

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian jalan

Berdasarkan UU RI No 22 Tahun 2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan yang diundangkan setelah UU No 38 mendefinisikan : Jalan adalah seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi Lalu lintas umum, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel dan jalan kabel.

Jalan umum adalah jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum. Pada dasarnya Penyelenggara jalan umum wajib mengusahakan agar jalan dapat digunakan sebesar-besarnya untuk kemakmuran rakyat, terutama untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi nasional, dengan mengusahakan agar biaya umum perjalanan menjadi serendah-rendahnya. (PPRI 34/2006, pasal 4) Sesuai dengan pasal 4 tersebut terlihat bahwa penyelenggara jalan ini bertujuan untuk meningkatkan kemakmuran rakyat dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi nasional, tapi saat ini peningkatan kemakmuran rakyat dan pertumbuhan ekonomi nasional dirasa akan terhambat karena saat ini banyak terjadi kerusakan di jalan raya dan jika ini dibiarkan berlarut-larut tidak dapat dipungkiri lagi bahwa kerusakan ini akan menghambat peningkatan-peningkatan tersebut.

Jalan raya ialah jalan utama yang menghubungkan satu kawasan dengan kawasan yang lain. Biasanya jalan besar ini mempunyai ciri-ciri berikut:

- 1) Digunakan untuk kendaraan bermotor.
- 2) Digunakan untuk masyarakat umum.
- 3) Dibiayai oleh perusahaan negara.
- 4) Penggunaannya diatur oleh undang-undang pengangkutan.

2.2 Klasifikasi Jalan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan dijelaskan bahwa penyelenggaraan jalan yang konseptual dan menyeluruh perlu

melihat jalan sebagai suatu kesatuan sistem jaringan jalan yang mengikat dan menghubungkan pusat-pusat kegiatan. Dalam hubungan ini dikenal sistem jaringan jalan primer dan sistem jaringan jalan sekunder. Pada setiap sistem jaringan jalan diadakan pengelompokkan jalan menurut fungsi, status, dan kelas jalan. Pengelompokkan jalan berdasarkan status memberikan kewenangan kepada pemerintah untuk menyelenggarakan jalan yang mempunyai layanan nasional dan pemerintah daerah untuk menyelenggarakan jalan di wilayahnya sesuai dengan prinsip-prinsip otonomi daerah.

2.2.1 Klasifikasi Jalan Menurut Sistem Jaringan Jalan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No.34 Tahun 2006 Tentang Jalan, sistem jaringan dan kegiatan yang dilakukan pada sebuah jalan, maka dapat dibedakan menjadi beberapa jenis sebagai berikut:

1. Jalan Primer

Jalan primer adalah jenis jaringan jalan dengan peranan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional, dengan menghubungkan semua simpul jasa distribusi yang berwujud pusat-pusat kegiatan. Jalan primer melayani pergerakan antar pusat kegiatan dimana pusat kegiatan terdiri atas tiga macam yaitu sebagai berikut:

- a. Pusat Kegiatan Nasional (BKN)
- b. Pusat Kegiatan Wilayah (PKW)
- c. Pusat Kegiatan Lokal (PKL)

2. Jalan Sekunder

Jalan sekunder adalah jalan yang melayani pergerakan untuk area bukan pusat kegiatan seperti jalan di kawasan perkotaan. Jalan sekunder juga biasanya menjadi cabang dan perpanjangan dari jalan primer yang melayani kegiatan lain dalam sistem urban. Jalan sekunder menghubungkan zona antar kawasan di dalam perkotaan yang diatur secara berjenjang sesuai dengan fungsi kawasan yang dihubungkannya.

2.2.2 Klasifikasi Jalan Menurut Fungsi Jalan

Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/TBM/1997 fungsi jalan, maka jalan dibedakan menjadi beberapa fungsi sebagai berikut:

1. Jalan Arteri

Jalan arteri adalah jalan umum dengan fungsi untuk melayani angkutan utama yang menempuh perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-ratanya tinggi, serta jalan masuk atau aksesnya dibatasi jumlahnya secara berdaya guna. Dari peran dan fungsinya ini, jalan arteri harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Kecepatan rencana atau kendaraan di atasnya lebih dari 60 km/jam.
- b. Lebar badan jalan melebihi 8 meter.
- c. Kapasitas jalan harus lebih besar dibandingkan volume lalu lintas rata-rata.
- d. Kecepatan rencana dan kapasitas jalan dicapai dengan membatasi jalan masuk secara efisien.
- e. Lalu lintas dan kegiatan lokal tidak boleh mengganggu lalu lintas jalan.

2. Jalan Kolektor

Jalan kolektor adalah jalan umum dengan fungsi untuk melayani angkutan pengumpul atau pembagi. Jalan kolektor mempunyai ciri yaitu kendaraan yang melintas menempuh jarak sedang, kecepatannya sedang dengan jumlah jalan masuk yang dibatasi. Melihat dari fungsi dan perannya maka jalan kolektor harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Kecepatan rencana atau kendaraan di atasnya lebih dari 40 km/jam.
- b. Lebar badan jalan harus lebih dari 7 meter.
- c. Volume lalu lintas rata-rata tidak boleh lebih besar dari kapasitas jalan, maksimal harus sama.
- d. Kecepatan rencana dan kapasitas jalan tidak boleh terganggu dengan cara membatasi jalan masuk secara efisien.
- e. Kegiatan dan lalu lintas tidak boleh mengganggu lalu lintas jalan.

3. Jalan Lokal

Jalan lokal adalah jalan umum dengan fungsi untuk melayani angkutan lokal atau setempat. Ciri jalan lokal adalah kendaraan yang melintas menempuh jarak dekat, kecepatannya rendah, dengan jumlah jalan masuk yang tidak dibatasi. Dari segi peran dan fungsinya, jalan lokal harus memenuhi syarat seperti :

- a. Tidak terputus, apabila memasuki wilayah desa.
- b. Lebar badan jalan lokal lebih dari 6 meter.
- c. Kecepatan rencana atau kendaraan diatas 20 km/jam.

4. Jalan Lingkungan

Jalan lingkungan adalah jalan umum dengan fungsi untuk melayani angkutan setempat atau lingkungan dengan perjalanan jarak dekat serta kecepatannya yang rendah.

2.2.3 Klasifikasi Jalan Menurut Kelas Jalan

Kelas jalan diatur dalam Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Jalan dikelompokkan dalam beberapa kelas jalan berdasarkan:

1. Fungsi dan intensitas lalu lintas guna kepentingan pengaturan penggunaan jalan dan kelancaran lalu lintas angkutan jalan.
2. Daya dukung untuk menerima muatan sumbu terberat dan dimensi kendaraan bermotor.

Pengelompokkan jalan menurut kelas jalan adalah sebagai berikut:

1. Jalan kelas I

Jalan kelas I adalah jalan arteri dan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran Panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 milimeter dan muatan sumbu terberat 10 ton.

2. Jalan kelas II

Jalan kelas II adalah jalan arteri, kolektor, lokal dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500

milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 12.000 milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 milimeter dan muatan sumbu terberat 8 ton.

3. Jalan kelas III

Jalan kelas III adalah jalan arteri, kolektor, lokal dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.100 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 9.000 milimeter, ukuran paling tinggi 3.500 milimeter dan muatan sumbu terberat 8 ton.

4. Jalan kelas khusus

Jalan kelas khusus adalah jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 milimeter dan muatan sumbu terberat lebih dari 10 ton.

2.2.4 Klasifikasi Jalan Menurut Wewenang

Tujuan pengklasifikasian menurut wewenang adalah untuk memastikan kepastian hukum penyelenggara jalan apakah dibawah wewenang pemerintah daerah atau pemerintah pusat. Klasifikasi jalan menurut wewenang pembinaannya sesuai PP No.26/1985 adalah sebagai berikut:

1. Jalan Nasional

Jalan nasional adalah jalan kolektor dan jalan arteri yang tergabung dalam sistem jaringan jalan primer. Fungsi jalan nasional ini adalah untuk menghubungkan antar ibukota provinsi, jalan tol maupun jalan strategis berskala nasional.

2. Jalan Provinsi

Jalan provinsi adalah jalan kolektor yang ada dalam sistem jalan primer. Jalan provinsi mempunyai fungsi sebagai penghubung ibukota provinsi dengan ibukota kota/kabupaten, antar ibukota kabupaten/kota, hingga jalan strategis tingkat provinsi.

3. Jalan Kabupaten

Jalan kabupaten adalah jalan lokal yang tergabung dalam sistem jaringan jalan primer. Jalan kabupaten berfungsi sebagai penghubung

ibukota kabupaten dengan kecamatan, antar kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan daerah / lokal, hingga jalan umum dan jalan strategis tingkat kabupaten.

4. Jalan Kota

Jalan kota adalah jalan umum yang terdapat dalam sistem jaringan jalan sekunder. Jalan kota berfungsi sebagai penghubung antar pusat pelayanan dalam kota, pusat pelayanan dengan persil, antar persil, hingga antar pusat pemukiman dalam kota.

5. Jalan Desa

Jalan desa adalah jalan umum dengan fungsi sebagai penghubung kawasan dan antar pemukiman yang ada di desa, hingga jalan lingkungan.

2.2.5 Klasifikasi Jalan Menurut Medan Topografi

Berdasarkan kondisi sebagian besar kelandaian-kemiringan medan yang di ukur tegak lurus terhadap garis kontur, maka untuk perencanaan geometrik medan jalan diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Medan datar, kemiringan $<3\%$.
2. Medan perbukitan, kemiringan medan $3 - 25\%$.
3. Medan pegunungan, kemiringan medan $>25\%$.

2.3 Perencanaan Geometrik Jalan

Perencanaan geometrik jalan adalah perencanaan rute dari suatu ruas jalan secara lengkap, meliputi beberapa elemen yang disesuaikan dengan kelengkapan dan data dasar yang ada atau tersedia dari hasil survey lapangan dan telah di analisis serta mengacu pada ketentuan yang berlaku (L. Hendrasin Shirley, 2000).

Perencanaan geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang dititik beratkan pada perencanaan bentuk fisik jalan sehingga dapat memberikan pelayanan yang optimum pada arus lalu lintas. Secara umum perencanaan geometrik jalan merupakan perencanaan bagian-bagian jalan seperti lebar badan jalan, bahu jalan, tikungan, jarak panjang, kelandaian, kebebasan samping, lengkung vertikal, dan kombinasi antara bagian-bagian tersebut.

Tujuan dari perencanaan geometrik jalan adalah menghasilkan infrastruktur yang aman, efisiensi pelayanan arus lalu lintas dan memaksimalkan rasio tingkat penggunaan biaya pelaksanaan ruang. Yang menjadi dasar dari perencanaan geometrik adalah sifat, gerakan, ukuran kendaraan, karakteristik arus lalu lintas dan sifat pengemudi dalam mengendalikan gerakan kendaraannya. Hal-hal tersebut haruslah menjadi bahan pertimbangan perencanaan sehingga dihasilkan bentuk dan ukuran jalan, serta ruang gerak kendaraan yang memenuhi tingkat keamanan dan kenyamanan yang diharapkan (Sukirman Silvia, 1994).

2.3.1 Penentuan Trase

Penentuan lokasi dan perencanaan suatu trase jalan sampai pada batas-batas tertentu sangat dipengaruhi oleh keadaan fisik dan topografi serta peruntukan lahan yang dilaluinya. Keadaan tanah dasar dapat mempengaruhi lokasi dan bentuk trase dari suatu jalan, misalnya keadaan tanah dasar yang kurang baik dapat memaksa perencana untuk memindahkan trase jalan atau melakukan penimbunan yang tinggi, walaupun dalam kondisi tertentu dapat diatasi dengan cara tata alir drainase yang baik (Ir. Hamirhan Saodang, 2010:47).

Keadaan iklim juga dapat mempengaruhi penetapan lokasi serta bentuk geometrik, misalnya pada daerah yang banyak hujan memaksa perencana untuk menggunakan lereng melintang perkerasan yang lebih besar daripada keadaan normal, juga dapat memaksa pelaksana membuat alinyemen yang jauh lebih tinggi daripada permukaan tanah asli. Dalam kondisi normal, penentuan trase jalan sekaligus pemetaannya dilapangan, tidak terlalu banyak memerlukan perbaikan tanah (*soil improvement*), sehingga hanya terbatas pada pekerjaan galian timbun (*cut and fill*) saja.

Permen PU No.19 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan, penentuan pemilihan trase dipertimbangkan melalui:

- a. Trase jalan sebaiknya dibuat lurus, pendek, sedikit tikungan, dan kelandaiannya seminim mungkin.
- b. Trase jalan menjauhi Daerah Aliran Sungai (DAS).

- c. Trase jalan mempertimbangkan besarnya volume galian dan timbunan.
- d. Pemilihan lokasi trase pada tanah yang mempunyai nilai CBR yang memenuhi syarat, sehingga keberadaan tanah tersebut bisa dipakai untuk pekerjaan timbunan pada lokasi trase jalan yang akan direncanakan.

2.3.2 Data Peta Topografi

Topografi merupakan faktor penting dalam menentukan lokasi jalan dan pada umumnya mempengaruhi alinyemen sebagai standar perencanaan geometrik. Untuk memperkecil biaya pembangunan jalan maka dalam perencanaan geometrik perlu sekali disesuaikan dengan keadaan topografi.

Pengukuran peta topografi digunakan untuk mengumpulkan data topografi yang cukup guna menentukan kecepatan sesuai dengan daerahnya. Pengukuran peta topografi dilakukan pada sepanjang trase jalan rencana dengan mengadakan tambahan dan pengukuran detail pada tempat yang memerlukan alinyemen 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 sebagai berikut :

- a. Pekerjaan perintisan untuk pengukuran, dimana secara garis besar ditentukan kemungkinan rute alternatif dan trase jalan.
- b. Kegiatan pengukuran.

Kegiatan pengukuran meliputi :

1. Penentuan titik kontrol vertikal dan horizontal yang dipasang setiap interval 100 meter pada rencana as jalan.
2. Pengukuran situasi selebar kiri dan kanan dari jalan yang dimaksud dan disebutkan serta tata guna tanah disekitar trase jalan.
3. Pengukuran penampang melintang (*Cross Section*) dan penampang memanjang.
4. Perhitungan perencanaan desain jalan dan penggambaran peta topografi berdasarkan titik koordinat kontrol diatas.

Berdasarkan besarnya lereng melintang dengan arah kurang lebih tegak lurus sumbu jalan raya jenis medan dibagi menjadi tiga golongan umum yaitu datar, perbukitan dan gunung.

2.3.3 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas merupakan dasar informasi yang dibutuhkan untuk perencanaan dan desain suatu jalan, karena kapasitas jalan yang akan direncanakan tergantung dari komposisi lalu lintas yang akan melalui jalan tersebut. Analisis data lalu lintas pada intinya dilakukan untuk menentukan kapasitas jalan, akan tetapi harus dilakukan bersamaan dengan perencanaan geometrik lainnya, karena saling memiliki keterkaitan satu dengan yang lainnya.

Data lalu lintas didapatkan dengan melakukan pendataan kendaraan yang melintasi suatu ruas jalan, sehingga dari hasil pendataan ini kita dapat mengetahui volume lalu lintas yang melintasi jalan tersebut, namun data volume lalu lintas yang diperoleh dalam satuan kendaraan per jam (kend/jam).

Volume lalu lintas dinyatakan dalam Satuan Mobil Penumpang (smp), volume lalu lintas dalam smp ini menunjukkan besarnya jumlah lalu lintas harian rata-rata (LHR) yang melintasi jalan tersebut. Dari lalu lintas harian rata-rata yang didapatkan kita dapat merencanakan tebal perkerasan.

Untuk perencanaan teknik jalan baru, survey lalu lintas tidak dapat dilakukan karena belum ada jalan. Akan tetapi untuk menentukan dimensi jalan tersebut diperlukan data jumlah kendaraan. Untuk itu hal yang harus dilakukan sebagai berikut :

- a. Survei perhitungan lalu lintas dilakukan pada jalan yang sudah ada, yang diperkirakan mempunyai bentuk, kondisi dan keadaan komposisi lalu lintas akan serupa dengan jalan yang direncanakan.
- b. Survei asal dan tujuan yang dilakukan pada lokasi yang dianggap tepat dengan cara melakukan wawancara kepada pengguna jalan untuk mendapatkan gambaran rencana jumlah dan komposisi kendaraan pada jalan yang direncanakan. (L.Hendarsin Shirley, 2000).

2.4 Parameter Perencanaan Geometrik Jalan

Dalam perencanaan geometrik jalan terdapat beberapa parameter perencanaan yang harus dipahami seperti kendaraan rencana, kecepatan rencana, volume dan kapasitas jalan, dan tingkat pelayanan yang diberikan oleh jalan tersebut. Parameter-parameter ini merupakan penentu tingkat kenyamanan dan keamanan yang dihasilkan oleh suatu bentuk geometrik jalan. Berikut ini adalah parameter yang digunakan dalam perencanaan geometrik jalan, yaitu :

2.4.1 Kendaraan Rencana

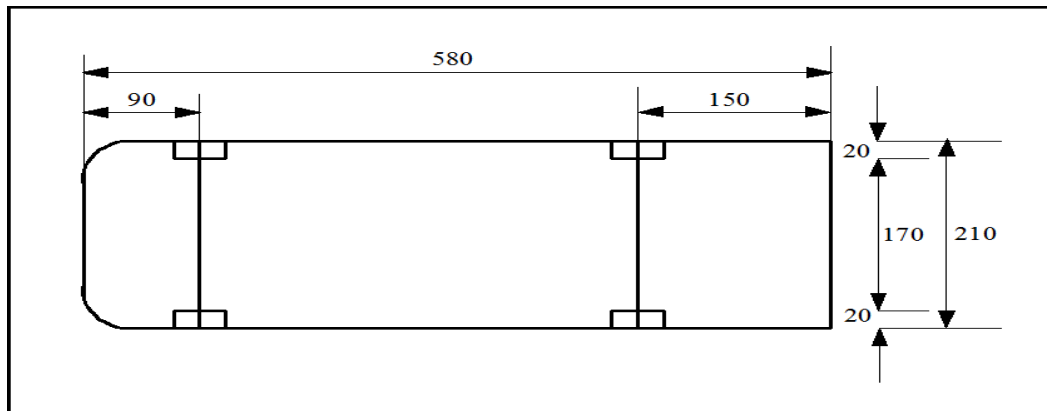
Kendaraan rencana adalah kendaraan yang dimensi dan radius putarnya dipakai sebagai acuan dalam perencanaan geometrik. Kendaraan rencana dikelompokkan dalam 3 (tiga) kategori, yaitu :

1. Kendaraan ringan/kecil, yaitu kendaraan yang mempunyai 2 as dengan empat roda dengan jarak as 2,00-3,00 meter meliputi: penumpang, mikrobus, pick up, dan truk kecil sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.
2. Kendaraan Sedang, yaitu kendaraan yang mempunyai dua as gandar, dengan jarak as 3,5-5,00 meter meliputi: bus kecil, truk dua as dengan enam roda.
3. Kendaraan Berat/Besar, yaitu bus dengan dua/tiga gandar, dengan jarak as 5,00-6,00 meter.
4. Truk Besar, yaitu truk dengan tiga gandar dan truk kombinasi tiga, dengan jarak gandar (gandar pertama ke gandar kedua) < 3,50 meter.
5. Sepeda Motor, yaitu kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda meliputi: sepeda motor dan kendaraan roda tiga.

