

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perencanaan Geometrik Jalan

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).

2.1.1 Klasifikasi jalan

Klasifikasi jalan merupakan aspek penting yang pertama kali harus diisentifikasikan sebelum melakukan perencanaan jalan.

1) Klasifikasi menurut fungsi jalan

Klasifikasi menurut fungsi jalan terbagi atas :

a. Jalan Arteri

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

d. Jalan Lingkungan

Jalan lingkungan merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata-rata rendah.

2) Klasifikasi menurut kelas jalan MST

Klasifikasi jalan menurut kelas jalan dalam muatan sumbu terberat (MST) dapat dilihat pada Tabel 2.1 yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.1 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan dalam MST

No.	Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat (TON)
1	Arteri	I	>10
		II	10
		III A	8
2	Kolektor	III A	8
		III B	-

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

3) Klasifikasi menurut medan jalan

Klasifikasi berdasarkan medan jalan dapat dilihat pada Tabel 2.2 yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.2 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

Jenis Medan	Lereng Melintang (%)
Datar (D)	< 3
Perbukitan (B)	3 - 25
Pegunungan (G)	>25,0

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

4) Klasifikasi menurut wewenang dan pembinaan jalan

Klasifikasi jalan menurut wewenang pembinaannya adalah Jalan Nasional, Jalan Propinsi, Jalan Kabupaten/Kotamadya, Jalan Desa, dan Jalan Khusus.

2.1.2 Parameter perencanaan geometrik jalan

Dalam perencanaan geometrik jalan terdapat tiga tujuan utama yaitu :

- 1) Memberikan keamanan dan kenyamanan, seperti jarak pandang, ruang yang cukup bagi manuver kendaraan dan koefisien gesek permukaan jalan yang cukup.
- 2) Menjamin suatu perencanaan yang ekonomis.
- 3) Memberikan suatu keseragaman geometrik jalan sehubungan dengan jenis medan (*terrain*).

Adapun parameter perencanaan geometrik jalan adalah sebagai berikut:

- 1) Keadaan Lintasan Lalu lintas

Adapun masalah yang menyangkut lalu lintas adalah meliputi :

- a. 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 ditinjau. Analisis data lalu lintas dilakukan untuk menentukan kapasitas jalan, akan tetapi jalan harus dilakukan bersamaan dengan perencanaan geometric 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, Shirley, 2000).

- b. Volume Lalu Lintas

Menurut Sukirman (1999), 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.

- 2) Kendaraan Rencana

Kendaraan rencana adalah kendaraan yang dimensi dan radius putarnya digunakan sebagai acuan dalam perencanaan geometrik. Kendaraan rencana dikelompokkan ke dalam 3 kategori :

- Kendaraan kecil, diwakili oleh mobil penumpang.
- Kendaraan sedang, diwakili oleh truk 3 as atau bus besar 2 as.
- Kendaraan besar, diwakili oleh truk-semi-trailer.

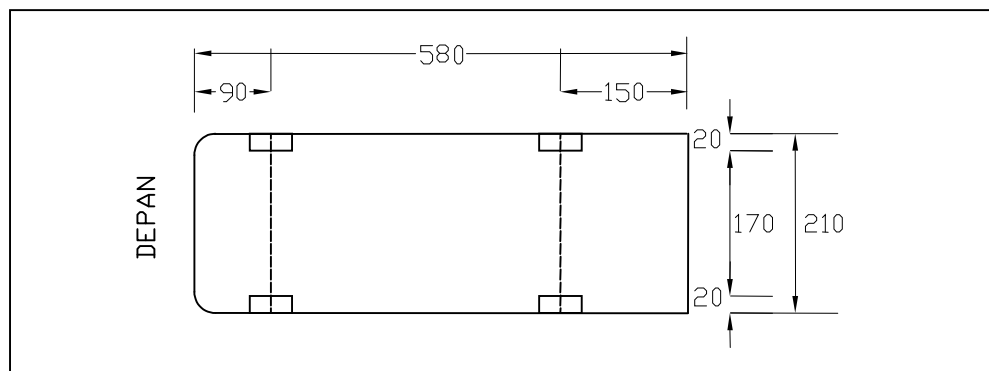
Pada Tabel 2.3, dapat dilihat dimensi kendaraan rencana yaitu :

Tabel 2.3 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

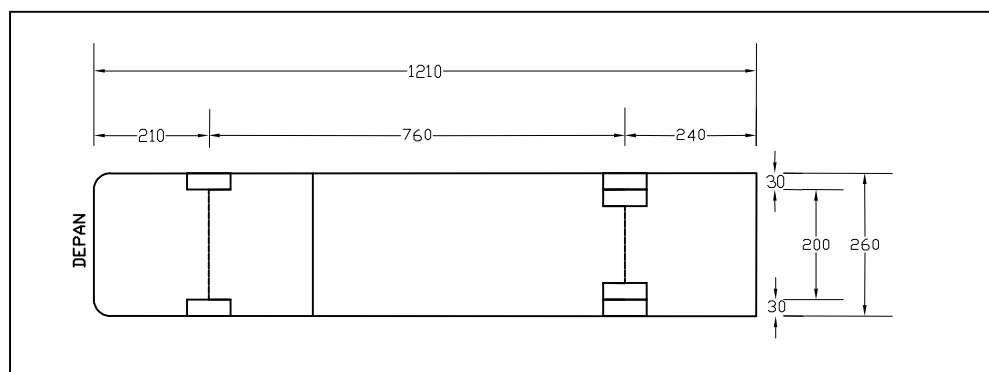
(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat dimensi kendaraan kecil, yaitu :



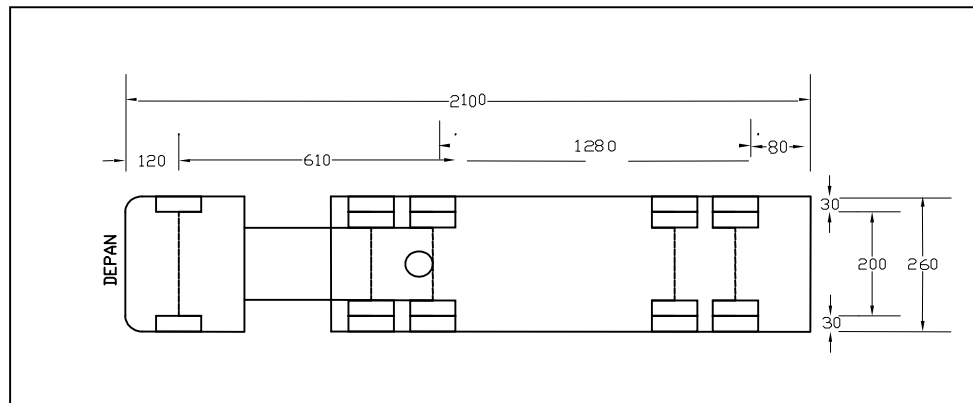
Gambar 2.1 Dimensi Kendaraan Kecil

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat dimensi kendaraan sedang, yaitu :



Gambar 2.2 Dimensi Kendaraan Sedang

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat dimensi kendaraan besar, yaitu :



Gambar 2.3 Dimensi Kendaraan Besar

Dari gambar di atas dapat kita lihat keterangan lengkapnya pada Tabel 2.3 tentang dimensi kendaraan rencana.

3) 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. Untuk kondisi medan yang sulit, V_r suatu segmen jalan dapat diturunkan dengan syarat bahwa penurunan tersebut tidak lebih dari 20 km/jam. Adapun kecepatan rencana yang diperbolehkan dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut ini :

Tabel 2.4 Kecepatan Rencana (V_r) Sesuai Klasifikasi Fungsi dan Medan Jalan

Fungsi Jalan	Kecepatan Rencana V_r (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, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

4) Ekuivalen Mobil Penumpang (emp)

Faktor konversi sebagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalu lintas (emp mobil penumpang = 1,0). Berikut ini adalah tabel ekuivalen mobil penumpang yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.5 Ekvivalen Mobil Penumpang (emp)

No.	Jenis kendaraan	Datar/ Perbukitan	Pegunungan
1.	Sedan, Jeep, Station Wagon	1,0	1,0
2.	Pick-Up, Bus Kecil, Truk 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, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

5) Klasifikasi Kelas Jalan Menurut Volume Lalu Lintas Rencana

Volume lalu lintas harian rencana (VLHR) adalah perkiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas dinyatakan dalam smp/hari. Kelas jalan menurut volume lalu lintas rencana sesuai dengan Peraturan Perencanaan Geometrik Jalan Raya (PPGJR) No. 13/1970 dapat di klasifikasikan pada Tabel 2.6 berikut ini :

Tabel 2.6 Klasifikasi Kelas Jalan

Klasifikasi Fungsi	Kelas	LHR dalam smp
Utama	I	> 20.000
Sekunder	II A	6.000 – 20.000
	II B	1.500 – 8.000
	II C	< 2.000
Penghubung	III	-

(Sumber: Peraturan Perencanaan Geometrik Jalan Raya, 1970)

2.1.3 Penampang melintang

Penampang melintang jalan merupakan bagian-bagian jalan yang terdiri dari :

1) Jalur lalu lintas dan lajur lalu lintas

Jalur lalu lintas adalah bagian jalan yang dipergunakan untuk lalu lintas kendaraan yang secara fisik berupa perkerasan jalan. Lebar jalur lalu lintas sangat ditentukan oleh jumlah dan lebar lajur peruntukannya, lebar jalur minimum adalah 4,5 meter, dengan lebar tersebut akan memungkinkan dua

kendaraan kecil dapat saling berpapasan. Papasan dua kendaraan besar yang terjadi sewaktu-waktu dapat menggunakan bahu jalan. Jalur lalu lintas dapat terdiri atas beberapa tipe yaitu :

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

Pada jalur lalu lintas terdiri dari beberapa lajur yang terletak memanjang, dibatasi oleh marka lajur jalan dan memiliki lebar yang cukup untuk dilewati suatu kendaraan bermotor sesuai kendaraan rencana. Untuk kelancaran drainase permukaan, lajur lalu lintas pada alinyemen lurus memerlukan kemiringan melintang normal sebagai berikut :

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

Pada penentuan lebar jalur dan bahu jalan menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997 dinyatakan sesuai dengan VLHRnya ditetapkan dalam Tabel 2.7 berikut ini :

Tabel 2.7 Penentuan Lebar Jalur dan Bahu jalan

VLHR (smp/hari)	ARTERI				KOLEKTOR				LOKAL			
	Ideal		Minimum		Ideal		Minimum		Ideal		Minimum	
	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (m)
<3.000	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,0	4,5	1,0
3.000-10.000	7,0	2,0	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,0
10.001-25.000	7,0	2,0	7,0	2,0	7,0	2,0	**)	**)	-	-	-	-
>25.000	2n×3,5 ^{*)}	2,5	2×7,0 ^{*)}	2,0	2n×3,5 ^{*)}	2,0	**)	**)	-	-	-	-

Keterangan : **) = Mengacu pada persyaratan ideal

*) = 2 jalur terbagi, masing-masing $n \times 3,5$ m, dimana n = jumlah lajur per jalur

- = Tidak ditentukan

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

Lajur adalah bagian pada jalur lalu lintas yang ditempuh oleh satu kendaraan bermotor beroda 4 atau lebih, dalam satu jurusan.

Lebar lajur ideal dinyatakan dengan fungsi dan kelas jalan seperti ditetapkan dalam Tabel 2.8, yaitu :

Tabel 2.8 Lebar Lajur Jalan Ideal

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

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

2) Median

Median adalah bagian bangunan jalan yang secara fisik memisahkan dua jalur lalu lintas yang berlawanan arah. Secara fisiknya median dapat dibedakan atas median yang direndahkan dan median yang ditinggikan. Lebar minimum median terdiri atas jalur tepian selebar 0.25 – 0.50 meter.

Adapun fungsi dari median tersebut antara lain :

- Memisahkan dua aliran lalu lintas yang berlawanan arah
- Ruang lapak tunggu penyeberang jalan
- Penempatan fasilitas jalan
- Tempat prasarana kerja sementara
- Penghijauan
- Mengurangi silau dari sinar lampu kendaraan dari arah yang berlawanan

3) Bahu jalan

Bahu jalan adalah bagian daerah manfaat jalan yang terletak ditepi jalur lalu lintas dan harus diperkeras yang berdampingan dengan jalur lalu lintas untuk menampung kendaraan yang berhenti, keperluan darurat, dan untuk pendukung samping bagi lapis pondasi bawah, lapis pondasi, dan lapis permukaan dengan kemiringan normal antara 3 – 5%.

4) Jalur pejalan kaki

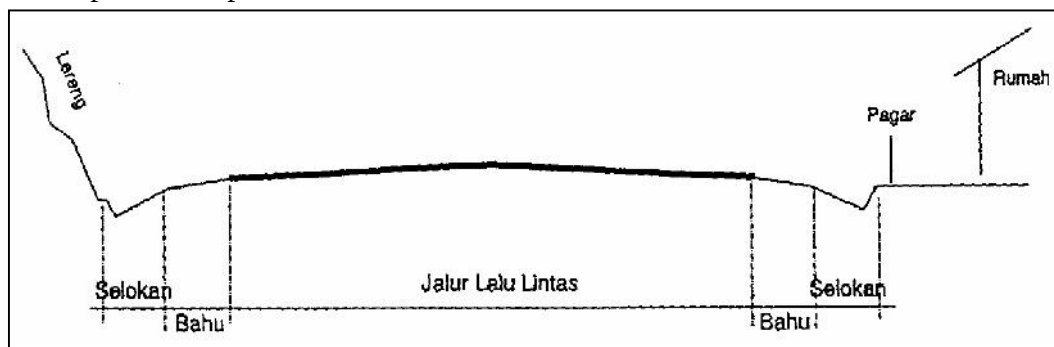
Jalur pejalan kaki merupakan fasilitas yang berfungsi memisahkan pejalan kaki dari jalur lalu lintas kendaraan guna menjamin keselamatan pejalan kaki dan kelancaran lalu lintas.

5) Selokan

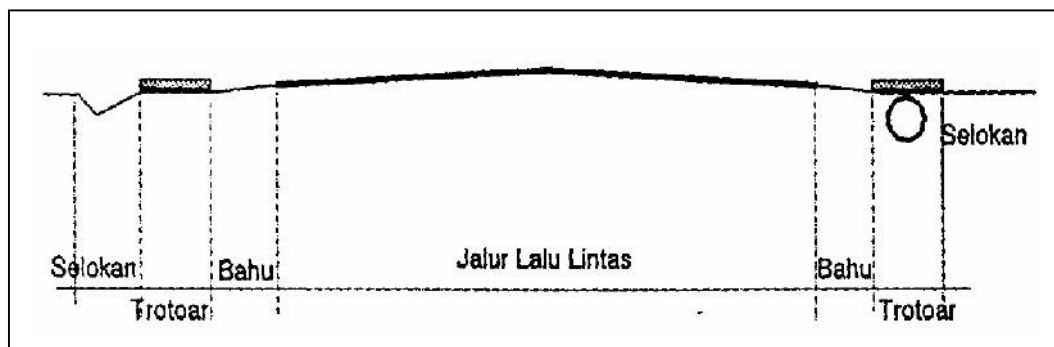
Selokan dibuat untuk mengendalikan air (limpasan) permukaan akibat air hujan dan bertujuan untuk memelihara agar jalan tidak tergenang air hujan dalam waktu yang cukup lama (yang akan mengakibatkan kerusakan konstruksi jalan).

