

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perencanaan Geometrik Jalan

Geometrik jalan yaitu suatu perencanaan rute dari suatu ruas jalan, menyangkut beberapa komponen jalan yang dirancang berdasarkan kelengkapan data, yang didapatkan dari hasil survey lapangan, kemudian dianalisis berdasarkan acuan persyaratan perencanaan geometrik yang berlaku. Perencanaan geometrik meliputi rancangan pola arah dan visualisasi dimensi nyata dari suatu trase jalan beserta bagian – bagiannya, disesuaikan dengan persyaratan parameter pengendara, kendaraan dan lalu lintas. (Hamirhan Saodang : 2003)

Perencanaan geometrik secara umum menyangkut aspek – aspek perencanaan elemen jalan seperti lebar jalan, tikungan, kelandaian jalan dan jarak pandang serta kombinasi dari bagian -bagian tersebut, baik untuk ruas jalan, maupun untuk perlintasan diantara dua atau lebih ruas – ruas jalan. Dalam lingkup perencanaan geometrik tidak termasuk perencanaan tebal perkerasan jalan, walaupun dimensi dari perkerasan merupakan bagian dari perencanaan geometrik sebagai bagian dari perencanaan jalan seutuhnya. Dalam tinjauan berkelanjutan, perencanaan geometrik adalah merupakan fase lanjutan dari langkah penyiapan suatu prasarana jalan secara utuh, yang kemudian akan diikuti dengan serangkaian fase selanjutnya yang lebih menekankan pada langkah membangun struktur jalan sesuai dengan kriteria fungsional jalan.

Tujuan dari perencanaan geometrik jalan adalah menghasilkan infrastruktur yang aman, efisiensi pelayanan arus lalu lintas dan memaksimalkan rasio tingkat penggunaan/biaya pelaksanaan. Ruang, bentuk, dan ukuran jalan dikatakan baik jika dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada pemakai jalan. (Silvia Sukirman : 1999)

2.1.1 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas merupakan semua informasi yang dibutuhkan dalam merencanakan desain suatu jalan, karena kapasitas yang 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 memiliki keterkaitan satu dengan yang lainnya.

2.1.2 Data Peta Topografi

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

Pengukuran pada 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 realinyemen dan tempat – tempat persilangan dengan sungai atau jalan, sehingga memungkinkan didapatkan trase jalan yang sesuai dengan standar.

2.1.3 Data Penyelidikan Tanah

Data penyelidikan tanah didapat dengan cara melakukan penyelidikan tanah dilapangan, data tersebut sebagai data pendukung yang dibutuhkan dalam perencanaan jalan. Penyelidikan tanah meliputi penelitian terhadap tanah yang berada dilapangan dilakukan dengan menggunakan alat (*Dynamic Cone Penetration*) DCP untuk menghitung CBR dengan interval per 500 meter. Hasil tes yang didapat dievaluasi dengan menggunakan grafik yang ada sehingga

menampakkan hasil nilai dari CBR di setiap titik lokasi. Terdapat 2 macam cara penentuan nilai CBR, antara lain :

a. Cara Analitis

$$CBR_{\text{segmen}} : CBR_{\text{rata-rata}} - (CBR_{\text{maks}} - CBR_{\text{min}})/R \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana nilai R tergantung dari jumlah data yang terdapat dalam 1 segmen. Besarnya nilai R dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2. 1 Dimensi Kendaraan Rencana

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

Sumber : Silvia Sukirman, Perkerasan Lentur Jalan Raya, 1993

b. Cara Grafis

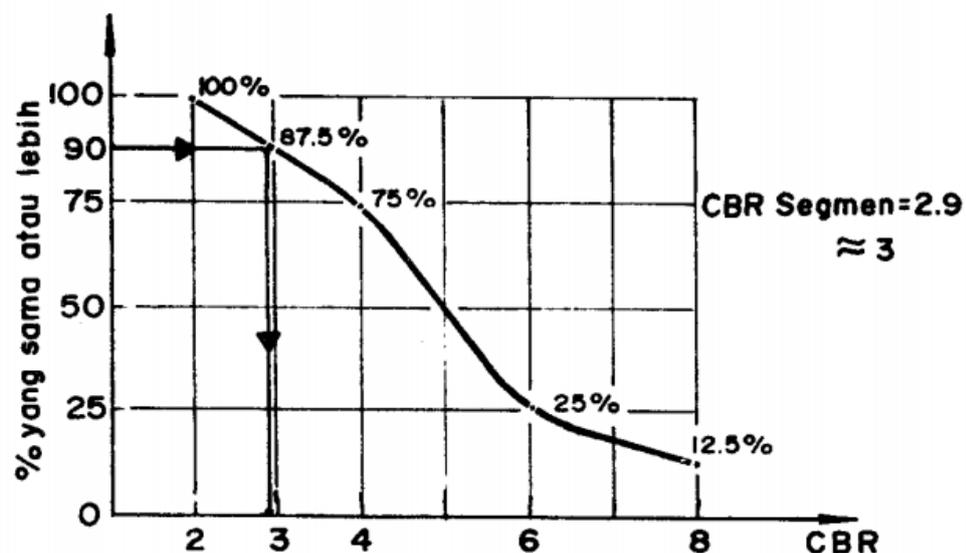
Prosedur cara grafis sebagai berikut :

- 1) Tentukan harga CBR terendah.
- 2) Tentukan berapa banyak harga CBR yang sama dan lebih besar masing masing nilai CBR.
- 3) Angka jumlah terbanyak dinyatakan sebagai 100%. Jumlah lainnya merupakan presentase 100%.
- 4) Dibuat grafik hubungan antara harga CBR dan presentase jumlah tadi
- 5) Nilai CBR yang mewakili adalah yang didapat dari angka presentase 90%.

Tabel 2. 2 Contoh tabulasi nilai CBR

No.	CBR	Jumlah yang sama / lebih besar	Persen (%) yang sama atau lebih besar
1	2	8	$8/8 \times 100\% = 100\%$
2	3	7	$7/8 \times 100\% = 87,5\%$
3	4	6	$6/8 \times 100\% = 75\%$
4	6	2	$2/8 \times 100\% = 25\%$
5	8	1	$1/8 \times 100\% = 12,5\%$

Sumber : Silvia Sukirman, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, 1993



Gambar 2. 1 Menentukan nilai CBR segmen dengan cara grafis

Sumber : Silvia Sukirman, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, 1993

2.2 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan merupakan aspek penting yang pertama kali harus diidentifikasi sebelum melakukan perancangan jalan. Karena kriteria desain suatu rencana jalan yang ditentukan dari standar desain ditentukan oleh klasifikasi jalan rencana. Pada prinsipnya klasifikasi jalan dalam standar desain (baik untuk jalan dalam kota maupun jalan luar kota) didasarkan kepada klasifikasi jalan menurut undang-undang dan peraturan pemerintah yang berlaku.

2.2.1 Klasifikasi menurut fungsi jalan

Klasifikasi menurut fungsi jalan, dapat dilihat dibawah ini :

a. Jalan Arteri

Jalan arteri adalah jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri -ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisiensi. Jalan arteri terbagi menjadi beberapa kelompok, antara lain :

1) Jalan Arteri Primer

Jalan arteri primer adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang kesatu yang terletak berdampingan atau menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kedua. Jika ditinjau dari peranan jalan itu sendiri, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh Jalan Arteri Primer yaitu :

- (a) Didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 60 km / jam dengan lebar jalan tidak kurang dari 8 meter;
- (b) Mempunyai kapasitas lebih besar dari volume lalu lintas rata – rata;
- (c) Lalu-lintas jalan arteri primer tidak boleh diganggu oleh lalu-lintas ulang alik, lalu-lintas lokal dan kegiatan local, untuk persimpangan pada jalan ini perlu diatur;
- (d) Jumlah jalan masuk ke jalan arteri primer dibatasi;
- (e) Jalan arteri primer tidak terputus walaupun memasuki kota dan desa;

2) Jalan Arteri Sekunder

Jalan arteri sekunder adalah jalan yang menghubungkan kawasan primer dan kawasan sekunder kesatu atau menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kesatu, atau menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua. jika ditinjau dari peranan jalan maka persyaratan yang harus dipenuhi oleh jalan arteri sekunder adalah :

- (a) Didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 30 km/jam dan dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 8 meter.

- (b) Mempunyai kapasitas yang sama atau lebih besar dari volume lalu-lintas rata – rata;
- (c) Pada jalan arteri sekunder lalu-lintas cepat tidak boleh terganggu oleh lalu-lintas lambat; untuk persimpangan pada jalan ini perlu diatur.

b. Jalan Kolektor

Jalan kolektor adalah jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri – ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata – rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi. Jalan kolektor dibagi menjadi beberapa macam yaitu :

1) Jalan Kolektor Primer

Jalan kolektor primer adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang kedua, atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang ketiga. Jika ditinjau dari peranan jalan maka persyaratan yang harus dipenuhi oleh jalan kolektor primer adalah :

- (a) Didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 40 km/jam dan lebar badan jalan tidak kurang dari 7 meter;
- (b) Mempunyai kapasitas yang sama atau lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata;
- (c) Jalan kolektor primer tidak terputus walaupun memasuki desa;

2) Jalan Kolektor Sekunder

Jalan kolektor sekunder adalah ruas jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder kedua atau menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga.