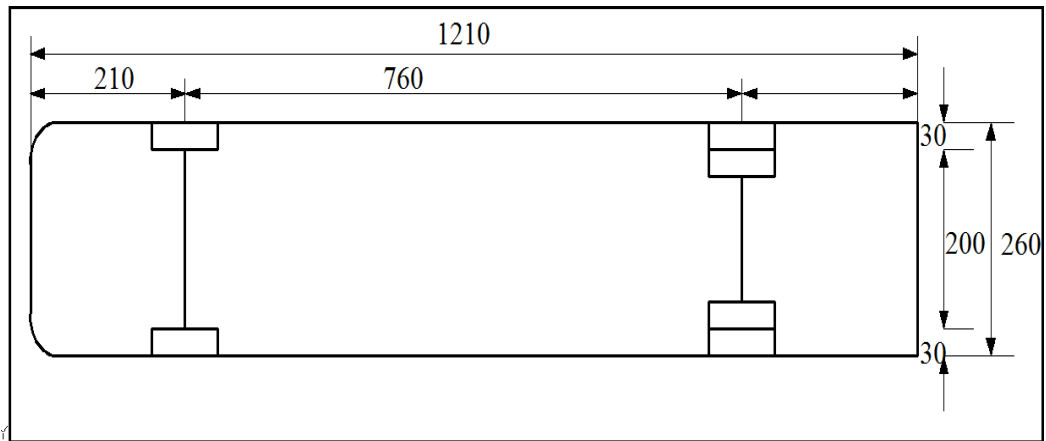
Tabel 2.1 Dimensi Kendaraan Rencana

Dimensi Kendaraan Rencana	Dimensi Kendaraan (Cm)			Tonjolan (Cm)		Radius Putar (Cm)		Radius Tonjolan (Cm)
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang	Min	Max	
Kecil	130	210	580	90	150	420	730	710
Sedang	410	260	1210	210	240	720	1280	1410
Besar	410	260	2100	120	90	290	1400	1370

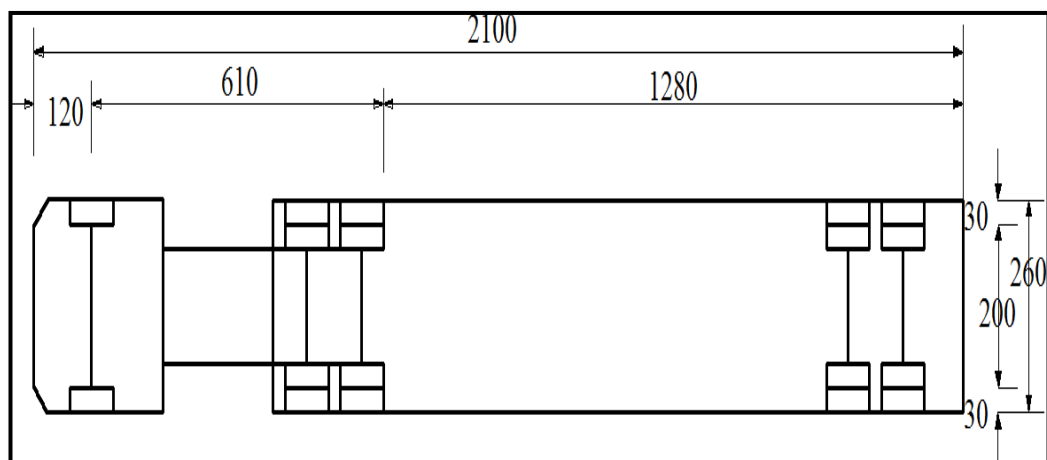
(Sumber ; Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)



Gambar 2.1 Dimensi Kendaraan Kecil



Gambar 2.2 Dimensi Kendaraan Sedang



Gambar 2.3 Dimensi Kendaraan Besar

2.4.2 Kecepatan Rencana

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

- a. Kondisi pengemudi dan kendaraan yang bersangkutan.
- b. Sifat fisik jalan dan keadaan medan disekitarnya.
- c. Cuaca.
- d. Adanya gangguan dari kendaraan lain.
- e. Batasan kecepatan yang diizinkan

Kecepatan rencana inilah yang dipergunakan untuk dasar perencanaan geometrik (alinyemen). Kecepatan rencana dari masing-masing kendaraan dapat ditetapkan pada Tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2.2 Kecepatan Rencana (V_R) Sesuai Klasifikasi Fungsi dan Kelas Jalan

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

(Sumber ; Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

2.4.3 Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melintas satu titik pengamatan dalam satu-satuan waktu (hari, jam atau menit). Volume lalu lintas harian rata-rata (VLHR) adalah perkiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas dinyatakan dalam smp/hari.

a. Satuan mobil penumpang (smp)

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

Tabel 2.3 Satuan mobil penumpang (smp)

Jenis Kendaraan	Nilai SMP
Sepeda	0,5
Mobil Penumpang / Sepeda Motor	1,0
Truk Ringan	2,0
Truk Sedang	2,5
Truk Berat	3,0
Bus	3,0
Kendaraan Tak Bermotor	7,0

(Sumber ; Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

b. Ekivalensi mobil penumpang (emp)

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

Tabel 2.4 Ekivalensi mobil penumpang (emp)

No	Jenis Kendaraan	Datar/Bukit	Gunung
1	Sedang, 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 ; Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Satuan Volume lalu lintas yang umum dipergunakan sehubungan dengan jumlah dan lebar lajur adalah :

a. Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT)

Lalu lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) adalah jumlah lalu lintas

kendaraan rata-rata yang melewati satu jalur jalan selama 24 jam dan diperoleh dari data satu tahun penuh.

$$\text{LHRT} = \frac{\text{Jumlah lalu lintas dalam 1 tahun}}{365 \text{ hari}} \dots\dots\dots 2.1$$

b. Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) adalah hasil bagi jumlah kendaraan yang diperoleh selama pengamatan dengan lamanya pengamatan.

$$\text{LHR} = \frac{\text{Jumlah lalu lintas dalam 1 tahun}}{\text{Lamanya pengamatan}} \dots\dots\dots 2.2$$

Tabel 2.5 Penentuan Faktor-K

VLHR (SMP/Hari)	Faktor – K (%)
> 50.000	4 – 6
30.000 – 50.000	6 – 8
10.000 – 30.000	6 – 8
5.000 – 10.000	8 – 10
1.000 – 5000	10 – 12
< 1.000	12 – 16

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

c. Kapasitas (C)

Kapasitas adalah jumlah kendaraan maksimum yang dapat melewati suatu penampang jalan pada jalur jalan selama 1 jam dengan kondisi serta arus lalu lintas tertentu (Silvia Sukirman, 1999:46). Kapasitas jalan akan menunjukkan jumlah arus lalu lintas yang maksimum dapat melewati penampang tersebut dalam waktu 1 jam sesuai kondisi jalan. Persamaan dasar untuk menghitung kapasitas ruas jalan dalam MKJI (1997) jalan luar kota adalah sebagai berikut:

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

Dimana :

C = Kapasitas (smp/jam)

C_o = Kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas

FC_{SP} = Faktor penyesuaian pemisah arah

FC_{SF} = Faktor penyesuaian hambatan samping

Tabel 2.6 Kapasitas Dasar Ruas Jalan

Tipe Jalan	Tipe Alinyemen	Kapasitas Dasar (smp/jam)			Catatan
		Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota	Jalan Bebas Hambatan	
Enam atau empat lajur terbagi atau jalan satu arah	Datar	1,650	1,900	2,300	Per lajur
	Bukit		1,850	2,250	
	Gunung		1,800	2,150	
Empat lajur tak terbagi	Datar	1,500	1,700		Per lajur
	Bukit		1,650		
	Gunung		1,600		
Dua lajur tak terbagi	Datar	2,900	3,100	3,400	Total dua arah
	Bukit		3,000	3,300	
	Gunung		2,900	3,200	

(Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Tabel 2.7 Faktor Penyesuaian Kapasitas untuk Lebar Jalur Lalu Lintas (FC_w)

Tipe Jalan	Lebar Jalur Lalu Lintas Efektif (C_w) (m)	FC_w		
		Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota	Jalan Bebas Hambatan
Enam atau empat lajur terbagi atau jalan satu arah (6/2D) atau (4/2 D)	Per lajur			
	3,00	0,92	0,91	
	3,25	0,96	0,96	0,96
	3,50	1,00	1,00	1,00
	3,75	1,04	1,03	1,03
	4,00			
Empat lajur tak terbagi (4/2 UD)	Per lajur			
	3,00	0,91	0,91	
	3,25	0,95	0,96	
	3,50	1,00	1,00	
	3,75	1,05	1,03	
	4,00			
Dua lajur tak terbagi (2/2 UD)	Total dua arah			
	5,0	0,56	0,69	
	6,0	0,87	0,91	
	6,5			0,96
	7,0	1,00	1,00	1,00
	7,5			1,04
	8,0	1,14	1,08	
	9,0	1,25	1,15	
	10,0	1,29	1,21	
	11,0	1,34	1,27	

(Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Tabel 2.8 Faktor Penyesuaian Kapasitas untuk Pemisah Arah(FCsp)

Pemisahan arah SP % - %			50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC _{SP}	Jalan Perkotaan	(2/2)	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
		(4/2)	1,00	0,985	0,97	0,955	0,94
FC _{SP}	Jalan Luar Kota	(2/2)	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
		(4/2)	1,00	0,975	0,95	0,925	0,9
FC _{SP}	Jalan Bebas Hambatan	(2/2)	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88

(Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Tabel 2.9 Faktor Penyesuaian Kapasitas untuk Hambatan Samping (FCsp)

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping	Faktor Penyesuaian untuk Hambatan Samping untuk Jalan dengan Bahu (FC _{sf})			
		Lebar Bahu Efektif (W _s)			
		≤ 0,5	1,0	1,5	≥ 2,0
4/2 D	VL	0,99	1,00	1,01	1,03
	L	0,96	0,97	0,99	1,01
	M	0,93	0,95	0,96	0,99
	H	0,90	0,92	0,95	0,97
	VH	0,88	0,90	0,93	0,96
4/2 UD Atau 2/2 UD	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,88	0,91	0,94	0,98
	H	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH	0,80	0,83	0,88	0,93

(Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

d. Derajat Kejenuhan

Derajat Kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus jalan terhadap kapasitas, yang digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkar kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai DS menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Persamaan dasar untuk menentukan derajat kejenuhan adalah sebagai berikut :

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

Dimana :

DS = Derajat Kejenuhan

Q = Arus Lalu Lintas (smp/Jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

2.4.4 Jarak Pandang

Keamanan dan kenyamanan pengemudi kendaraan untuk dapat melihat dengan jelas dan menyadari situasi pada saat mengemudi, sangat tergantung pada jarak yang dapat dilihat dari tempat kedudukannya. Panjang jalan di depan yang masih dapat dilihat dengan jelas diukur dari titik kedudukan pengemudi, disebut dengan Jarak Pandangan. Jarak pandangan berguna untuk :

- a. Menghindarkan terjadinya tabrakan yang dapat membahayakan kendaraan dan manusia akibat adanya benda yang berukuran cukup besar, kendaraan yang sedang berhenti, pejalan kaki, atau hewan-hewan yang berada pada jalur jalan.
- b. Memberi kemungkinan untuk mendahului kendaraan lain yang bergerak dengan kecepatan lebih rendah dengan mempergunakan lajur sebelahnya.
- c. Menambah efisiensi jalan tersebut, sehingga volume pelayanan dapat dicapai semaksimal mungkin.
- d. Sebagai pedoman bagi pengatur lalu-lintas dalam menempatkan rambu-rambu lalu lintas yang diperlukan pada setiap segmen jalan.

Dilihat dari kegunaanya jarak pandangan dapat di bedakan atas :

- a. Jarak Pandangan Henti (Jh)

Jarak pandang henti yaitu jarak minimum yang diperlukan oleh setiap pengemudi untuk menghentikan kendaraannya dengan aman begitu melihat adanya halangan di depan. Setiap titik disepanjang jalan harus memenuhi Jh. Jh diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan 15 cm diukur dari permukaan jalan. Jarak panjang

henti terdiri atas 2 elemen jarak, yaitu:

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

$$d1 = V \times t \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

$d1$ = Jarak dari saat melihat rintangan sampai menginjak pedal rem (m)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

t = Waktu reaksi atau waktu tanggap = 2,5 detik

$$d1 = 0,278 \cdot V \cdot t \text{ (m)}$$

2. Jarak pengereman (Jhr) adalah jarak yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi rem menginjak sampai kendaraan berhenti. Syarat untuk menentukan jarak pandang henti minimum dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut ini:

Tabel 2.10 Jarak Pandang Henti (Jh) Minimum

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

(Sumber ; Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

- b. Jarak Pandang Mendahului (Jd)

Jarak pandang mendahului adalah jarak pandangan yang dibutuhkan untuk dapat menyiapkan kendaraan lain yang berada pada lajur jalannya dengan menggunakan lajur untuk arah yang berlawanan.

Tabel 2.11 Panjang Minimum Jarak Mendahului

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

(Sumber ; Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Jarak pandang menyiap dalam satuan meter ditentukan sebagai berikut :

$d_1 = 0,278 \cdot t_1 \cdot (v-m + \frac{a \cdot t_1}{2})$	2.4
$d_2 = 0,278 \cdot v \cdot t_2$	2.5
$d_3 =$ diambil 30 – 100 cm	2.6
$d_4 = 23 \times d_2$	2.7
$d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$	2.8
$d_{min} = 23 \times d_2 + d_3 + d_4$	2.9

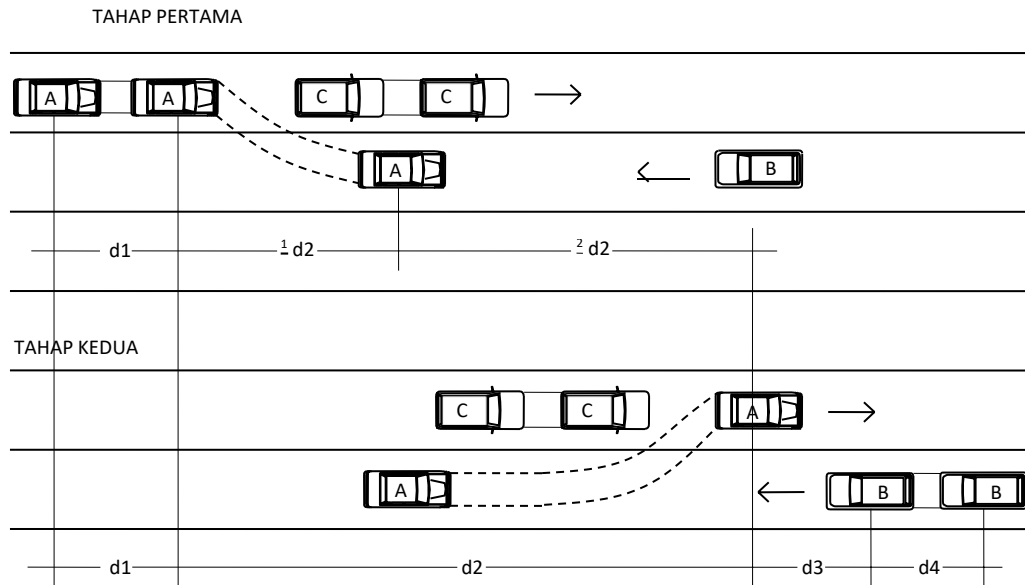
Dimana :

t_1	= Waktu reaksi ($t_1 = 2.12 + 0.126 \cdot v$)
m	= Perbedaan kecepatan kendaraan yang menyiap dan disiap = 15 km/jam
v	= Kecepatan rata-rata dianggap sama dengan kecepatan rencana
a	= Percepatan rata-rata ($a = 2.052 + 0.0036$)
d_2	= Jarak yang ditempuh kendaraan yang menyiap berada pada lajur kanan
t_2	= Waktu kendaraan pada lajur kanan ($t_2 = 6.56 + 0.04 \cdot v$)

Daerah yang mendahului harus disebar disepanjang jalan dengan jumlah panjang minimum 30% dari panjang total ruas jalan tersebut. Adapun asumsi yang diambil dalam perhitungan adalah :

- Kendaraan yang disalip berjalan dengan kecepatan tetap.
- Sebelum menyiap berada di jalur lawan, ia telah mengurangi kecepatannya selama mengikuti kendaraan yang akan disalip.
- Bila saat penyiapan tiba, penyiap memerlukan waktu berpikir mengenai amannya daerah penyiapan.
- Penyiapan dilakukan dengan “start terlambat” dan bersegerah untuk kembali ke jalur semula dengan kecepatan rata-rata 10 mph lebih tinggi dari kendaraan yang disiap.
- Pada waktu kendaraan penyiap telah kembali ke jalur asal, masih ada jarak dengan kendaraan lawan.

Gambar proses pergerakan mendahului untuk jarak pandang mendahului dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut ini :



Keterangan :

A = Kendaraan yang mendahului

B = Kendaraan yang berlawanan arah

C = Kendaraan yang didahului kendaraan A

Gambar 2.4 Proses Gerakan Mendahului (2/2 TB)

2.5 Alinyemen Horizontal

Menurut Sukirman (1999), Alinyemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal. Alinyemen horizontal dikenal juga dengan nama situasi jalan atau trase jalan. Alinyemen horizontal terdiri dari garis-garis lurus yang dihubungkan dengan garis-garis lengkung tersebut dapat terdiri dari busur lingkaran ditambah busur peralihan, busur peralihan saja ataupun busur lingkaran saja.

Menurut tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota (1997), Alinyemen horizontal terdiri atas bagian lurus dan bagian lengkung disebut juga tikungan. Perencanaan geometrik pada bagian lengkung dimaksudkan untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima oleh kendaraan yang berjalan pada kecepatan V_R . Untuk keselamatan pemakai jalan, jarak pandang dan daerah bebas samping jalan harus diperhitungkan. Dengan mempertimbangkan faktor

keselamatan pemakai jalan, ditinjau dari segi kelelahan pengemudi, maka panjang maksimum bagian jalan yang lurus harus ditempuh dalam waktu tidak lebih dari 2,5 menit (sesuai V_R). Panjang bagian lurus dapat ditetapkan dari Tabel 2.12 berikut ini :

Tabel 2.12 Panjang bagian lurus maksimum

Fungsi	Panjang Bagian Lurus Maximum		
	Datar	Perbukitan	Pegunungan
Arteri	3.000	2.500	2.000
Kolektor	2.000	1.750	1.500

(Sumber : Tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota, 1997)

2.5.1 Penentuan Trase Jalan

Dalam penentuan jalan harus ditentukan trase jalan yang harus ditetapkan sedemikian rupa, agar dapat memberikan pelayanan yang baik sesuai dengan fungsinya, serta mendapatkan keamanan dan kenyamanan bagi pemakainya. Perencanaan trase jalan sangat dipengaruhi oleh keadaan fisik dan topografi, serta peruntukan lahan yang dilaluinya.

Dalam kondisi normal, penentuan trase jalan sekaligus pemetaannya di lapangan, tidak terlalu banyak memerlukan perbaikan-perbaikan tanah, sehingga hanya terbatas pada pekerjaan galian dan timbunan.

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

1. Syarat ekonomis

Dalam perencanaan yang menyangkut syarat-syarat ekonomis yaitu :

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

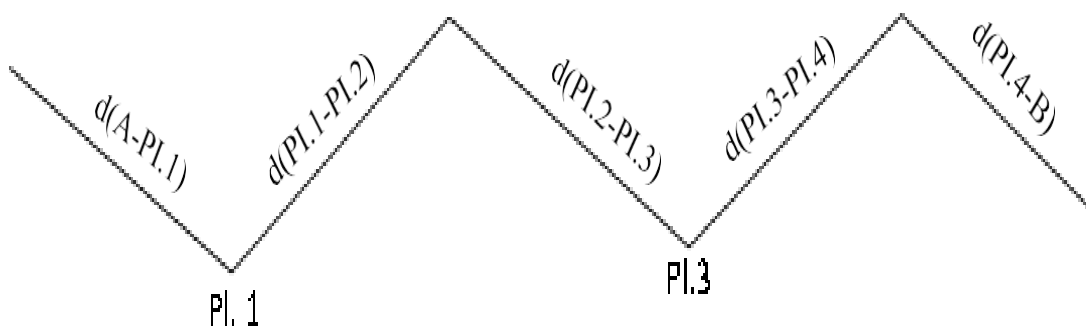
2. Syarat teknis

Tujuan dari syarat teknis ini adalah untuk mendapatkan jalan yang dapat

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

2.5.2 Menentukan Koordinat Titik dan Jarak

Penentuan titik-titik penting yang diperoleh dari pemilihan rencana alinyemen horizontal. Gambar koordinat dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut ini:



Gambar 2.5 Penentuan Koordinat dan Jarak

Titik penting yang perlu ditentukan koordinatnya adalah:

- Titik awal proyek dengan simbol A,
- Titik PI.1, PI.2, PI.n sebagai titik potong dari kedua bagian lurus rencana alinyemen horizontal
- Titik akhir proyek dengan simbol B.