6) Lereng

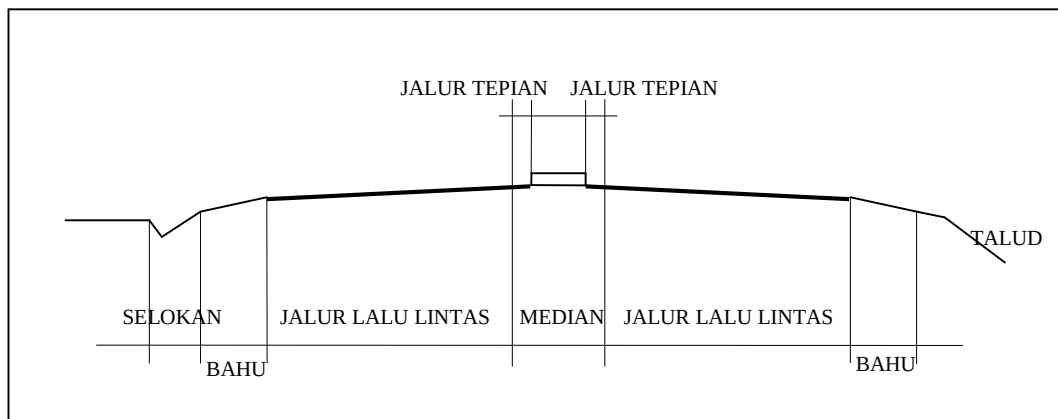
Lereng merupakan bagian dari kondisi alam yang tidak terkena pengaruh dari perencanaan suatu ruas jalan. Lereng alam ini biasanya berupa bukit yang harus diperkuat untuk melindungi lereng timbunan atau galian dan menahan gerusan air. Gambar penampang melintang jalan dengan tipikal-tipikal di atas dapat dilihat pada Gambar 2.4, 2.5, dan 2.6



Gambar 2.4 Tipikal Penampang Melintang Jalan



Gambar 2.5 Tipikal Penampang Melintang Jalan yang Dilengkapi Trottoar



Gambar 2.6 Tipikal Penampang Melintang Jalan yang Dilengkapi Median

2.1.4 Jarak pandang

Jarak pandang adalah suatu 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. Dibedakan dua jarak pandang, yaitu jarak pandang henti (J_h) dan jarak pandang mendahului (J_d).

1) Jarak pandang henti (J_h)

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 J_h . J_h terdiri atas 2 elemen jarak, yaitu:

- a. Jarak tanggap (J_{ht}) adalah jarak yang ditempuh oleh kendaraan sejak pengemudi melihat suatu halangan yang menyebabkan ia harus berhenti sampai saat pengemudi menginjak rem; dan
- b. jarak pengereman ($J_{h,}$) adalah jarak yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti.

J_h , dalam satuan meter, dapat dihitung dengan rumus:

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

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.

Adapun jarak pandang henti (J_h) minimum yang dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut ini :

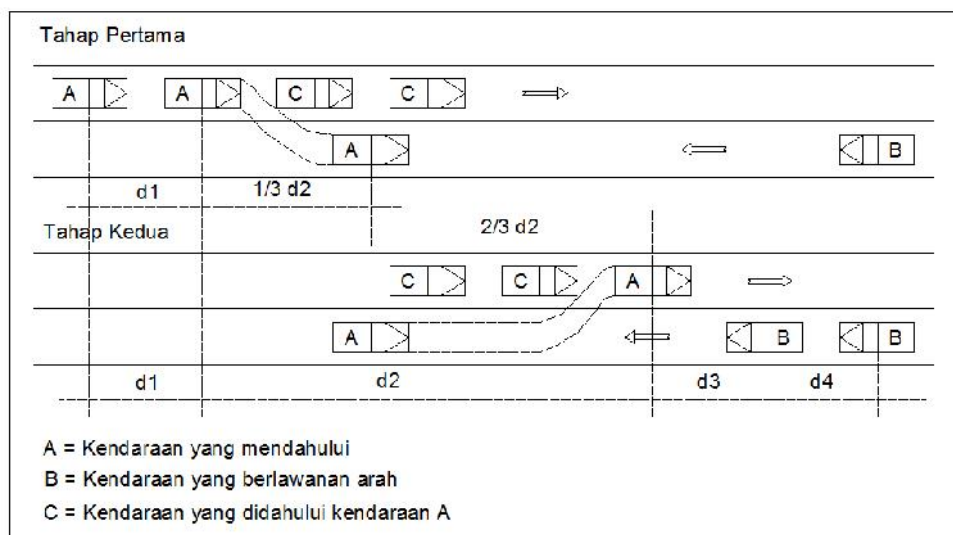
Tabel 2.9 Jarak Pandang Henti (J_h) Minimum

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

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

2) Jarak pandang mendahului/menyiap (J_d)

J_d adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain di depannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke lajur semula.



Gambar 2.7 Jarak Pandang Mendahului

J_d , dalam satuan meter ditentukan sebagai berikut:

$$J_d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$d_1 = 0,278 t_1 \left(V - m + \frac{at_1}{2} \right) \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

d_1 = Jarak yang ditempuh kendaraan yang hendak menyiap selama waktu reaksi dan waktu membawa kendaraannya yang hendak membelok ke lajur kanan.

t_1 = Waktu reaksi, yang besarnya tergantung dari kecepatan yang dapat ditentukan dengan korelasi

$$t_1 = 2,12 + 0,026 V \dots\dots\dots(2.4)$$

m = Perbedaan kecepatan antara kendaraan yang menyiap dan yang disiap
= 15 km/jam.

V = Kecepatan rata-rata kendaraan yang menyiap, dalam perhitungan dapat dianggap sama dengan kecepatan rencana, km/jam.

a = Percepatan rata-rata yang besarnya tergantung dari kecepatan rata-rata kendaraan yang menyiap yang dapat ditentukan dengan mempergunakan korelasi $a = 2,052 + 0,0036 V \dots\dots\dots(2.5)$

$$d_2 = 0,278 V \cdot t_2 \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

d_2 = Jarak yang ditempuh selama kendaraan yang menyiap berada pada lajur kanan.

t_2 = Waktu dimana kendaraan yang menyiap berada pada lajur kanan yang dapat ditentukan dengan mempergunakan korelasi

$$t_2 = 6,56 + 0,048 V \dots\dots\dots(2.7)$$

$$d_3 = \text{Diambil } 30 - 100 \text{ m} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$d_4 = \frac{2}{3} \times d_2 \dots\dots\dots(2.9)$$

Di dalam perencanaan seringkali kondisi jarak pandangan menyiap standar ini terbatas oleh kekurangan biaya, sehingga jarak pandangan menyiap yang dipergunakan dapat mempergunakan jarak pandangan menyiap minimum ($d_{\min}$).

$$d_{min} = \frac{2}{3}d_2 + d_3 + d_4 \dots\dots\dots(2.10)$$

Jd yang sesuai dengan VR ditetapkan dari Tabel 2.10 yaitu :

Tabel 2.10 Jarak Pandang Mendahului (Jd)

Vr (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jd (m)	800	670	550	350	250	200	150	100

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

2.1.5 Data peta topografi

Pengukuran peta topografi dilakukan pada sepanjang trase jalan rencana dengan mengadakan tambahan dan pengukuran detail pada tempat yang memerlukan realinyemen dan tempat-tempat persilangan dengan sungai atau jalan lain, sehingga memungkinkan didapatkannya trase jalan yang sesuai dengan standar.

Pekerjaan pengukuran ini terdiri dari beberapa kegiatan berikut:

- 1) Pekerjaan perintisan untuk pengukuran, dimana secara garis besar ditentukan kemungkinan rute alternatif dan trase jalan.
- 2) Kegiatan pengukuran :
 - a. Penentuan titik kontrol vertikal dan horizontal yang dipasang setiap interval 100 meter pada rencana as jalan.
 - b. Pengukuran situasi selebar kiri dan kanan dari jalan yang dimaksud dan disebutkan serta tata guna tanah di sekitar trase jalan.
 - c. Pengukuran penampang melintang (*cross section*) dan memanjang.
 - d. Perhitungan perencanaan desain jalan dan penggambaran peta topografi berdasarkan titik koordinat kontrol di atas.

2.1.6 Data penyelidikan tanah

Data penyelidikan tanah diperoleh dengan cara melakukan penyelidikan tanah di lapangan, data yang akan diperoleh berupa nilai CBR. Penyelidikan nilai CBR dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

1) Cara Grafis

Dengan melakukan metode grafis nilai CBR yang akan didapatkan melalui beberapa prosedur, yaitu sebagai berikut :

- Tentukan nilai CBR terendah.
- Tentukan berapa banyak nilai CBR yang sama / lebih besar dari masing-masing nilai CBR kemudian disusun secara tabel, mulai dari CBR terkecil sampai yang terbesar.
- Angka terbanyak diberi nilai 100% angka yang lain merupakan persentase dari 100%.
- Buat grafik hubungan antara harga CBR dengan persentase jumlah.
- Nilai CBR segmen adalah nilai pada keadaan 90%.

2) Cara Analitis

Adapun rumus yang digunakan pada CBR analitis adalah :

$$CBR_{\text{Segmen}} = \frac{(CBR_{\text{rata-rata}} - CBR_{\text{min}})}{R} \dots\dots\dots(2.11)$$

Nilai R tergantung dari jumlah data yang terdapat dalam satu segmen. Nilai R untuk perhitungan CBR segmen diberikan pada Tabel 2.11 di bawah ini :

Tabel. 2.11 Nilai R untuk Perhitungan CBR Segmen

Jumlah Titik Pengamatan	2	3	4	5	6	7	8	9	≥ 10
Nilai R	1,41	1,91	2,24	2,48	2,57	2,83	2,96	3,08	3,18

(Sumber : Hendra Suryadharma, 1999)

2.2 Alinyemen Horizontal

Menurut Sukirman (1999), alinyemen horizontal adalah garis proyeksi sumbu jalan tegak lurus bidang datar peta (trase). Trase jalan biasa disebut situasi jalan, secara umum menunjukkan arah dari jalan yang bersangkutan.

2.2.1 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

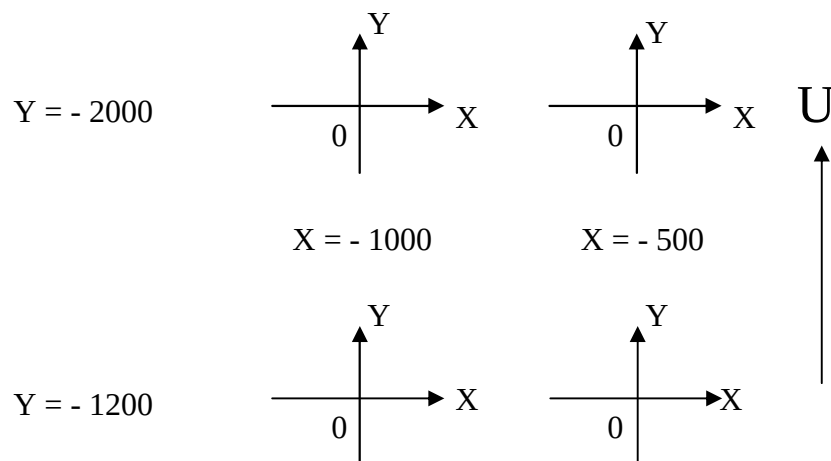
- Penarikan trase jalan yang tidak terlalu banyak memotong kontur, sehingga dapat menghemat biaya dalam pelaksanaan pekerjaan galian dan timbunan nantinya.
- Penyediaan material dan tenaga kerja yang diharapkan tidak terlalu jauh dari lokasi proyek sehingga dapat menekan biaya.

2) Syarat Teknis

Tujuan dari syarat teknis ini adalah untuk mendapatkan jalan yang memberikan rasa keamanan dan kenyamanan bagi pemakai jalan tersebut. Oleh karena itu diperlukan data-data seperti berikut:

a. Data topografi

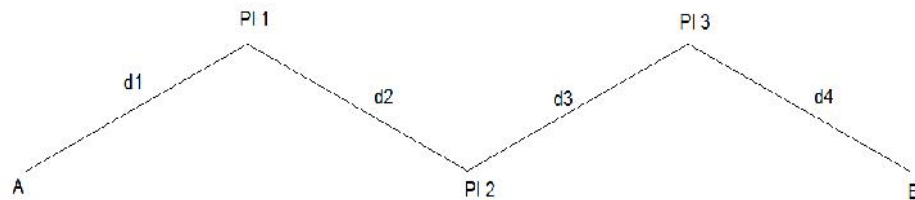
Dari peta topografi yang dilengkapi dengan koordinat hasil pengukuran ditentukan arah utara diambil searah dengan sumbu Y (+).



Gambar 2.8 Titik Koordinat

b. Penentuan koordinat dan jarak

Penentuan titik penting yang diperoleh dari pemilihan rencana alinyemen horizontal. Titik penting ialah titik yang direncanakan untuk menentukan trase jalan, dari titik tersebut akan dihubungkan ke titik lainnya sehingga akan menjadi garis yang memiliki jarak tertentu.



Gambar 2.9 Koordinat dan Jarak

Dari Gambar 2.9, dapat dilihat bahwa titik penting yang perlu ditentukan koordinatnya adalah :

- Titik A sebagai titik awal proyek.
- Titik PI 1, PI 2, ..., PI n sebagai titik potong (*point of intersection*) dari dua bagian lurus rencana alinyemen horizontal.
- Titik B sebagai titik akhir proyek.

Jarak yang harus dihitung setelah penentuan koordinat terlihat pada Gambar 2.9, yaitu sebagai berikut :

d_1 = Jarak titik A – titik PI 1

d_2 = Jarak titik PI 1 – titik PI 2

d_3 = Jarak titik PI 2 – titik PI 3

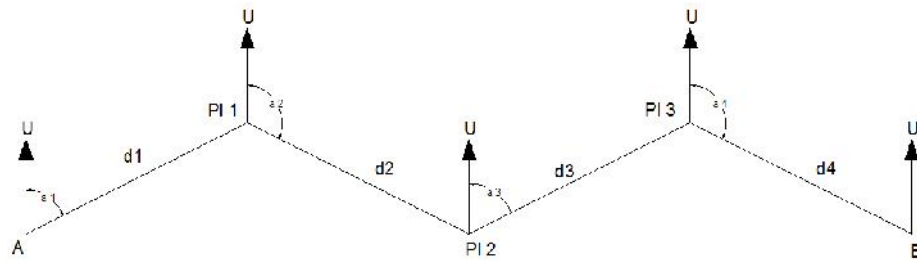
d_4 = Jarak titik PI 3 – titik B

Rumus yang dipakai untuk menghitung jarak adalah :

$$d(A - PI 1) = \sqrt{(x_{PI 1} - x_A)^2 + (y_{PI 1} - y_A)^2} \dots \dots \dots (2.12)$$

c. Penentuan sudut jurusan (α°) dan *bearing* (Δ)

Sudut jurusan (α°) ditentukan berdasarkan arah utara, seperti disajikan pada Gambar 2.10

Gambar 2.10 Sudut Jurusan (α°)

$$\alpha_1 = \alpha (A - PI\ 1) \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\alpha_2 = \alpha (PI\ 1 - PI\ 2) \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\alpha_3 = \alpha (PI\ 2 - PI\ 3) \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\alpha_4 = \alpha (PI\ 3 - B) \dots\dots\dots (2.16)$$

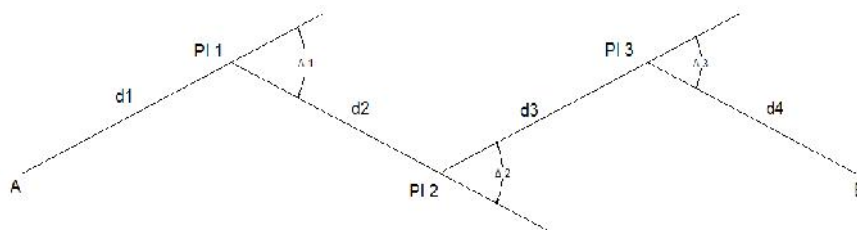
Sudut jurusan (α°) dihitung dengan rumus :

$$\alpha = 90 - \arctg \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\alpha = \arctg \frac{x_b - x_a}{y_b - y_a} \dots\dots\dots (2.18)$$

Sudut (Δ) *bearing*

Bearing merupakan sudut arah yang diukur dari utara atau selatan magnet bumi ke titik lain yang searah/berlawanan dengan arah putaran jarum jam, dengan sudut kisaran antara 0-90.

