Nilai CBR yang mewakili pada segmen yang ditinjau

CBR_{maksimum} = Nilai CBR tertinggi pada sepanjang segmen yang ditinjau

CBR_{minimum} = Nilai CBR terendah pada sepanjang segmen yang ditinjau

$CBR_{\text{rata-rata}}$ = Nilai CBR rata-rata pada sepanjang segmen yang ditinjau

F = Koefisien yang disajikan pada tabel 2.25

Tabel 2.29 Nilai F untuk Perhitungan CBR Segmen

Jumlah Titik Pengamatan (buah)	Koefisien F
2	1,41
3	1,91
4	2,24
5	2,48
6	2,67
7	2,83
8	2,96
9	3,08
≥10	3,18

(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

CBRsegmen atau CBRrencana yang diperoleh, kemudian dikonversikan ke modulus resilien.

Modulus resilien (M_R) tanah dasar juga dapat diperkirakan dari CBR dan hasil atau nilai tes *soil index*. Korelasi Modulus Resilien dengan nilai CBR (Heukelom & Klomp) berikut ini dapat digunakan untuk tanah berbutir halus (*fine-grained soil*) dengan nilai CBR terendam 10 % atau lebih kecil.

$$M_R \text{ (psi)} = 1.500 \times \text{CBR} \dots \dots \dots (2.76)$$

Untuk tanah berbutir dengan nilai CBR terendam di atas 10%, gunakan persamaan berikut ini.

$$M_R \text{ (psi)} = 3.000 \times \text{CBR}^{0,65} \dots \dots \dots (2.77)$$

6. Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien kekuatan relatif bahan jalan, baik campuran beraspal sebagai lapis permukaan (lapis aus dan lapis permukaan antara), lapis pondasi serta lapis pondasi bawah disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.30 Koefisien kekuatan relatif bahan jalan (a)

Jenis Bahan	Kekuatan bahan						Koefisien Kekuatan Relatif		
	Modulus Elastis		Stabilitas Marshall (kg)	Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)	ITS (kPa)	CBR (%)	a ₁	a ₂	a ₃
	(MPa)	(x1000 psi)							
1. Lapis Permukaan									
Laston Modifikasi ⁽¹⁾									
- Lapis Aus Modifikasi	3.200 ⁽⁵⁾	460	1000				0,414		
- Lapis Antara Modifikasi	3.500 ⁽⁵⁾	508	1000				0,360		
Laston									
- Lapis Aus	3.000 ⁽⁵⁾	435					0,400		
- Lapis Antara	3.200 ⁽⁶⁾	464	800				0,344		
Lataston									
- Lapis Aus	2.300 ⁽⁵⁾	340	800				0,350		
2. Lapis Fondasi									
Lapis Fondasi Laston Modifikasi ⁽¹⁾	3.700 ⁽⁵⁾	536	2250 ⁽²⁾					0,305	
Lapis Fondasi Laston	3.300 ⁽⁵⁾	480	1800 ⁽²⁾					0,290	
Lapis Fondasi Lataston	2.400 ⁽⁵⁾	350	800						
Lapis Fondasi LAPEN								0,190	
CMRFB (<i>Cold Mix Recycling Foam Bitumen</i>)					300			0,270	
Beton Padat Giling (BPG/RCC)	5.900	850		70 ⁽³⁾				0,230	
CTB	5.350	776		45				0,210	
CTRB (<i>Cement Treated Recycling Base</i>)	4.450	645		35				0,170	
CTSB (<i>Cement Treated Subbase</i>)	4.450	645		35				0,170	
CTRSB (<i>Cement Treated Recycling Subbase</i>)	4.270	619		30				0,160	