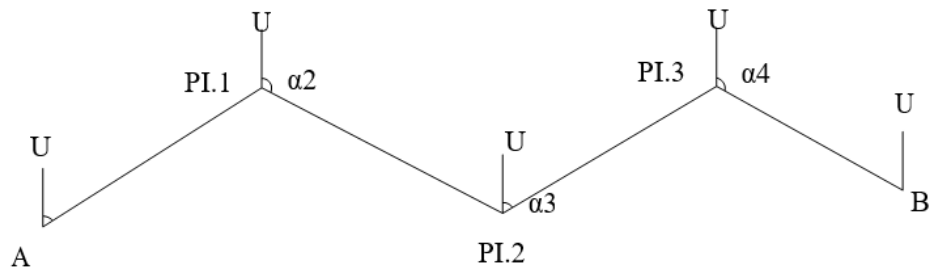
Rumus yang dipakai untuk menghitung jarak adalah :

$$d = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana :

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

2.5.3 Menentukan Sudut Jurusan (α) dan Sudut Bearing (Δ)



Gambar 2.6 Penentuan sudut jurusan antara dua tangen

Dalam perencanaan suatu geometrik kita perlu menghitung berapa nilai sudut antara dua tangen (Δ) yang kemudian digunakan untuk perhitungan tikungan. Untuk menghitung nilai delta, terlebih dahulu kita harus mencari nilai alfa dengan rumus :

$$\alpha_1 = \text{arc tan} \left(\frac{X_b - X_a}{Y_a - Y_b} \right) \dots\dots\dots 2.11$$

$$\Delta_1 = \alpha_2 \pm \alpha_1 \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana :

α_1 = Sudut jurusan

Δ_1 = Sudut azimuth

X_a/Y_a = Koordinat pada titik awal garis tangen

X_b/Y_b = Koordinat pada titik akhir/perpotongan garis tangen

2.5.4 Tikungan

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

1. Jari-Jari Lengkung Minimum

Untuk menghindari terjadinya kecelakaan, maka untuk kecepatan tertentu ditentukan jari-jari minimum untuk superelevasi maksimum 10%. Nilai panjang jari - jari minimum dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut ini :

Tabel 2.13 Panjang jari-jari minimum untuk $e_{maks} = 10\%$

Vr (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Rmin (m)	600	370	280	110	80	50	30	15

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

Jari-jari tikungan minimum (R_{min}) ditetapkan sebagai berikut:

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 (e_{maks} + f_{maks})} \dots\dots\dots 2.13$$

Keterangan :

R_{min} = Jari-jari tikungan minimum (m)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

e_{maks} = Superelevasi maksimum

f_{maks} = Koefisien maksimum

2. Batas tikungan tanpa kemiringan

Kemiringan jalan adalah fungsi dari ketajaman tikungan. Untuk tikungan-tikungan yang tumpul karena kecilnya kemiringan yang diperlukan, dapat saja tidak diadakan kemiringan. Untuk jari-jari yang di ijinakan tanpa adanya superelevasi dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut ini:

Tabel 2.14 Jari-jari yang diizinkan tanpa superlevasi (lengkung peralihan)

Kecepatan Rencana Vr (Km/Jam)	R (m)
60	700
80	1250
100	2000
120	5000

(Sumber: Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan antar kota No. 38/T/BM/1997)

3. Lengkung peralihan

Menurut Tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota (1997), Lengkung peralihan adalah lengkung yang disisipkan di antara bagian lurus jalan dan bagian lengkung jalan berjari jari tetap R; berfungsi mengantisipasi perubahan alinyemen jalan dari bentuk lurus (R tak terhingga) sampai bagian lengkung jalan berjari jari tetap R sehingga gaya sentrifugal yang bekerja

pada kendaraan saat berjalan di tikungan berubah secara berangsur-angsur, baik ketika kendaraan mendekati tikungan maupun meninggalkan tikungan.

Panjang lengkung peralihan (L) ditetapkan atas pertimbangan bahwa:

- Lama waktu perjalanan di lengkung peralihan perlu dibatasi untuk menghindari kesan perubahan alinyemen yang mendadak, ditetapkan 3 detik (pada kecepatan V_R);
- Gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan dapat diantisipasi berangsur-angsur pada lengkung peralihan dengan aman; dan
- Tingkat perubahan kelandaian melintang jalan (r_e) dari bentuk kelandaian normal ke kelandaian superelevasi penuh tidak boleh melampaui r_{e-max} yang ditetapkan sebagai berikut:

untuk $V_R \leq 70$ km/jam, $r_{e-max} = 0.035$ m/m/detik

untuk $V_R \geq 80$ km/jam, $r_{e-max} = 0.025$ m/m/detik

Adapun nilai yang diambil adalah :

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum (3 detik), untuk melintas lengkung peralihan, maka panjang lengkung:

$$L_S = \frac{V_R}{3.6} T \text{ (m)} \dots\dots\dots 2.14$$

- Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal, digunakan rumus sebagai berikut :

$$L_S = 0,022 \frac{V_R^3}{R_c \cdot C} - 2,272 \frac{V_R \cdot e}{C} \text{ (m)} \dots\dots\dots 2.15$$

- Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian :

$$L_S = \frac{V_R}{3.6 R_e} V R \text{ (m)} \dots\dots\dots 2.16$$

Dimana :

T = Waktu tempuh pada lengkung peralihan, ditetapkan 3 detik

V_R = Kecepatan rencana (km/jam)

E = Superelevasi

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

R = Jari-jari busur lingkaran (m)

e_m = Superelevasi maksimum

e_n = Superelevasi normal

r_e = Tingkat pencapaian perubahan kemiringan melintang jalan

Tabel 2.15 Jari-jari tikungan yang tidak memerlukan lengkungan peralihan

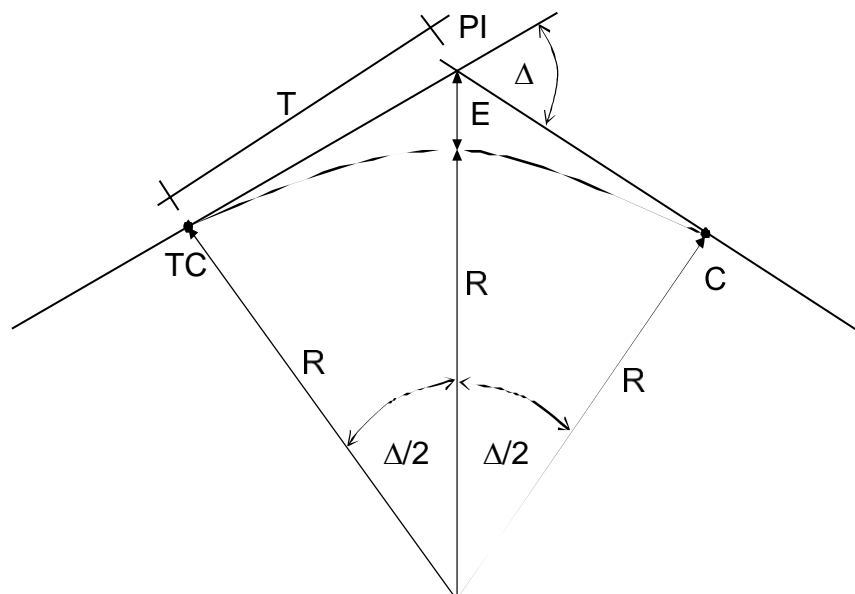
V_R (Km/Jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
R_{min} (m)	25000	1500	900	500	350	250	130	60

(Sumber : Tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota, 1997)

2.5.5 Bentuk-Bentuk Tikungan

1. Tikungan *Full Circle*

Full circle adalah jenis tikungan yang berbentuk busur lingkaran sederhana. Menurut Sukirman (1999), tidak semua lengkung dapat dibuat berbentuk busur lingkaran sederhana, hanya lengkung dengan radius besar yang diperbolehkan. Pada tikungan yang tajam, dimana radius lengkung kecil dan superelevasi yang dibutuhkan besar, lengkung berbentuk busur lingkaran akan menyebabkan perubahan kemiringan melintang yang besar yang mengakibatkan timbulnya kesan patah pada tepi perkerasan sebelah luar.



Gambar 2.7 Komponen tikungan *full circle*

Rumus-rumus yang digunakan dalam menghitung tikungan *full circle* adalah :

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127 (e_{\max} + f_{\max})} \dots\dots\dots 2.17$$

$$D_{\max} = \frac{1432,39}{R_{\min}} \dots\dots\dots 2.18$$

$$D = \frac{1432,39}{R_c} \dots\dots\dots 2.19$$

$$e = - \left(\frac{e_{\max}}{D^2_{\max}} \times D^2 \right) + \left(\frac{2 \cdot e_{\max}}{D_{\max}} \times D \right) \dots\dots\dots 2.20$$

$$L_s = \frac{V_R T}{3,6} \dots\dots\dots 2.21$$

$$L_s = 0,022 \frac{V_R^3}{R_c \cdot C} - 2,272 \frac{V_R - e}{C} \dots\dots\dots 2.22$$

$$L_s = \frac{(e_m - e_n)}{3,6 \cdot r_e} \cdot V_R \dots\dots\dots 2.23$$

$$L_c = \frac{\pi}{180} \cdot \Delta \cdot R \dots\dots\dots 2.24$$

$$T_c = R_c \tan \frac{1}{2} \Delta \dots\dots\dots 2.25$$

$$E_c = T_c \tan \frac{1}{4} \Delta \dots\dots\dots 2.26$$

Dimana :

Δ = Sudut tangen

T_c = Panjang tangen jarak dari T_c ke $P1$ atau $P1$ ke C_t

R_c = Jari-jari lingkaran

E_c = Jarak luar dari $P1$ ke busur lingkaran

L_c = Panjang busur lingkaran

L_s = Lengkung peralihan fiktif

D = Derajat lengkung

V = Kecepatan

C = Perubahan percepatan

F_{\max} = Koefisien Gerakan melintang = $-0,000652 \times V + 0,192$

T = Waktu tempuh (3 detik)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

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

e = Superelevasi (%)

e_m = Superelevasi maksimum (%)

e_n = Superelevasi normal (%)

e_r = Tingkat pencapaian perubahan kelandaian melintang jalan sebagai berikut:

untuk $V_R \leq 70$ km/jam, $e_{r-max} = 0.035$ m/m/detik

untuk $V_R \geq 80$ km/jam, $e_{r-max} = 0.025$ m/m/detik

2. Tikungan *spiral-circle-spiral* (SCS)

Tikungan *spiral-circle-spiral* (SCS) atau Lengkung peralihan, dibuat untuk menghindari terjadinya perubahan alinyemen yang tiba - tiba dari bentuk lurus ke bentuk lingkaran ($R = \infty \rightarrow R = R_c$), jadi lengkung peralihan ini diletakkan antara bagian lurus dan bagian lingkaran (*Circle*), yaitu pada sebelum dan sesudah tikungan berbentuk full 24 circle/busur lingkaran. Dengan adanya lengkung peralihan, maka tikungan menggunakan jenis S-C-S (Shirley L.Hendarsin, 2000:96). Panjang lengkung peralihan (LS), menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997, diambil nilai yang terbesar dari tiga persamaan dibawah ini :

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

$$L_s = \frac{V_R}{3,6} \times T \dots\dots\dots 2.27$$

b) Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal digunakan rumus modifikasi short, sebagai berikut

$$L_s = 0,022 \frac{V_R^3}{C \cdot R} - 2,727 \frac{V_R \cdot e}{C} \dots\dots\dots 2.28$$

c) Berdasarkan tingkatan pencapaian perubahan kelandaian,

$$L_s = \frac{e_m - e_n}{3,6 \cdot r_e} \times V_R \dots\dots\dots 2.29$$

Dimana :

T = waktu tempuh = 3 detik

V_R = kecepatan rencana (km/jam)

R_C = jari-jari busur lingkaran (m)

C = perubahan percepatan, 0,3 - 1,0 disarankan 0,4 m/det³

E = superelevasi

E_m = superelevasi maksimum

En = superelevasi minimum

Re = tingkat pencapaian perubahan kelandaian melintang jalan, sebagai berikut :

- Untuk $VR \leq 70$ km/jam, nilai re mak = 0,035 m/m/det

- Untuk $VR \geq 80$ km/jam, nilai re mak = 0,025 m/m/det

Adapun rumus yang digunakan untuk menentukan tikungan *spiral-circle - spiral*, yaitu sebagai berikut :

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

$$Y_s = \frac{L_s^2}{6 \cdot R_c} \dots\dots\dots 2.31$$

$$\theta_s = \frac{90}{\pi} \frac{L_s}{R_c} \dots\dots\dots 2.32$$

$$P = \frac{L_s^2}{6 \cdot R_c} - R_c (1 \cos \theta) \dots\dots\dots 2.33$$

$$K = L_s - \frac{L_s^3}{40 \cdot R_c^2} - R_c \sin \theta_s \dots\dots\dots 2.34$$

$$T_s = (R_c + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + R_c \dots\dots\dots 2.35$$

$$E_s = (R_c + p) \sec \frac{1}{2} \Delta + R_c \dots\dots\dots 2.36$$

$$L_c = \frac{(\Delta - 2\theta_s)}{180} \times \pi \times R_c \dots\dots\dots 2.37$$

$$T_{tot} = L_c + 2 L_s \dots\dots\dots 2.38$$

Keterangan :

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

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

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

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

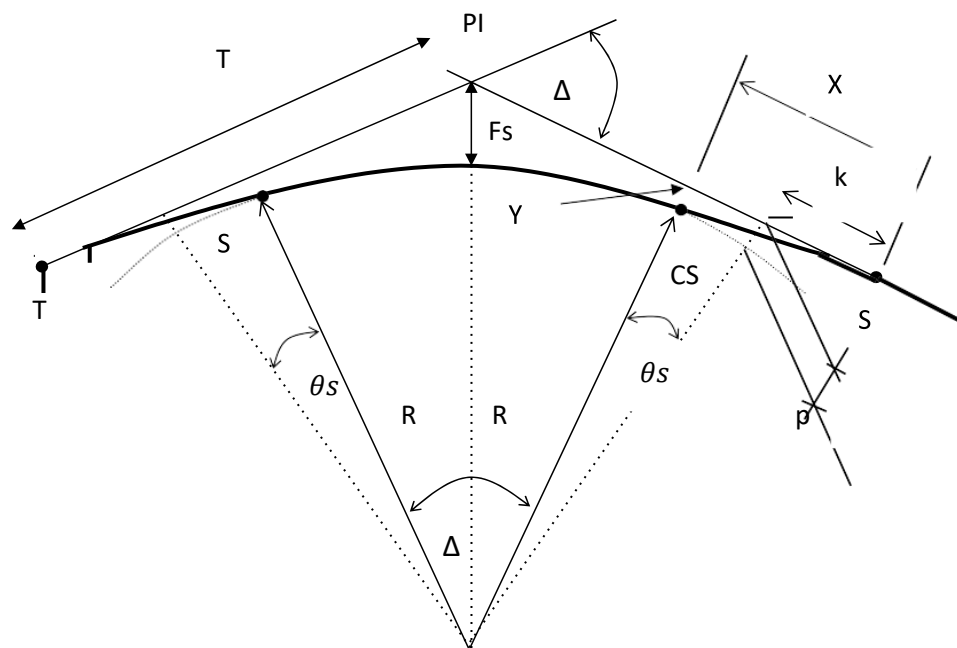
T_s = Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST

TS = Titik dari tangen ke spiral

SC = Titik dari spiral ke lingkaran

- Es = Jarak dari PI ke busur lingkaran
- θ_s = Sudut lengkung spiral
- Rc = Jari – jari lingkaran
- P = Pergeseran tangen terhadap spiral
- K = Absis dari p pada garis tangen spiral

Jika diperoleh $L_c < 25$ m, maka sebaiknya tidak digunakan bentuk SCS tetapi digunakan lengkung SS, yaitu lengkung yang terdiri dari 2 lengkung peralihan (Shirley L.Hendarsin,2000:99).



Gambar 2.8 Komponen tikungan *spiral-circle-spiral* (scs)

3. Tikungan *spiral-spiral* (SS)

Tikungan ini merupakan tikungan yang terdiri lengkung horizontal berbentuk *spiral-spiral* tanpa busur lingkaran, sehingga titik SC berimpit dengan titik CS (Silvia Sukirman, 1999:134).

Adapun ketentuan dan rumus yang digunakan untuk jenis tikungan *spiral - spiral* yaitu sebagai berikut :

$$\theta_s = \frac{1}{2} \Delta \dots \dots \dots 2.39$$

$$L_s = \frac{2\pi R}{360^\circ} \cdot 2 \theta_s \dots\dots\dots 2.40$$

$$L_c = 0 \dots\dots\dots 2.41$$

$$T_s = (R + p) \cdot \tan \frac{\Delta}{2} + k \dots\dots\dots 2.42$$

$$E_s = (R + p) \cdot \sec \frac{\Delta}{2} - R \dots\dots\dots 2.43$$

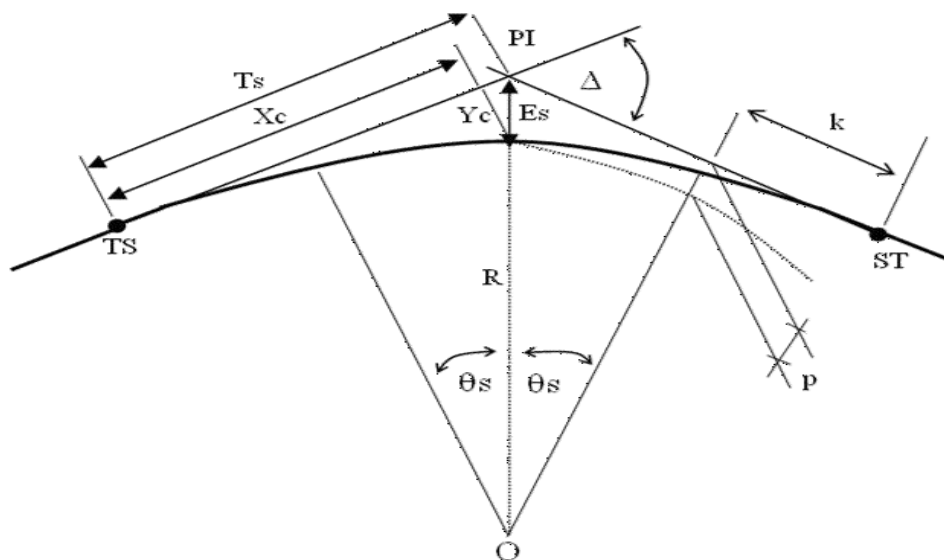
$$L = 2 \cdot L_s \dots\dots\dots 2.44$$

$$K = k^* \times L_s \dots\dots\dots 2.45$$

$$P = P^* \times L_s \dots\dots\dots 2.46$$

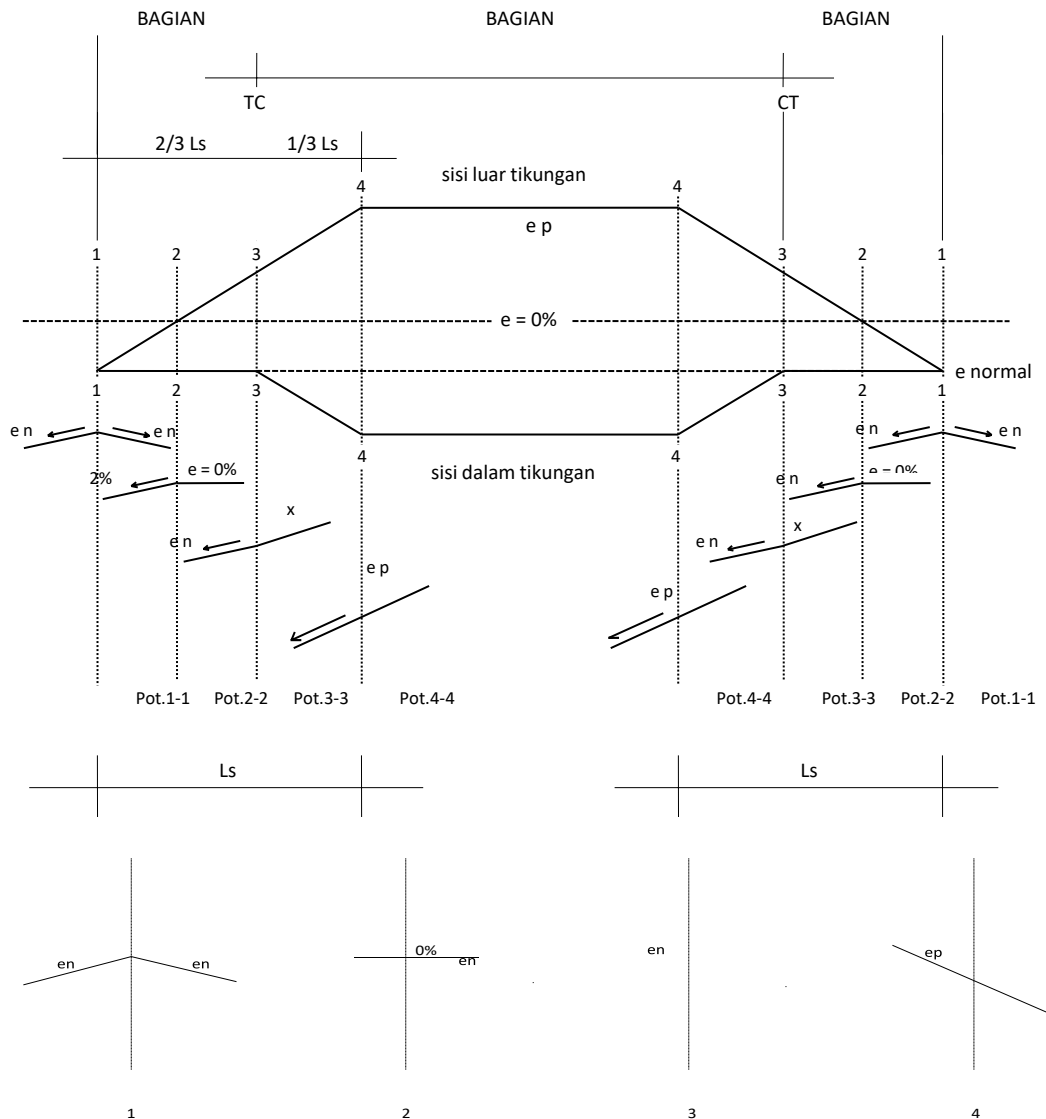
Dimana :