Gambar 2.11 Sudut *Bearing* (Δ)

$$\Delta_1 = (\alpha_2 - \alpha_1) \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\Delta_2 = (\alpha_3 - \alpha_2) \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\Delta_3 = (\alpha_4 - \alpha_3) \dots\dots\dots (2.21)$$

2.2.2 Jenis tikungan

Perencanaan tikungan agar dapat memberikan keamanan dan kenyamanan perlu mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

1) Jari-jari 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 yaitu :

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

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

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

Rumus umum besarnya jari-jari (R) untuk suatu lengkung yang dilalui kendaraan adalah :

$$R = \frac{v^2}{127.(e+f)} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$D = \frac{25}{2\pi R} \times 360 \dots\dots\dots(2.23)$$

dimana :

R = Jari-jari lengkung (m)

e = Derajat lengkung (°)

Untuk menghindari terjadinya kecelakaan, maka pada kecepatan tertentu dapat dihitung jari-jari minimum berdasarkan superelevasi maksimum dan koefisien gesek maksimum, dengan rumus :

$$R_{min} = \frac{v^2}{127.(e_{max}+f_{max})} \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana :

Rmin = Jari-jari lengkung minimum (m)

emax = Kemiringan tikungan maksimum (%)

f_{max} = Koefisien gesek, untuk perkerasan aspal
 = 0,14 - 0,24 (menurut TCPGJAK1997)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

Adapun harga f_m tiap kecepatan seperti tercantum pada Tabel 2.13 di bawah ini :

Tabel 2.13 Nilai f_m

V	30	40	60	80	100	120
f_m	0.17125	0.1650	0.1525	0.14	0.1275	0.115

(Sumber : Geometrik Jalan, Hamirhan Soedang 2004)

2) Lengkung Peralihan

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 pada sebelum dan sesudah tikungan berbentuk busur lingkaran.

Tabel 2.14 Panjang Lengkung Peralihan Minimum dan Superelevasi yang dibutuhkan (e maks = 10 %, metode Bina Marga)

D (*)	R (m)	Vr = 50 km/jam		Vr = 60 km/jam		Vr = 70 km/jam		Vr = 80 km/jam		Vr = 90 km/jam	
		e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls
0,250	5730	LN	45	LN	50	LN	60	LN	70	LN	75
0,500	2865	LN	45	LN	50	LP	60	LP	70	LP	75
0,750	1910	LN	45	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	D maks = 5,12	
7,000	205	0,062	45	0,080	50	0,094	60	D maks = 6,82			
8,000	179	0,068	45	0,086	50	0,098	60				
9,000	159	0,074	45	0,091	60	0,099	60				
10,000	143	0,079	45	0,095	60	D maks = 9,12					
11,000	130	0,083	45	0,098	60						
12,000	119	0,087	45	0,100	60						
13,000	110	0,091	50	D maks = 12,79							
14,000	102	0,093	50								
15,000	95	0,096	50								
16,000	90	0,097	50								
17,000	84	0,099	60								
18,000	80	0,099	60								
19,000	75	D maks = 18,85									

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

Keterangan :

LN = Lereng jalan normal, diasumsikan 2%.

LP = Lereng luar putar sehingga perkerasan mendapat superelevasi sebesar lereng jalan normal 2%.

Ls = Diperhitungkan dengan mempertimbangkan rumus modifikasi *short* landai relatif maksimum, jarak tempuh 3 detik, dan lebar perkerasan 2 x 3,75 m.

Lengkung peralihan dengan bentuk spiral (*clothoid*) banyak digunakan juga oleh Bina Marga. Dengan adanya lengkung peralihan, maka tikungan menggunakan S-C-S. Panjang lengkung peralihan (Ls), menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota 1997, diambil nilai terbesar dari tiga persamaan di bawah ini:

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum (3 detik) untuk melintasi lengkung peralihan, maka panjang lengkung adalah sebagai berikut :

$$L_s = \frac{V_R}{3,6} T \dots\dots\dots (2.25)$$

- Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal, digunakan rumus modifikasi Shortt, sebagai berikut:

$$L_s = 0,022 \frac{V_R^3}{R \cdot C} - 2,727 \frac{V_R \cdot e}{C} \dots\dots\dots (2.26)$$

- Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian:

$$L_s = \frac{(e_m - e_n)}{3,6 \cdot r_e} \times V_R \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana:

T = Waktu tempuh (3 detik)

V_R = Kecepatan rencana (km/jam)

R = Jari-jari lingkaran (m)

C = Perubahan percepatan (0,3 – 1,0) disarankan 0,4 m/det³

E = Superelevasi (%)

e_m = Superelevasi maksimum (%)

e_n = Superelevasi normal (%)

r_e = Tingkat pencapaian perubahan kelandaian melintang jalan, sebagai berikut:

- Untuk $V_R \leq 70$ km/jam nilai r_e mak = 0,035 m/m/det
- Untuk $V_R \geq 80$ km/jam nilai r_e mak = 0,025 m/m/det

Menurut peraturan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997 terdapat pula jari-jari tikungan yang tidak memerlukan peralihan, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.15 Jari-jari Tikungan yang Tidak Memerlukan Lengkung Peralihan

V_R (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
R_{min} (m)	2500	1500	900	500	350	250	130	60

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

3) Bentuk-bentuk tikungan

Bentuk tikungan yang umum digunakan dalam perencanaan suatu jalan antara lain :

a. Bentuk tikungan *full circle*

Bentuk tikungan ini digunakan pada tikungan yang mempunyai jari-jari besar dan sudut tangen yang relatif kecil.

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

- Menentukan Nilai T_c , E_c , dan L_c :

$$T_c = R \tan \frac{1}{2} \Delta \dots\dots\dots(2.28)$$

$$E_c = T \tan \frac{1}{4} \Delta \dots\dots\dots(2.29)$$

$$L_c = \frac{p}{180} \Delta R \dots\dots\dots(2.30)$$

dimana :

Δ = Sudut tikungan atau sudut tangen (°)

T_c = Jarak T_c dan PI (m)

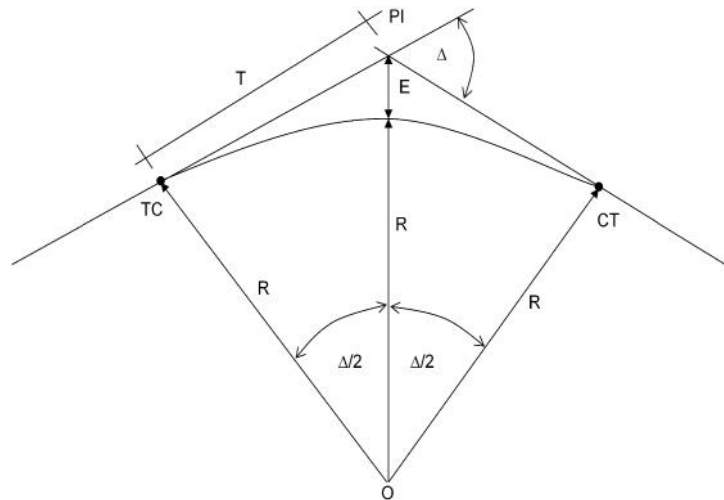
R = Jari-jari (m)

E_c = Jarak PI ke busur lingkaran (m)

L_c = Panjang busur lingkaran (m)

PI = *Point of intersection*

Bentuk tikungan *full circle* dapat dilihat pada Gambar 2.12 dibawah ini:



Gambar 2.12 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 rumus yang digunakan untuk menentukan tikungan *spiral-circle-spiral* yaitu:

$$X_s = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40R^2} \right) \dots\dots\dots (2.31)$$

$$Y_s = \frac{L_s^2}{6R} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$\theta_s = \frac{90}{p} \frac{L_s}{R} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$p = \frac{L_s^2}{6R} - R(1 - \cos \theta_s) \dots\dots\dots (2.34)$$

$$k = Ls \left(1 - \frac{Ls^2}{40R^2} \right) - R \sin \alpha_s \dots\dots\dots (2.35)$$

$$Ts = (R + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k \dots\dots\dots (2.36)$$

$$Es = \frac{(R + p)}{\cos \frac{1}{2}(\Delta)} - Rc \dots\dots\dots (2.37)$$

$$Lc = \frac{(\Delta - 2\theta_s)}{180} \times p \times R \dots\dots\dots (2.38)$$

$$2\theta_s = \frac{Ls}{2\pi R} \times 360 \dots\dots\dots (2.39)$$

$$\Delta_c = \Delta - 2\alpha_s \dots\dots\dots (2.40)$$

$$L_{tot} = Lc + 2Ls \dots\dots\dots (2.41)$$

Kontrol : $L_{tot} < 2.Ts$

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

Jika diperoleh $Lc < 25 \text{ m}$, maka sebaiknya tidak digunakan untuk SCS, tetapi digunakan lengkung SS, yaitu lengkung yang terdiri dari 2 lengkung peralihan. Jika p yang dihitung dengan rumus :

$p = Ls^2 / 24.Rc < 0.25$ maka digunakan tikungan jenis FC

dimana:

Ls = Panjang lengkung peralihan (m)

Xs = Absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik TS ke SC

Ys = Ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen

Lc = Panjang busur lingkaran

Ts = Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST

Es = Jarak dari PI ke busur lingkaran

θ_s = Sudut lengkung *spiral*

Δ = Sudut tangen

R = Jari-jari lingkaran

p = Pergeseran tangen terhadap *spiral*

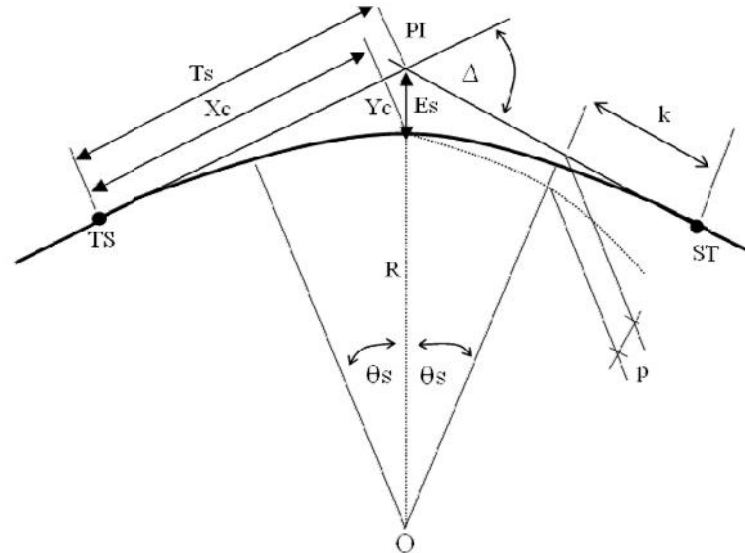
k = Absis dari p pada garis tangen *spiral*

Tabel 2.16 p dan k untuk $L_s = 1$

$\theta_s(^{\circ})$	p^*	k^*	$\theta_s(^{\circ})$	p^*	k^*	$\theta_s(^{\circ})$	p^*	k^*
0.5	0.0007272	0.4999987	14.0	0.0206655	0.4989901	27.5	0.0422830	0.4959406
1.0	0.0014546	0.4999949	14.5	0.0214263	0.4989155	28.0	0.0431365	0.4957834
1.5	0.0021820	0.4999886	15.0	0.0221896	0.4988381	28.5	0.0439946	0.4956227
2.0	0.0029098	0.4999797	15.5	0.0229553	0.4987580	29.0	0.0448572	0.4954585
2.5	0.0036378	0.4999683	16.0	0.0237236	0.4986750	29.5	0.0457245	0.4952908
3.0	0.0043663	0.4999543	16.5	0.0244945	0.4985892	30.0	0.0465966	0.4951196
3.5	0.0050953	0.4999377	17.0	0.0252681	0.4985005	30.5	0.0474735	0.4949448
4.0	0.0058249	0.4999187	17.5	0.0260445	0.4984090	31.0	0.0483550	0.4947665
4.5	0.0065551	0.4998970	18.0	0.0268238	0.4983146	31.5	0.0492422	0.4945845
5.0	0.0072860	0.4998728	18.5	0.0276060	0.4982172	32.0	0.0501340	0.4943988
5.5	0.0080178	0.4998461	19.0	0.0283913	0.4981170	32.5	0.0510310	0.4942094
6.0	0.0094843	0.4998167	19.5	0.0291797	0.4980137	33.0	0.0519333	0.4940163
6.5	0.0102191	0.4997848	20.0	0.0299713	0.4979075	33.5	0.0528408	0.4938194
7.0	0.0102191	0.4997503	20.5	0.0307662	0.4977983	34.0	0.0537536	0.4936187
7.5	0.0109550	0.4997132	21.0	0.0315644	0.4976861	34.5	0.0546719	0.4934141
8.0	0.0116922	0.4997350	21.5	0.0323661	0.4975708	35.0	0.0555957	0.4932057
8.5	0.0124307	0.4993120	22.0	0.0331713	0.4974525	35.5	0.0562500	0.4929933
9.0	0.0131706	0.4995862	22.5	0.0339801	0.4973311	36.0	0.0574601	0.4927769
9.5	0.0139121	0.4995387	23.0	0.0347926	0.4972065	36.5	0.0584008	0.4925566
10.0	0.0146551	0.4994884	23.5	0.0356088	0.4970788	37.0	0.0593473	0.4923322
10.5	0.0153997	0.4994356	24.0	0.0364288	0.4969479	37.5	0.0602997	0.4921037
11.0	0.0161461	0.4993800	24.5	0.0372528	0.4968139	38.0	0.0612581	0.4918711
11.5	0.0168943	0.4993218	25.0	0.0380807	0.4966766	38.5	0.0622224	0.4916343
12.0	0.0176444	0.4992609	25.5	0.0389128	0.4965360	39.0	0.0631929	0.4913933
12.5	0.0183965	0.4991973	26.0	0.0397489	0.4963922	39.5	0.0641694	0.4911480
13.0	0.0191507	0.4991310	26.5	0.0405893	0.4962450	40.0	0.0651522	0.4908985
13.5	0.0199070	0.4990619	27.0	0.0414340	0.4960945			

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

Bentuk tikungan *spiral-spiral* dapat dilihat pada Gambar 2.14 di bawah ini:



Gambar 2.14 Tikungan *Spiral-Spiral*

2.2.3 Kemiringan melintang

Pada daerah tikungan, kemiringan melintang dari permukaan jalan mengalami perubahan, yaitu dari kemiringan penuh yang berubah berangsur-angsur. Perubahan profil melintang dapat dilakukan dalam tiga tempat, yaitu :

- Sumbu jalan sebagai sumbu putar
- Tepi perkerasan sebelah dalam sebagai sumbu putar
- Tepi perkerasan sebelah luar sebagai sumbu putar

Untuk drainase permukaan, jalan dengan alinyemen lurus membutuhkan kemiringan melintang yang normal (e) = 2% untuk aspal beton ini termasuk pada jari-jari tikungan serta kecepatan rencana yang ditetapkan (Shirley, 2000). Bila kendaraan melintasi suatu tikungan, maka dipastikan kendaraan tersebut akan terdorong secara sentrifugal. Oleh karena itu gaya sentrifugal dapat diimbangi dengan :

- Bobot kendaraan yang diakibatkan oleh kemiringan melintang jalan.
- Gesekan antara ban dan kendaraan dengan perkerasan jalan.