Jenis Bahan	Kekuatan bahan					Koefisien Kekuatan Relatif			
	Modulus Elastis		Stabilitas Marshall (kg)	Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)	ITS (kPa)	CBR (%)	a ₁	a ₂	a ₃
	(MPa)	(x1000 psi)							
Tanah Semen	4.000	580		24 ⁽⁴⁾			0,145		
Tanah Kapur	3.900	566		20 ⁽⁴⁾			0,140		
Agregat Kelas A	200	29				90	0,135		
3. Lapis Fondasi Bawah									
Agregat Kelas B	125	18				60		0,125	
Agregat Kelas C	103	15				35		0,112	
Konstruksi Telford									
- Pemasangan Mekanis						52		0,104	
- Pemasangan Manual						32		0,074	
Material Pilihan (<i>Selected material</i>)	84	12				10		0,080	

(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

Keterangan :

- (1) Campuran beraspal panas yang menggunakan bahan pengikat aspal modifikasi atau *modified asphalt* (seperti aspal polimer, aspal yang dimodifikasi asbuton, multigrade, aspal pen 40 dan aspal pen 60 dengan aditif campuran seperti asbuton butir), termasuk asbuton campuran panas.
- (2) Diameter benda uji 6 inci
- (3) Kuat tekan beton untuk umur 28 hari
- (4) Kuat tekan bebas umur 7 hari dan diameter 7 cm
- (5) Pengujian modulus elastis menggunakan alat UMATTA pada temperatur 25°C, beban 2500 N dan *rise time* 60 ms serta pembuatan benda uji dikondisikan sesuai AASHTO Designation: R 30-02 (2006).

7. Pemilihan Tipe Lapisan Beraspal

Tipe lapisan beraspal yang digunakan sebaiknya disesuaikan dengan kondisi jalan yang akan ditingkatkan, yaitu sesuai dengan lalu lintas rencana serta kecepatan kendaraan (terutama kendaraan truk). Pada tabel berikut disajikan pemilihan tipe lapisan beraspal sesuai lalu lintas rencana dan kecepatan kendaraan.

Tabel 2.31 Pemilihan Tipe Lapisan Beraspal Berdasarkan Lalulintas Rencana dan Kecepatan Kendaraan

Lalu Lintas Rencana (juta)	Tipe Lapisan Beraspal	
	Kecepatan Kendaraan; 20 – 70 km/jam	Kecepatan Kendaraan; ≥ 70 km/jam
< 0,3	Perancangan perkerasan lentur untuk lalu lintas rendah	
0,3 -10	Lapis Tipis Beton Aspal (Laston/HRS)	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 (Laston/AC)

(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

Catatan : untuk lokasi setempat-setempat dengan kecepatan kendaraan < 20 km/jam sebaiknya menggunakan perkerasan kaku

8. Ketebalan Minimum Lapisan Perkerasan

Pada saat menentukan tebal lapis perkerasan, perlu dipertimbangkan keefektifannya dari segi biaya, pelaksanaan konstruksi, dan batasan pemeliharaan untuk menghindari kemungkinan dihasilkannya perancangan yang tidak praktis. Pada tabel berikut disajikan tebal minimum untuk lapis permukaan, lapis pondasi dan lapis pondasi bawah.

Tabel 2.32 Tebal Minimum Lapisan Perkerasan

Jenis Bahan	Tebal Minimum	
	(inci)	(cm)
1. Lapis Permukaan		
Laston Modifikasi		
- Lapis Aus Mod	1,6	4,0
- Lapis Antara Mod	2,4	6,0
Laston		
- Lapis Aus	1,6	4,0
- Lapis Antara	2,4	6,0
Lataston		
- Lapis Aus	1,2	3,0
2. Lapis Fondasi		
Lapis Fondasi Laston Modifikasi	2,9	7,5
Lapis Fondasi Laston	2,9	7,5
Lapis Fondasi Lataston	1,4	3,5
Lapis Fondasi LAPEN	2,5	6,5
Agregat Kelas A	4,0	10,0
CTB (<i>Cement Treated Base</i>)	6,0	15,0
CTRB (<i>Cement Treated Recycling Base</i>)	6,0	15,0
CMRFB (<i>Cold Mix Recycling Foam Bitumen</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
Beton Padat Giling (BPG/RCC)	6,0	15,0
Beton Kurus (CBK) atau <i>Lean-Mix Concrete</i> (LC)	6,0	15,0
Tanah Semen	6,0	15,0
Tanah Kapur	6,0	15,0
3. Lapis Fondasi Bawah		
Agregat Kelas B	6,0	15,0
Agregat Kelas C	6,0	15,0
Konstruksi Telford	6,0	15,0
Material Pilihan (<i>Selected material</i>)	6,0	15,0