- L_s = Panjang lengkung peralihan (jarak TS – SC atau CS – ST), (m)
 L_c = Panjang busur lingkaran (jarak SC – CS), (m)
 Δ = Sudut tikungan ($^\circ$)
 θ_s = Sudut lengkung spiral ($^\circ$)
 R = Jari-jari tikungan (m)
 P = pergeseran tangen terhadap spiral (m)
 K = Absis p pada garis tangen spiral (m)
 L = Panjang tikungan S-S (m)



Gambar 2.9 Komponen tikungan *spiral-spiral* (SS)

2.5.6 Diagram Superelevasi

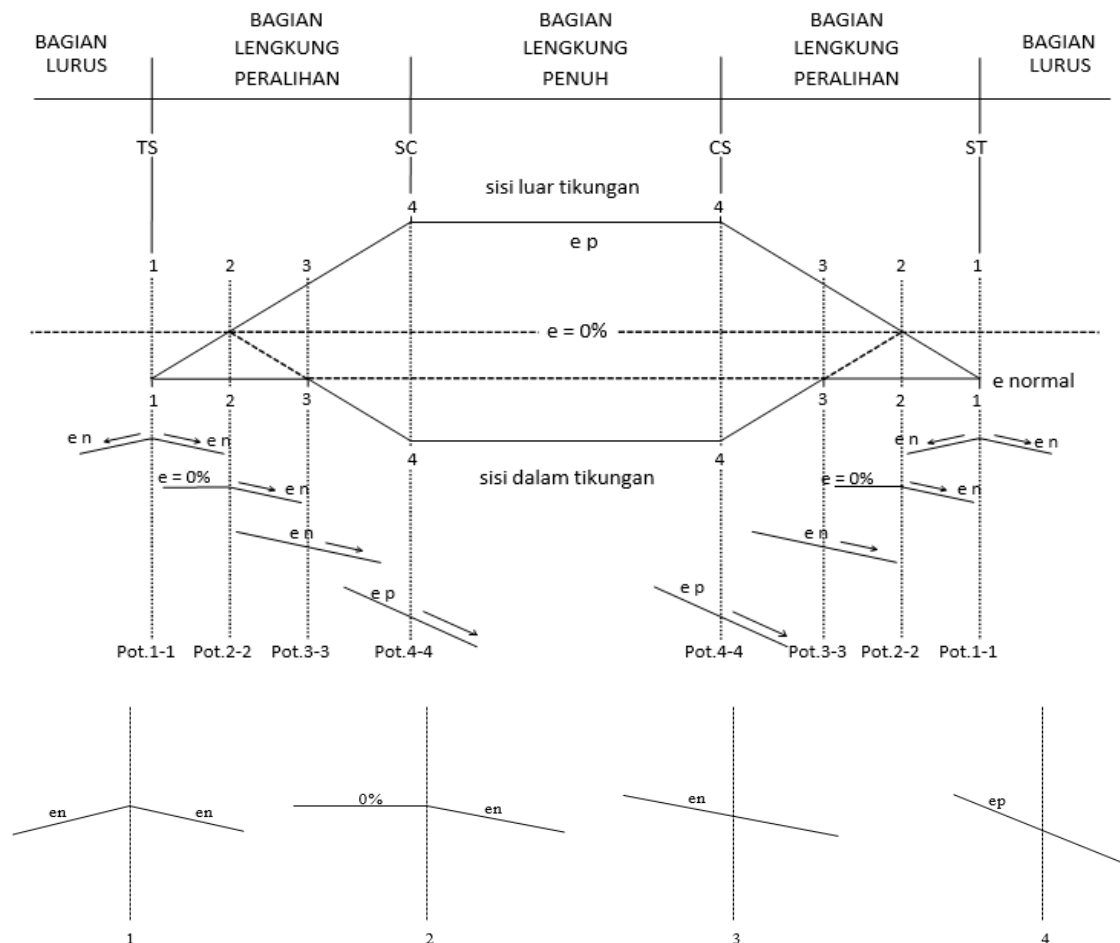


Gambar 2.10 Superelevasi tikungan *full circle*

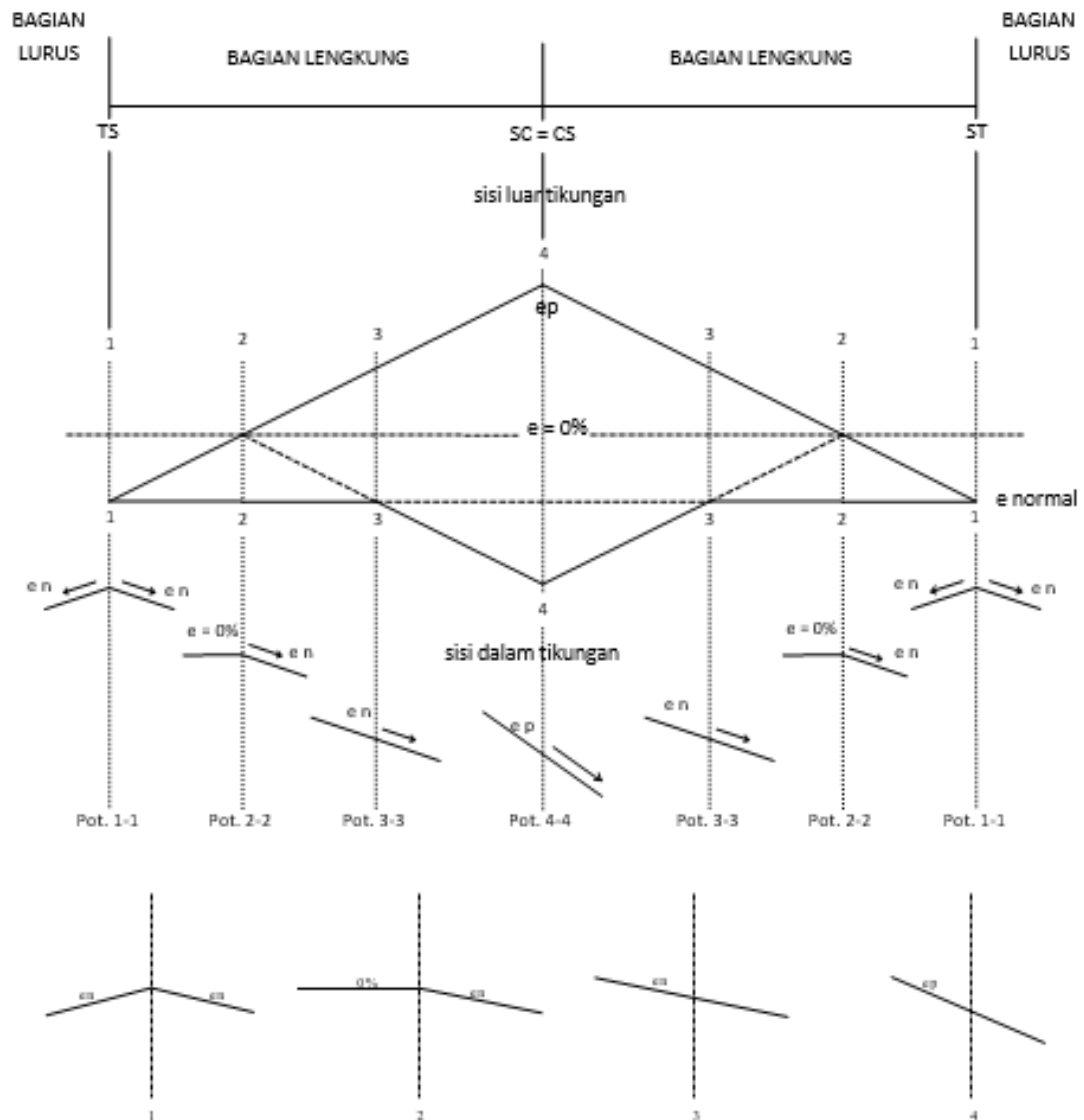
Berdasarkan Pedoman Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997, Superelevasi adalah suatu kemiringan melintang di tikungan yang berfungsi mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima kendaraan pada saat berjalan melalui tikungan pada kecepatan V_R . Menurut Tata cara perencanaan geometrik jalan 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_R . Nilai superelevasi maksimum ditetapkan

10%. Pencapaian superelevasi pada masing-masing tikungan adalah sebagai berikut:

- Superelevasi dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus sampai ke kemiringan penuh (superelevasi) pada bagian lengkung.
- 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).
- Pada tikungan FC, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear.
- Pada tikungan S-S, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral.



Gambar 2.11 Superelevasi tikungan *spiral-circle-spiral*



Gambar 2.12 Superelevasi tikungan *spiral-spiral*

2.5.7 Kemiringan Melintang

Menurut Sukirman (1999), Kemiringan melintang jalan pada lengkung horizontal yang bertujuan untuk memperoleh komponen berat kendaraan guna mengimbangi gaya sentrifugal biasanya disebut superelevasi. Semakin besar superelevasi semakin besar pula komponen berat kendaraan yang diperoleh. Superelevasi maksimum yang dapat dipergunakan pada suatu jalan raya dibatasi oleh beberapa keadaan seperti :

- a. keadaan cuaca, seperti sering turun hujan, berkabut.

- b. Jalan yang berada di daerah yang sering turun hujan, berkabut, atau sering turun salju, superelevasi maksimum lebih rendah daripada jalan yang berada di daerah yang selalu ber cuaca baik.
- c. keadaan medan, seperti datar, berbukit-bukit atau pergunungan. Di daerah datar superelevasi maksimum dapat dipilih lebih tinggi daripada di daerah berbukit-bukit, atau di daerah pergunungan.

Pada jalan lurus kendaraan bergerak tanpa membutuhkan kemiringan melintang jalan. Tetapi agar air hujan yang jatuh di atas permukaan jalan cepat mengalir ke samping dan masuk ke selokan samping, maka dibuatkan kemiringan melintang jalan yang umum disebut sebagai kemiringan melintang normal. Besarnya kemiringan melintang normal ini sangat tergantung dari jenis lapis permukaan yang dipergunakan. Semakin kedap air muka jalan tersebut semakin landai kemiringan melintang jalan yang dibutuhkan, sebaliknya lapis permukaan yang mudah dirembesi oleh air harus mempunyai kemiringan melintang jalan yang cukup besar, sehingga kerusakan konstruksi perkerasan dapat dihindari. Besarnya kemiringan melintang ini ($= e_n$) berkisar antara 2 - 4%.

2.5.8 Pelebaran Perkerasan pada Tikungan

Menurut Sukirman (1999), Pelebaran perkerasan ini merupakan faktor dari jari-jari lengkung, kecepatan kendaraan, jenis dan ukuran kendaraan rencana yang dipergunakan sebagai dasar perencanaan. Pada umumnya truk tunggal merupakan jenis kendaraan yang dipergunakan sebagai dasar penentuan tambahan lebar perkerasan yang dibutuhkan. Tetapi pada jalan-jalan dimana banyak dilewati kendaraan berat, jenis kendaraan semi trailer merupakan kendaraan yang cocok dipilih untuk kendaraan rencana. Tentu saja pemilihan jenis kendaraan rencana ini sangat mempengaruhi kebutuhan akan pelebaran perkerasan dan biaya pelaksanaan jalan tersebut.

Adapun rumus yang digunakan :

$$R_c = \text{Radius lajur sebelah dalam} - \frac{1}{2} \text{ lebar perkerasan} + \frac{1}{2} b \dots\dots\dots 2.47$$

$$B = \sqrt{(\sqrt{R_c^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{R_c^2 - 64 + 1,25} \dots\dots\dots 2.48$$

$$Z = \frac{0,105 V}{\sqrt{R}} \dots\dots\dots 2.49$$

Dimana :

- b = lebar kendaraan rencana
- B = lebar perkerasan yang ditempati satu kendaraan di tikungan pada lajur sebelah dalam.
- U = B-b
- C = lebar ketebasan samping di kiri dan kanan kendaraan
- Z = lebar tambahan akibat kesukaran mengemudi di tikungan.
- B_n = lebar total perkerasan pada bagian lurus
- B_t = lebar total perkerasan di tikungan
- n = jumlah lajur
- B_t = n (B+C)+Z
- Δb = tambahan lebar perkerasan di tikungan
- Δb = B_t-B_n
- V = kecepatan, km/jam
- R = radius lengkung, m

2.5.9 Kebebasan Samping Pada Tikungan

Sesuai dengan jarak pandang yang dibutuhkan baik jarak pandang henti maupun jarak pandang menyiap, maka pada tikungan perlu diadakan jarak kebebasan samping pada tikungan. Jarak kebebasan samping merupakan jarak yang diukur dari suatu as jalan ke suatu penghalang pandangan, misalnya pohon, kaki bukit, hutan dan bangunan.

Daerah bebas samping dimaksudkan untuk memberikan kemudahan pandangan di tikungan dengan membebaskan obyek-obyek penghalang sejauh E (m), diukur dari garis tengah lajur dalam sampai obyek penghalang pandangan sehingga memenuhi persyaratan J_h (jarak pandang henti). (Shirley L. Hendarsin, 2000:107).

Daerah bebas samping tikungan dapat dihitung berdasarkan rumus-rumus berikut ini :

e. Jika $J_h < L_t$

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

Dimana :

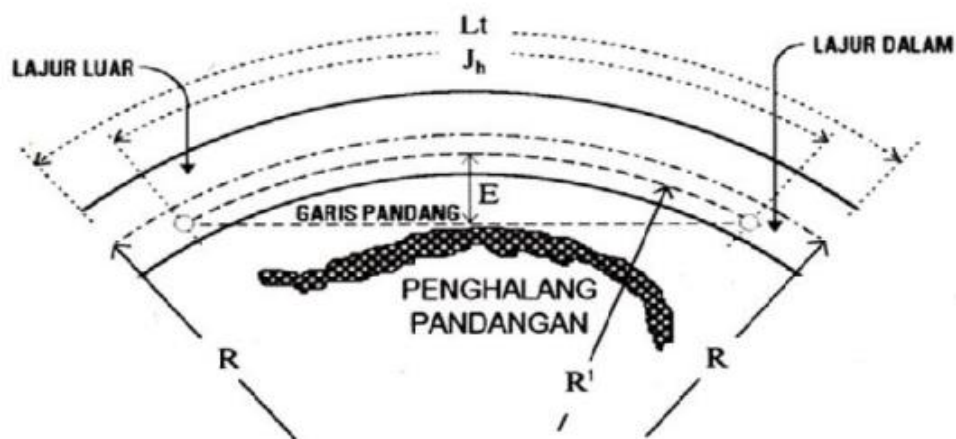
E = Jarak bebas samping

R = Jari-jari tikungan (m)

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

J_h = Jarak pandang henti (m)

L_t = Panjang tikungan (m)



Gambar 2.13 Daerah bebas samping untuk $J_h < L_t$

f. Jika $J_h > L_t$

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

Dimana :

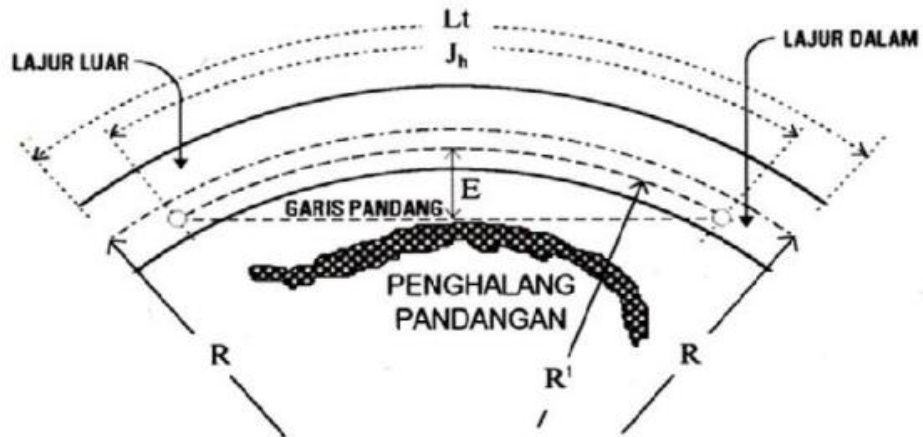
E = Jarak bebas samping

R = Jari-jari tikungan (m)

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

J_h = Jarak pandang henti (m)

L_t = Panjang tikungan (m)



Gambar 2.14 Daerah bebas samping untuk $J_h > L_t$

Tabel 2.16 Penentuan Nilai E (Jarak Bebas Samping)

R (m)	$V_R=20$	30	40	50	60	80	100	120
	$J_h=16$	27	40	55	75	120	175	250
5000								
3000								
2000								
1500								
1200								
1000								
800								
600								
500								1.6
400								2.6
300						1.5	1.9	3.9
250						1.8	2.6	5.2
200						2.2	3.2	6.5
175				1.5	1.8	3.0	3.8	7.8
150				1.9	2.3	3.6	4.8	9.7
130			1.5	2.2	2.8	4.5	6.4	13.0
120			1.7	2.5	3.5	6.0	7.6	15.5
110			1.8	2.9	4.0	7.2	9.5	$R_{min}=50$
100			2.0	3.1	4.7	$R_{min}=21$	$R_{min}=35$	0
90			2.2	3.4	5.4	0	0	
80		1.5	2.5	3.8	5.8			
70		1.8	2.8	4.2	$R_{min}=11$			
60		2.3	3.3	4.7	5			
50	1.6	3.0	3.9	$R_{min}=8$				
40	2.1	$R_{min}=3$	$R_{min}=5$	0				
30	$R_{min}=1$	0	0					
20	5							
15								

(Sumber : Tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota, 1997)

Tabel 2.17 E (m) untuk $J_h > L_t$, V_R (km/jam) dan J_h (m), di mana $J_h - L_t \geq 25$ m.

R(m)	$V_R=20$	30	40	50	60	80	100	120
	$J_h=16$	27	40	55	75	120	175	250
6000								
5000								
3000								
2000								
1500								
1200								
1000								
800								
600								1,6
500								1,9
400							1,6	3,1
300			1,5	1,8	1,5	2,1	2,5	4,7
250			1,8	2,4	2,0	2,5	3,3	6,2
200		1,5	2,2	2,9	2,3	3,2	4,1	7,8
175		1,7	2,6	3,6	2,9	4,2	4,9	9,4
150		2,0	3,0	4,1	3,9	5,1	6,1	11,7
130		2,2	3,5	4,8	4,7	6,4	8,2	15,6
120	1,5	2,4	3,7	5,5	5,8	8,5	9,8	18,6
110	1,6	2,6	4,1	6,0	6,7	10,1	12,2	$R_{min}=5$
100	1,9	2,9	4,5	6,5	7,8	$R_{min}=210$	R_{min} $=350$	00
90	2,2	3,2	5,0	7,2	8,9			
80	2,6	3,7	5,6	7,9	9,7			
70	3,3	4,3	6,4	8,9	$R_{min}=115$			
60	4,4	5,1	7,4	R_{min} $=80$				
50	6,4	6,4	8,8					
40	8,4	8,4	$R_{min}=50$					
30	$R_{min}=15$	$R_{min}=3$						
20		0						
15								

(Sumber : Tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota, 1997)

Tabel 2.18 E (m) untuk $J_h > L_t$, V_R (km/jam) dan J_h (m), di mana $J \cdot L = 50$ m.

R (m)	$V_R=20$	30	40	50	60	80	100	120
	$J_h=16$	27	40	55	75	120	175	250
6000								1,8
5000								2,2
3000						1,6	2,0	3,6
2000						2,2	3,0	5,5
1500						2,7	4,0	7,3
1200						3,3	5,0	9,1
1000					1,6	4,1	6,0	10,9
800				1,8	2,1	5,5	7,5	13,6
600				2,1	2,7	6,6	10,0	18,1
500			1,7	2,7	3,3	8,2	12,0	21,07
400			2,3	3,5	4,1	10,9	15,0	$R_{min}=500$
300		1,7	2,8	4,3	5,5	13,1	$R_{min}=350$	
250		2,1	3,5	5,3	6,5	$R_{min}=210$		
200		2,4	4,0	6,1	8,2			
175	1,5	2,9	4,7	7,1	9,3			
150	1,8	3,3	5,4	8,1	10,8			
130	1,9	3,6	5,8	8,8	12,5			
120	2,1	3,9	6,3	9,6	13,5			
110	2,3	4,3	7,0	10,5	$R_{min}=115$			
100	2,6	4,7	7,7	11,7				
90	2,9	5,3	8,7	13,1				
80	3,3	6,1	9,9	$R_{min}=80$				
70	3,9	7,1	11,5					
60	4,6	8,5	13,7					
50	5,8	10,5	$R_{min}=50$					
40	7,6	13,9						
30	11,3	$R_{min}=30$						
20	14,8							
15	$R_{min}=15$							

(Sumber : Tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota, 1997)

2.6 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah perpotongan bidang vertikal dengan bidang permukaan perkerasan jalan melalui sumbu jalan, yang umumnya biasa disebut dengan profil/penampang memanjang jalan. Perencanaan alinyemen vertikal sangat

dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain : Kondisi tanah dasar, keadaan medan, fungsi jalan, muka air banjir, muka air tanah dan kelandaian yang masih memungkinkan (Ir. Hamirham Saodang,2010:108).