2.2.4 Diagram superelevasi

Menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997, superelevasi adalah suatu kemiringan melintang di tikungan yang berfungsi mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima kendaraan pada saat berjalan melalui tikungan pada kecepatan V , dan nilai superelevasi maksimum ditetapkan 10%. Pencapaian superelevasi, proses tahapan diagram superelevasi pada masing-masing tikungan adalah sebagai berikut :

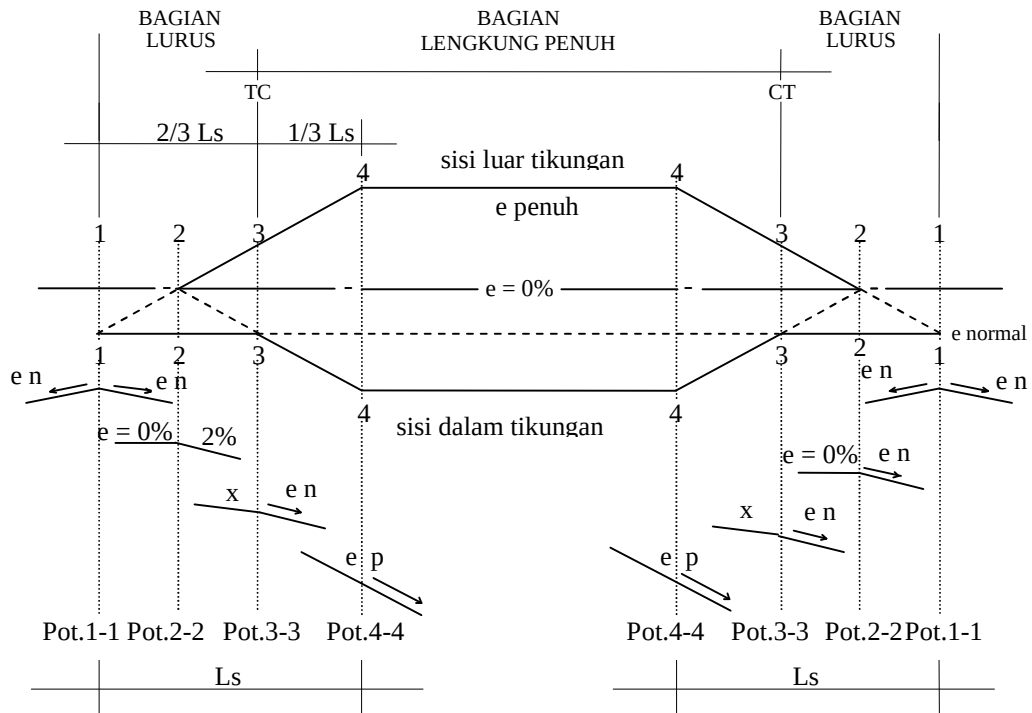
- a) Superelevasi dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus sampai ke kemiringan penuh (superelevasi) pada bagian lengkung.
- b) Pada tikungan SCS, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear, diawali dari bentuk normal sampai awal lengkung peralihan (TS) yang berbentuk pada bagian lurus jalan, lalu dilanjutkan sampai superelevasi penuh pada akhir bagian lengkung peralihan (SC).
- c) Pada tikungan FC, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear diawali dari bagian lurus sepanjang $\frac{2}{3}L_s$ sampai dengan bagian lingkaran penuh sepanjang $\frac{1}{3}L_s$.
- d) Pada tikungan S-S, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral.
- e) Superelevasi tidak diperlukan jika radius (R) cukup besar, untuk itu cukup lereng luar diputar sebesar lereng normal (LP), atau bahkan tetap lereng normal (LN).

Metode untuk melakukan superelevasi yaitu merubah lereng potongan melintang, dilakukan dengan bentuk profil dari tepi perkerasan yang dibundarkan, tetapi disarankan cukup untuk mengambil garis lurus saja.

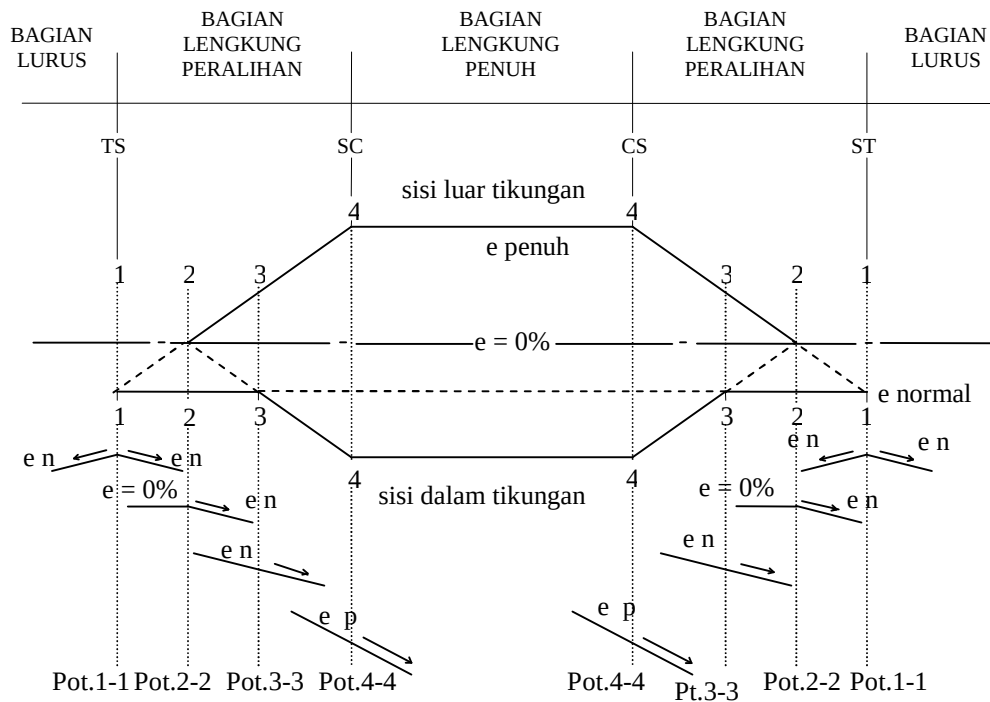
Ada tiga cara untuk superelevasi yaitu :

- 1) Memutar perkerasan jalan terhadap profil sumbu
- 2) Memutar perkerasan jalan terhadap tepi jalan sebelah dalam
- 3) Memutar perkerasan jalan terhadap tepi jalan sebelah luar

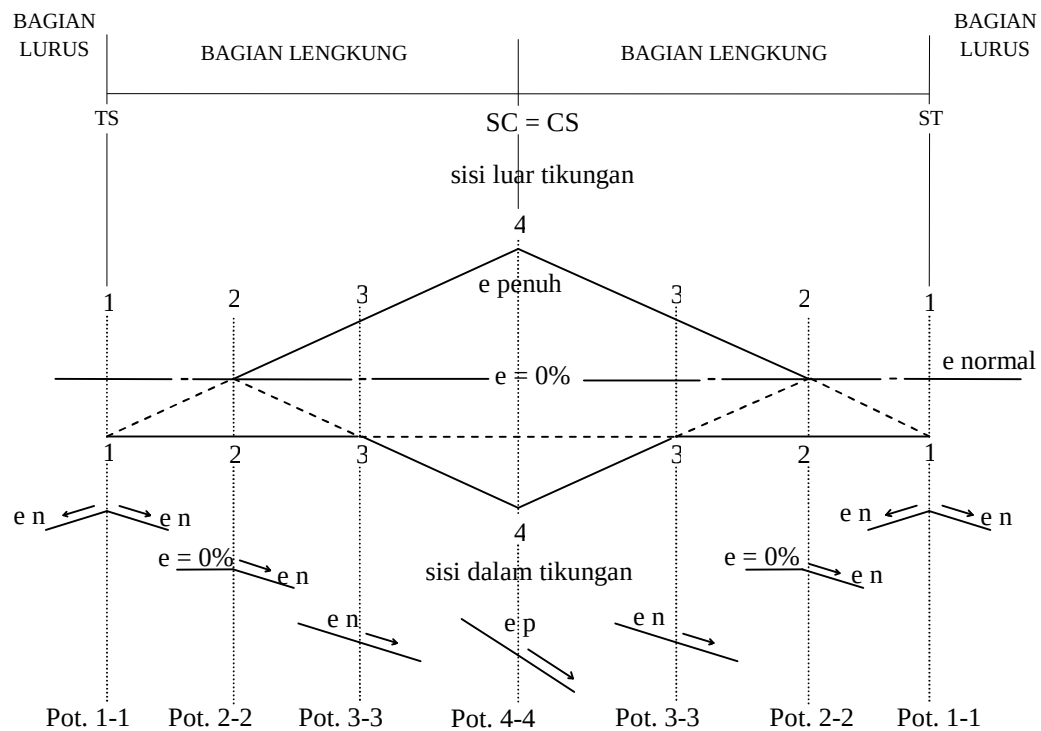
Adapun gambar diagram superelevasi dapat dilihat pada Gambar 2.15, 2.16, dan 2.17.



Gambar 2.15 Diagram Superelevasi *Full Circle*
(contoh untuk tikungan ke kanan)



Gambar 2.16 Diagram Superelevasi *Spiral-Circle-Spiral*
(contoh untuk tikungan ke kanan)



Gambar 2.17 Diagram Superelevasi *Spiral-Spiral*
(contoh untuk tikungan ke kanan)

2.2.5 Landai relatif

Kemiringan melintang atau kelandaian pada penampang jalan di antara tepi perkerasan luar dan sumbu jalan sepanjang lengkung peralihan disebut landai relatif. Pencapaian tikungan jenis *full circle* untuk dapat menggambarkan pencapaian kemiringan dari lereng normal ke kemiringan penuh, kita harus hitung dulu lengkung peralihan fiktif (L_s'), adapun L_s' dihitung berdasarkan landai relatif maksimum. L_s' dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\frac{1}{m} = \frac{(e+e_n)B}{L_s} \dots\dots\dots(2.48)$$

dimana :

$\frac{1}{m}$ = Landai relatif, (%)

e = Superelevasi, (m/m')

e_n = Kemiringan melintang normal, (m/m')

B = Lebar lajur, (m)

Adapun landai relatif maksimum yang diperbolehkan untuk 2/2 TB dapat dilihat pada Tabel 2.17 berikut ini :

Tabel 2.17 Landai Relatif Maksimum (untuk 2/2 TB)

VR (km/jam)	20	30	40	50	60	80
Kemiringan maksimum	1/50	1/75	1/100	1/115	1/125	1/150

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

2.2.6 Pelebaran perkerasan jalan pada 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 lajur akibat posisi roda depan dan roda belakang yang tidak sama, yang tergantung dari ukuran kendaraan (Shirley, 2000).

Rumus yang digunakan:

$$B = \sqrt{\left\{\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25\right\}^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \dots\dots\dots(2.49)$$

$$Rc = R - \frac{1}{4} Bn + \frac{1}{2} b \dots\dots\dots(2.50)$$

$$Z = \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}} \dots\dots\dots(2.51)$$

$$Bt = n (B + C) + Z \dots\dots\dots(2.52)$$

$$\Delta b = Bt - Bn \dots\dots\dots(2.53)$$

dimana :

b = Lebar kendaraan, (m)

Rc = Radius lengkung untuk lintasan luar roda depan yang besarnya dipengaruhi oleh sudut α , (m)

R = Radius lajur sebelah dalam / jari-jari tikungan, (m)

V = Kecepatan, (km/jam)

Z = Lebar tambahan akibat kesukaran mengemudi di tikungan, (m)

- B_t = Lebar total perkerasan di tikungan, (m)
 B_n = Lebar total perkerasan pada bagian lurus, (m)
 n = jumlah lajur
 B = Lebar perkerasan yang ditempati satu kendaraan di tikungan pada lajur sebelah dalam, (m)
 C = Kebebasan samping, (m)
 0,5 untuk lebar lajur 6 m, 1,0 untuk lebar lajur 7 m, dan 1,25 untuk lebar lajur 7,5 m
 Δb = Tambahan lebar perkerasan di tikungan, (m)

2.2.7 Kebebasan samping pada tikungan

Daerah bebas samping di tikungan dihitung berdasarkan jarak pandang henti menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

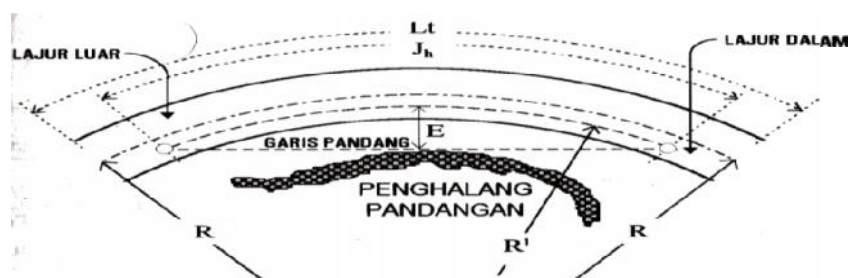
- a. Jika $J_h < L_t$

$$E = R' \left(1 - \cos \frac{28,65 J_h}{R'} \right) \dots \dots \dots (2.54)$$

dimana :

- E = Jarak bebas samping (m)
 R = Jari-jari tikungan (m)
 R' = Jari-jari sumbu jalur dalam (m)
 J_h = Jarak Pandang henti (m)
 L_t = Panjang tikungan (m)

Berikut adalah gambar kebebasan samping jika $J_h < L_t$:



Gambar 2.18 Daerah Bebas Samping di tikungan untuk $J_h < L_t$

Tabel penentuan nilai E dapat dilihat pada tabel 2.18 dibawah ini :

Tabel 2.18 Nilai E untuk $J_h < L_t$

R (m)	Vr = 20 Jh = 16	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	Rmin = 500
300					2,3	6,0		
250				1,5	2,8	7,2	Rmin = 350	
200				1,9	3,5			
175				2,2	4,0		Rmin = 210	
150				2,5	4,7			
130			1,5	2,9	5,4		Rmin = 115	
120			1,7	3,1				
110			1,8	3,4			Rmin = 80	
100			2,0	3,8				
90			2,2	4,2			Rmin = 50	
80			2,5	4,7				
70		1,5	2,8				Rmin = 30	
60		1,8	3,3					
50		2,3	3,9				Rmin = 15	
40		3,0						
30								
20	1,6							
15	2,1							

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

b. Jika $J_h > L_t$

$$E = R' \left(1 - \cos \frac{28,65 J_h}{R'} \right) + \left(\frac{J_h - L_t}{2} \sin \frac{28,65 J_h}{R'} \right) \dots \dots \dots (2.55)$$

dimana :

E = Jarak bebas samping (m)

R = Jari-jari tikungan (m)

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

Jh = Jarak Pandang henti (m)

Lt = Panjang tikungan (m)

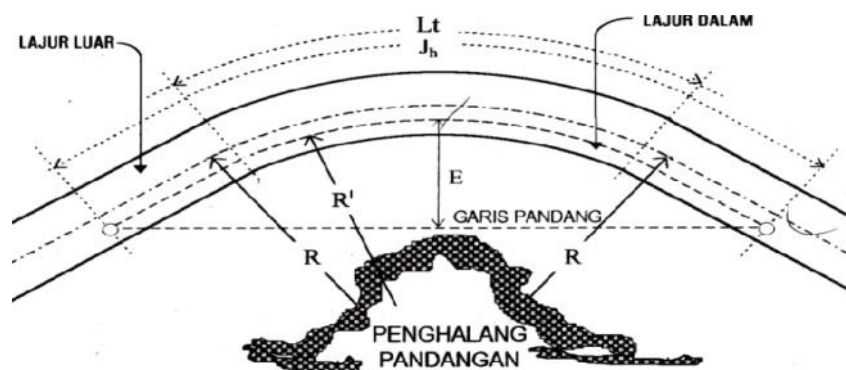
Nilai E (m) dapat dilihat pada Tabel 2.19 dibawah ini :

Tabel 2.19 Nilai E untuk $J_h > L_t$

R (m)	Vr = 20 Jh = 16	30	40	50	60	80	100	120
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	Rmin = 500
300			1,5	2,4	3,9	8,5	Rmin = 350	
250			1,8	2,9	4,7	10,1	Rmin = 210	
200			2,2	3,6	5,8			
175		1,5	2,6	4,1	6,7	Rmin = 115		
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				
100		2,6	4,5	7,2	Rmin = 80			
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	Rmin = 50				
60	2,2	4,3	7,4					
50	2,6	5,1	8,8					
40	3,3	6,4	Rmin = 30					
30	4,4	8,4						
20	6,4							
15	8,4							
	Rmin = 15							