- (a) Kecepatan rencana > 20 km/jam.
- (b) Lebar jalan $> 7,0$ m.

c. Jalan Lokal

Jalan lokal adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi. Jalan lokal dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

1) Jalan Lokal Primer

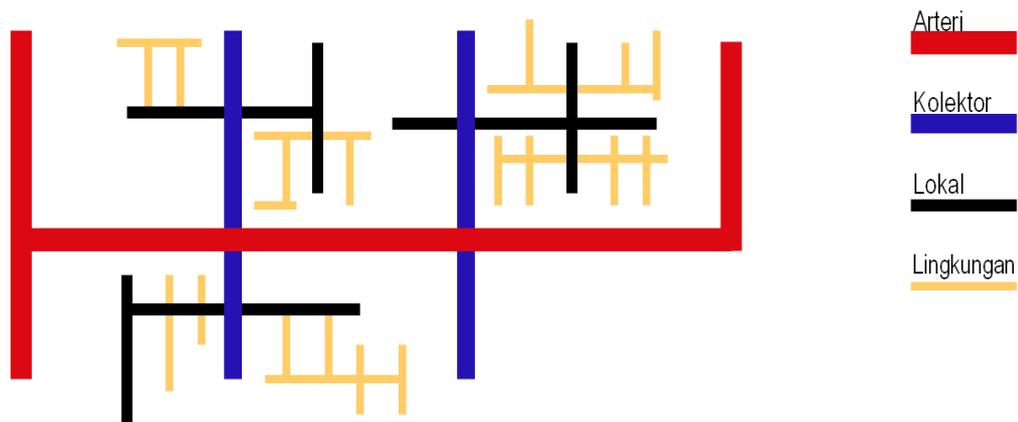
Jalan lokal primer adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang kesatu dengan persil, atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan persil, atau menghubungkan kota jenjang ketiga dengan kota jenjang ketiga, kota jenjang ketiga dengan kota jenjang yang dibawahnya, kota jenjang ketiga dengan persil, atau di bawah kota jenjang ketiga sampai persil. Jika ditinjau dari peranan jalan maka persyaratan yang harus dipenuhi oleh jalan lokal primer adalah :

- (a) Didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 20 km/jam dan dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 6 meter;
- (b) Jalan lokal primer tidak terputus walaupun memasuki desa.

2) Jalan Lokal Sekunder

Jalan lokal sekunder adalah ruas jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan perumahan, atau kawasan sekunder kedua dengan perumahan, atau kawasan sekunder ketiga dan seterusnya sampai perumahan. jika ditinjau dari peranan jalan maka persyaratan yang harus dipenuhi oleh jalan lokal sekunder adalah :

- (a) Didesain berdasarkan kecepatan paling rendah 10km/jam dan dengan lebar badan jalan tidak kurang dari 5 meter;
- (b) Persyaratan teknis seperti di atas diperuntukkan bagi kendaraan beroda tiga atau lebih;
- (c) Jalan lokal sekunder yang tidak diperuntukkan bagi kendaraan roda tiga atau lebih harus mempunyai lebar badan jalan tidak kurang dari 3,5 meter;



Gambar 2. 2 Klasifikasi Menurut Fungsi Jalan

2.2.2 Klasifikasi menurut kelas jalan

Dalam penentuan kelas jalan sangat diperlukan adanya data lalu Lalulintas Harian Rata-rata (LHR), baik itu merupakan data jalan sebelumnya bila jalan yang akan direncanakan tersebut merupakan peningkatan atau merupakan data yang didapat dari jalan sekitar bila jalan yang akan dibuat merupakan jalan baru.

Salah satu penentuannya adalah dengan cara menghitung LHR akhir umur rencana. LHR akhir umur rencana adalah jumlah perkiraan kendaraan dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP) yang akan dicapai pada akhir tahun rencana dengan mempertimbangkan perkembangan jumlah kendaraan mulai dan saat merencanakan dan pelaksanaan jalan itu dikerjakan. Nilai faktor ekivalensi dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini :

Tabel 2. 3 Nilai Faktor Ekivalensi Kendaraan

No.	Jenis Kendaraan	Darat/perbukitan	Pegunungan
1	Sedan, Jeep, Stasion Wagon	1,00	1,00
2	Pick up, Bus kecil, Truk kecil	1,20 – 2,40	1,90
3	Bus dan Truk besar	1,20 – 5,00	2,20 – 6,00

(Sumber : Peraturan Perencanaan Geometrik Jalan Raya, 1997)

Kelas jalan sesuai dengan Peraturan Perencanaan Geometrik Jalan Raya (PPGJR 1997) dapat dilihat pada tabel 2.4 dibawah ini :

Tabel 2. 4 Klasifikasi Kelas Jalan

No	Fungsi	Kelas	Lalu Lintas Harian Rata – rata (SMP)
1	Arteri	I	>20.000
2	Kolektor	II A	6.000 – 20.000
		II B	1500 – 8000
		II C	<2000
3	Lokal	III	-

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

Dalam menghitung besarnya volume lalu lintas untuk keperluan penetapan kelas jalan kecuali untuk jalan-jalan yang tergolong dalam kelas II C dan II, kendaraan yang tidak bermotor tak diperhitungkan dan untuk jalan-jalan kelas II A dan I, kendaraan lambat tak diperhitungkan.

Khusus untuk perencanaan jalan-jalan kelas I sebagian dasar harus digunakan volume lalu lintas pada saat-saat sibuk. Sebagai volume waktu sibuk yang digunakan untuk dasar suatu perencanaan ditetapkan sebesar 15% dari volume harian rata-rata.

a. Kelas I

Kelas jalan ini mencakup semua jalan utama dan dimaksudkan untuk dapat melayani lalu lintas cepat dan berat. Dalam komposisi lalu lintasnya tak terdapat kendaraan lambat dan kendaraan tak bermotor. Jalan raya dalam kelas ini merupakan jalan-jalan raya yang berlajur banyak dengan konstruksi perkerasan dari jenis yang terbaik dalam arti tingginya tingkatan pelayan terhadap lalu lintas.

b. Kelas II

Kelas jalan ini mencakup semua jalan-jalan sekunder. Dalam komposisi lalu lintasnya terdapat lalu lintas lambat. Kelas jalan ini, selanjutnya berdasarkan komposisi dan sifat lalu lintasnya, dibagi dalam tiga kelas, yaitu : IIA, IIB dan IIC.

c. Kelas II A

Kelas jalan ini mencakup jalan-jalan raya sekunder dua jalur atau lebih dengan konstruksi permukaan jalan dari jenis aspal beton (*hotmix*) atau yang setarap, dimana dalam komposisi lalu lintasnya terdapat kendaraan lambat, tapi tanpa kendaraan yang tak bermotor.

d. Kelas II B

Kelas jalan ini mencakup jalan-jalan raya sekunder dua jalur dengan konstruksi permukaan dari penetrasi berganda atau yang setara dimana dalam komposisi lalu lintasnya terdapat kendaraan lambat tapi tanpa kendaraan tak bermotor.

e. Kelas II C

Kelas jalan ini mencakup jalan-jalan raya sekunder dua jalur dengan konstruksi permukaan jalan dari jenis penetrasi tunggal dimana dalam komposisi lalu lintasnya terdapat kendaraan lambat dan kendaraan tak bermotor.

f. Kelas III

Kelas jalan ini mencakup semua jalan-jalan penghubung dan merupakan konstruksi jalan berjalur tunggal atau dua. Konstruksi permukaan jalan yang paling tinggi adalah pelaburan dengan aspal.

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas yang dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satu ton, dan kemampuan jalan tersebut dalam menyalurkan kendaraan dengan dimensi maksimum tertentu.

Klasifikasi jalan menurut PP No. 43/1993 tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan untuk keperluan pengaturan penggunaan dan pemenuhan kebutuhan angkutan, jalan dibagi dalam beberapa kelas sebagaimana dirinci pada PP No. 43/1993 yang dapat disajikan pada tabel 2.5 berikut:

Tabel 2. 5 Klasifikasi Kelas Jalan menurut PP No. 43/1993

Kelas Jalan	I	II	III A	III B	III C
Kelas Fungsional Jalan	Arteri	Arteri	Arteri/Kolektor	Kolektor	Lokal
Lebar Maksimum Kendaraan (m)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,1
Panjang maksimum kendaraan (m)	18	18	18	12	9
Muatan Sumbu Terberat Kendaraan (ton)	>10	10	8	8	8

(Sumber : PP No. 43/1993)

2.2.3 Klasifikasi jalan menurut medan jalan

Medan jalan diklasifikasikan berdasarkan kondisi sebagian besar kemiringan medan yang diukur tegak lurus garis kontur.

Klasifikasi menurut medan jalan untuk perencanaan geometrik dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 2. 6 Klasifikasi menurut medan jalan

Golongan Medan	Lereng Melintang (%)
Datar (D)	0 – 9,9
Perbukitan	10 – 24,9
Pegunungan	>25

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

2.3 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 penentuan tingkat kenyamanan dan keamanan yang dihasilkan oleh suatu bentuk geometrik jalan.