(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

2.2.2 Prosedur Perencanaan Perkerasan Lentur

Menurut pedoman perancangan tebal perkerasan lentur terdapat beberapa prosedur perencanaan perkerasan lentur, yaitu:

1. Persamaan Dasar

Untuk suatu kondisi tertentu, penentuan nilai struktur perkerasan lentur (Indeks Tebal Perkerasan, SN) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Log}(W_{18}) = & Z_R \cdot S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f} \right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} \\ & + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07 \dots\dots\dots(2.78) \end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan di atas, penentuan nilai struktural mencakup penentuan besaran-besaran sebagai berikut:

- W_{18} (W_t) = Volume kumulatif lalu lintas selama umur rencana.
- Z_R = Deviasi normal standar sebagai fungsi dari tingkat kepercayaan (R), yaitu dengan menganggap bahwa semua parameter masukan yang digunakan adalah nilai rata-ratanya.
- S_0 = Gabungan *standard error* untuk perkiraan lalu lintas dan kinerja.
- ΔIP = Perbedaan antara indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0) dengan indeks pelayanan pada akhir umur rencana (IP_t).
- M_R = Modulus resilien tanah dasar efektif (psi).
- IP_f = Indeks pelayanan jalan hancur (minimum 1,5)

2. Estimasi Lalulintas

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

3. Analisis Perancangan Tebal Lapisan

Untuk menetapkan tingkat kepercayaan atau reabilitas dalam proses perancangan dan pengaruh drainase.

4. Pemilihan Tebal Lapisan

Untuk menentukan modulus resilien akibat variasi musim, dapat dilakukan dengan pengujian di laboratorium dan pengujian CBR lapangan, kemudian dikorelasikan dengan nilai modulus resilien.

5. Modulus Resilien Tanah Dasar Efektif

Perhitungan perancangan tebal perkerasan dalam pedoman ini didasarkan pada kekuatan relatif setiap lapisan perkerasan, dengan persamaan sebagai berikut:

$$SN = a_{1-1} \times D_{1-1} + a_{1-2} \times D_{1-2} + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \dots \dots \dots (2.79)$$

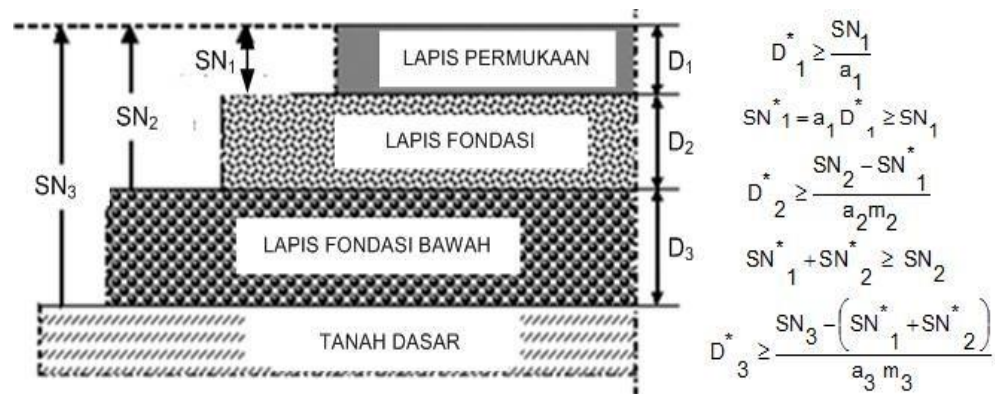
Keterangan:

a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan lapis permukaan, lapis fondasi atas dan lapis fondasi bawah.