Pada perencanaan alinyemen vertikal akan ditemui kelandaian positif (tanjakan) dan kelandaian negatif (turunan) sehingga kombinasinya berupa lengkung cembung dan lengkung cekung. Disamping itu akan ditemui pula kelandaian = 0 (datar) (Shirley L. Hendarsin,2000:114)

2.6.1 Landai Maksimum

Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh dan mampu bergerak dengan kecepatan tidak kurang dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah.

Tabel 2.19 Landai maksimum

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

(Sumber : Shirley L.Hendarsin,2000)

2.6.2 Landai Minimum

Lereng melintang jalan hanya cukup untuk mengalirkan air hujan yang jatuh di badan jalan, sedangkan untuk membuat kemiringan dasar saluran samping, yang berfungsi membuang air permukaan sepanjang jalan diperlukan suatu kelandaian minimum. Dalam menentukan landai minimum ini terdapat dua tinjauan, yaitu:

1. Kepentingan lalu lintas, yang ideal 0%,
2. Kepentingan drainase, yang ideal jalan berlandai.

Dari tinjauan tersebut, maka dalam perencanaan alinyemen vertikal sangat dianjurkan :

- a. Landai datar, untuk jalan di atas timbunan tanpa kerb.
- b. Landai 0,15%, untuk jalan di atas timbunan, medan datar dengan kerb.
- c. Landai min 0,3-05%, untuk jalan pada daerah galian dengan kerb.

2.6.3 Panjang Landai Kritis

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

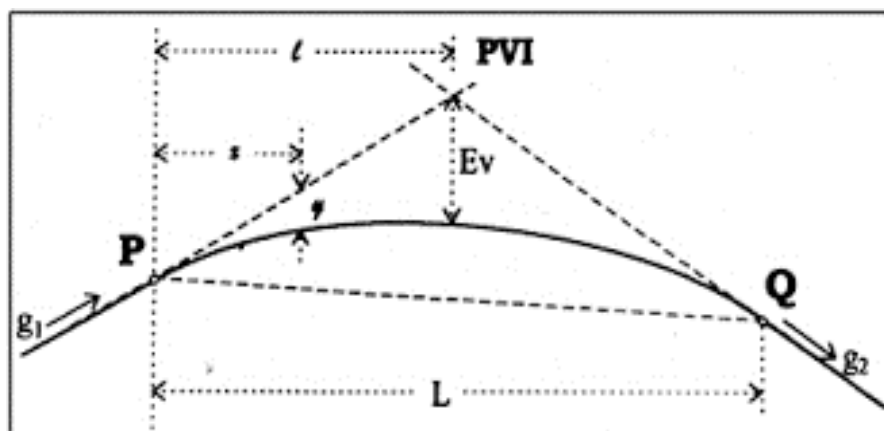
Tabel 2.20 Panjang landai kritis

Kecepatan pada awal tanjakan (km/jam)	Kelandaian (%)						
	4	5	6	7	8	9	10
80	630	460	360	270	130	230	200
60	320	210	160	120	110	90	80

(Sumber : Shierley L.Hendarsin,2000)

2.6.4 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal adalah garis yang menghubungkan antara dua kelandaian arah memanjang jalan agar tidak terjadi patahan, lengkung vertical direncanakan untuk merubah secara bertahap dari perubahan dua macam kelandaian arah memanjang jalan pada setiap lokasi yang diperlukan yang bertujuan untuk memenuhi keamanan, kenyamanan bagi pengguna jalan serta penyediaan drainase yang baik.



Gambar 2.15 lengkung vertikal

Rumus yang digunakan yaitu sebagai berikut :

$$x = \frac{Lg_1}{g_1 - g_2} = \frac{Lg_1}{A} \dots\dots\dots 2.47$$

$$y = \frac{Lg_1^2}{2(g_1 - g_2)} = \frac{Lg_1^2}{2A} \dots\dots\dots 2.48$$

Dimana :

x = Jarak dari titik p ke titik yang ditinjau pada stasiun (STA)

y = Perbedaan elevasi titik P dan titik yang ditinjau pada STA (m)

L = Panjang lengkung vertical parabola, yang merupakan jarak proyeksi dari titik A dan titik Q (STA)

g1 = Kelandaian tangen dari titik P (%)

g2 = Kelandaian tangen dari titik Q (%)

Rumus di atas untuk lengkung simetris, $(g_1 \pm g_2) = A =$ perbedaan aljabar untuk kelandaian (%). Kelandaian menaik (pendakian) diberi tanda (+), sedangkan kelandaian menurun (penurunan) diberi tanda (-). Ketentuan pendakian atau penurunan ditinjau dari kiri.

$$Ev = \frac{A.L}{800} \dots\dots\dots 2.49$$

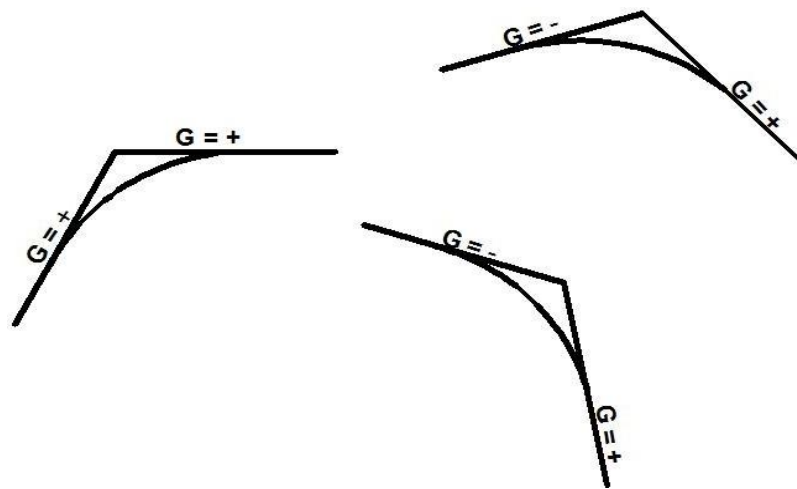
$$\text{Untuk : } x = \frac{1}{2} L$$

$$y = Ev$$

Lengkung vertikal dibagi menjadi dua macam, yaitu sebagai berikut :

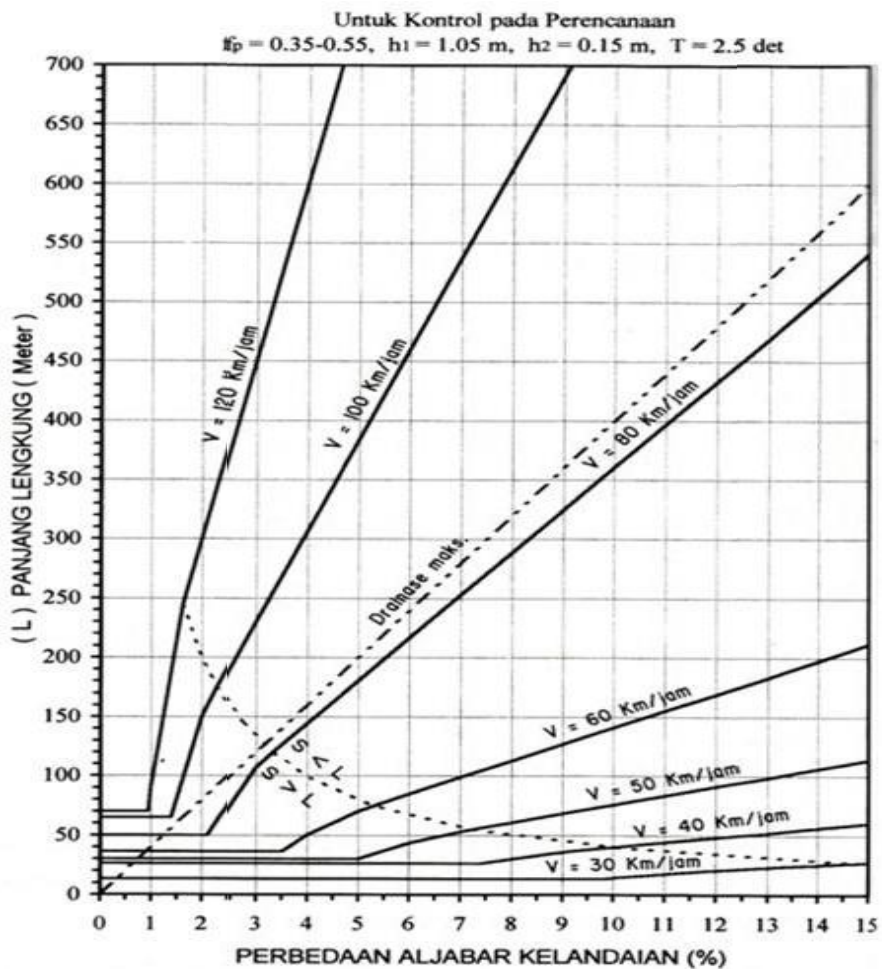
a. Lengkung vertikal cembung

Lengkung vertical cembung, yaitu lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada dibawah permukaan jalan. Untuk gambar lengkung vertical cekung dapat dilihat pada gambar 2.16 dibawah ini :

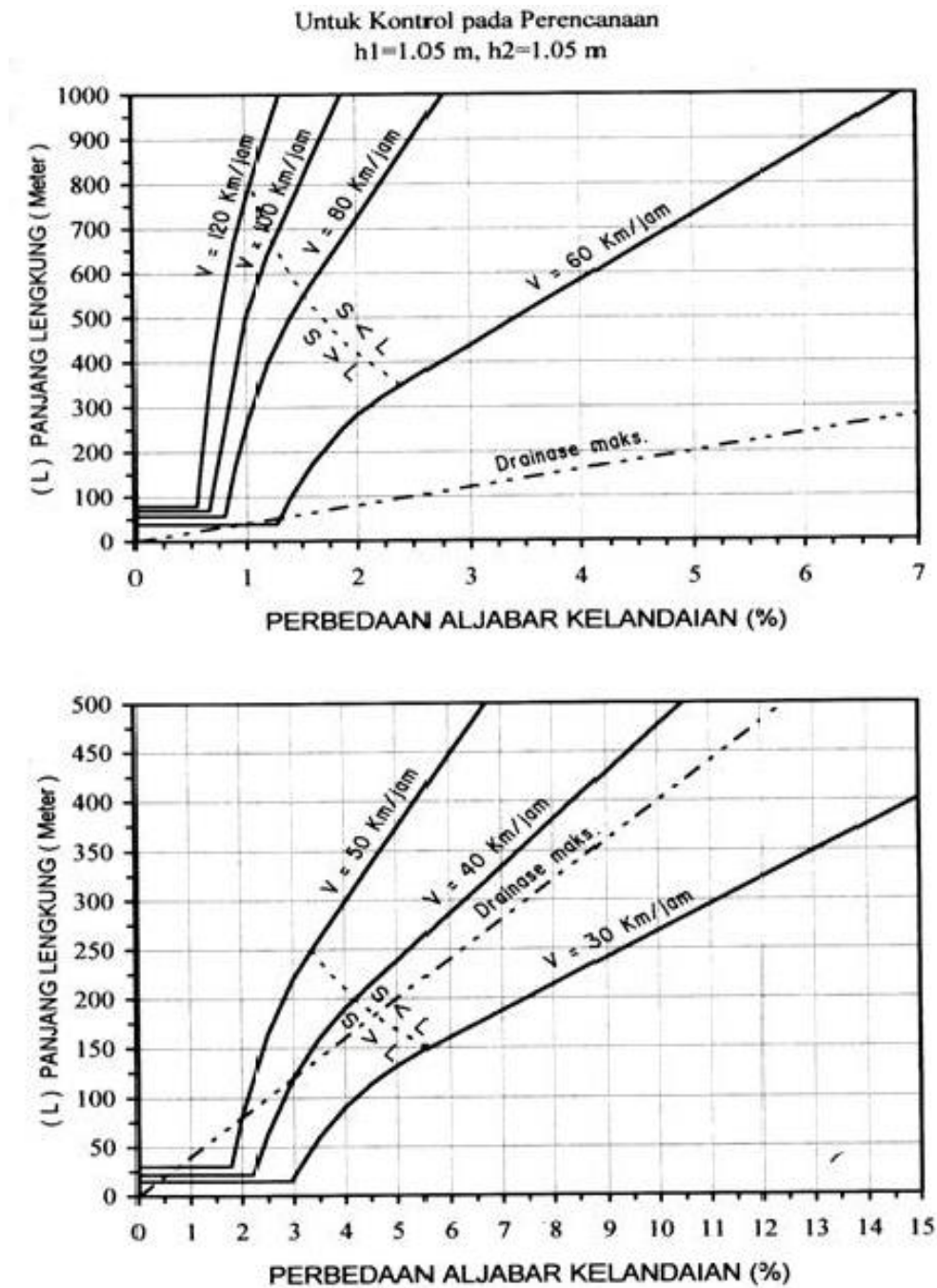


Gambar 2.16 Alinyemen Vertikal Cembung

Untuk menentukan panjang lengkung vertikal cembung (L_v) dapat juga ditentukan berdasarkan grafik pada gambar 2.21 (untuk jarak pandang henti)



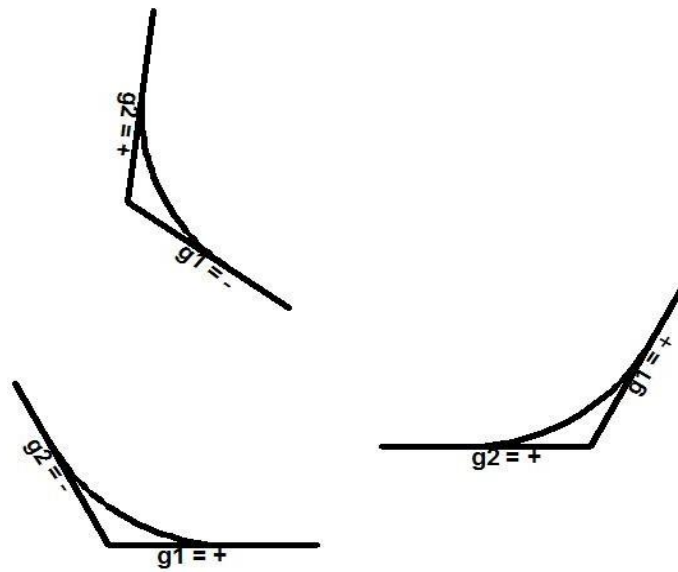
Gambar 2.17 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cembung Jarak Henti



Gambar 2.18 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cembung Berdasarkan Jarak Pandang Mendahului

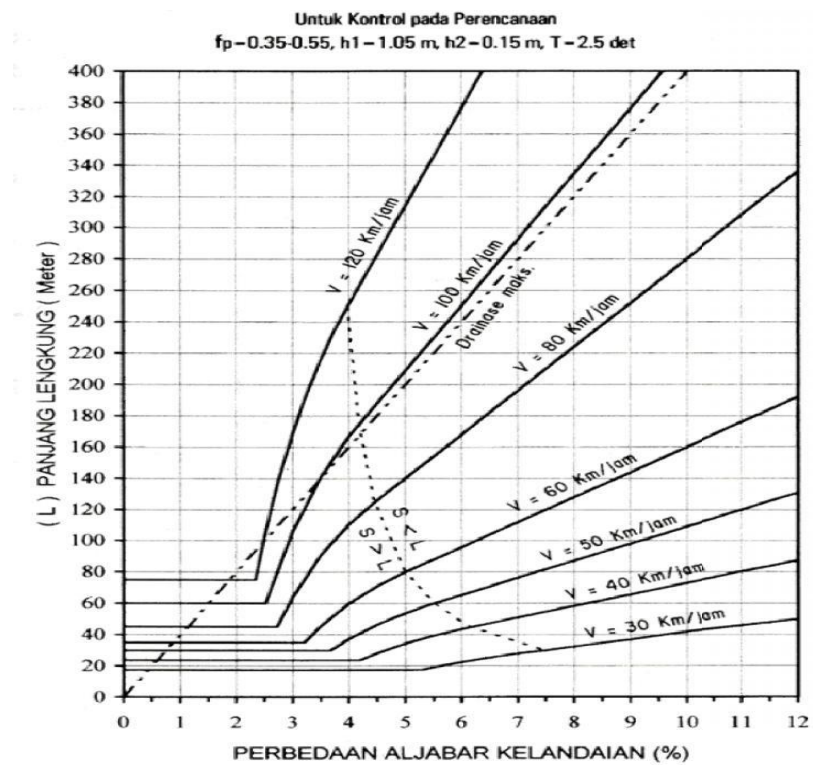
b. Lengkung vertikal cekung

Lengkung vertikal cekung adalah lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada di atas permukaan jalan. Untuk gambar lengkung vertikal cekung dapat dilihat pada gambar 2.19 dibawah ini :



Gambar 2.19 Alinyemen Vertikal Cekung

Panjang lengkung vertikal cekung ditentukan berdasarkan jarak pandangan pada waktu malam hari dan syarat drainase sebagaimana tercantum dalam grafik pada Gambar 2.20



Gambar 2.20 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cekung

2.7 Perencanaan Tebal Perkerasan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan berat.

Lapisan perkerasan jalan adalah suatu struktur konstruksi yang terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan – lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas yang berada diatasnya menyebar kelapisan dibawahnya.

Beban lalu lintas yang bekerja diatas konstruksi perkerasan jalan yaitu meliputi :

- a. Beban atau gaya vertikal (berat kendaraan dan muatannya)
- b. Beban atau gaya horizontal (gaya rem kendaraan)
- c. Getaran-getaran roda kendaraan

2.7.1 Jenis konstruksi dan perkerasan

Berdasarkan bahan pengikatnya jenis konstruksi perkerasan jalan terbagi menjadi tiga jenis yaitu sebagai berikut :

- a. Perkerasan Kaku (*rigid pavement*)
Yaitu, perkerasan yang menggunakan semen (PC) sebagai bahan pengikat.
- b. Perkerasan lentur (*flexible pavement*)
Yaitu, perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.
Lapisan-lapisan perkerasan beraspal bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
- c. Perkerasan Komposit (*composite pavement*)
Yaitu, perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur. (Sukirman,1999)

Pada laporan akhir ini akan membahas mengenai perencanaan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*).

2.7.2 Kriteria Kontruksi Perkerasan Jalan

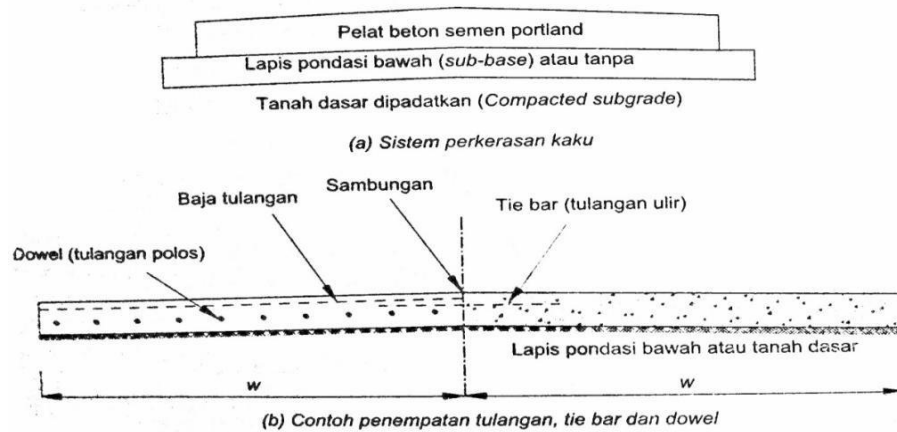
Kontruksi perkersan jalan harus memberikan rasa aman dan nyaman kepada pengguna jalan. Oleh karena itu konstruksi perkerasan jalan harus dipenuhi syarat-syarat yaitu sebagai berikut :

1. Syarat untuk lalu lintas
 - a. Permukaaan harus rata, tidak melendut, tidak bergelombang serta tidak berlubang.
 - b. Permukaan cukup kaku, tidak mudah mengalami deformasi akibat beban yang bekerja.
 - c. Permukaan cukup memiliki kekesatan sehingga mampu memberikan tahan gesek yang yang baik antara ban dan permukaan jalan.
 - d. Permukaan jalan tidak mengkilap (tidak menyilaukan jika terkena sinar matahari) .
2. Syarat kekuatan struktural
 - a. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar .
 - b. Kedap terhadap air sehingga air tidak meresap ke lapisan bawahnya.
 - c. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang ada dipermukaaan jalan dapat cepat dialirkan.
 - d. Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi permanaen.