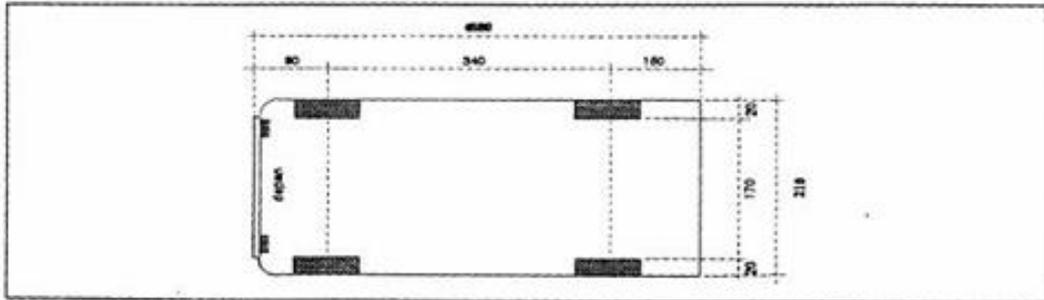
2.3.1 Kendaraan rencana

Kendaraan Rencana adalah kendaraan yang dimensi dan radius putarnya dipakai sebagai acuan dalam perencanaan geometrik. Adapun dimensi Kendaraan Rencana dapat dilihat pada tabel 2.7.

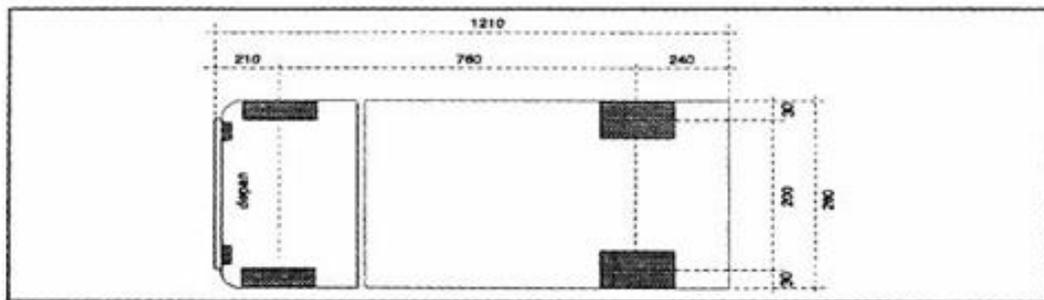
Tabel 2. 7 Dimensi Kendaraan Rencana

Kategori Kendaraan Rencana	Dimensi Kendaraan (cm)			Tonjolan (cm)		Radius Putar		Radius Tonjolan (cm)
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang	Min	Maks	
Kendaraan Kecil	130	210	580	90	150	420	730	780
Kendaraan Sedang	410	260	1210	210	240	740	1280	1410
Kendaraan Besar	410	260	2100	1.20	90	290	1400	1370

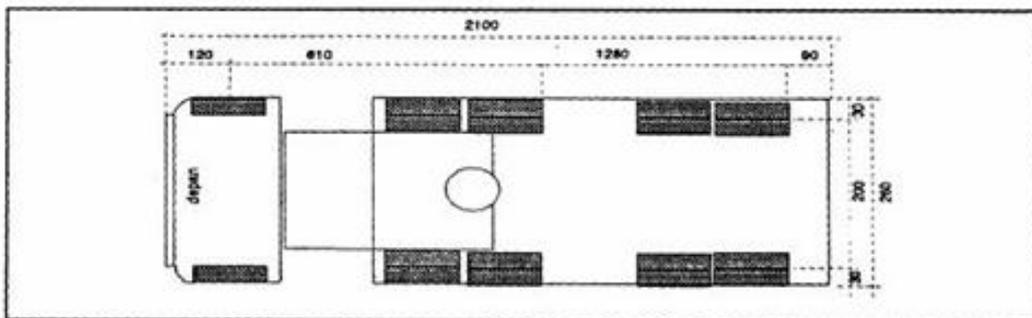
(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)



Gambar 2.3 Dimensi Kendaraan Kecil



Gambar 2.4 Dimensi Kendaraan Sedang



Gambar 2.5 Dimensi Kendaraan Besar

2.3.2 Kecepatan rencana

- Kecepatan rencana, V_R , pada suatu ruas jalan adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan yang memungkinkan kendaraan-kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lengang, dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti.
- V_R untuk masing masing fungsi jalan dapat ditetapkan dari Tabel II.6.
- Untuk kondisi medan yang sulit, V_R suatu segmen jalan dapat diturunkan dengan syarat bahwa penurunan tersebut tidak lebih dari 20 km/jam.

Tabel 2. 8 Kecepatan Rencana (V_R)

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

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

2.3.3 Volume lalu lintas rencana

Volume Lalu Lintas Harian Rencana (VLHR) adalah prakiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas dinyatakan dalam SMP/hari. Volume Jam Rencana (VJR) adalah prakiraan volume lalu lintas pada jam sibuk tahun rencana lalu lintas, dinyatakan dalam SMP/jam, dihitung dengan rumus :

$$VLRH = K/F \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana,

K (disebut faktor **K**), adalah faktor volume lalu lintas jam sibuk, dan

F (disebut faktor **F**), adalah faktor variasi tingkat lalu lintas perseperempat jam dalam satu jam.

VJR digunakan untuk menghitung jumlah lajur jalan dan fasilitas lalu lintas lainnya yang diperlukan. Tabel 2.9 menyajikan faktor-**K** dan faktor-**F** yang sesuai dengan **VLHR**-nya.

Tabel 2. 9 Penentuan faktor-K dan faktor-F berdasarkan Volume LHR

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

2.3.4 Bagian-bagian jalan

Suatu jalan raya terdiri dari bagian-bagian jalan, dimana bagian-bagian jalan tersebut, dibedakan berdasarkan :

a. Ruang manfaat jalan (Rumaja)

Rumaja adalah daerah yang meliputi seluruh badan jalan, saluran tepi jalan dan ambang pengaman. Ciri – ciri rumija adalah :

- 1) Lebar antara batas ambang pengaman konstruksi jalan di kedua sisi jalan,
- 2) Tinggi 5 meter di atas permukaan perkerasan pada sumbu jalan, dan
- 3) Kedalaman ruang bebas 1,5 meter di bawah muka jalan.

b. Ruang milik jalan (Rumija)

Rumija adalah daerah yang meliputi seluruh daerah manfaat jalan dan daerah yang diperuntukkan bagi pelebaran jalan dan penambahan jalur lalu lintas di masa datang serta kebutuhan ruangan untuk pengaman jalan.

c. Ruang pengawasan jalan (Ruwasja)

Ruwasja adalah lajur lahan yang berada di bawah pengawasan penguasa jalan, ditujukan untuk penjagaan terhadap terhalangnya pandangan bebas

2.4.1 Penentuan trase jalan

Penentuan lokasi dan perencanaan 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, hal yang sama juga dapat terjadi apabila didapati tanah dasar dengan permukaan air tanah yang tinggi, walaupun dalam kondisi tertentu dapat diatasi dengan tata alir drainase yang baik.

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 normal, juga dapat memaksa pelaksana membuat alinyemen yang jauh lebih tinggi daripada permukaan tanah asli.

Dalam kondisi normal, penentuan trase jalan sekaligus pemetaan dilapangan, tidak terlalu banyak memerlukan perbaikan – perbaikan tanah (*soil improvement*) sehingga hanya terbatas pada pekerjaan gali-timbun (*cut & fill*) saja.

2.4.2 Panjang bagian lurus

Pada elemen geometrik berupa alinyemen horizontal, bilamana topografi berupa daerah datar, dapat terjadi bagian lurus (tangen) menjadi sangat panjang. 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 VR). Pada tabel 2.10 Dicantumkan panjang maksimum bagian lurus pada alinyemen horizontal.

Tabel 2. 10 Panjang Bagian Lurus Maksimum

Fungsi	Panjang bagian lurus maksimum (m)		
	Datar	Perbukitan	Pegunungan
Arteri	3.000	2.500	2.000
Kolektor	2.000	1.750	1.500

Sumber: TCPGJAK No. 038/T/BM/1997

2.4.3 Tikungan

Dalam merencanakan sebuah tikungan , haruslah memenuhi beberapa kriteria, antara lain :

a. Jari-jari tikungan minimum

Kendaraan pada saat melalui tikungan dengan kecepatan (V) akan menerima gaya sentrifugal yang menyebabkan kendaraan tidak stabil. Untuk mengimbangi gaya sentrifugal tersebut, perlu dibuat suatu kemiringan jalan pada tikungan yang disebut superelevasi. Pada saat kendaraan melalui daerah superelevasi akan terjadi gesekan arah melintang jalan antara ban kendaraan dengan permukaan aspal yang menimbulkan gaya gesekan melintang. Perbandingan gaya gesekan melintang (f).

Rumus umum untuk lengkung horizontal :

$$R = \frac{v^2}{127(e+f)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$D = \frac{25}{2\pi R} \times 360 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana,

R = jari – jari lengkung

D = derajat lengkung

Untuk menghindari kecelakaan, maka untuk kecepatan tertentu dapat dihitung jari – jari minimum dan koef. Gesekan maksimum,

$$R_{min} = \frac{v^2}{127(e+f_{max})} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$D_{max} = \frac{181913,53 (e_{max}+f_m)}{v^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana,

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

V_r = Kecepatan rencana (km/jam)

E_{\max} = Superelevasi maksimum (%)

F_{\max} = Koefisien Gesekan maksimum

D = Derajat lengkung

D_{\max} = Derajat lengkung maksimum

b. Lengkung peralihan (L_s)

Lengkung peralihan adalah lengkung yang disisipkan 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.