D_1, D_2, D_3 = Tebal lapis permukaan, lapis fondasi atas dan lapis fondasi bawah (inci) dan tebal minimum untuk setiap jenis bahan.

m_2, m_3 = Koefisien drainase lapis permukaan, lapis fondasi atas dan lapis fondasi bawah.

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



(Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan Lentur, 2012)

Gambar 2.34 Prosedur untuk menentukan tebal lapisan melalui pendekatan analisis lapisan

Keterangan:

1. a, D, m dan SN merupakan nilai-nilai minimum yang diperlukan.
2. D* atau SN* menunjukkan bahwa parameter tersebut mewakili nilai yang sebenarnya digunakan, yang harus sama dengan atau lebih besar dari nilai yang diperlukan

6. Tingkat Kepercayaan dan Pengaruh Drainase

Perlu dipahami bahwa untuk perkerasan lentur, struktur perkerasan terdiri atas beberapa lapisan bahan yang perlu dirancang dengan saksama. Tahapan perhitungan adalah sebagai berikut:

- a. Tetapkan umur rencana perkerasan dan jumlah lajur lalu lintas yang akandibangun.
- b. Tetapkan indeks pelayanan akhir (IPt) dan susunan struktur perkerasan rancangan yangdiinginkan.
- c. Hitung CBR tanah dasar yang mewakili segmen, kemudian hitung modulus reaksi tanah dasar efektif (M_R).
- d. Hitung lalu lintas rencana selama umur rencana yang telah ditetapkan, yaitu berdasarkan volume, beban sumbu setiap kelas kendaraan, perkembangan lalu lintas. Untuk menganalisis lalu lintas selama umur rencana diperlukan coba-coba nilai SN dengan indeks pelayanan akhir (IPt) yang telah dipilih. Hasil

iterasi selesai apabila prediksi lalu lintas rencana relatif sama dengan (sedikit di bawah) kemampuan konstruksi perkerasan rencana yang diinterpretasikan dengan lalu lintas.

- e. Tahap berikutnya adalah menentukan nilai struktural seluruh lapis perkerasan di atas tanah dasar. Dengan cara yang sama, selanjutnya menghitung nilai struktural bagian perkerasan di atas lapis fondasi bawah dan di atas lapis fondasi atas, dengan menggunakan kekuatan lapis fondasi bawah dan lapis fondasi atas. Dengan menyelisihkan hasil perhitungan nilai struktural yang diperlukan di atas setiap lapisan, maka tebal maksimum yang diizinkan untuk suatu lapisan dapat dihitung. Contoh, nilai struktural maksimum yang diizinkan untuk lapis fondasi bawah akan sama dengan nilai struktural perkerasan di atas tanah dasar dikurangi dengan nilai bagian perkerasan di atas lapis fondasi bawah. Dengan cara yang sama, maka nilai struktural lapisan yang lain dapat ditentukan.

Perlu diperhatikan bahwa prosedur tersebut hendaknya tidak digunakan untuk menentukan nilai struktural yang dibutuhkan oleh bagian perkerasan yang terletak di atas lapis fondasi bawah atau lapis fondasi atas dengan modulus resilien lebih dari 40.000 psi atau sekitar 270 MPa. Untuk kasus tersebut, tebal lapis perkerasan di atas lapisan yang mempunyai modulus elastis tinggi harus ditentukan berdasarkan pertimbangan efektivitas biaya serta tebal minimum yang praktis.

2.3 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah semua 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. (Wulfarm I. Ervianto, 2005)

2.3.1 Rencana Kerja dan Syarat-syarat

Rencana kerja dan syarat-syarat adalah segala ketentuan dan formasi yang diperlukan terutama hal-hal yang tidak dapat dijelaskan dengan gambar-gambar yang harus dipenuhi oleh para kontraktor pada saat mengikuti pelelangan maupun pada saat melaksanakan pekerjaan yang akan dilakukan olehnya. Rencana kerja dan syarat-syarat terdiri :

- a. Syarat umum
- b. Syarat administrasi
- c. Syarat teknis
- d. Syarat teknik khusus

2.3.2 Daftar Harga Satuan Alat dan Bahan

Daftar satuan bahan dan upah adalah harga yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga tempat proyek berada karena tidak setiap daerah memiliki standar yang sama. Penggunaan daftar upah ini juga merupakan pedoman untuk menghitung perancangan anggaran biaya pekerjaan dan upah yang dipakai kontraktor. Adapun harga satuan dan upah adalah harga yang termasuk pajak-pajak.