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

Berikut adalah gambar kebebasan samping jika $J_h > L_t$:



Gambar 2.19 Daerah Bebas Samping di tikungan untuk $J_h > L_t$

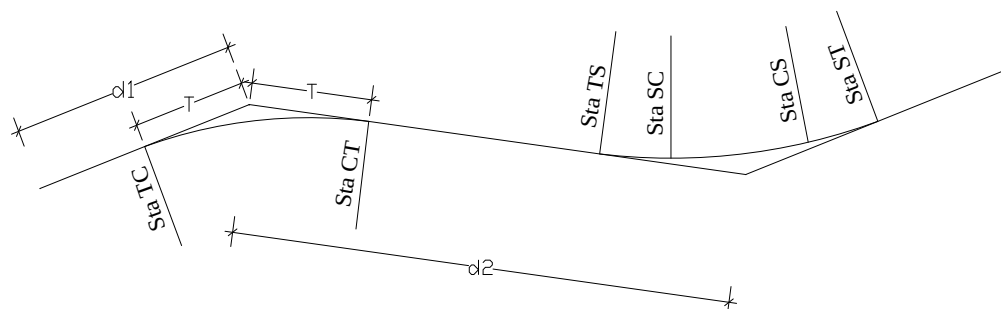
2.2.8 Penentuan *stationing*

Menurut Sukirman (1999), penomoran (*stationing*) panjang jalan pada tahap perencanaan adalah memberi nomor pada interval-interval tertentu dari awal sampai akhir proyek. Nomor jalan (STA) jalan dibutuhkan sebagai sarana komunikasi 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

Nomor jalan (Sta jalan) ini sama fungsinya dengan patok-patok km di sepanjang jalan, namun juga terdapat perbedaannya antara lain:

- Patok km merupakan petunjuk jarak yang diukur dari patok km 0, yang umumnya terletak di ibukota provinsi atau kotamadya, sedangkan patok Sta merupakan petunjuk jarak yang diukur dari awal sampai akhir pekerjaan.
- Patok km berupa patok permanen yang dipasang dengan ukuran standar yang berlaku, sedangkan patok Sta merupakan patok sementara selama masa pelaksanaan proyek jalan tersebut (Sukirman, 1999). Penentuan *stationing* jalan pada tikungan dapat dilihat pada Gambar 2.20 berikut ini :



Gambar 2.20 Penentuan *Stationing* Jalan

2.3 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah perpotongan bidang vertikal yang melalui sumbu jalan atau proyeksi tegak lurus bidang gambar. Profil ini menggambarkan tinggi rendahnya jalan terhadap keadaan muka tanah asli, sehingga memberikan gambaran terhadap kemampuan kendaraan dalam keadaan naik dan bermuatan penuh (untuk itu truk digunakan sebagai kendaraan standard). Alinyemen vertikal sangat erat hubungannya dengan biaya konstruksi jalan, biaya penggunaan kendaraan dan jumlah lalu lintas (Sukirman, 1999).

2.3.1 Kelandaian maksimum

Menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997:

- 1) Kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti.
- 2) Kelandaian maksimum di dasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh yang mampu bergerak dengan penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah.
- 3) Kelandaian maksimum untuk berbagai V_r

Adapun kelandaian maksimum yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel

2.20 berikut ini :

Tabel 2.20 Kelandai Maksimum yang Diizinkan

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

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

2.3.2 Kelandaian minimum

Berdasarkan kepentingan arus lalu lintas, landai ideal adalah landai datar (0%). Dalam perencanaan disarankan menggunakan :

- 1) Landai datar, untuk jalan di atas timbunan tanpa kerb.
- 2) Landai 0,15%, untuk jalan di atas timbunan, medan datar dengan kerb.
- 3) Landai min 0,3 - 0,5%, untuk jalan pada daerah galian dengan kerb.

dimana :

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

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

g_1, g_2 = Besar kelandaian (kenaikan/penurunan) (%).

L_v = Panjang lengkung vertikal (m).

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

$$E_v = \frac{(g_2 - g_1) \cdot L_v}{800} \dots\dots\dots (2.57)$$

$$A = g_2 - g_1 \dots\dots\dots (2.58)$$

Adapun panjang minimum lengkung vertikal yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 2.22 berikut ini :

Tabel 2.22 Panjang Minimum Lengkung Vertikal

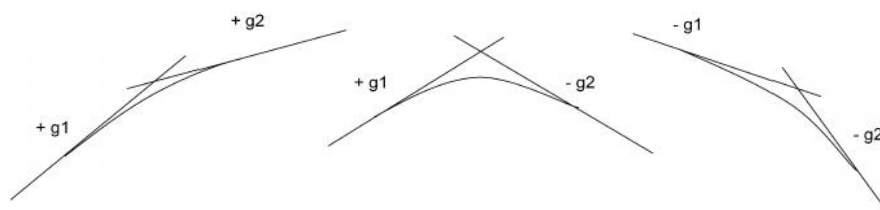
Kecepatan Rencana (km/jam)	Perbedaan Kelandaian Memanjang (%)	Panjang Lengkung (m)
< 40	1	20 - 30
40 - 60	0,6	40 - 80
> 60	0,4	80 - 150

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)

Adapun lengkung vertikal ini terbagi menjadi dua bagian yaitu :

1) Lengkung Vertikal Cembung

adalah titik perpotongan antara ke dua tangen berada di atas permukaan jalan.

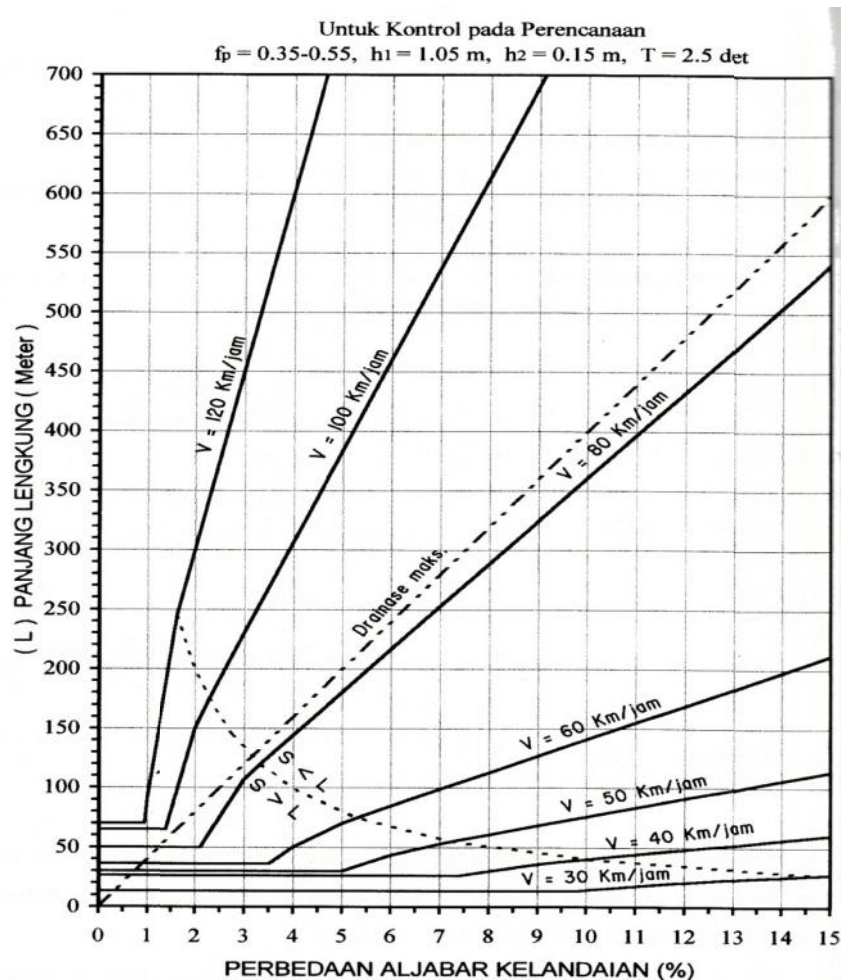


Gambar 2.22 Lengkung Vertikal Cembung

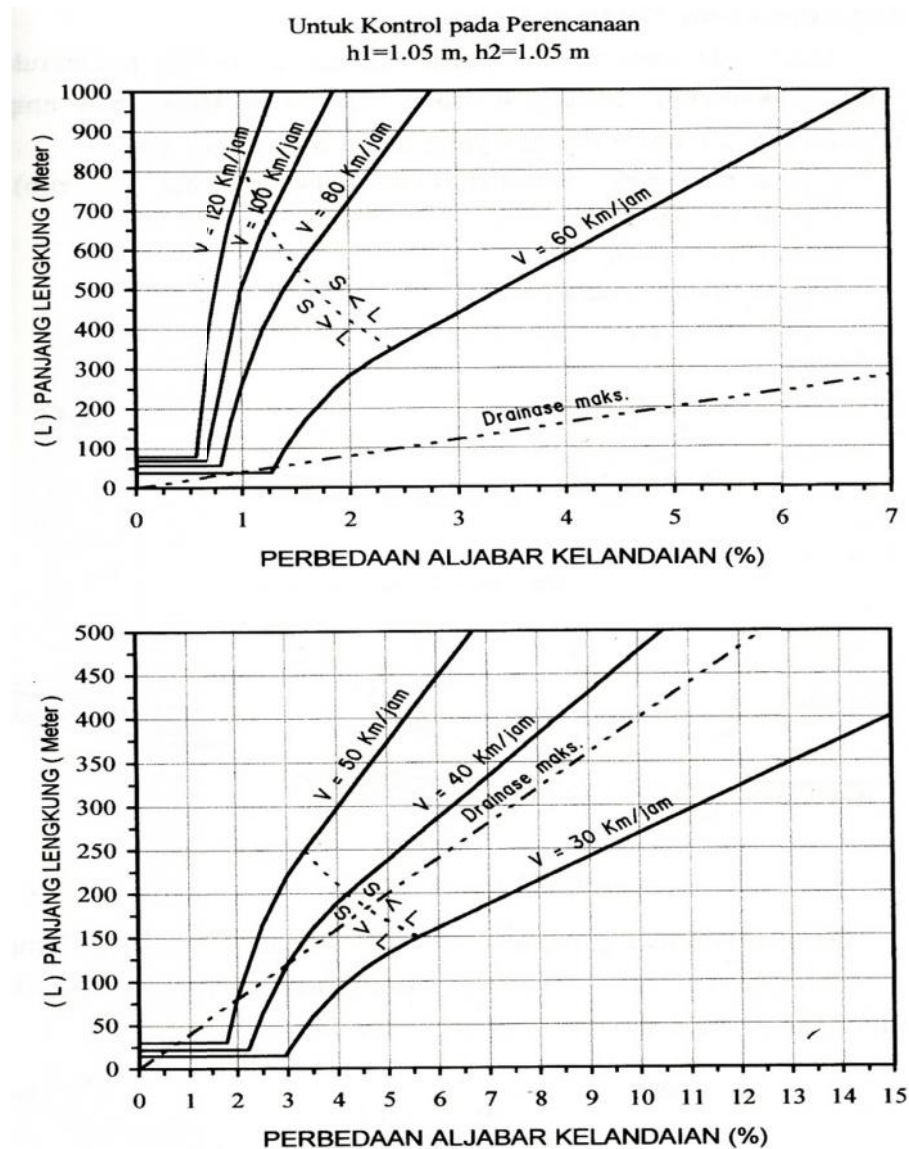
Keterangan:

- G1 dan G2 = Besarnya kelandaian (%)
 Tanda (+) = Pendakian
 Tanda (-) = Penurunan
 Ev = Pergeseran vertikal dari titik PPV ke bagian lengkung
 PPV = Titik perpotongan vertikal

Untuk menentukan panjang lengkung vertikal cembung (L_v) dapat juga ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 2.23 (untuk jarak pandang henti) dan grafik pada Gambar 2.24 (untuk jarak pandang menyiap) di bawah ini :

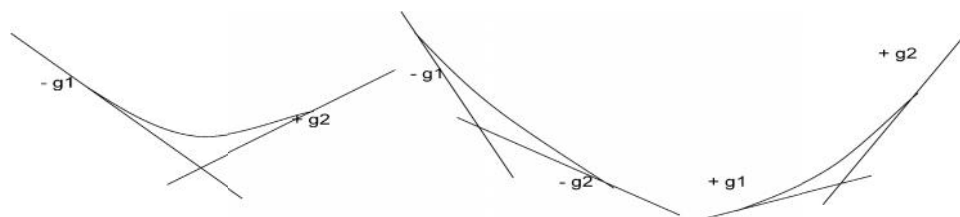


Gambar 2.23 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cembung berdasarkan Jarak Pandang Henti (J_h)



Gambar 2.24 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cembung berdasarkan Jarak Pandang Mendahului (J_d)

- 2) Lengkung Vertikal Cekung
adalah titik perpotongan antara ke 2 tangen berada di bawah permukaan jalan.



Gambar 2.25 Lengkung Vertikal Cekung

Keterangan:

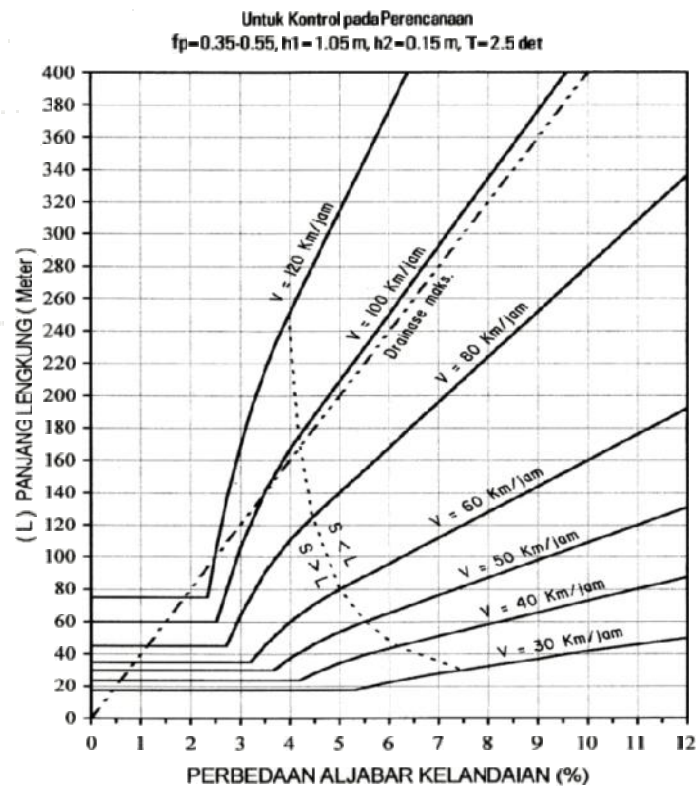
G1 dan G2 = Besarnya kelandaian (%)

Tanda (+) = Pendakian

Tanda (-) = Penurunan

Ev = Pergeseran vertikal dari titik PPV ke bagian lengkung

PPV = Titik perpotongan vertikal



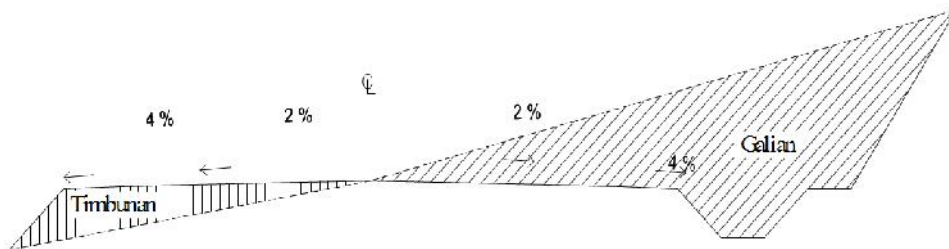
Gambar 2.26 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cekung

2.4 Perhitungan Galian dan Timbunan

Adapun langkah-langkah perhitungan galian dan timbunan adalah sebagai berikut :

- 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.