Bentuk lengkung peralihan dapat berupa parabola ataupun spiral (*clothoid*). Dalam tata cara ini digunakan bentuk spiral.

Panjang lengkung peralihan (L) ditetapkan atas pertimbangan bahwa :

- 1) Lama waktu perjalanan di lengkung peralihan perlu dibatasi untuk menghindari kesan perubahan alinemen yang mendadak, ditetapkan 3 detik (pada kecepatan V_r).
- 2) Gaya Sentrifugal yang bekerja pada kendaraan dapat diantisipasi berangsur-angsur pada lengkung peralihan dengan aman.
- 3) Tingkat perubahan kelandaian melintang jalan (re) dari bentuk kelandaian normal ke kelandaian superelevasi penuh tidak boleh melampaui re_{\max} yang ditetapkan sebagai berikut :
 - (a) Untuk V_r 70 km/jam, $re_{\max} = 0.035$ m/detik.
 - (b) Untuk V_r 80km/jam, $re_{\max} = 0.025$ m/detik.
- 4) L_s ditentukan dari 3 rumus di bawah ini dan diambil nilai yang terbesar :
 - (a) Berdasarkan waktu tempuh maksimum di lengkung peralihan.

$$L_s = \frac{V_r}{3,6} \times T \dots\dots\dots (2.7)$$

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

VR = Kecepatan rencana (km/jam).

(b) Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal.

$$L_s = 0.022 \frac{V_R^3}{R_C} - 2.727 \cdot (V_{Re}/C) \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

Rc = jari-jari busur lingkaran

C = perubahan kecepatan, 0.3 – 1,0 m/dt³ (disarankan 0,4 m/dt³)

(c) Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian,

$$L_s = \frac{(e_m - e_n) V_R}{3,6 r_e} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

VR = kecepatan rencana (km/jam),

em = superelevasi maximum,

en = superelevasi normal,

re = tingkat pencapaian perubahan kemiringan melintang.

Tabel 2. 11 Panjang lengkung peralihan (Ls) dan Panjang pencapaian superelevasi (Le) jalan 1 lajur-2 arah-2 arah.

VR (km/jam)	Superelevasi e, (%)									
	2		4		6		8		10	
	Ls	Le	Ls	Le	Ls	Le	Ls	Le	Ls	Le
20										
30										
40	10	20	15	25	15	25	25	30	35	40
50	15	25	20	30	30	30	40	40	40	50
60	15	30	20	35	25	40	35	50	50	60
70	20	35	25	40	30	45	40	55	60	70
80	30	55	40	60	45	70	65	90	90	120
90	30	60	40	70	50	80	70	100	10	130
100	35	65	45	80	55	90	80	110	0	145
110	40	75	50	85	60	100	90	120	11	-
120	40	80	55	90	70	110	95	135	0	-

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

c. Kemiringan melintang

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

$$Ls' = (e + en) \cdot B \cdot 1/m \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

1/m = landai relatif (%)

e = Superelevasi (m/m')

en = Kemiringan melintang normal (m/m')

B = Lebar jalur (m)

d. Jenis-jenis tikungan

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

1) Bentuk lingkaran (*Full Circle = FC*)

Tidak semua lengkung dapat dibuat berbentuk busur lingkaran sederhana, hanya lengkung dengan radius yang besar yang diperbolehkan. Pada tikungan yang tajam, dimana eadius lengkung kecil dan superelevasi yang dibutuhkan besar, lengkung dengan bentuk busur lingkaran akan menyebabkan perubahan kemiringan melintang yang besar. Dan mengakibatkan timbulnya kesan patah pada tepi perkerasan sebelah luar. Efek negatif tersebut dapat dikurangi dengan membuat lengkung peralihan.

Lengkung busur lingkaran sederhana hanya dapat digunakan untuk radius lengkung yang besar (disarankan $>$, dimana superelevasi yang dibutuhkan kurang atau sama dengan 3%).

Adapun rumus – rumus yang digunakan pada tikungan *full circle*, yaitu:

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127 (e_{\max} + f_m)} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$D_{\max} = 1432,4/R_{\min} ; D = 1432,4/R$$

$$e = -\frac{e_{\max}}{D_{\max}^2} D^2 + \frac{2e_{\max}}{D_{\max}} D \dots\dots\dots (2.12)$$

$$T = R \tan \frac{\Delta}{2} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$E = T \tan \frac{\Delta}{4} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$L_c = \frac{\Delta}{180} \pi R \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana,

Δ = Sudut tikungan atau sudut tangen

T_c = Jarak T_c ke PI

R = jari – jari

E_c = Jarak PI ke busur lingkaran

L_c = Panjang busur lingkaran

D = Derajat lengkung

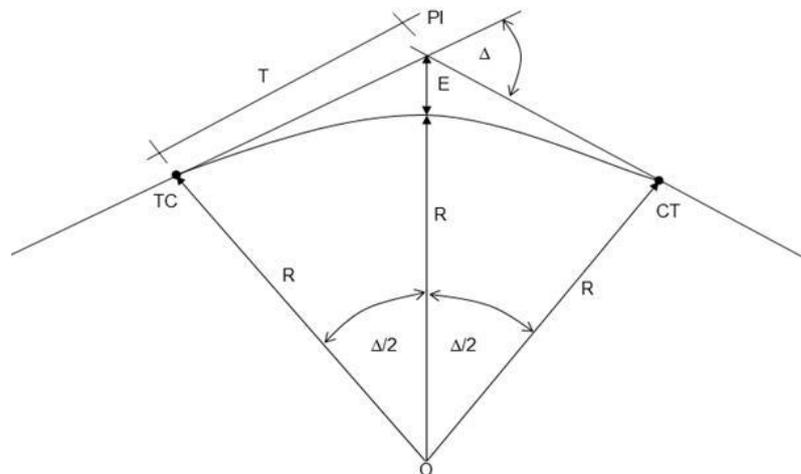
V = kecepatan

B = Lebar jalan

C = Perubahan Kecepatan

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

m = Landai relative = $2V + 40$



Gambar 2. 7 Bentuk Tikungan *Full Circle*

2) Bentuk lengkung peralihan (*Spiral – Circle – Spiral = S – C – S*)

Tikungan S-C-S terdiri dari dua spiral yang mengapit bagian lengkung (*Circle*). Dua bagian lengkung kanan kiri bagian lengkung itulah yang disebut lengkung spiral. Lengkung peralihan dibuat untuk menghindari terjadinya perubahan alinyemen yang tiba – tiba dari bentuk lurus ke

bentuk lingkaran.. Adapun jari – jari yang diambil untuk tikungan *spiral – circle – spiral* ini haruslah sesuai dengan kecepatan dan tidak mengakibatkan adanya kemiringan tikungan yang melebihi harga maksimum yang ditentukan, yaitu:

(a) Kemiringan maksimum antara jalan kota : 0,10

(b) Kemiringan maksimum jalan dalam kota : 0,08

Adapun rumus – rumus yang digunakan :

$$2\theta_s = \frac{L_s}{2\pi R} \times 360 \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_s \dots\dots\dots (2.17)$$

$$L_c = \frac{\Delta - 2\theta_s}{180} \times \pi \times R \dots\dots\dots (2.18)$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6R} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$X_c = L_s - \frac{L_s^2}{40\pi R^2} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$P = Y_c - R (1 - \cos \theta_s) \dots\dots\dots (2.21)$$

$$k = X_c - R \sin \theta_s \dots\dots\dots (2.22)$$

$$T_s = (R+P) \tan \frac{1}{2} \Delta + k \dots\dots\dots (2.23)$$

$$E_s = (R+P) \sec \frac{1}{2} \Delta - R \dots\dots\dots (2.24)$$

$$L_{tot} = 2L_s + L_c \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

Δ = Sudut tikungan atau sudut tangen

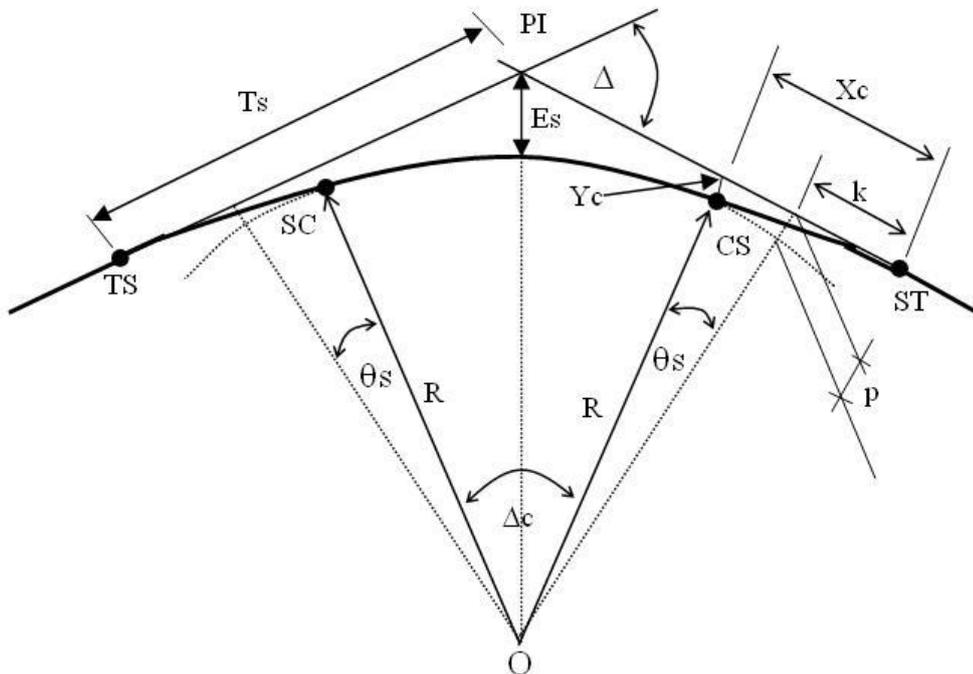
Δ_c = Sudut tangen lingkaran

θ_s = Sudut lengkung Spiral

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

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

- T_s = Titik perubahan dari tangen ke spiral
 R = Jari-jari
 E_s = Jarak PI ke busur lingkaran
 L_c = Panjang lengkung lingkaran
 L_s = Lengkung peralihan fiktif
 V = Kecepatan
 f_m = Koefisien gesekan melintang = $0,19 - 0,000625 V$
 m = Landai relatif = $2.V + 40$
 Kontrol : $L_c > 20$ m
 $L > 2 T_s$
 Jika $L < 20$ m, gunakan jenis tikungan spiral-spiral