2.3.3 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan ialah jumlah harga bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan perhitungan analisis. Harga bahan didapat dipasaran, dikumpulkan dalam satu daftar yang dinamakan daftar harga satuan bahan. Upah tenaga kerja didapat dilokasi, dikumpulkan dan dicatat dalam satu daftar yang dinamakan daftar harga satuan upah.

2.3.4 Perhitungan Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan adalah jumlah keseluruhan dari banyaknya (kapasitas) suatu pekerjaan yang ada. Volume pekerjaan berguna untuk menunjukkan banyaknya suatu kuantitas dari suatu pekerjaan agar didapat

harga satuan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada didalam suatu proyek tersebut.

2.3.5 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

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

2.3.6 Rekapitulasi Biaya

Rekapitulasi biaya adalah biaya total yang diperlukan setelah menghitung dan mengalikannya dengan harga satuan yang ada. Dalam rekapitulasi terlampir pokok-pokok pekerjaan beserta biayanya dan waktu pelaksanaannya.

2.3.7 Rencana Kerja (*Time Schedule*)

Rencana Kerja (*Time Schedule*) adalah pengaturan waktu rencana kerja secara terperinci terhadap suatu item pekerjaan yang berpengaruh terhadap selesainya secara keseluruhan suatu proyek konstruksi. Adapun jenis – jenis *time schedule* atau rencana kerja :

1. *Barchart*

Barchart adalah sekumpulan daftar kegiatan yang disusun dalam kolom arah vertikal. Kolom arah horizontal menunjukkan skala waktu. Saat mulai dan akhir dari sebuah kegiatan dapat terlihat dengan jelas, sedangkan durasi kegiatan digambarkan oleh panjangnya diagram batang. Proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

- a. Daftar item kegiatan, yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.
- b. Urutan pekerjaan, dari daftar item kegiatan tersebut diatas, disusun urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan prioritas item

kegiatan yang akan dilaksanakan kemudian, dan tidak mengesampingkan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan secara bersamaan.

- c. Waktu pelaksanaan pekerjaan, adalah jangka waktu pelaksanaan dari seluruh kegiatan yang dihitung dari permulaan kegiatan sampai seluruh kegiatan berakhir. Waktu pelaksanaan pekerjaan diperoleh dari penjumlahan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap item pekerjaan. (Wulfarm I. Ervianto, 2005)

2. Kurva S

Kurva S adalah suatu grafik yang menunjukkan hubungan antara kemajuan pelaksanaan proyek terhadap waktu penyelesaian, dimana fungsinya sebagai alat kontrol atas maju mundurnya pelaksanaan pekerjaan.

Menurut Hannum (penemu kurva s) aturan yang harus dipenuhi dalam pembuatan kurva s adalah:

- a. Pada seperempat waktu pertama, grafiknya naik landai sampai 10%.
- b. Pada setengah waktu, grafiknya naik terjal mencapai 45%.
- c. Pada saat tiga per empat waktu terakhir, grafiknya naik terjal mencapai 82%.
- d. Waktu terakhirnya, grafiknya lain landai hingga mencapai 100%. (Hafnidar A. Rani, 2016)

3. Jaringan Kerja / *Network Planning* (NWP)

Network Planning adalah alat manajemen yang memungkinkan dengan lebih luas dan lengkap dalam perencanaan dan pengawasan suatu proyek. Di dalam *network planning* dapat diketahui adanya hubungan ketergantungan antara bagian–bagian pekerjaan satu dengan yang lain. Hubungan ini digambarkan dalam suatu diagram network,