Gambar 2.27 Galian dan Timbunan

Tabel 2.23 Perhitungan Galian dan Timbunan

Sta	Luas (m ²)		Jarak (m)	Volume (m ³)	
	Galian	Timbunan		Galian	Timbunan
0+000	A	A	L	$A + B \times L = C$	$A + B \times L = C$
0+100	B	B		2	2
JUMLAH				$\sum C, \dots, N$	$\sum C, \dots, N$

(Sumber : Hendra Suryadharma, 1999)

2.5 Perencanaan Tebal Perkerasan

Perkerasan jalan adalah suatu bagian konstruksi jalan yang terletak di atas tanah dasar yang bertujuan untuk melewati lalu lintas dengan aman dan nyaman serta menerima dan meneruskan beban lalu lintas ke tanah dasar. Di dalam tugas akhir ini akan membahas mengenai perencanaan tebal perkerasan kaku.

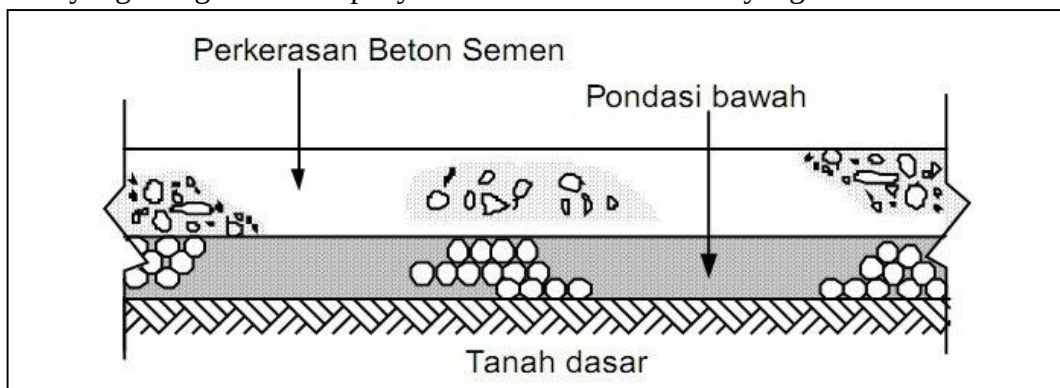
2.5.1 Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang terdiri dari pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan dan menerus

dengan tulangan terletak di atas lapisan pondasi bawah tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal.

Bahan-bahan perkerasan kaku terdiri dari material agregat kasar (batu pecah), pasir, semen, air, dan *additive* atau tulangan jika diperlukan. Jenis perkerasan ini jauh lebih baik dibandingkan dengan perkerasan lentur, namun dari segi biaya perkerasan ini tergolong mahal.

Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) biasanya terdiri dari plat beton semen (*slab*) yang dibangun langsung atau dengan perantara lapis pondasi di atas tanah dasar yang dipadatkan. Pada perkerasan kaku ini kekuatan memikul beban lebih tergantung pada kekuatan slab dalam menanggung momen lentur. Hal ini disebabkan kekuatan dan besarnya modulus elastisitas slab yang mengakibatkan penyebaran beban tanah dasar yang luas.



Gambar 2.28 Susunan Lapisan Perkerasan Kaku

Metode perencanaan yang diambil untuk menentukan tebal lapisan perkerasan didasarkan pada perkiraan sebagai berikut :

- Perkiraan lalu lintas dan komposisi lalu lintas selama umur rencana.
- Kekuatan lapisan tanah dasar yang dinamakan nilai CBR atau modulus reaksi tanah dasar (k).
- Kekuatan beton yang digunakan untuk lapisan perkerasan.
- Jenis bahu jalan.
- Jenis perkerasan.
- Jenis penyaluran beban.

Selain beberapa pertimbangan di atas ada beberapa keuntungan dan kerugian dalam pemakaian konstruksi perkerasan kaku.

Keuntungan pemakaian perkerasan kaku, yaitu:

- 1) *Life-cycle-cost* lebih murah dari pada perkerasan aspal.
- 2) Perkerasan kaku lebih tahan terhadap serangan air.
- 3) Tidak terlalu peka terhadap kelalaian pemeliharaan.
- 4) Tidak terlalu peka terhadap kelalaian pemanfaatan (*overloading*).
- 5) Memiliki umur rencana yang lebih lama.
- 6) Semen diproduksi dalam negeri sehingga tidak tergantung dari import.
- 7) Keseluruhan tebal perkerasan jauh lebih kecil dari pada perkerasan aspal sehingga dari segi lingkungan/*environment* lebih menguntungkan.

Kerugian dalam pemakaian perkerasan kaku, yaitu :

- 1) Permukaan perkerasan beton semen mempunyai *riding comfort* yang lebih jelek dari pada perkerasan aspal, yang akan sangat terasa melelahkan untuk perjalanan jauh.
- 2) Warna permukaan yang keputih-putihan menyilaukan di siang hari, dan marka jalan (putih/kuning) tidak kelihatan secara kontras.
- 3) Perbaikan kerusakan seringkali merupakan perbaikan keseluruhan konstruksi perkerasan sehingga akan sangat mengganggu lalu lintas.
- 4) Biaya yang dikeluarkan tergolong mahal.
- 5) Pelapisan ulang/*overlay* tidak mudah dilakukan.
- 6) Perlunya waktu untuk menunggu perkerasan menjadi kaku ± 28 hari.
- 7) Perbaikan permukaan yang sudah halus (*polished*) hanya bisa dilakukan dengan *grinding machine* atau pelapisan ulang dengan campuran aspal, yang kedua-duanya memerlukan biaya yang cukup mahal.

2.5.2 Jenis dan sifat perkerasan beton semen

Perkerasan beton semen adalah perkerasan kaku dengan beton semen sebagai lapisan dasar. Menurut buku pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003 ada empat jenis perkerasan kaku :

- Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan

- Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan
- Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan
- Perkerasan beton semen pra-tegang dengan tulang serat baja/fiber

Tujuh sifat campuran beton yang harus dimiliki perkerasan kaku adalah:

1) Stabilitas (*stability*)

Adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang alur, dan *bleeding*. Jalan yang melayani volume lalu lintas dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi

2) Keawetan (*durability*)

Adalah kemampuan beton menerima repetisi beban lalu lintas seperti beban kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air dan perubahan temperatur.

3) Kelenturan (*flexibility*)

Adalah kemampuan beton untuk menyesuaikan diri akibat penurunan dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar tanpa terjadi retak.

4) Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Adalah kemampuan beton menerima lendutan berulang akibat repetisi beban tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak.

5) Kekesatan atau tahanan gesek (*skid resistance*)

Permukaan beton terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir atau slip.

6) Kedap air (*impermeability*)

Adalah kemampuan beton untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan beton.

7) Mudah dilaksanakan (*work ability*)

Adalah kemampuan campuran beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan menentukan tingkat efisien.

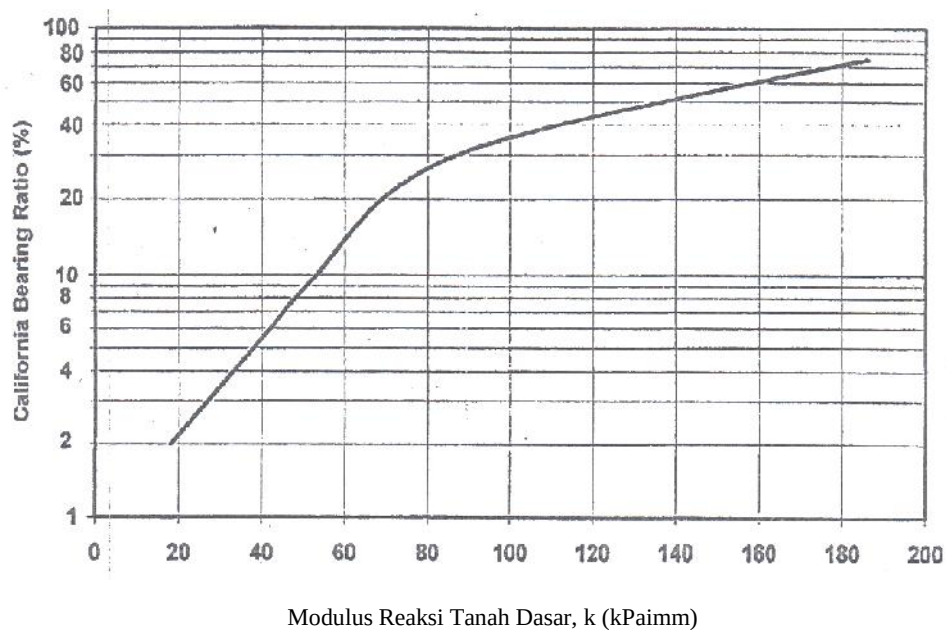
2.5.3 Persyaratan teknis perencanaan perkerasan kaku

Menurut pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003 terdapat beberapa persyaratan teknis dalam merencanakan perkerasan kaku, yaitu:

1) Tanah Dasar

Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*lean-mix concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5 %.

Modulus reaksi perkerasan lama (k) diperoleh dengan melakukan pengujian pembebanan pelat (*plate bearing test*) menurut AASHTO T.222-81 diatas permukaan perkerasan lama yang selanjutnya dikorelasikan terhadap nilai CBR menurut Gambar 2.29. Bila nilai k lebih besar dari 140 kPa/mm (14kg/cm^3), maka nilai k dianggap sama dengan 140 kPa/mm (14kg/mm^3) dengan nilai CBR 50%.



Gambar 2.29 Grafik Korelasi Nilai (k) dengan CBR

Penentuan nilai modulus reaksi tanah dasar (k) rencana untuk menentukan modulus reaksi tanah dasar (k) rencana yang mewakili suatu seksi jalan, dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$k^o = \bar{k} - 2 S \text{ (untuk jalan tol)..... (2.59)}$$

$$k^o = \bar{k} - 1.64 S \text{ (untuk jalan arteri)..... (2.60)}$$

$$k^o = \bar{k} - 1.28 S \text{ (untuk jalan kolektor/lokal)..... (2.61)}$$

dan faktor keseragaman ($FK = \frac{S}{\bar{k}} 100\%$) dianjurkan $<25\%$

dimana:

k^o = modulus reaksi tanah dasar yang mewakili segmen.

$\bar{k} = \frac{\sum k}{n}$ modulus reaksi tanah dasar rata-rata pada suatu seksi jalan.

k = modulus reaksi tanah dasar tiap titik di dalam seksi jalan.

S = standar deviasi.

n = jumlah data k

Standar deviasi, yaitu :

$$\sqrt{\frac{n(\sum k^2) - (\sum k)^2}{n(n-1)}} \text{ (2.62)}$$

2) Pondasi bawah

Lapis pondasi bawah berfungsi untuk menambah daya dukung tanah dasar, menyediakan lantai kerja yang stabil dan mendapatkan permukaan dengan daya dukung yang seragam. Lapis pondasi bawah juga dapat mengurangi lendutan pada sambungan-sambungan sehingga menjamin penyaluran beban melalui sambungan muai dalam waktu lama, menjaga perubahan volume lapisan tanah dasar akibat pemuaian dan penyusutan serta mencegah keluarnya air atau *pumping* pada sambungan pada tepi- tepi pelat beton.

Bahan pondasi bawah dapat berupa :

a. Bahan berbutir

Persyaratan dan gradasi pondasi bawah harus sesuai dengan kelas B. Sebelum pekerjaan dimulai, bahan pondasi bawah harus diuji gradasinya dan harus memenuhi spesifikasi bahan untuk pondasi bawah, dengan penyimpangan ijin 3% - 5%.

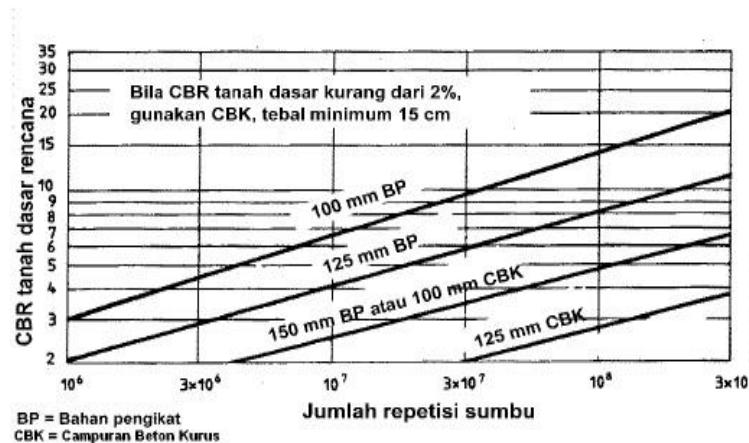
b. Stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*)

- Stabilisasi material berbutir dengan kadar bahan pengikat yang sesuai dengan hasil perencanaan, untuk menjamin kekuatan campuran dan ketahanan terhadap erosi. Jenis bahan pengikat dapat meliputi semen, kapur, serta abu terbang dan slag yang dihaluskan.
- Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-graded asphalt*).
- Campuran beton kurus giling padat yang harus mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 MPa (55 kg/cm²).

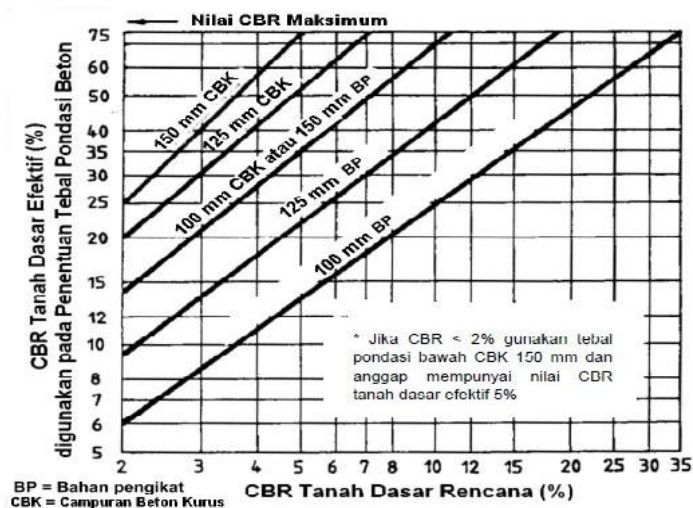
c. Campuran beton kurus (*Lean Mix Concrete*)

Campuran Beton Kurus (CBK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 MPa (50 kg/cm²) tanpa menggunakan abu terbang, atau 7 MPa (70 kg/cm²) bila menggunakan abu terbang, dengan tebal minimum 10 cm.

Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 2.30 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 2.31



Gambar 2.30 Tebal Pondasi Bawah Minimum untuk Beton Semen



Gambar 2.31 CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Pondasi Bawah

3) Beton semen

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3–5 MPa (30–50 kg/cm²). Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon, harus mencapai kuat tarik lentur 5–5,5 MPa (50–55 kg/cm²). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm²) terdekat. Hubungan antara kuat tekan karakteristik

dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan rumus berikut:

$$F_{cf} = K (f c')^{0.50} \text{ dalam Mpa atau} \dots\dots\dots (2.62)$$

$$F_{cf} = 3,13 K (f c')^{0.50} \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (2.63)$$

dimana:

$f c'$ = Kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm^2)

f_{cf} = Kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm^2)

K = Konstanta 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75
untuk agregat pecah

4) Lalu lintas

Penentuan beban lalu lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir. Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton. Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 4 jenis kelompok sumbu sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT)
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG)
- Sumbu tandem roda ganda (STdRG)
- Sumbu tridem roda ganda (STrRG)

5) Lajur rencana dan koefisien distribusi

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu lintas kendaraan niaga terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel 2.24.