Gambar 2. 8 Bentuk Tikungan *Spiral – Circle – Spiral*

3) Bentuk lengkung peralihan (*Spiral – Spiral = S – S*)

Bentuk tikungan ini digunakan pada tikungan yang tajam. Adapun rumus-rumus yang digunakan pada tikungan *spiral – spiral*, yaitu:

$$\theta_s = \frac{1}{2} \Delta \dots\dots\dots (2.26)$$

$$P = p' \times L_s \dots\dots\dots (2.27)$$

$$k = k' \times L_s \dots\dots\dots (2.28)$$

$$T_s = (R+P) \tan \frac{1}{2} \Delta + k \dots\dots\dots (2.29)$$

$$E_s = (R+P) \sec \frac{1}{2} \Delta - R \dots\dots\dots (2.30)$$

$$L_{tot} = 2x L_s \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana:

Δ = Sudut tikungan atau sudut tangen

T_s = Titik perubahan dari tangen ke spiral

R = Jari-jari

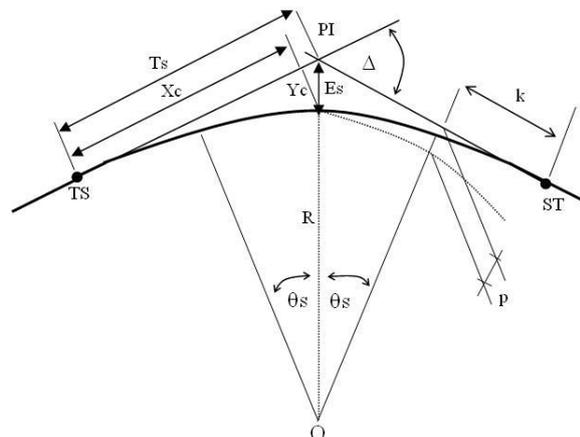
E_s = Jarak PI ke busur lingkaran

L_s = Lengkung peralihan fiktif

V = Kecepatan

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

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

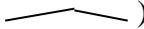
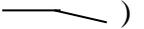


Gambar 2. 9 Bentuk tikungan *Spiral – Spiral*

2.4.4 Diagram superelevasi

Diagram superelevasi menggambarkan pencapaian superelevasi dari lereng normal ke superelevasi penuh, sehingga dengan mempergunakan diagram dapat ditentukan bentuk penampang melintang pada setiap titik di suatu lengkung horizontal yang direncanakan. Diagram superelevasi digambar berdasarkan elevasi sumbu jalan sebagai garis nol. Elevasi diberi tanda positif dan tanda negatif ditinjau dari ketinggian sumbu jalan. Tanda positif untuk tepi perkerasan yang terletak lebih tinggi dari sumbu jalan dan tanda negatif untuk elevasi tepi perkerasan yang terletak lebih rendah dari sumbu jalan.

Pencapaian superelevasi dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus sampai kekemiringan penuh (superelevasi) pada bagian lengkung.

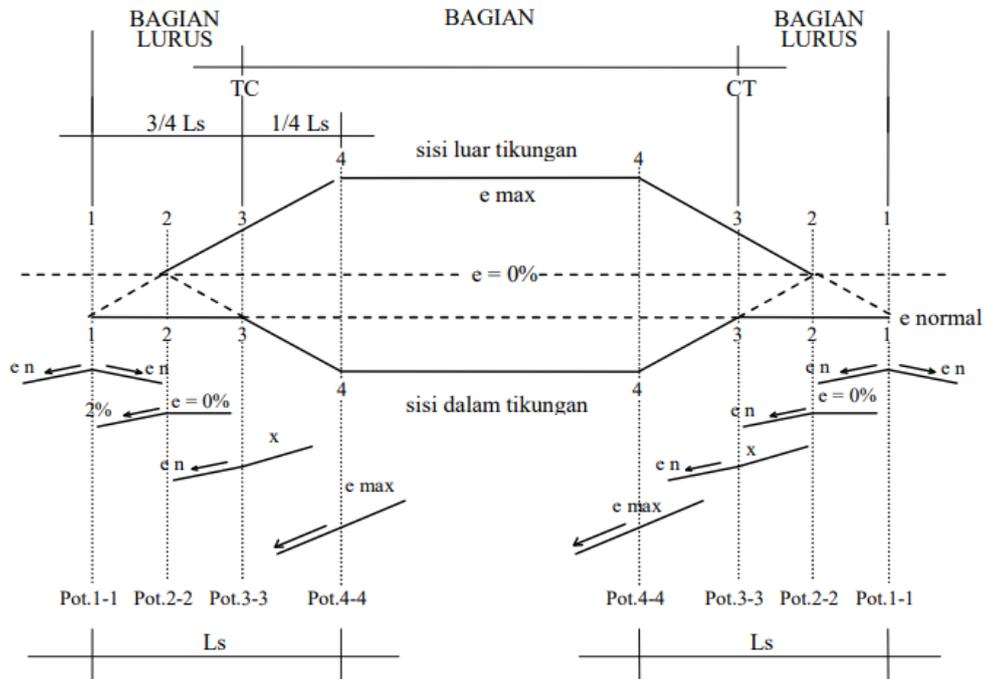
Pada tikungan S-C-S, pencapaian superelevasi dilakukan secara linier, diawali dari bentuk normal () sampai awal lengkung peralihan () pada bagian lurus jalan, sampai superelevasi penuh () pada akhir bagian lengkung peralihan (S-C).

Pada tikungan FC, pencapaian superelevasi dilakukan secara linier, diawali dari bagian lurus sepanjang $\frac{2}{3} L_s$ sampai dengan bagian lingkaran penuh sepanjang $\frac{1}{3} L_s$. Pada Tikungan S-S, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral.

Superelevasi tidak diperlukan jika radius (R) cukup besar, untuk itu cukup lereng luar diputar sebesar lereng normal (LN) atau bahkan tetap lereng normal (LN)

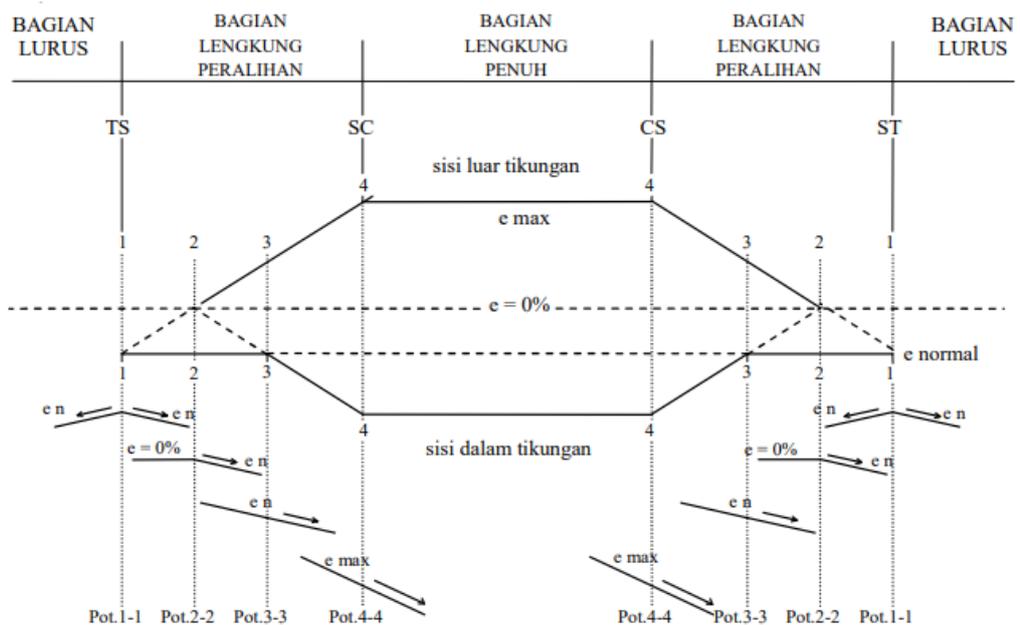
Berikut gambar – gambar diagram superelevasi setiap tikungan :