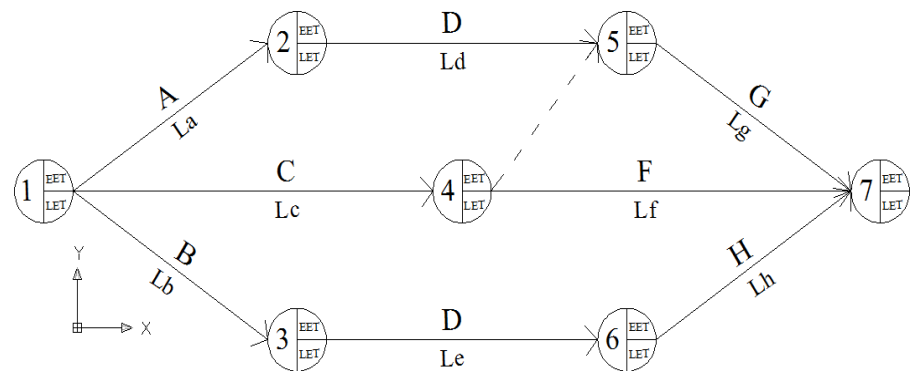
sehingga kita akan dapat mengetahui bagian-bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan dan pekerjaan mana yang dapat menunggu.

Beberapa hal yang digunakan sebagai pedoman dalam pembuatan *network planning* adalah sebagai berikut:

- a. Dalam penggambarannya, *network planning* harus jelas dan mudah dibaca.
- b. Harus dimulai dari *event* / kejadian dan di akhiri pada *event* / kejadian.
- c. Kegiatan disimbolkan dengan anak panah yang digambar garis lurus dan boleh patah.
- d. Dihindari terjadinya perpotongan antar anak panah.
- e. Diantara dua kejadian, hanya boleh ada satu anak panah.
- f. Penggunaan kegiatan semu ditunjukkan dengan garis putus-putus dan jumlahnya seperlunya saja. (Wulfram I. Ervianto, 2005)


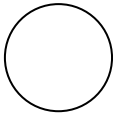
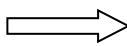
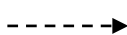
Untuk membuat *network planning* diperlukan data-data sebagai berikut:

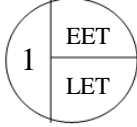
- a. Jenis pekerjaan yang dibuat detail rincian item pekerjaan, contohnya jika kita akan membuat *network planning* pondasi batu kali maka apabila dirinci ada pekerjaan galian tanah, pasangan pondasi batu kali kemudian urugan tanah kembali.
- b. Durasi waktu masing-masing pekerjaan, dapat ditentukan berdasarkan pengalaman atau menggunakan rumus analisa bangunan yang sudah ada.
- c. Jumlah total waktu pelaksanaan pekerjaan.
- d. Metode pelaksanaan konstruksi sehingga dapat diketahui urutan pekerjaan.



Gambar 2.35 Sketsa Network Planning

Keterangan

- a.  (*Arrow*), bentuk ini merupakan anak panah yang artinya aktifitas atau kegiatan. Simbol ini merupakan pekerjaan atau tugas dimana penyelesaiannya membutuhkan jangka waktu tertentu dan resources tertentu. Anak panah selalu menghubungkan dua buah nodes, arah dari anak-anak panah menunjukkan urutan-urutan waktu.
- b.  (*Node/Event*), bentuknya merupakan lingkaran bulat yang artinya saat peristiwa atau kejadian. Simbol ini adalah permulaan atau akhir dari suatu kegiatan.
- c.  (*Double arrow*), anak panah sejajar merupakan kegiatan dilintasan kritis (*critikcal path*).
- d.  (*Dummy*), bentuknya merupakan anak oanh putus-putus yang artinya kegiatan semu atau aktifitas semu. Yang dimaksud dengan aktifitas semu adalah aktifitas yang tidak menekan waktu.

- e.  1 = Nomor kegiatan
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.
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.
- f. A, B, C, D, E, F, G, H merupakan kegiatan, sedangkan La, Lb, Lc, Ld, Le, Lf, Lg dan Lh merupakan durasi dari kegiatan tersebut.