Tabel 2.24 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi

Lebar perkerasan (L_p)	Jumlah lajur (n_l)	Koefisien distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50$ m	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_p < 8,25$ m	2 lajur	0,70	0,50
$8,25 \text{ m} \leq L_p < 11,25$ m	3 lajur	0,50	0,475
$11,23 \text{ m} \leq L_p < 15,00$ m	4 lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_p < 18,75$ m	5 lajur	-	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L_p < 22,00$ m	6 lajur	-	0,40

(Sumber : Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003)

6) Umur rencana

Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu lintas serta nilai ekonomi jalan yang bersangkutan, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode *benefit cost ratio*, *internal rate of return*, kombinasi dari metode tersebut atau cara lain yang tidak terlepas dari pola pengembangan wilayah. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun.

7) Pertumbuhan lalu lintas

Volume lalu lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap di mana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu lintas yang dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \dots\dots\dots (2.64)$$

dimana :

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

i = Laju pertumbuhan lalu lintas pertahun dalam %

UR = Umur rencana (tahun)

Tabel 2.25 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

Umur Rencana (Tahun)	Laju Pertumbuhan (i) per tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

(Sumber : Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003)

8) Lalu Lintas Rencana

Lalu lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survei beban. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus berikut :

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C \dots\dots\dots (2.65)$$

dimana :

JSKN = Jumlah sumbu kendaran niaga selama umur rencana

JSKNH = Jumlah sumbu kendaran niaga harian, pada saat jalan dibuka

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas yang besarnya berdasarkan faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan (i) dan umur rencana (n).

C = Koefisien distribusi kendaraan.

9) Faktor keamanan beban

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (Fkb). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan

adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada Tabel 2.26, yaitu :

Tabel 2.26 Faktor Keamanan Beban (F_{kb})

No.	Penggunaan Tipe Jalan	Nilai F_{KB}
1	Jalan bebas hambatan utama (<i>major freeway</i>) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu lintas dari hasil survey beban (<i>weight- in-motion</i>) dan adanya kemungkinan route alternative, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15	1,2
2	Jalan bebas hambatan (<i>freeway</i>) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah	1,0

(Sumber : Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003)

2.5.4 Bahu jalan

Bahu dapat terbuat dari bahan lapisan pondasi bawah dengan atau tanpa lapisan penutup beraspal atau lapisan beton semen. Perbedaan kekuatan antara bahu dengan jalur lalu-lintas akan memberikan pengaruh pada kinerja perkerasan. Hal tersebut dapat diatasi dengan bahu beton semen, sehingga akan meningkatkan kinerja perkerasan dan mengurangi tebal pelat. Yang dimaksud dengan bahu beton semen dalam pedoman ini adalah bahu yang dikunci dan diikatkan dengan lajur lalu-lintas dengan lebar minimum 1,50 m, atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu-lintas selebar 0,60 m, yang juga dapat mencakup saluran dan kreb.

2.5.5 Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk :

- 1) Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting serta beban lalu lintas.
- 2) Memudahkan pelaksanaan.
- 3) Mengakomodasi gerakan pelat.

Pada perkerasan beton semen terdapat beberapa jenis sambungan antara lain :

1) Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*)

Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm. Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_t = 204 \times b \times h \dots\dots\dots (2.66)$$

$$l = (38,3 \times \phi) + 75 \dots\dots\dots (2.67)$$

dimana :

A_t = Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm^2).

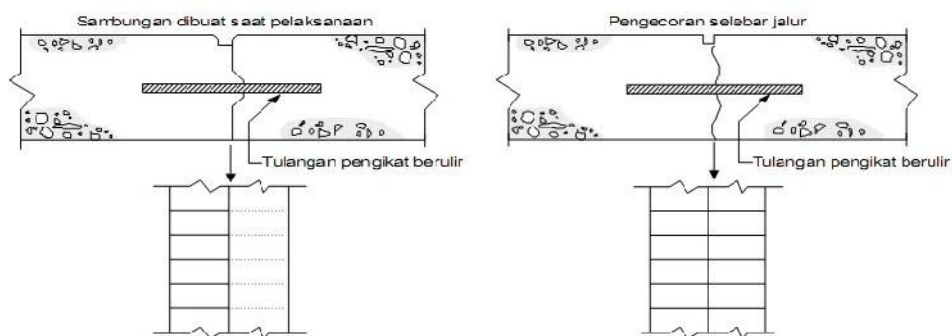
b = Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m).

h = Tebal pelat (m).

l = Panjang batang pengikat (mm).

ϕ = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

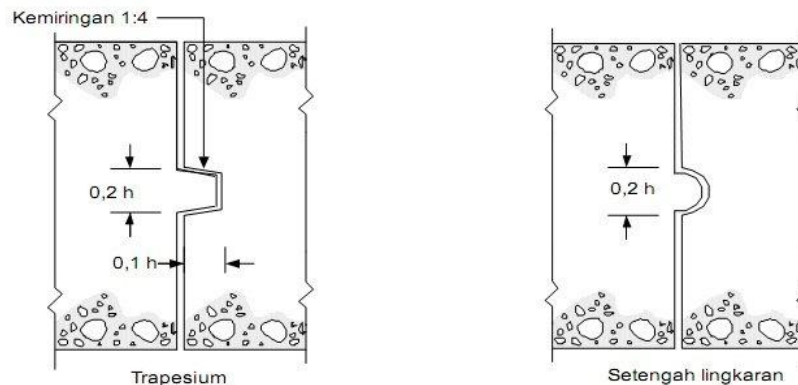
Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm. Tipikal sambungan memanjang diperlihatkan pada Gambar 2.32 berikut ini :



Gambar 2.32 Tipikal Sambungan Memanjang

- Sambungan pelaksanaan memanjang

Bentuk dan ukuran penguncian dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.33 berikut ini :



Gambar 2.33 Ukuran Standar Penguncian Sambungan Memanjang

Sebelum penghamparan pelat beton di sebelahnya, permukaan sambungan pelaksanaan harus dicat dengan aspal atau kapur tembok untuk mencegah terjadinya ikatan beton lama dengan yang baru.

- Sambungan susut memanjang

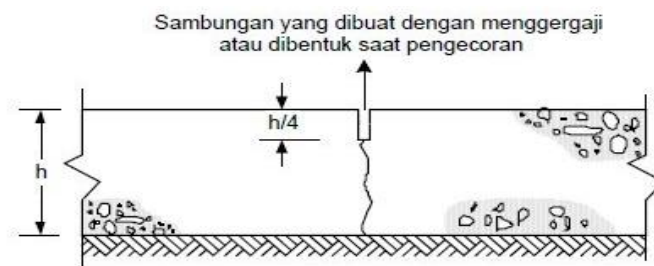
Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan salah satu dari dua cara ini, yaitu menggergaji atau membentuk pada saat beton masih plastis dengan kedalaman sepertiga dari tebal pelat.

2) Sambungan susut dan sambungan pelaksanaan melintang

Ujung sambungan ini harus tegak lurus terhadap sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasan. Untuk mengurangi beban dinamis, sambungan melintang harus dipasang dengan kemiringan 1 : 10 searah perputaran jarum jam.

- Sambungan susut melintang

Kedalaman sambungan kurang lebih mencapai seperempat dari tebal pelat untuk perkerasan dengan lapis pondasi berbutir atau sepertiga dari tebal pelat untuk lapis pondasi stabilisasi semen sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 2.34 dan Gambar 2.35 sebagai berikut ini :



Gambar 2.34 Sambungan Susut Melintang tanpa Ruji



Gambar 2.35 Sambungan Susut Melintang dengan Ruji

Jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4-5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8-15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan. Sambungan ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm, jarak antara ruji 30 cm, lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas saat pelat beton menyusut. Diameter ruji tergantung pada Tebal pelat beton sebagaimana terlihat pada tabel 2.27, yaitu :

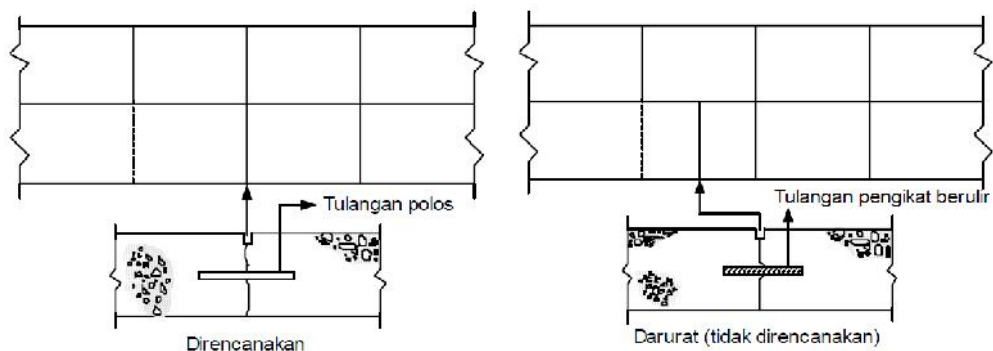
Tabel 2.27 Diameter Ruji

No.	Tebal pelat beton, h (mm)	Diameter ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36

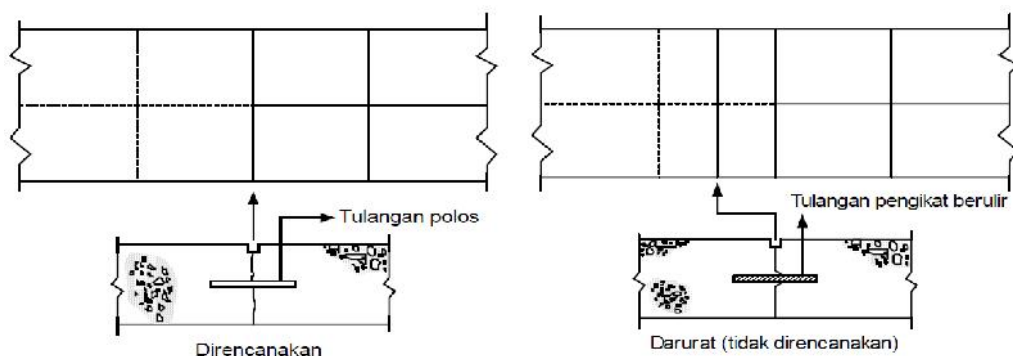
(Sumber : Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003)

- Sambungan pelaksanaan melintang

Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan pada sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan di tengah tebal pelat. Tipikal sambungan pelaksanaan melintang diperlihatkan pada Gambar 2.36 dan Gambar 2.37. Sambungan pelaksanaan tersebut di atas harus dilengkapi dengan batang pengikat berdiameter 16 mm, panjang 69 cm dan jarak 60 cm, untuk ketebalan pelat sampai 17 cm. Untuk ketebalan lebih dari 17 cm, ukuran batang pengikat berdiameter 20 mm, panjang 84 cm dan jarak 60 cm.



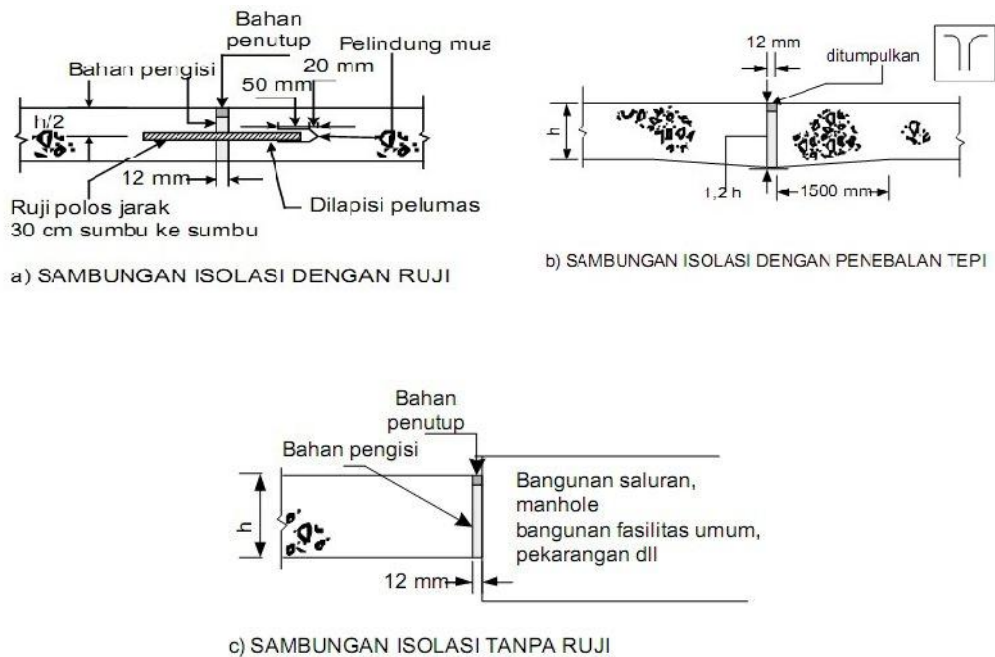
Gambar 2.36 Sambungan Pelaksanaan yang Direncanakan dan yang Tidak Direncanakan untuk Pengecoran Per Lajur



Gambar 2.37 Sambungan Pelaksanaan yang Direncanakan dan yang Tidak Direncanakan untuk Pengecoran Seluruh Lebar Perkerasan

3) Sambungan isolasi

Sambungan isolasi harus dilengkapi dengan bahan penutup (*joint sealer*) setebal 5–7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi (*joint filler*) sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 2.38.



Gambar 2.38 Sambungan Isolasi

Semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*), kecuali pada sambungan isolasi terlebih dahulu diberi bahan pengisi (*joint filler*).

2.6 Bangunan Pelengkap Jalan

Untuk memenuhi persyaratan kelancaran lalu lintas dan menghindari kerusakan akibat air yang berdampak pada kenyamanan pengguna jalan, diperlukan adanya bangunan pelengkap jalan. Dalam tugas akhir ini bangunan pelengkap jalan yang akan dibahas yaitu :

2.6.1 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 :

1) 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 :

a. 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.

b. Saluran pembuang

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

c. Saluran penangkap

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

d. 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.

2) 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.

2.6.2 Persyaratan teknis perencanaan drainase

Menurut Perencanaan Sistem Drainase Jalan, 2006 hal-hal yang perlu diperhatikan pada perencanaan drainase permukaan diuraikan di bawah ini:

- 1) Plot rute jalan di peta 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 pola aliran.
- 2) 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, dan lain-lain).
 - c. Langkah coba-coba sehingga dimensi saluran paling ekonomis.
- 3) 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 (A_1), luas bahu jalan (A_2) dan luas daerah di sekitar (A_3).
 - 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 (l_1) lebar bahu jalan (l_2) dan daerah sekitar (l_3) 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 (A_3).

4) 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 tinggi (sifat lulus air) atau tanah dengan tingkat erosi permukaan. Secara visual akan nampak pada daerah yang menunjukkan alur-alur pada permukaan.

5) Faktor limpasan (f_k)

- 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 (f_k) disesuaikan dengan kondisi permukaan tanah, seperti pada Tabel 2.28.

Tabel 2.28 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 :

$$C = \frac{C_1 . A_1 + C_2 . A_2 + C_3 . A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \dots\dots\dots (2.68)$$

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

f_k = Faktor limpasan sesuai guna lahan

6) Waktu Konsetrasi (T_c)

Waktu terpanjang menyalurkan aliran yang dibutuhkan untuk seluruh daerah layanan dalam menyalurkan air secara simultan (*run off*) setelah melewati titik-titik tertentu. Waktu konsentrasi untuk saluran terbuka dihitung dengan rumus berikut :

$$T_c = t_1 + t_2 \text{ atau } T_c = t_o + t_d \dots\dots\dots (2.69)$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times l_o \times \frac{nd}{\sqrt{is}} \right) \dots\dots\dots (2.70)$$

$$t_2 = \frac{L}{60 \times V} \dots\dots\dots (2.71)$$

dimana :

T_c = Waktu konsentrasi (menit)

t_1/ t_o = Waktu untuk mencapai awal saluran dari titik terjauh (menit)

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

l_o = Jarak titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

L = Panjang saluran (m)

nd = Koefisien hambatan

is = Kemiringan saluran memanjang

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

7) 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 Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yaitu stasiun curah hujan yang tedetak 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. 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.