a. Tikungan *Full Circle (FC)*



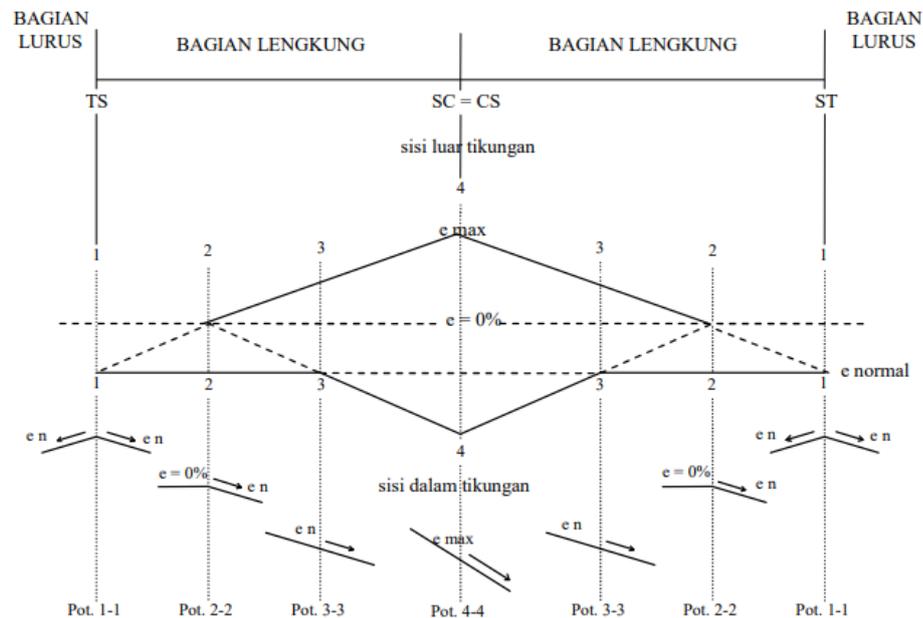
Gambar 2. 10 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Full Circle*

b. Tikungan *Spiral – Circle – Spiral*



Gambar 2. 11 Pencapaian superelevasi tikungan *Spiral – Circle – Spiral*

c. Tikungan *Spiral – Spiral*



Gambar 2. 12 Pencapaian superelevasi tikungan *Spiral – Spiral*

2.4.5 Pelebaran perkerasan di tikungan

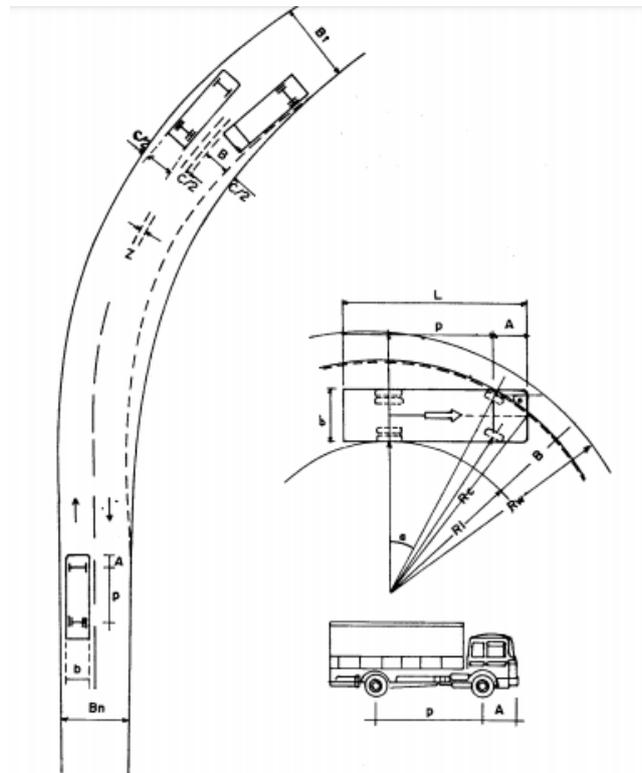
Kendaraan yang bergerak dari jalan lurus menuju tikungan, seringkali tidak dapat mempertahankan lintasannya pada jalur yang telah disediakan, disebabkan:

- Pada waktu membelok yang diberikan sudut belokan hanya roda depan, sehingga lintasan roda belakang menjalani lintasan lebih kedalam dari roda depan (*off tracking*).
- Jejak lintasan kendaraan tidak lagi berimpit, karena bumper depan dan belakang kendaraan mempunyai lintasan yang berbeda antara roda depan dan roda belakang.
- Pengemudi akan mengalami kesukaran dalam mempertahankan lintasannya untuk tetap pada lajur jalannya, terutama pada tikungan – tikungan yang tajam atau pada kecepatan yang tinggi. Untuk menghindari hal tersebut diatas, maka pada tikungan yang tajam perlu diadakan pelebaran perkerasan jalan. (Hamirhan Saodang, 2004).

Penentuan lebar pelebaran jalur lalu lintas ditikungan ditinjau dari elemen – elemen : keluar lajur (*off tracking*) dan kesukaran dalam mengemudi di tikungan.

a. Keluar Lajur (*Off Tracking*)

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



Gambar 2. 13 Pelebaran Perkerasan Pada Tikungan

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

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

$$B = R_w - R_i$$

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

$$R_w = \sqrt{(R_i + b)^2 - (p + A)^2} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$R_i = R_w - B$$

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

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

R_c = Radius lengkung untuk lintasan luar roda depan yang besarnya dipengaruhi oleh sudut α .

R_c diasumsikan sama dengan $R_i + \frac{1}{2} b$

$$R_c^2 = (R_i + \frac{1}{2} b)^2 + (p + A)^2$$

$$(R_i + \frac{1}{2} b)^2 = R_c^2 - (p + A)^2$$

$$(R_i + \frac{1}{2} b)^2 = \sqrt{(R_w^2 - (p + A)^2)}$$

$$R_i = \sqrt{(R_c^2 - (p + A)^2)} - \frac{1}{2} b \dots\dots\dots (2.33)$$

$b \longrightarrow a$

$$R_w = \sqrt{\sqrt{\{R_c^2 - (p - A)^2\} + \frac{1}{2} b}^2 + (p + A)^2}$$

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

$U = B - b$, sedangkan ukuran kendaraan rencana truk adalah:

p = jarak antara gandar = 6,5 m

A = tonjolan depan kendaraan = 1,5 m

b = lebar kendaraan 2,5 m

sehingga,

$$B = \sqrt{\sqrt{\{R_c^2 - (64) + 1,25\}^2 + 64} - \sqrt{(R_c^2 - 64 + 1,25) \dots (2.34)}$$

Dan R_c = radius lajur sebelah dalam $- \frac{1}{2}$ lebar perkerasan $+ \frac{1}{2} b$

b. Kesukaran dalam mengemudi di tikungan

Tambahan lebar perkerasan akibat kesukaran dalam mengemudi di tikungan diberikan oleh AASHTO sebagai fungsi dari kecepatan dan radius lajur sebelah dalam mengemudi. Hal ini disebabkan oleh kecenderungan terlemparnya kendaraan ke arah luar dalam gerakan menikung tersebut.

$$Z = \frac{0,105V}{\sqrt{R}} \dots\dots\dots (2.35)$$

Dimana,

V = kecepatan (km / jam)

R = radius lengkung (m)

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

Tabel 2. 12 Pelebaran di Tikungan per lajur (m) untuk lebar jalur 2 x B m, 2 arah atau 1 Arah.

R (m)	Kecepatan Rencana, Vr (km/jam)																				
	50		60		70		80		90		100		110		120						
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2						
1500	0,3	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,5	0,0	0,6	0,0	0,1						
1000	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,6	0,2	0,2						
750	0,6	0,0	0,6	0,0	0,7	0,1	0,7	0,1	0,7	0,1	0,8	0,2	0,8	0,3	0,3						
500	0,8	0,2	0,9	0,3	0,9	0,3	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,5	1,0	0,5							
400	0,9	0,3	0,9	0,3	1,0	0,4	1,0	0,4	1,1	0,5	1,0	0,5									
300	0,9	0,3	1,0	0,4	1,0	0,4	1,1	0,5		0,5											
250	1,0	0,4	1,1	0,5	1,1	0,5	1,2	0,6													
200	1,2	0,6	1,3	0,7	1,3	0,8	1,4														
150	1,3	0,7	1,4	0,8																	
140	1,3	0,7	1,4	0,8																	
130	1,3	0,7	1,4	0,8					Keterangan : Kolom 1, untuk (B) = 3,00 m Kolom 2, untuk (B) = 3,50 m												
120	1,3	0,7	1,4	0,8																	
110	1,3	0,7	1,4	0,8																	
100	1,4	0,8																			
90	1,4	0,8																			
80	1,6	1,0																			
70	1,7	1,0																			

(Sumber : Perencanaan Teknik Jalan Raya, Shirley L. Hendarsin, 2000)

2.4.6 Jarak pandang pada lengkung horizontal

Jarak pandangan pengemudi kendaraan yang bergerak pada lajur tepi sebelah dalam seringkali dihalangi oleh gedung – gedung, hutan -hutan kayu, tebing galian dan lain sebagainya. Demi menjaga keamanan pemakai jalan, panjang sepanjang jarak pandangan henti minimum harus terpenuhi di sepanjang lengkung horizontal. Dengan demikian terdapat batas minimum jarak antara sumbu lajur sebelah dalam dengan penghalang (m).

Banyaknya penghalang – penghalang yang mungkin terjadi dan sifat – sifat yang berbeda dari masing – masing penghalang mengakibatkan sebaiknya setiap faktor yang menimbulkan halangan tersebut ditinjau diri sendiri.