2.7.3 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Menurut Hardiyatmo (2015) perkerasan kaku terdiri dari pelat beton semen portland yang terletak langsung di atas tanah dasar, atau di atas lapisan granuler (*subbase*). Perkerasan kaku memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi. Pelat beton dapat mendistribusikan beban dari atas menuju ke bidang tanah dasar dengan area yang cukup luas dibandingkan dengan perkerasan lentur. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa bagian terbesar dari kekuatan struktur perkerasan kaku

diperoleh dari pelat beton sendiri. Pada gambar 2.18 menunjukkan contoh tipikal komponen perkerasan kaku dan peletakan tulangnya.



Gambar 2.21 Sistem perkerasan kaku

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

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

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

Adapun keuntungan menggunakan konstruksi perkerasan kaku yaitu sebagai berikut :

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.

Adapun Kerugian dalam pemakaian konstruksi perkerasan kaku, yaitu sebagai berikut :

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.

2.7.4 Tipe-Tipe Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu perkerasan betondengan sambungan dan tanpa sambungan. Adapun yang disebut perkerasan beton konvensional antara lain (Hardiyatmo, 2015) :

1. Perkerasan beton bertulang tak bersambungan (*Jointed Plain Concrete Pavement, JPCP*)
2. Perkerasan beton bertulang bersambungan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement, JRCP*)
3. Perkerasan beton bertulang kontinyu (*Continuous Reinforced Concrete Pavement, CRCP*)
4. Selain tipe konvensional, terdapat pula tipe perkerasan beton prategang, beton pracetak dan *roller compacted concrete (RCC)*.

2.7.5 Persyaratan Teknis dan Perencanaan Perkerasan Kaku

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%.

Penentuan nilai CBR dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan cara grafis dan analitis.

a. Cara grafis

Metode grafis diperoleh dari data bermacam-macam jenis pada suatu seksi jalan tertentu. Dari data yang diperoleh dilakukan perhitungan dengan cara menentukan harga CBR terendah, kemudian menentukan jumlah harga CBR yang sama dan yang lebih besar. Angka jumlah terbanyak dinyatakan dalam 100%, jumlah yang lain merupakan persentase dari 100%. Buatlah grafik hubungan antara nilai CBR dengan % jumlah dan akan diperoleh nilai CBR rerata dengan diambil angka persentasenya = 90%

b. Cara analitis

Adapun rumus yang digunakan pada CBR analitis adalah :

$$CBR = CBR - (CBR_{maks} - CBR_{min}) / R \dots\dots\dots 2.50$$

Nilai R tergantung dari jumlah data yang terdapat dalam satu segmen. Nilai R untuk perhitungan CBR segmen diberikan pada Tabel dibawah ini.

Tabel. 2.21 Nilai R untuk Perhitungan CBR Segmen

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

(Sumber : Hendra Suryadharma, 1999)

2. Pondasi bawah

Tujuan digunakannya lapis pondasi bawah pada perkerasan kaku adalah 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 atau penyusutan serta mencegah keluarnya air atau pumping pada sambungan atau tepi-tepi pelat beton. . Adapun bahan-bahan pondasi bawah pada perkerasan kaku dapat berupa:

a. Bahan berbulir

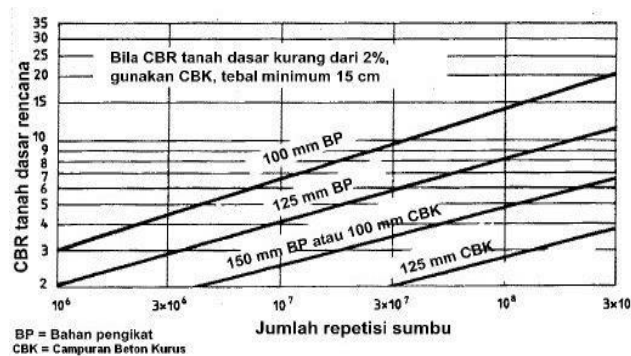
Persyaratan dan gradasi pondasi bawah harus sesuai dengan kelas B. Sebelum pekerjaan dimulai, bahan pondasi bawah harus diuji gradasinya dan harus memenuhi spesifikasi bahan untuk pondasi bawah, dengan penyimpangan izin 3% - 5%.

b. Stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (*lean rolled concrete*)

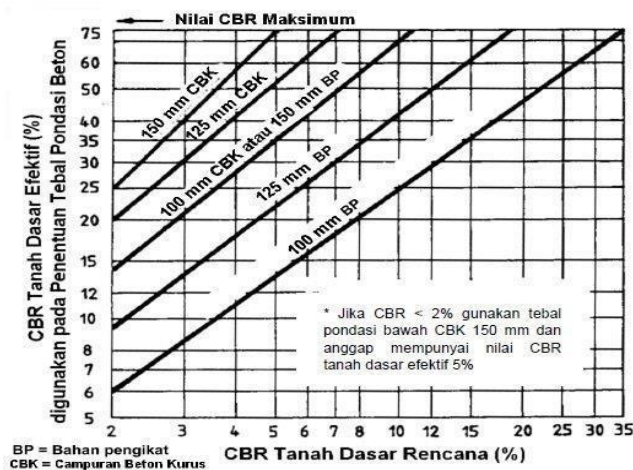
Stabilisasi material berbutir dengan kadar bahan pengikat yang sesuai dengan hasil perencanaan, untuk menjamin kekuatan campuran dan ketahanan terhadap erosi. Jenis bahan pengikat dapat meliputi semen, kapur, serta abu terbang dan/atau *slag* yang dihaluskan.

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

Campuran Beton Kurus (CBK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 MPa (50kg/cm^2) tanpa menggunakan abu terbang atau 7 MPa (70kg/cm^2) 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 2.19 dan CBR tanah dasar efektif dapat dilihat pada Gambar 2.20 berikut ini :



Gambar 2.21 Tebal Pondasi Bawah Minimum untuk Beton Semen



Gambar 2.22 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.

4. Kuat Tarik

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.

5. Lalu Lintas

Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton. 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.

6. Lajur Rencana

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 2.22 berikut ini :

Tabel 2.22 Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga pada lajur rencana.

Lebar Perkerasan (L _o)	Jumlah Lajur (n _l)	Koefisien Distribusi	
		1 Arah	2 Arah
L _o < 5,50 m	1 lajur	1	1
5,50 m ≤ L _o < 8,25 m	2 lajur	0,70	0,50
8,25 m ≤ L _o < 11,25 m	3 lajur	0,50	0,475
11,23 m ≤ L _o < 15,00 m	4 lajur	-	0,45
15,00 m ≤ L _o < 18,27 m	5 lajur	-	0,425
18,27 m ≤ L _o < 22,00 m	6 lajur	-	0,40

(Sumber : Pd. T-14-2003)

7. 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.

8. Pertumbuhan Lalu Lintas

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

$$R = \frac{(1 + 0,01)UR - 1}{i}$$

Dimana :

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

i = laju pertumbuhan lalu lintas pertahun dalam %

UR = umur rencana (tahun)

Tabel 2.23 Umur rencana berdasarkan laju pertumbuhan per tahun

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 : Bina Marga, 2003)

9. Lalu Lintas Rencana

Lalu lintas rencana adalah jumlah komulatif 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 :

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C \dots\dots\dots$$

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.

10. 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 2.24 berikut ini:

Tabel 2.24 Faktor keamanan beban (F_{kb})

No	Penggunaan	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 <i>route alternative</i> , maka nilai factor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15.	1,12
2	Jalan beban hambatan (<i>freeway</i>) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah.	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah.	1,0

(Sumber : Bina Marga, 2003)

2.7.6 Sambungan

1. Sambungan pelaksanaan (*construction joint*).

Sambungan pelaksanaan merupakan sambungan yang memisahkan bagian-bagian pelat beton yang dicor pada waktu yang berbeda. Jadi, sambungan ini merupakan pertemuan antara beton yang dicor lebih awal dan sesudahnya.

2. Sambungan muai (*expansion joint*).

Sambungan muai atau sambungan ekspansi berfungsi untuk memberikan ruang pemuaian pelat beton yang cukup di antara pelat-pelat perkerasan guna mencegah adanya tegangan tekan berlebihan yang dapat mengakibatkan perkerasan beton bertekuk.

3. Sambungan susut (*contraction joint*)

Sambungan kontraksi/sambungan susut berguna untuk mengendalikan retak susut beton

4. Sambungan lengkung (*warping joint*) atau sendi (*hinge*)

Sambungan lengkung atau sendi digunakan dalam perkerasan beton untuk mengendalikan retak disepanjang sumbu dari perkerasan. Jenis sambungan yang digunakan tergantung pada pengecoran pelat beton.

5. Dowel

Dowel adalah batang baja yang berfungsi sebagai alat penyalur beban antara dua pelat yang berdampingan.

Pola sambungan pada perkerasan beton semen harus mengikuti batasan-batasan sebagai berikut :

- a. Jarak maksimum sambungan memanjang 3 – 4 meter.
- b. Jarak maksimum sambungan melintang 25 kali tebal pelat, maksimum 5,0 meter.
- c. Semua sambungan susut harus menerus sampai kerb dan mempunyai kedalaman seperempat dan sepertiga dari tebal perkerasan masing-masing untuk lapis pondasi berbutir dan lapis stabilisasi semen.
- d. Antar sambungan harus bertemu pada satu titik untuk menghindari terjadinya retak refleksi pada lajur yang bersebelahan.

- e. Sudut antar sambungan yang lebih kecil dari 60 derajat harus dihindari dengan mengatur 0,5 m panjang terakhir dibuat tegak lurus terhadap tepi perkerasan.
- f. Apabila sambungan berada dalam area 1,5 meter dengan manhole atau bangunan yang lain, jarak sambungan harus diatur sedemikian rupa.

Sambungan pada perkerasan beton semen ditunjukkan untuk :

- a. Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting serta beban lalu lintas.
- b. Memudahkan pelaksanaan,
- c. Mengakomodasi gerakan pelat.

Pada perkerasan beton semen terdapat beberapa jenis sambungan antara lain sebagai berikut :

1. Sambungan Memanjang dengan Batang Pengikat (*tie bars*)

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3-4 m. Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm. Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_t = 204 \times b \times h$$

$$I = (38,3 \times \phi) + 75$$

Dimana :

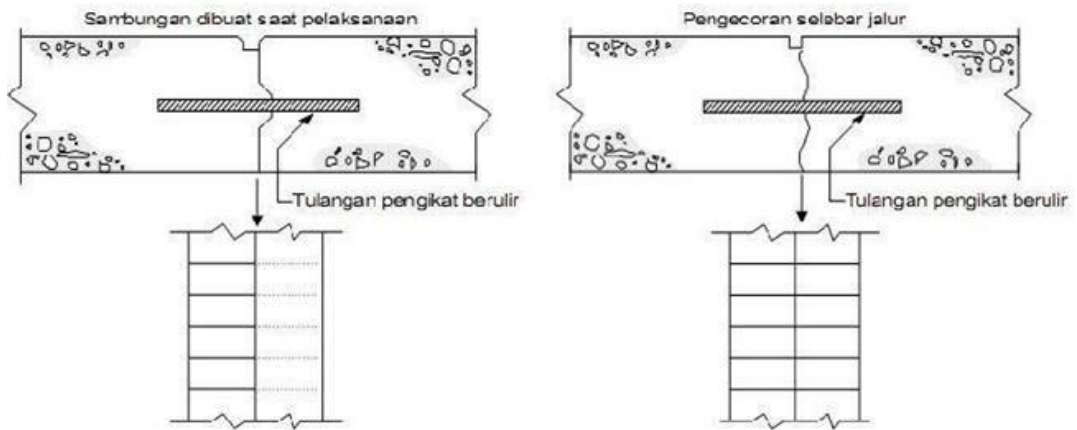
A_t = Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm²).

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).

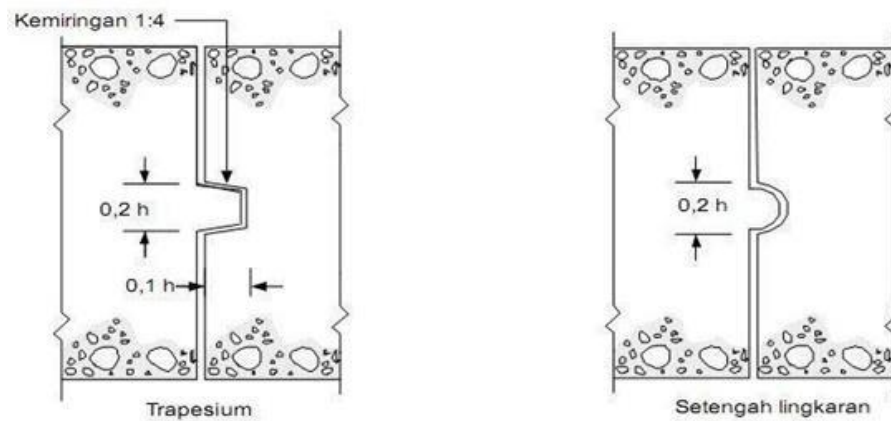


a. Sambungan dibuat saat pelaksanaan b. Pengecoran selebar jalur

Gambar 2.23 Tipikal sambungan memanjang

2. Sambungan pelaksanaan memanjang

Sambungan pelaksanaan memanjang umumnya dilakukan dengan cara penguncian. Bentuk dan ukuran penguncian dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 2.21 berikut ini :



a. Trapesium b. Setengah Lingkaran

Gambar 2.24 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.

a. 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.

b. 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.

c. 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 2.21 dan Gambar 2.22.



Gambar 2.25 Sambungan susut melintang tanpa ruji



Gambar 2.26 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 2.25 berikut ini :

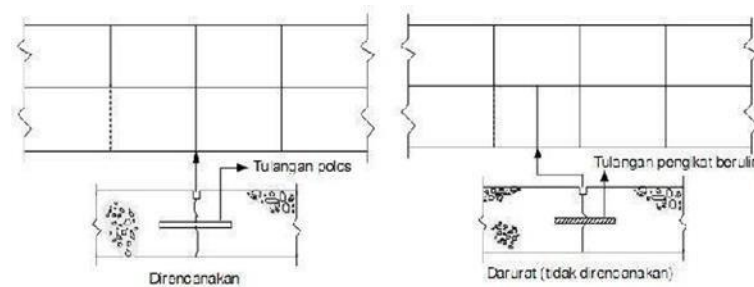
Tabel 2.25 Diameter ruji

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 : Bina Marga 2003)

d. Sambungan Pelaksanaan Melintang

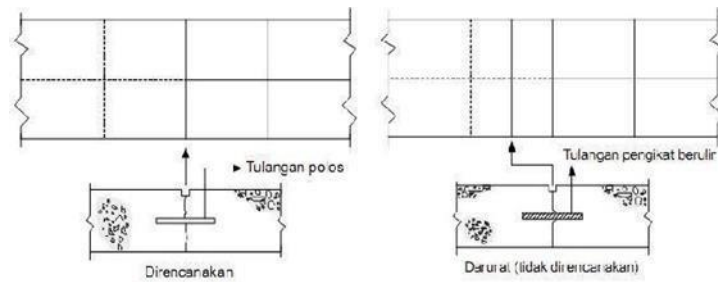
Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan pada sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan di tengah tebal pelat.



a. Direncanakan

b. Darurat tidak direncanakan

Gambar 2.27 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran per lajur.

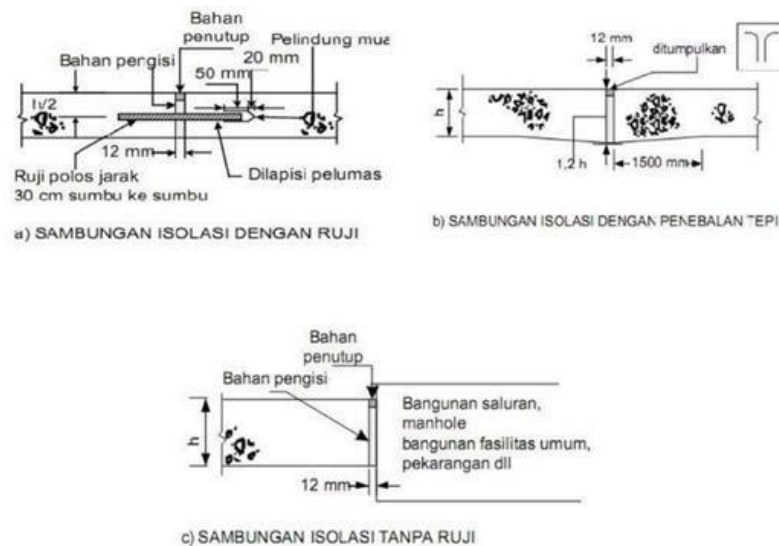


c. Direncanakan d. Darurat tidak direncanakan

Gambar 2.28 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran seluruh lebar perkerasan.

e. Sambungan isolasi

Sambungan isolasi memisahkan perkerasan dengan bangunan yang lain, misalnya *manhole*, jembatan, tiang listrik, jalan lama, persimpangan dan lain sebagainya. 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 2.25 Berikut ini :

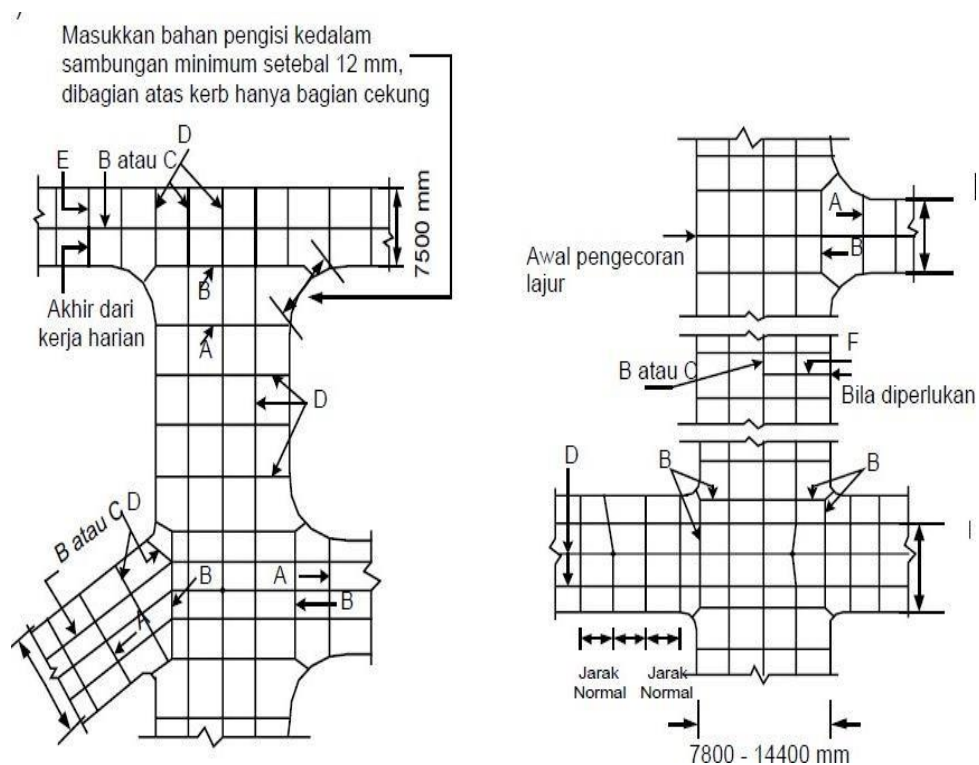


Gambar 2.29 Sambungan isolasi

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

f. Penutup sambungan

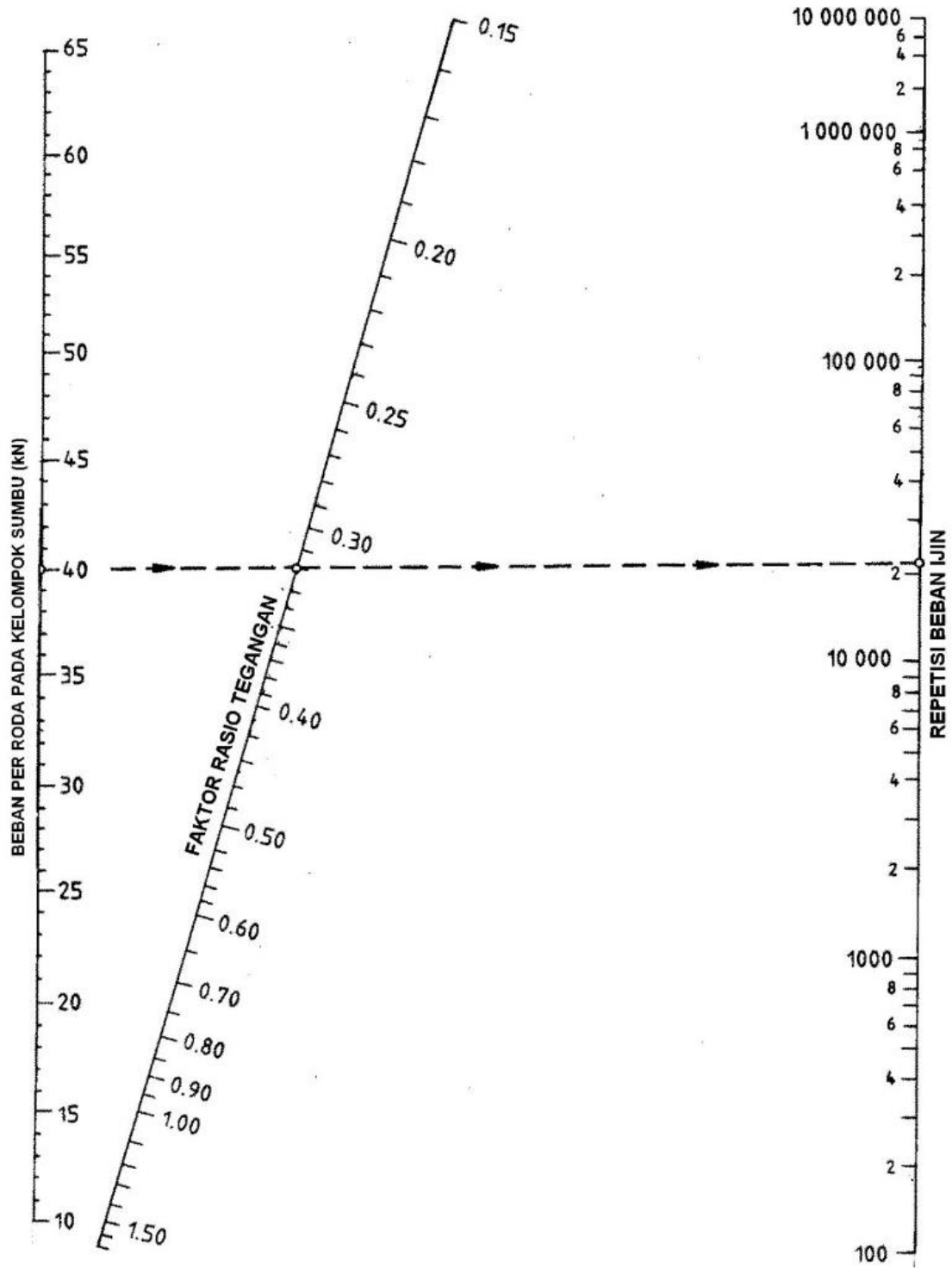
Penutup sambungan dimaksudkan untuk mencegah masuknya air dan atau benda lain ke dalam sambungan perkerasan. Benda-benda lain yang masuk ke dalam sambungan dapat menyebabkan kerusakan berupa gompal dan atau pelatbeton yang saling menekan keatas (*blowup*).