8) Debit aliran air (Q)

Untuk menghitung debit aliran air (Q) menggunakan rumus:

$$Q = \frac{1}{3,6} C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.72)$$

dimana :

Q = Debit aliran air (m³/detik)

C = Koefisien pengaliran rata-rata dari C₁, C₂, C₃

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = Luas daerah layanan (km) terdiri atas A₁, A₂,A₃

2.6.3 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.

1) Saluran samping

Bahan bangunan saluran ditentukan oleh besarnya kecepatan rencana aliran air yang mengalir di saluran samping jalan tersebut. Adapun aliran yang diizinkan terdapat pada Tabel 2.29 yaitu :

Tabel 2.29 Kecepatan Aliran Air yang Dizinkan

No	Jenis Material	V izin (m/dt)
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,50
3	Lanau aluvial	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)

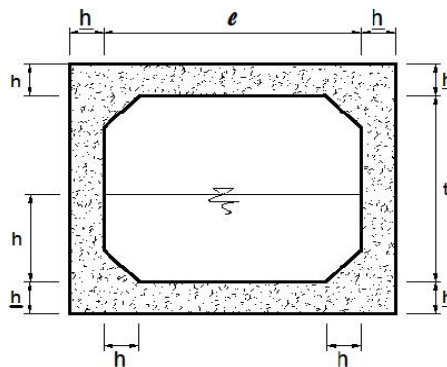
2) Gorong-gorong

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. dalam perencanaan dan pelaksanaan gorong-gorong dianjurkan berpedoman pada standarisasi bertujuan untuk mempermudah pekerjaan, sehingga tercapainya kelancaran pembangunan gorong-gorong.

a. Dimensi gorong-gorong persegi beton bertulang

Konstruksi gorong-gorong persegi beton bertulang ini direncanakan dapat menampung berbagai variasi lebar perkerasan jalan, sehingga pada prinsipnya panjang gorong-gorong persegi adalah bebas, tetapi pada perhitungan volume dan berat besi tulangan diambil terbatas dengan lebar perkerasan jalan yang umum yaitu 3,5 ; 4,5 ; 6 dan 7 meter. Dimensi gorong-gorong persegi beton bertulang direncanakan seperti terlihat pada Gambar 2.39 dan tabel sebagai berikut :



Gambar 2.39 Sketsa dengan Bentuk Persegi

2.6.4 Perencanaan dan pembebanan pada gorong-gorong

Bangunan gorong-gorong persegi (*box culvert*) (Sosrodarsono, Suyono dan Nakazawa, Kazuto : 2005, Pradnya Paramita)

a. Dasar perencanaan

Diperlukan pemeriksaan terhadap gorong-gorong persegi ditinjau dari segi pembebanan yaitu gaya-gaya samping dan gaya arah memanjang. Tetapi bila panjang dari gorong-gorong kurang dari 15 m, pemeriksaan terhadap gaya-gaya arah memanjang boleh diabaikan.

Untuk perencanaan gorong-gorong karena gaya-gaya dari samping dimensi dari pada bentuk luar dipergunakan dalam perhitungan beban, sedangkan ukuran dari sumbu pusat di tiap-tiap bagian dipergunakan dalam perhitungan tegangan. Kemudian untuk analisa “kerangka kaku” digunakan metode “*Slope Deflection*”

b. Beban yang dipergunakan untuk perencanaan

Beban yang bekerja pada gorong-gorong persegi (*Box Culvert*) adalah tekanan tanah vertikal yang berasal dari tanah diatas gorong-gorong, tekanan tanah mendatar yang diberikan oleh tinggi timbunan disamping gorong-gorong, beban hidup diatas gorong-gorong dan gaya-gaya reaksi.

Pada gorong-gorong persegi yang biasa, perubahan-perubahan kombinasi pembebanan tergantung dari pada tinggi tanah penutup di atas gorong-gorong, apakah lebih tinggi atau lebih rendah dari 3,50 meter.

Bila tebal tanah penutup kurang dari 3,50 meter, perhitungan dibuat dalam 2 kombinasi dan bila momen lentur dan gaya geser pada tiap-tiap titik telah didapat dari kedua perhitungan kombinasi tersebut, maka salah satu hasil yang lebih besar yang dipakai untuk perencanaan penampang.

Tanda-tanda/notasi pada gambar berarti sebagai berikut :

Pvd1 : Tekanan tanah vertikal, yang bekerja pada bidang permukaan atas gorong-gorong (ton/m^2)

Phd : Tekanan tanah mendatar bekerja pada bagian samping gorong-gorong (ton/m^2)

Pvl : Beban vertikal karena beban hidup, dihitung dengan mengambil berikut yang sesuai dengan ketebalan tanah penutup:

- Bila tebal tanah penutup < 3,50 meter

$$Pvl = \frac{p_{i+i}}{w_1} (\text{ton/m}^2) \dots\dots\dots (2.73)$$

- Bila tebal tanah penutup > 3,50 meter

Muatan merata diatas gorong-gorong (Pvl) = $1,0 \text{ ton/m}^2$

- Ko : Koefisien tekanan tanah dalam keadaan statis, dipengaruhi oleh tekanan tanah mendatar $1,0 \text{ ton/m}^2 \times K_o$, yang diakibatkan oleh beban muatan.
- Pv2 : Reaksi tanah

Adapun ukuran dimensi gorong-gorong tipe *single* dapat dilihat pada Tabel 2.30 berikut ini :

Tabel 2.30 Ukuran Dimensi Gorong-gorong

Tipe <i>Single</i> (cm)												
L	100	100	100	200	200	200	200	200	300	300	300	300
t	100	150	200	100	150	200	250	300	150	200	250	300
h	16	17	18	22	23	25	26	28	28	30	30	30

(Sumber : Standar Gorong-gorong persegi tipe single, SNI PU)

2.6.5 Desain gorong-gorong

Adapun beberapa rumus yang digunakan untuk perencanaan desain gorong-gorong ialah sebagai berikut :

Rumus Bazin :

$$C = \frac{157,6}{1,81 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \dots\dots\dots (2.74)$$

Rumus Chezy :

$$V = C \cdot \sqrt{0,281 \cdot I} \dots\dots\dots (2.75)$$

dimana :

M = Koefisien bazin

C = Koefisien kekasaran saluran (koef Chezy/faktor ketahanan)

Tabel 2.31 Nilai Reduce Variate (Yt)

Periode Ulang	Reduce Variate
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 : Soemarto, 1999)

Tabel 2.32 Koefisien Bazin

No	Permukaan Saluran	m
1	Semen yang sangat halus atau kayu yang diketam	0,11
2	Kayu tak diketam, beton atau bata	0,21
3	Papan, batu	0,29
4	Pasangan batu pecah	0,83
5	Saluran tanah dalam keadaan baik	1,54
6	Saluran tanah dalam keadaan rata-rata	2,36
7	Saluran tanah dalam keadaan kasar	3,17

Tabel 2.33 Metode Gumbel - Nilai *Reduced Standard Deviation* (S_n)

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	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
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	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2066
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

(Sumber : Soemarto, 1999)

Tabel 2.34 Metode Gumbel - Nilai *Reduced Mean* (Y_n)

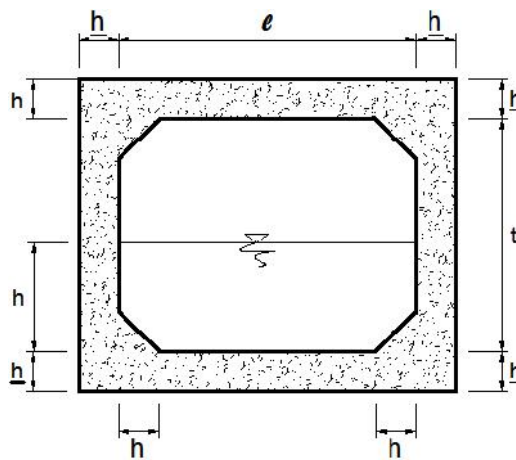
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,8396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	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	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

(Sumber : Soemarto, 1999)

Tabel 2.35 Angka Kekasaran Manning (n)

No	Tipe saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
SALURAN BUATAN					
1.	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
2.	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
3.	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0,020	0,030	0,033	0,035
4.	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,045	0,045
5.	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
6.	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,033	0,035
7.	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,020	0,025	0,028	0,030
SALURAN ALAM					
8.	Bersih, lurus, tidak berpasir dan tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
9.	Seperti no.8 tapi ada timbunan atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10.	Melengkung, bersih, berlubang dan ber dinding pasir	0,030	0,035	0,040	0,045
11.	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12.	Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
13.	Seperti no.11, sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,060
14.	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15.	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
SALURAN BUATAN, BETON, ATAU BATU KALI					
16.	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian	0,025	0,030	0,033	0,035
17.	Seperti no.16, tapi dengan penyelesaian	0,017	0,020	0,025	0,030
18.	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19.	Saluran beton halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20.	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21.	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2006)

1) Gorong-gorong bentuk persegi (*box culvert*) :

Gambar 2.40 Sketsa dengan Bentuk Persegi

$$A = Q / V \dots\dots\dots (2.76)$$

$$A = l \times h \dots\dots\dots (2.77)$$

$$I = \frac{R_t}{24} \times \left[\frac{24}{tc} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (2.78)$$

$$R = \frac{Adesain}{T} \dots\dots\dots (2.79)$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots (2.80)$$

$$Q = V \cdot Adesain \dots\dots\dots (2.81)$$

Tinggi Jagaan :

$$W = \sqrt{0,5 \times h} \dots\dots\dots (2.82)$$

dimana :

A = Luas penampang melintang (m²)

l = Lebar saluran (m)

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

W = Tinggi jagaan

h = Tinggi muka air (m)

h = Tebal penampang saluran (cm)

R = Kedalaman hidrolis (m)

Q = Debit aliran air (m³/detik)

I = Intensitas curah hujan

2.7 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 (Husen, 2008).

2.7.1 Daftar harga satuan bahan dan upah

Daftar satuan bahan dan upah adalah harga yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga, tempat proyek ini berada karena tidak setiap daerah memiliki standar yang sama. Penggunaan daftar upah ini juga merupakan pedoman untuk menghitung rancangan anggaran biaya pekerjaan dan upah yang dipakai kontraktor (Nabar, 1998).

2.7.2 Analisa satuan harga pekerjaan

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

1) Analisa harga satuan pekerjaan

Analisa harga satuan pekerjaan adalah perhitungan-perhitungan biaya pada setiap pekerjaan yang ada pada suatu proyek. Dalam menghitung analisa satuan pekerjaan, sangatlah erat hubungan dengan daftar harga satuan bahan dan upah.

2) Analisa satuan alat berat

Perhitungan analisa satuan alat berat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu:

- a. Pendekatan *on the job*, yaitu pendekatan yang dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perhitungan produksi berdasarkan data yang diperoleh dari data hasil lapangan dan data ini biasanya didapat dari pengamatan observasi lapangan.
- b. Pendekatan *off the job*, yaitu pendekatan yang dipakai untuk memperoleh hasil perhitungan berdasarkan standar yang biasanya ditetapkan oleh pabrik pembuat.

3) Perhitungan 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.

4) Perhitungan rencana anggaran biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut.

Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda dimasing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

Dalam menyusun anggaran biaya dapat dilakukan dengan 2 cara sebagai berikut :

a. Anggaran biaya kasar (taksiran)

Sebagai pedoman dalam menyusun anggaran biaya kasar digunakan harga satuan tiap meter persegi (m^2) luas lantai.

b. Anggaran biaya teliti

Yang dimaksud dengan anggaran biaya teliti, ialah anggaran biaya bangunan atau proyek yang dihitung dengan teliti dan cermat, sesuai dengan ketentuan dan syarat-syarat penyusunan anggaran biaya. Taksiran haruslah berdasarkan harga yang wajar, dan tidak terlalu jauh berbeda dengan harga yang dihitung secara teliti.

Sedangkan penyusunan anggaran biaya yang dihitung dengan teliti, didasarkan atau didukung oleh :

- Bestek

Gunanya untuk menentukan spesifikasi bahan dan syarat-syarat

- Gambar bestek

Gunanya untuk menentukan/menghitung besarnya masing-masing volume pekerjaan.

- Harga satuan pekerjaan

Didapat dari harga satuan bahan dan harga satuan upah berdasarkan perhitungan analisa BOW.

2.7.3 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 (Nabar, 1998).

Adapun langkah dasar perhitungan produksi kerja yaitu :

- 1) 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.

- 2) 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.

- 3) Menghitung produksi kerja kasar (PKK)

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

- 4) Menghitung produksi kerja aktual (PKA)

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

2.7.4 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 :

1) Biaya kepemilikan

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

2) 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.

2.7.5 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 (Ervianto, 2005).

2.7.6 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 (Badri, 1997).

Adapun jenis-jenis *time schedule* atau rencana kerja :

1) Bagan balok (*Barchart*)

Diagram barchart mempunyai hubungan yang erat dengan metode *network planning*. *Barchart* ditunjukkan dengan diagram batang yang dapat menunjukkan

lamanya waktu pelaksanaan. Di samping itu juga dapat menunjukkan lamanya pemakaian alat dan bahan-bahan yang diperlukan serta pengaturan hal-hal tersebut tidak saling mengganggu pelaksanaan pekerjaan.

2) 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.

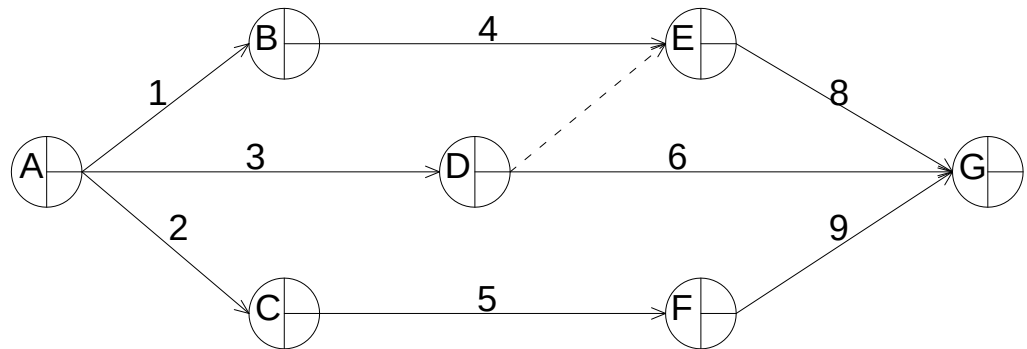
3) Jaringan Kerja/*Network planning*

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 ke tempat lain.

Adapun kegunaan dari *network planning* ini adalah :

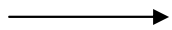
- a. Merencanakan, *scheduling* dan mengawasi proyek secara logis
- b. Memikirkan secara menyeluruh, tetapi juga secara mendetail dari proyek
- c. Mendokumenkan dan mengkomunikasikan secara *scheduling* (waktu) dan alternatif-alternatif lain penyelesaiannya proyek dengan tambahan waktu
- d. Mengawasi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

Gambar *network planning* dapat dilihat pada Gambar 2.41 di bawah ini :

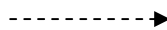


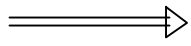
Gambar 2.41 Sketsa *Network Planning*

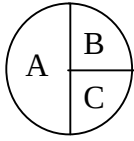
Adapun simbol yang sering digunakan dalam *network planning* adalah :

 *Arrow* Bentuk ini merupakan anak panah yang artinya aktivitas/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 aktivitas semu adalah aktivitas yang tidak menekan waktu. Aktivitas semu hanya boleh dipakai bila menggambarkan hubungan-hubungan aktivitas 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 (*Latest Event Time*), waktu yang paling lambat, yaitu mengurangi durasi dari kejadian yang dimulai dari kegiatan paling akhir dilanjutkan kegiatan sebelumnya dengan mengambil angka terkecil.