Syarat jarak pandang yang diperlukan dalam suatu perencanaan jalan raya untuk mendapatkan keamanan setinggi – tingginya bagi lalu lintas adalah sebagai berikut:

a. Jarak pandang henti (Jh)

Jh adalah jarak minimum yang diperlukan oleh setiap pengemudi untuk menghentikan kendaraannya dengan aman begitu melihat adanya halangan di depan. Setiap titik di sepanjang jalan harus memenuhi ketentuan Jh.

Jh diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan 15 cm, yang diukur dari permukaan jalan. Jh terdiri dari 2 macam elemen jarak, yaitu:

1) Jarak tanggap (Jht)

Jarak tanggap adalah jarak yang ditempuh oleh kendaraan sejak pengemudi melihat suatu halangan yang menyebabkan ia harus berhenti sampai saat pengemudi menginjak rem, dan

2) Jarak Pengereman (Jhr)

Jarak pengereman adalah jarak yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti.

Rumus yang digunakan adalah:

$$Jh = Jht + Jhr$$

$$J_h = \frac{V_r}{3,6} T + \frac{\left(\frac{V_r}{3,6}\right)^2}{2g f_p} \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana,

V_r = Kecepatan rencana (km / jam)

T = Waktu tanggap, ditetapkan $T = 2,5$ detik

g = Percepatan grafitasi, ditetapkan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

f_p = Koefisien gesek memanjang antara ban kendaraan dengan perkerasan aspal ditetapkan 0,28 – 0,45 (menurut AASHTO), f_p akan semakin kecil jika kecepatan (V_r) semakin tinggi dan sebaliknya. (menurut Bina Marga, $f_p = 0,35 - 0,55$).

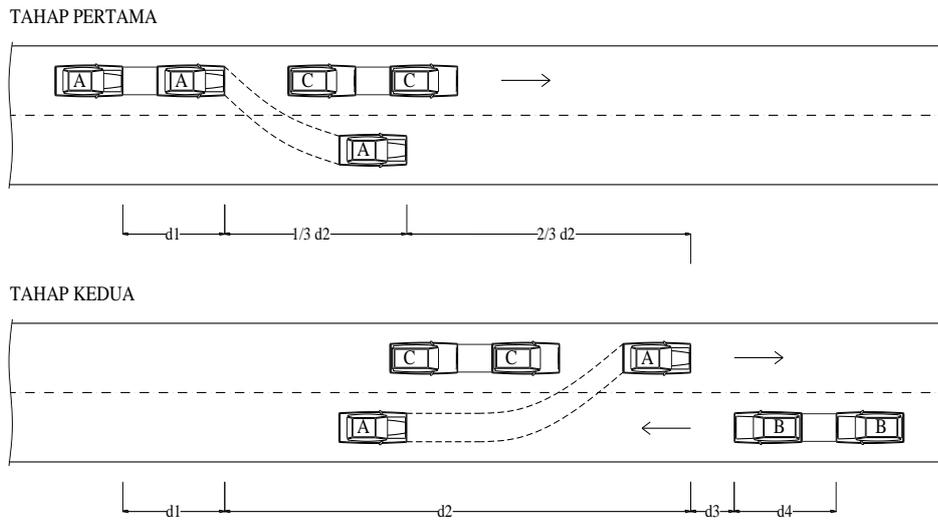
Tabel 2. 13 Panjang J_h minimum

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

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

b. Jarak pandang mendahului (J_d)

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



Gambar 2. 14 Proses gerakan mendahului 2/2 TB

Keterangan :

A = kendaraan yang mendahului

B = kendaraan yang berlawanan arah

C = kendaraan yang didahului kendaraan A

Jd diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan 105 cm.

Jd dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Jd = d1 + d2 + d3 + d4 \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana,

d1 = jarak yang ditempuh selama waktu tanggap (m)

d2 = jarak yang ditempuh selama mendahului sampai dengan

kembali ke jalur semula

d3 = jarak antara kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai (m).

d4 = jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang datang dari berlawanan arah.

Rumus yang digunakan:

$$d1 = 0,278 T1 (Vr - m + \frac{a.T1}{2}) \dots\dots\dots (2.38)$$

$$d2 = 0,278 Vr T2 \dots\dots\dots (2.39)$$

d3 = antara 30 – 100 m

VR (km / jam)	50 -65	65 - 80	80 - 95	95 – 110
d3 (m)	30	55	75	90

$$d4 = 2/3 d2$$

dimana,

T1= waktu dalam (detik), 2,12 + 0,026 Vr

T2= waktu kendaraan berada di jalur lawan, (detik), 6,56 + 0,048 Vr

a = percepatan rata – rata km/jam/detik, (km/jam/detik), 2,052 + 0,0036 Vr

m = perbedaan kecepatan dai kendaraan yang menyiap dan kendaraan yang disiap, (biasanya diambil 10 – 15 km/jam)

Tabel 2. 14 Panjang jarak pandang mendahului berdasarkan Vr

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

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

2.4.7 Kebebasan samping pada tikungan

Kebebasan samping tikungan adalah ruang untuk menjamin kebebasan pandang di tikungan sehingga jarak pandang henti dipenuhi. Daerah bebas samping tikungan 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 persyaratan J_h dipenuhi.

Daerah bebas samping di tikungan dihitung berdasarkan rumus – rumus berikut:

- a. Berdasarkan jarak pandang henti

$$M = R (1 - \cos \theta) \dots \dots \dots (2.40)$$

- b. Berdasarkan jarak pandang mendahului

$$M = R (1 - \cos \theta) + \frac{1}{2} (S-L) \dots \dots \dots (2.41)$$

Dimana :

M = Jarak dari penghalang ke sumbu lajur sebelah dalam (m)

θ = Setengah sudut pusat sepanjang L , ($^\circ$)

R = Radius sumbu lajur sebelah dalam, (m)

S = Jarak pandangan, (m)

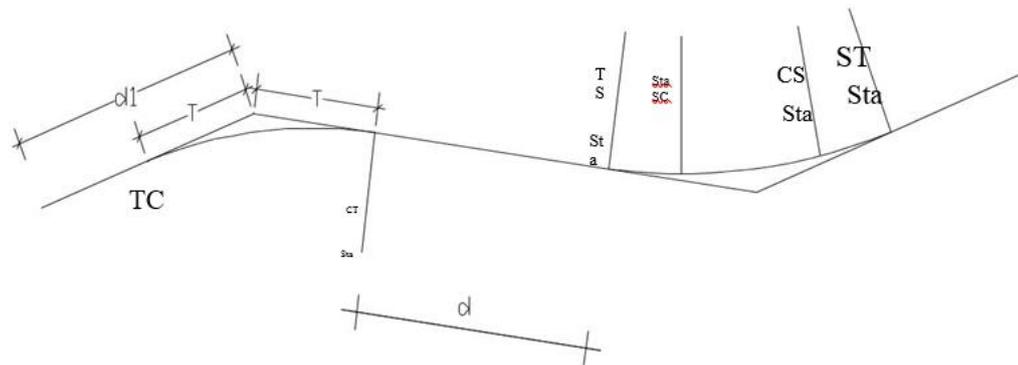
L = Panjang tikungan, (m)

2.4.8 Stationing

Tujuan dari penetapan stationing adalah untuk menetapkan titik – titik lintasan dari suatu trase jalan, sekaligus untuk menentukan panjang suatu trase jalan, atau jarak dari satu tempat ke tempat lain pada suatu lokasi jalan. Titik – titik penting atau titik – titik yang terdapat pada sepanjang jalan tertentu dinamakan dengan nama titik stasiun. Jadi stasiun (Sta) adalah jarak langsung yang diukur dari mulai titik awal, berupa sta 0+000 sampai dengan titik yang akan dicari stasiunnya.

Titik – titik awal yang penting dan terletak pada trase jalan ditetapkan atau dihitung stasiunnya. Dalam hal menghitung stasiun di luar titik penting, dilakukan dengan cara – cara berdasarkan kriteria sebagai berikut:

- Untuk daerah datar, dibuat jarak patok +/- 100 meter.
- Untuk daerah perbukitan, jarak patoknya dibuat +/- 50 meter.
- Untuk daerah pegunungan, jarak patoknya adalah +/- 25 meter.
- Untuk daerah lengkung, jarak patoknya harus dibuat lebih pendek menurut keperluan yang berkaitan dengan faktor ketelitian.



Gambar 2. 15 Sistem Penomoran Jalan

2.5 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah perpotongan bidang vertikal dengan bidang permukaan perkerasan jalan melalui sumbu jalan untuk jalan 2 lajur 2 arah atau melalui tepi dalam masing – masing perkerasan untuk jalan dengan median. Perencanaan alinyemen vertikal dipengaruhi oleh besarnya biaya pembangunan yang tersedia. Alinyemen vertikal direncanakan untuk merubah secara bertahap perubahan dari dua macam kelandaian arah memanjang jalan pada setiap lokasi yang diperlukan. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi goncangan akibat perubahan kelandaian dan menyediakan jarak pandang henti yang cukup, untuk keamanan dan kenyamanan.

Lengkung vertikal terdiri dari dua jenis yaitu lengkung vertikal cembung dan lengkung vertikal cekung disamping kedua lengkung tersebut ditemui juga kelandaian = 0 (datar).