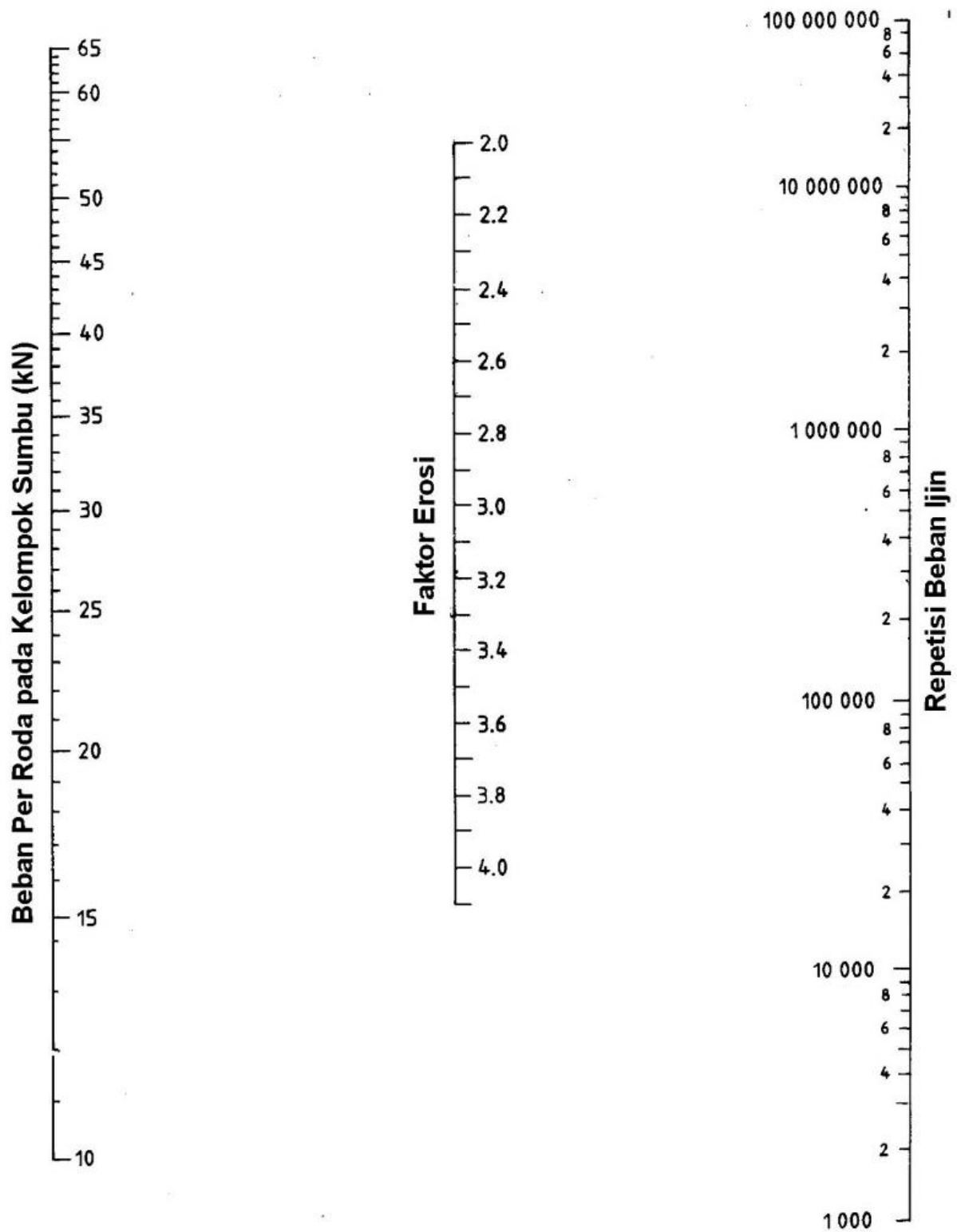
Gambar 2.30 Detail potongan melintang sambungan perkerasan

2.7.7 Tebal Pelat

Tebal pelat taksiran dipilih dan total fatik serta kerusakan erosi dihitung berdasarkan komposisi lalu lintas selama umur rencana. Jika kerusakan fatik atau erosi lebih dari 100%, tebal taksiran dinaikan dan proses perencanaan diulangi. Tebal rencana adalah tebal taksiran yang paling kecil yang mempunyai total fatik atau total kerusakan erosi lebih kecil atau sama dengan 100%.



Gambar 2.31 Analisa Fatik dan Beban Repetisi Ijin Berdasarkan Rasio Tegangan dengan atau tanpa bahu beton



Gambar 2.32 Analisa Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin, Berdasarkan Erosi Tanpa Bahu Beton

2.7.8 Perencanaan Tulangan

Perencanaan tulangan dilaksanakan berdasarkan jenis perkerasan kaku, yaitu :

1. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan

Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, ada kemungkinan penulangan perlu dipasang guna mengendalikan retak. Bagian-bagian pelat yang diperkirakan akan mengalami retak akibat konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari dengan pengaturan pola sambungan, maka pelat harus diberi tulangan. Penerapan tulangan umumnya dilaksanakan pada:

- a. Pelat dengan bentuk tak lazim (*odd-shaped slabs*), pelat disebut besar dari 1,25, atau bila pola sambungan pada pelat tidak benar-benar berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang tidak lazim bila perbandingan antara panjang dengan lebar lebih.
 - b. Pelat dengan sambungan tidak sejalur (*mismatched joints*).
 - c. Pelat berlubang (*pitsor structures*)
2. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times h}{2 \times f_s} \dots \dots \dots$$

Dimana:

A_s = luas penampang tulangan baja (mm^2/m lebar pelat)

f_s = kuat-tarik ijin tulangan (MPa), biasanya 0,6 kali tegangan leleh

g = gravitasi (m/detik)

h = tebal pelat beton(m)

L = jarak antara sambungan yang tidak diikat atau tepi bebas pelat(m)

M = berat persatuan volume pelat (kg/m^3)

μ = koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah.

Adapun nilai koefisien gesek antara pelat beton (*slab*) dengan lapisan pondasi dibawahnya dapat dilihat pada tabel 2.21 dibawah ini:

Tabel 2.26 Koefisien gesekan pelat beton dengan lapisan pondasi bawah

No	Tipe Material Dibawah Slab	Koefisien Gesekan (μ)
1	Burtu, Lapen dan Konstruksi Sejenisnya	2,2
2	Aspal Beton, Lataston, Stabilisasi Kapur, Stabilisasi Aspal, Stabilisasi Semen	1,8
3	Koral Sungai, Batu Pecah	1,5
4	Sirtu	1,2
5	Tanah	0,9

(Sumber:Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003)

3. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan

$$Lcr = \frac{fcr^2}{N \times P^2 \times FB \times (Es \times Ec - fct)}$$

Dimana :

Lcr = Jarak teoritis antara retakan (cm)

P = Perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton

u = Perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $4/d$

fb = tegangan lekat antara tulangan dengan beton = $(1,97\sqrt{f'c})/d$.(kg/cm²)

S = koefisien susut beton = (400.10^{-6})

Fct = kuat tarik langsung beton = $(0,4-0,5f'c)$ (kg/cm²)

n = angka ekuivalensi antara baja dan beton = (Es/Ec)

Ec = modulus Elastisitas beton = $14850\sqrt{f'c}$ (kg/ cm²)

Es = modulus Elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/ cm²)

4. Perkerasan beton semen prategang

Suatu struktur perkerasan jalan beton semen menerus, tanpa tulangan yang menggunakan kabel-kabel pratekan guna mengurangi pengaruh susut, muai dan lenting akibat perubahan temperatur dan kelembapan. Perkerasan beton semen prategang merupakan tipe perkerasan yang telah dan tengah dikembangkan lagi, baik untuk perencanaan jalan baru maupun untuk pemeliharaan, misalnya penggantian pelat beton tertentu yang mengalami kerusakan. Perencanaan jalan beton dengan metoda pracetak-prategang ini, sebagaimana halnya pada konstruksi yang menggunakan sistim prategang, dimaksudkan untuk memberi

tekanan awal pada beton sehingga tegangan tarik yang terjadi pada konstruksi perkerasan beton tersebut bisa diimbangi oleh tegangan awal dan kekuatan tarik dari beton itu sendiri (Furqon Affandi, 2009).

Perkerasan beton dengan sistem pracetak-prategang ini mempunyai beberapa keuntungan, seperti:

- a. Mutu beton akan lebih terkontrol, karena dicetak di pabrik.
- b. Pelat beton menjadi lebih tipis, sehingga keperluan bahan akan lebih sedikit.
- c. Retak yang terjadi bisa lebih kecil, karena ada tekanan dari baja yang ditegangkan.
- d. Pelaksanaan dilapangan akan lebih cepat, dan pembukaan untuk lalu lintas pun akan lebih cepat pula.
- e. Gangguan terhadap lalu lintas, selama pelaksanaan dilapangan bisa diminimalkan karena pembangunan bisa lebih cepat.
- f. Kenyamanan pengguna jalan akan meningkat, karena sambungan antar pelat lebih panjang.

Hal yang harus mendapat perhatian lebih lanjut adalah:

- a. Diperlukannya ketelitian dalam pembentukan tanah dasar dan lapisan pondasi.
- b. Diperlukannya ketelitian pada pembentukan pelat dipabrik.

2.8 Bangunan pelengkap jalan

Untuk memenuhi persyaratan kelancaran dan menghindari kerusakan akibat air yang berdampak pada kenyamanan pemakai jalan, diperlukan adanya bangunan pelengkap jalan. Bangunan-bangunan tersebut antara lain:

2.8.1 Drainase

Drainase digunakan sebagai bangunan pelengkap jalan untuk mengalirkan air pada permukaan jalan secepat mungkin agar lalu lintas tetap lancar. Perencanaan sistem drainase jalan didasarkan kepada keberadaan air permukaan, sehingga perencanaan drainase jalan dibagi menjadi dua yaitu drainase permukaan dan drainase bawah permukaan.

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.

2.8.2 Persyaratan Teknis Perencanaan Drainase

Syarat umum perencanaan drainase adalah sebagai berikut :

- a. Penggunaan yang efektif dan efisien, perencanaan drainase haruslah sedemikian rupa sehingga fungsi fasilitas drainase sebagai penampung, pembagi dan pembuangan air dapat sepenuhnya berdaya guna dan berhasil guna.
- b. Ekonomis dan aman, pemeliharaan dimensi dari fasilitas drainase

haruslah mempertimbangkan faktor ekonomis dan faktor keamanan.

- c. Pemeliharaan, perencanaan drainase haruslah mempertimbangkan pula segikemudahan dan nilai ekonomis dari pemeliharaan sistem drainase tersebut.

Ketentuan kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan dalam perencanaan drainase :

- a. Pada daerah yang datar dan lurus

Penanganan pengendalian air untuk daerah ini biasanya dengan membuat kemiringan perkerasan dan bahu jalan mulai dari tengah perkerasan menurun/melandai ke arah selokan samping. Besarnya kemiringan bahu jalan biasanya diambil 2% lebih besar daripada kemiringan permukaan jalan.

Adapun besarnya kemiringan normal pada perkerasan jalan, dapat dilihat pada Tabel 2.27 berikut ini :

Tabel 2.27 Kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan

No.	Jenis lapisan permukaan jalan	Kemiringan melintang
1	Beraspal, beton	2% - 3%
2	Jalan yang dipadatkan	4% - 6%
3	Kerikil	3% - 6%
4	Tanah	4% - 6%

(Sumber : Perencanaan sistem drainase, 2006)

- b. Daerah jalan yang lurus pada tanjakan/penurunan

Penanganan pengendalian air pada daerah ini perlu mempertimbangkan pula besarnya kemiringan alinyemen vertikal jalan yang berupa tanjakan dan turunan agar aliran air secepatnya bisa mengalir ke selokan samping. Untuk itu maka kemiringan melintang perkerasan jalan disarankan agar menggunakan nilai-nilai maksimum.

- c. Pada daerah tikungan

Kemiringan melintang pada perkerasan jalan pada daerah ini harus mempertimbangkan kebutuhan kemiringan jalan menurut persyaratan

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

Menurut Perencanaan Sistem Drainase Jalan hal-hal yang perlu diperhatikan pada perencanaan drainase permukaan diuraikan dibawah ini :

- a. Plot rute jalan di peta topografi (L)
 1. Plot rute jalan rencana pada topografi diperlukan untuk mengetahui gambaran topografi atau daerah kondisi sepanjang trase jalan yang akan dilalui dapat dipelajari.
 2. Kondisi *terrain* pada daerah layanan diperlukan untuk menentukan bentuk dan kemiringan yang akan mempengaruhi pola aliran.
- b. Panjang segmen saluran (L)

Penentuan panjang segmen saluran(L) didasarkan pada:

 1. Kemiringan rute jalan, disarankan saluran mendekati kemiringan rute jalan.
 2. Adanya tempat buangan air seperti badan air (misalnya sungai, waduk, dan lain-lain).
 3. Langkah coba-coba sehingga dimensi saluran paling ekonomis.
- c. Luas daerah layanan (A)
 1. Perhitungan luas daerah layanan didasarkan pada panjang segmen jalan yang ditinjau.
 2. 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.
 3. Luas daerah layanan terdiri atas luas setengah badan jalan (A_1), luas bahu jalan (A_2) dan luas daerah di sekitar (A_3).
 4. 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.

5. 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 menampung air dari luas daerah layanan daerah sekitar (A_3).

d. 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.

e. Faktor limpasan (fk)

1. Merupakan faktor atau angka yang dikalikan dengan koefisien *run off* biasa dengan tujuan agar kinerja saluran tidak melebihi kapasitasnya akibat daerah pengaliran yang terlalu luas. Harga faktor limpasan (fk) disesuaikan dengan kondisi permukaan tanah.

Tabel 2.28 Koefisien Pengaliran (C) dan Faktor Limpasan (K)

No	Kondisi Permukanaan Tanah	Koefisien	Faktor
	BAHAN		
1	Jalan beton dan jalan aspal	0,70 – 0,95	-
2	Jalan krikil dan jalan tanah	0,40 – 0,70	-
3	Bahun Jalan		
	Dari tanah berbutir halus	0,40 – 0,65	-
	Dari tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20	-
	Dari tanah berbutir keras	0,70 – 0,85	-
	Dari tanah berbutir lunak	0,60 – 0,75	-

No	Kondisi Permukanaan Tanah	Koefisien	Faktor
	TATA GUNA LAHAN		
1	Daerah perkotaan	0,70 – 0,95	2,0
2	Daerah pinggiran kota	0,60 – 0,70	1,5
3	Daerah industry	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)

2. 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:

$$C = \frac{C1. A1 + C2. A2 + C3. A3}{A1 + A2 + A3}$$

Dimana:

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

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

Fk = Faktor limpasan sesuai guna lahan

- f. Waktu Konsentrasi (Tc)

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 :

$$Tc = t_1 + t_2 \text{ atau } Tc = t_o + t_d \dots\dots\dots$$

$$t_1 = \frac{2}{3} \times 3,28 \times l_o \times \frac{nd}{\sqrt{is}}$$

$$t_2 = \frac{L}{60 \times V}$$

Dimana :

T_c = Waktu konsentrasi (menit)

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

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

l_0 = Jarak titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

L = Panjang saluran (m)

n_d = Koefisien hambatan

i_s = Kemiringan saluran memanjang

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

Tabel 2.29 Kemiringan saluran memanjang (i_s)

No.	Jenis material	Kemiringan saluran (i_s)
1	Tanah asli	0 – 5
2	Kerikil	5 – 7,5
3	Pasangan	7,5

(Sumber: Perencanaan Sistem Drainase, 2006)

Tabel 2.30 Koefisien hambatan (n_d)

No	Kondisi Permukaan Yang Dilalui Aliran	n_d
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,01
3	Permukaan licin dan kokoh	0,10
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,20
5	Padang rumput dan rerumputan	0,40
6	Hutan gundul	0,60
7	Hutan rimbum dan hutan rapat dengan hamparan	0,80

(Sumber: Perencanaan Sistem Drainase, 2006)

Waktu Konsentrasi (T_c)

1. Analisa hidrologi

- a. 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 terletak pada daerah layanan saluran samping jalan.

- b. Jika daerah layanan tidak memiliki data curah hujan, maka dapat

digunakan data dari stasiun di luar daerah layanan yang dianggap masih dapat mewakili. Jumlah data curah hujan yang diperlukan minimal 10 tahun terakhir.

2. 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.

3. 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.

4. Debit aliran air (Q)

Untuk menghitung debit aliran air (Q) menggunakan rumus :

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

Dimana :

Q = Debit aliran air (m³/detik)

C = Koefisien pengaliran rata-rata dari

C1,C2,C3I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

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

2.8.3 Kriteria perencanaan drainase 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 drainase jalan maupun gorong-gorong.

1. Drainase/saluran samping

- a. Bahan bangunan saluran ditentukan oleh besarnya kecepatan rencana aliran air yang mengalir di saluran samping jalan tersebut. Adapun aliran yang diizinkan terdapat pada Tabel 2.28 dibawah ini :

Tabel 2.31 Aliran air yang diizinkan

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

(Sumber : Perencanaan sistem drainase, 2006)

- b. Kemiringan saluran ditentukan berdasarkan bahan yang digunakan. Hubungan antara bahan yang digunakan dengan kemiringan saluran arah memanjang.

Tabel 2.32 Kemiringan Saluran Memanjang (Is)

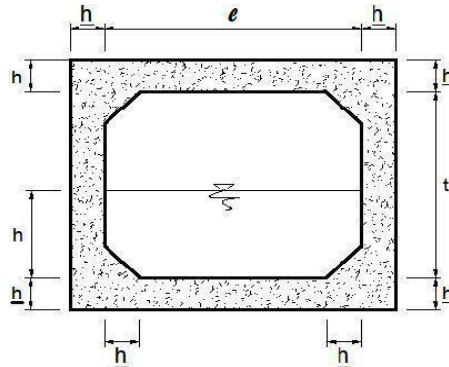
No	Jenis Material	Kemiringan Saluran
1	Tanah Asli	0 – 5
2	Kerikil	5 – 7,5

(Sumber: Perencanaan Sistem Saluran, 2006)

2. Gorong-gorong

Ditempatkan melintang jalan yang berfungsi untuk menampung air darihulu saluran drainase yang mengalirkannya, dengan dimensi yang harus cukup besar untuk melewatkan 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. Dimensi gorong-gorong yang biasa digunakan adalah bentuk persegi. Gorong-gorong ini direncanakan dapat menampung berbagai variasi lebar perkerasan jalan, sehingga pada prinsipnya panjang gorong-gorong persegi

adalah bebas, tetapi pada perhitungan volume dan berat isinya diambil terbatas dengan lebar perkerasan jalan yang umum yaitu 3,5 ; 4,5 ; 6 dan 7 meter.



Gambar 2.33 Sketsa dengan bentuk persegi

2.8.4 Dasar 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 di atas gorong-gorong, tekanan tanah mendatar yang diberikan oleh tinggi timbunan di samping gorong-gorong, beban hidup di atas 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/m²)

Phd = Tekanan tanah mendatar bekerja pada bagian samping gorong-gorong (ton/m²)

Pv1 = Beban vertikal karena beban hidup, dihitung dengan mengambil yang sesuai dengan ketebalan tanah penutup.

1. Bila tebal penutup < 3,50 m

$$PV1 = \frac{Pi+i}{W1} \left(\frac{ton}{m^2} \right) \dots\dots\dots$$

2. Bila tebal tanah penutup > 3,50 m

$$\text{Muatan merata diatas gorong-gorong (Pv1) = 1,0 ton/m}^2$$

Ko = Koefisien tekanan tanah dalam keadaan statis, dipengaruhi oleh tekanan tanah mendatar 1,0 ton/m² x Ko, yang diakibatkan oleh beban muatan.

Pv2 = Reaksi tanah

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

Tabel 2.31 Ukuran dimensi gorong-gorong

Tipe single (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)

2.8.5 Desain gorong-gorong

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

Rumus Bazin :

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

Rumus Chezy :

$$V = C \times \sqrt{0,281 \times I}$$

Dimana :

M = Koefisien Bazin

C = Koefisien kekasaran saluran (koef chezy/factor ketahanan)

Tabel 2.32 Nilai *reduce variate* (Yt)

Periode Ulang	<i>Reduce Variate</i>
2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
20	2.9606
25	3.1985
50	3.9019
100	4.6001
200	5.2960
500	6.2140
1000	6.9190
5000	8.5390
10000	9.9210

Sumber : Soemarto, 1999

Tabel 2.33 Kemiringan saluran air berdasarkan jenis material

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

(Sumber : Perencanaan sitem drainase, 2006)

Berikut ini merupakan Tabel Nilai *Reduced Standard Deviation (Sn)* dan Tabel Nilai *Reduced Mean (Yn)* dengan menggunakan Metode Gumbel pada Tabel 2.34 dan Tabel 2.35 dibawah ini :

Tabel 2.34 Metode gumbel Nilai *reduced standard deviation (Sn)*

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
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

Tabel 2.35 Metode gumbel Nilai *reduced mean (Yn)*

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	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)

$$A = Q/V$$

$$A = l \times h$$

$$I = \frac{Rt}{24} \times \left(\frac{24}{tc}\right) \times \frac{2}{3}$$

$$R = \frac{A \text{ desain}}{T}$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$Q = V \cdot A \text{ desain}$$

Tinggi jagaan :

$$W = \sqrt{0,5 \times h}$$

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/dt)

I = Intensitas curah hujan

Tabel 2.36 Koefisien Kekasaran *Manning* (n)

Saluran	Keterangan	n Manning
Tanah	Lurus, baru, seragam, landai & bersih	0.016 - 0.033
	Berkelok, landai dan berumput	0.023 - 0.040
	Tidak terawat dan kotor	0.050 - 0.140
	Tanah berbatu, kasar, dan tidak teratur	0.035 - 0.045
Pasangan	Batu kosong	0.023 - 0.035
	Pasangan batu belah	0.017 - 0.030
Beton	Halus, sambungan baik dan rata	0.014 - 0.018
	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0.018 - 0.030

(Sumber: Perencanaan Sistem Saluran, 2006)

2.8.6 *Box Culvert*

Box culvert adalah gorong-gorong persegi dari beton bertulang yang kaku dengan konstruksi plat dinding, plat alas, dan plat atas menyatu berupa kotak

ataubox. Ditempatkan melintang jalan yang berfungsi untuk menampung air dari hulu saluran drainase yang mengalirkannya, dengan dimensi yang harus cukup besar untuk melewati debit air secara maksimum dari daerah aliran secara efisien dan dibuat dengan tipe permanen.

2.8.7 Marka Jalan, Rambu Lalu Lintas, Pengaman Jalan dan Trotoar

a. Marka Jalan

Marka jalan dibuat dengan cat warna putih dan kuning atau dengan material lainnya yang ditempatkan atau dibuat pada permukaan perkerasan jalan, kerb atau objek lainnya dengan maksud untuk mengatur lalu lintas atau mengingatkan pengendara (Shirley L. Hendarsin, 2000:330). Ada 5 kategori marka jalan yang digunakan, yaitu : marka pada perkerasan jalan, pada kerb jalan, tanda pada objek, petunjuk dan perkerasan yang diberi warna.

Jenis marka yang paling umum adalah marka pada perkerasan yang terdiri dari garis memanjang dan melintang dengan tulisan dan lambang. Dengan pemilihan warna, lebar dan jenis marka memanjang, maka perencana dapat memberikan pesan kepada para pengendara.

Penjelasan secara umum adalah sebagai berikut :

1. Garis putus-putus bersifat “boleh”,
Garis penuh bersifat “dilarang”, Garis penuh ganda bersifat “dilarang keras”.
2. Warna untuk garis-garis tersebut menunjukkan sebagai berikut : warna putih memisahkan arus lalu lintas (batas lajur) pada arah yang sama dan warna kuning memisahkan arus lalu lintas pada arah yang berlawanan.
3. Tebal garis menunjukkan derajat penekanan

Tabel 2.37 Penggunaan Tipikal Marka pada Perkerasan.

Tipe	Penggunaan Tipikal
Garis Memanjang	
Garis putih putus-putus	Garis batas lajur untuk jalan multijalur
Garis kuning putus-putus	Dijijinkan untuk menyalip / mendahului pada jalan dua lajur dua jalur
Garis putih penuh	Tanda / batas tepi perkerasan

Tipe	Penggunaan Tipikal
Garis ganda putih penuh	Garis pemisah karena akan ada / ditemui rintangan
Garis kuning penuh	Digunakan bersamaan dengan garis putus-putus warna kuning, yang menunjukkan tidak boleh mendahului di dekat garis penuh
Garis kuning ganda putus-putus	Tepi lajur arus kendaraan berlawanan
Garis titik-titik	Garis tambahan melalui samping sebidang / tidak
Garis Melintang	
Marka pada bahu	Untuk menghalangi penggunaan bahu jalan sebagai lajur lalu lintas
Pasangan garis putih penuh dengan lebar 15 cm dan Panjang + 200 cm	Tempat penyebrangan pejalan kaki (<i>cross walks</i>) / <i>zebra cross</i>
Garis putih penuh dengan lebar 3 – 6 m	Garis henti yang menunjukkan kendaraan diperlukan untuk berhenti

(Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000)

a. Rambu Lalu Lintas

Dilihat dari fungsinya rambu lalulintas terdiri dari 3 kelas, yaitu :

- 1) Pengatur atau pengarah, digunakan kode R
- 2) Petunjuk, digunakan kode G
- 3) Peringatan, digunakan kode W

Bentuk rambu lalulintas terdiri dari : lingkaran, belah ketupat, persegi panjang atau bujur sangkar, bersilang, berbetuk anak segi delapan.

Warna yang digunakan pada umumnya seragam atau standar yang berlaku internasional.

Tabel 2.38 Jenis Rambu Jalan dan Warna yang Digunakan

Kode	Warna
R	- Dasar merah, tulisan putih
	- Dasar putih, bingkai merah, lambang hitam dan putih / tulisan hitam
W	- Dasar kuning, bingkai hitam, dan tulisan / lambang hitam
G	- Dasar biru, bingkai putih, lambang dan tulisan putih
	- Dasar biru, bingkai dan dasar lambang putih, lambang hitam
	- Dasar hijau, tulisan dan lambang putih
	- Dasar biru, tulisan kuning

(Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000)

b. Pengaman Jalan

1) Pagar Pengaman

Pagar pengaman atau rel pengaman dipasang pada tikungan yang cukup tajam dimana pada sisinya merupakan lereng terjal dengan beda tinggi yang cukup besar antara muka jalan dengan muka tanah sisi jalan. Pagar pengaman dipasang pada patok beton bertulang dengan jarak 2 meter. Bahan untuk pagar pengaman adalah baja galvanizer, dimensi dan spesifikasinya sesuai dengan standar dari Bina Marga.

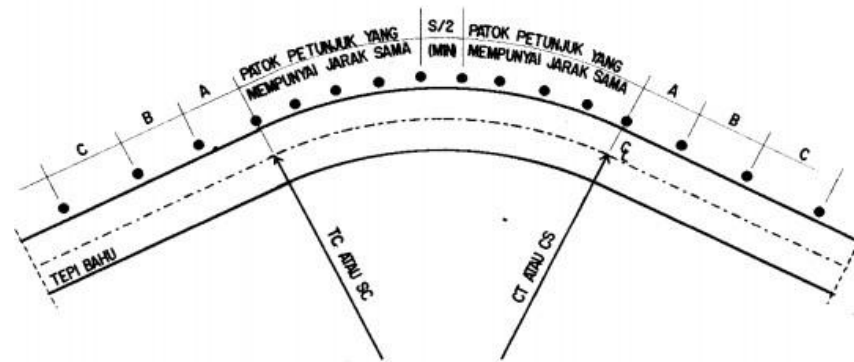
2) Patok Pengarah

Selain patok kilometer yang dipasang untuk penunjuk arah, patok beton yang berfungsi sebagai pengarah harus dipasang pada tikungan dan jalan masuk jembatan, dimensi patok sesuai dengan ketentuan standar dari Bina Marga.

Jarak atau letak antar patok pengarah dapat dilihat pada tabel 2.45 dibawah ini.

Tabel 2.39 Jarak Patok Pengarah

Radius (m)	Jarak antar patok (m)			
	S	A	B	C
180 - < 200	15	20	25	30
150 - < 180	14	20	25	30
120 - < 150	13	15	20	25
90 - < 120	12	15	20	25
60 - < 90	10	15	20	20
30 - < 60	8	10	20	20
< 30	6	10	15	15



(Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000)

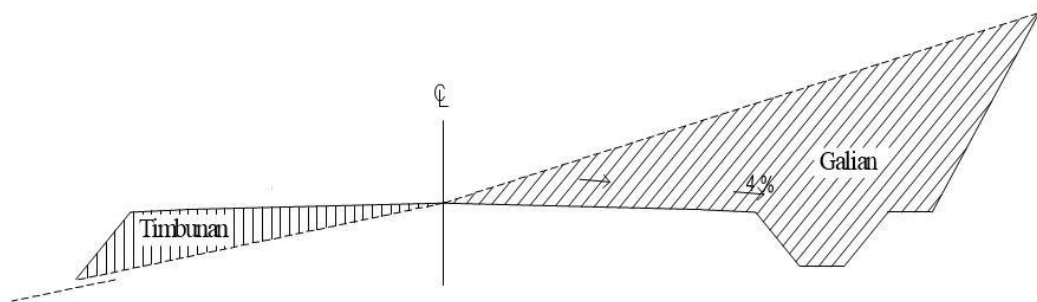
Gambar 2.34 Denah Letak Patok Pengarah

c. Trotoar

Trotoar termasuk dalam sarana pedestrian untuk memberikan pelayanan yang optimal kepada pejalan kaki baik dari segi keamanan maupun kenyamanan. Trotoar dapat ditempatkan khusus, juga dapat digunakan sekaligus sebagai penutup saluran samping.

2.9 Perhitungan Galian dan Timbunan

Pada perencanaan jalan raya diusahakan agar volume galian dan timbunan sama dengan volume timbunan. Dengan mengkombinasikan alinyemen vertikal dan horizontal memungkinkan kita untuk menghitung banyaknya volume galian dan timbunan. Menurut Ir. Hamirhan Saodang (2004: 177),



Gambar 2.35 Galian dan Timbunan

langkah-langkah dalam pekerjaan galian dan timbunan, antara lain sebagai berikut :

- a. Perhitungan penampang tanah

- b. Perhitungan volume tanah, dilakukan dengan metoda *Double End Areas* (luas ujung rangkap) yaitu dengan mengambil rata-rata luas kedua ujung penampang dari STA 1 dan STA 2 kemudian dikalikan jarak kedua STA. Ini dilakukan unruk semua titik STA yang berada pada rancangan trase jalan.

$$\text{Volume} = (A1 + A2) / 2 \times \text{Jarak (m)}$$

Dimana :

A1 = Luas Penampang STA 1

A2 = Luas Penampang STA 2

- c. Diagram massa, adalah kurva yang menggambarkan pemindahan tanah pada suatu penampang melintang diatas atau dibawah profil jalan, mulai dari suatu stasiun tertentu sampai stasiun berikutnya.
- d. Pemindahan tanah, dengan menggunakan diagram massa pekerjaan tanah dimana efisiensi akan tercapai bila mana volume galian hampir sama dengan volume timbunan.

Tabel 2.40 Perhitungan Galian dan Timbunan

STA	Luas (m ²)		Jarak (m)	Volume	
	Galian	Timbunan		Galian	Timbunan
0 + 000	A	A	L	$\frac{A + B}{2} \times L = C$	$\frac{A + B}{2} \times L = C$
0 + 100	B	B			
Jumlah				$\sum C, \dots, N$	$\sum C, \dots, N$

2.10 Pengelolaan Proyek

Untuk menyelesaikan suatu pekerjaan konstruksi yang tepat diperlukan adanya hubungan ketergantungan antar bagian-bagian pekerjaan dengan pekerjaan lainnya. Oleh karena itu dengan adanya pengelolaan proyek maka pekerjaan yang akan dikerjakan akan dapat sesuai dengan sasaran dan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Pengelolaan proyek harus diatur secara baik agar pelaksanaan proyek berjalan sesuai dengan aturan, maka dari itu diperlukan pengaturan manajemen proyek dan perhitungan anggaran biaya proyek.

2.10.1 RKS (Rencana kerja dan syarat)

Sebagai kelengkapan dari dokumen tender, Rencana Kerja dan Syarat (RKS) ditempatkan sebagai dokumen penting selain gambar rencana, karena menentukan kepentingan dari berbagai pihak yang akan terlibat dalam realisasi pekerjaan, dimulai sejak tahap awal dari proses realisasi ide dari pemilik proyek (owner).

1) Syarat-syarat umum

Menjelaskan pasal-pasal yang berisi tentang proyek tersebut dari awal sampai akhir proyek tersebut.

2) Syarat-syarat administrasi

Dalam peraturan administrasi dibedakan pula antara peraturan administrasi keuangan dan teknis.

Administrasi keuangan mencakup hal-hal sebagai berikut: Harga penawaran termasuk didalamnya biaya pelelangan, ketentuan apabila terjadi pekerjaan tambah kurang, persyaratan yang harus dipenuhi dari setiap jenis jaminan yang digunakan, ketentuan denda yang disebabkan karena keterlambatan, kelalaian pekerjaan, pemutusan kontrak dan pengaturan pembayaran kepada kontraktor, resiko akibat kenaikan harga upah dan bahan. Administrasi Teknis memuat hal-hal sebagai berikut: ketentuan apabila terjadi perselisihan beserta cara-cara penyelesaian, syarat-syarat penawaran, ketentuan penyampaian dokumen penawaran dan sampul penawaran, syarat peserta lelang dan sanksi yang harus diberikan apabila terjadi pelanggaran, hak sanggah dan kegagalan pelelangan, serta persyaratan pengadaan subkontraktor dan kualifikasi.

3) Syarat teknis

Rincian dari setiap bagian pekerjaan yang akan dilaksanakan dimulai pekerjaan persiapan sampai dengan *finishing*. Bisa juga disebut Metode Kerja Pelaksanaan Pekerjaan, bahan-bahan yang akan digunakan beserta persyaratan.

2.10.2 Membuat daftar harga satuan bahan dan upah

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

2.10.3 Perhitungan analisa satuan harga pekerjaan

Analisa satuan harga adalah perhitungan biaya yang berhubungan dengan pekerjaan-pekerjaan yang ada dalam suatu proyek. Gunanya 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 digunakan sebagai dasar pembuatan rencana anggaran biaya. Adapun yang termasuk di dalam 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 harga satuan pekerjaan, sangatlah erat hubungannya 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.

2.10.4 Perhitungan volume pekerjaan

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

2.10.5 Perhitungan rencana anggaran biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan dari 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.

2.10.6 Rekapitulasi biaya

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

2.10.7 Rencana kerja (*Time Schedule*)

Rencana kerja yaitu pembagian waktu secara rinci yang disediakan untuk masing-masing bagian pekerjaan awal sampai pekerjaan akhir. Manfaat dan kegunaan rencana kerja sebagai berikut :

- a. Alat koordinasi bagi pemimpin
- b. Pedoman kerja para pelaksana
- c. Penilaian kemajuan pekerjaan
- d. Evaluasi hasil pekerjaan

Rencana kerja terdiri dari :

1. NWP (*Network Planning*)

Dalam menyelesaikan pekerjaan konstruksi dibutuhkan suatu perencanaan waktu yang akan diperlukan untuk menyelesaikan tiap bagian pekerjaan yang akan dilaksanakan. NWP adalah suatu alat pengendalian pekerjaan di lapangan yang ditandai dengan simbol tertentu berupa urutan kegiatan dalam suatu proyek yang berfungsi untuk memperlancar pekerjaan.





Kegunaan dari *Network Planning* adalah :

- a. Mengkoordinasikan berbagai pekerjaan
- b. Mengetahui apakah suatu pekerjaan bebas atau tergantung dengan pekerjaanlainnya
- c. Mengetahui logika proses yang berlangsung dan hasil proses itu sendiri

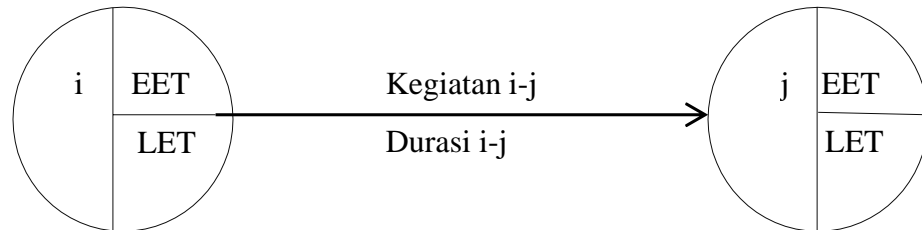
Proses penyusunan *Network Planning* secara garis besar, meliputi :

- a. Mengkaji dan mengidentifikasi lingkup proyek
- b. Menyusun hubungan logika ketergantungan antar kegiatan
- c. Memberikan perkiraan waktu untuk setiap kegiatan
- d. Mengidentifikasi jalur kritis dan float
- e. Menentukan jadwal yang paling ekonomis

Simbol-simbol yang digunakan dalam penggambaran *Network Planning* :

- a.  Anak panah (*Arrow*) bentuk ini merupakan anak panah yang menunjukkan aktifitas atau kegiatan. Kegiatan ini adalah suatu pekerjaan atau tugas dimana penyelesaiannya membutuhkan jangka waktu tertentu. Kepala anakpanah menunjukkan arah kegiatan dari kiri ke kanan.
- b.  (*Double arrow*) anak panah sejajar merupakan kegiatan dilintasan kritis (*critical path*).
- c.  (*Node/event*), bentuknya merupakan lingkaran bulat yang artinya saat, peristiwa atau kejadian. Ini adalah permulaan atau akhir dari suatu atau lebih kegiatan-kegiatan.
- d.  (*Dummy*), bentuknya merupakan anak panah terputus-putus yang artinya kegiatan semu atau aktifitas semu. Yang dimaksud dengan aktifitas semu adalah aktifitas yang tidak menekan waktu. Aktifitas semu hanya boleh dipakai bila tidak ada cara lain untuk menggambarkan

hubungan-hubungan aktifitas yang ada dalam suatu network.



Dimana :

Earliest Event Time (EET) : Waktu permulaan paling awal

Latest Event Time (LET) : Waktu permulan paling akhiri ,

j (Event) : Urutan pekerjaan

2. *Barchart*

Diagram *barchart* mempunyai hubungan yang erat dengan network planning, *barchart* ditunjukkan dengan diagram batang yang dapat menunjukkan lamanya waktu pelaksanaan. Disamping itu juga dapat menunjukkan lamanya pemakaian alat dan bahan-bahan yang diperlukan serta pengaturan hal-hal tersebut tidak salingmengganggu pelaksanaan pekerjaan.

3. Kurva “S”

Dibuat berdasarkan bobot setiap pekerjaan dari tahap awal sampai berakhirnya pekerjaan. Visual kurva S memberikan informasi mengenai kemajuan proyek dengan membandingkan terhadap jadwal rencana (Husein,2011) .