2.5.1 Kelandaian alinyemen vertikal

Kelandaian alinyemen vertikal terbagi menjadi dua macam, antara lain:

a. Landai minimum

Untuk tanah timbunan yang tidak menggunakan kerb, maka lereng melintang jalan dianggap sudah cukup untuk dapat mengalirkan air diatas badan jalan yang selanjutnya dibuang ke lereng jalan.

Untuk jalan – jalan diatas tanah timbunan dengan medan datar dan menggunakan kerb, kelandaian yang dianjurkan adalah sebesar 0,15% yang dapat membantu mengalirkan air dari atas badan jalan dan membuangnya ke saluran tepi atau saluran pembuangan.

Sedangkan untuk jalan – jalan di daerah galian atau jalan yang memakai kerb, kelandaian minimum jalan hanya cukup untuk mengalirkan air hujan yang jatuh di atas badan jalan, sedangkan landai jalan dibutuhkan untuk membuat kemiringan dasar saluran samping, untuk membuang air permukaan sepanjang jalan.

b. Landai maksimum

Kelandaian maksimum dimaksudkan untuk menjaga agar kendaraan dapat bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti. Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh dan mampu bergerak , dengan penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah.

Tabel 2. 15 Kelandaian maksimum yang diizinkan.

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

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

c. Panjang kritis kelandaian

Panjang kritis adalah panjang landai maksimum yang harus disediakan agar kendaraan dapat mempertahankan kecepatannya sedemikian rupa, sehingga penurunan kecepatan yang terjadi tidak lebih dari separuh kecepatan rencana (V_r). Lama perjalanan tersebut ditetapkan tidak lebih dari satu menit.

Tabel 2. 16 Panjang Kritis Kelandaian

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

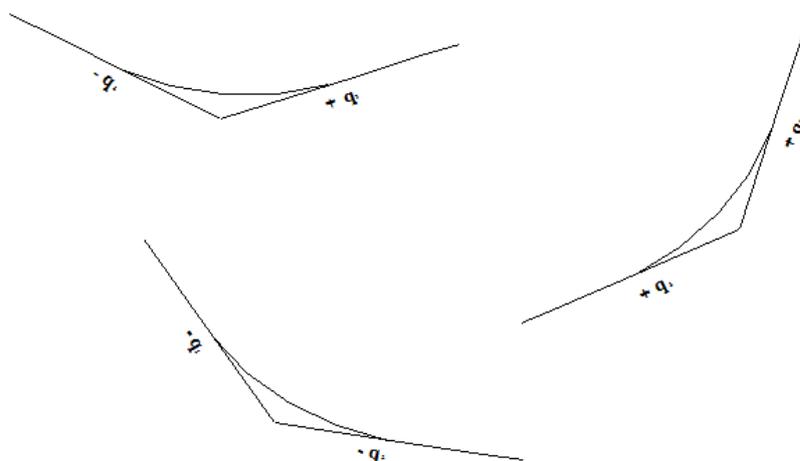
Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/TBM/1997)

2.5.2 Lengkung vertikal

Pergantian dari satu kelandaian ke kelandaian lainnya, dilakukan dengan menggunakan lengkung vertikal. Lengkung vertikal direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi keamanan, kenyamanan dan drainase.

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

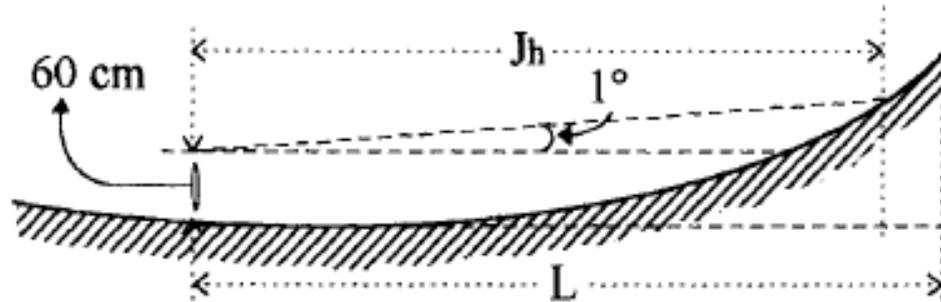
- Jenis lengkung vertikal cekung, adalah suatu lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada dibawah permukaan jalan.



Gambar 2. 16 Lengkung Vertikal Cekung

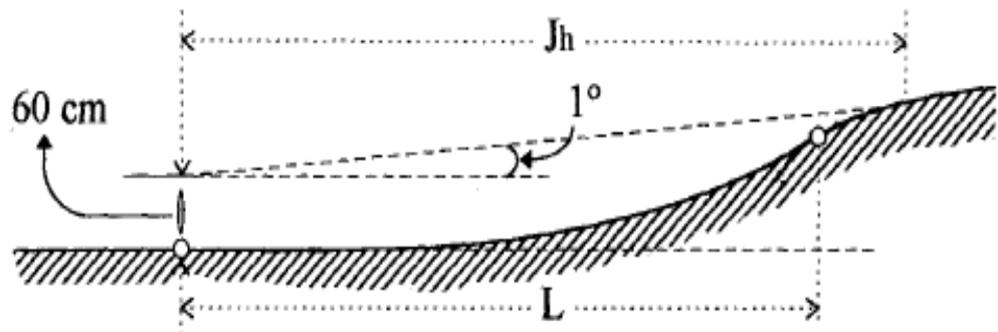
Berdasarkan jarak pandang henti, maka alinyemen vertical cekung dibagi menjadi dua, yaitu :

- $J_h < L_v$, maka $L_v = \frac{A J_h^2}{120 + 3,5 J_h} \dots \dots \dots (m)$

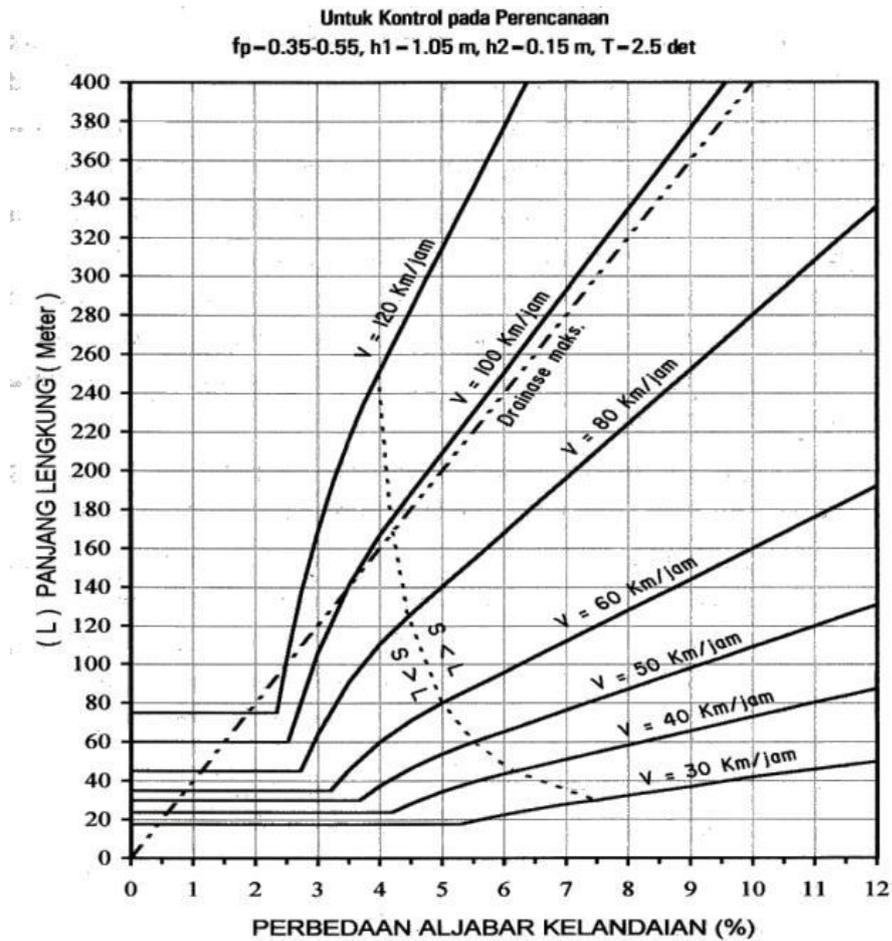


Gambar 2. 17 $J_h < L_v$

- $J_h > L_v$, maka $L_v = 2 J_h - \frac{120 + 3,5 J_h}{A} \dots \dots \dots (m)$

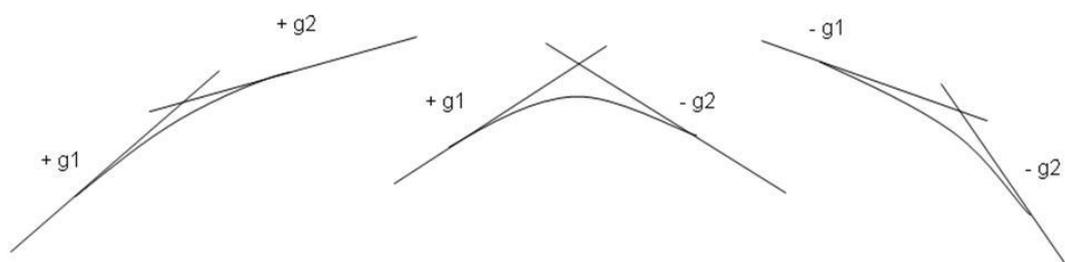


Gambar 2. 18 $J_h > L_v$



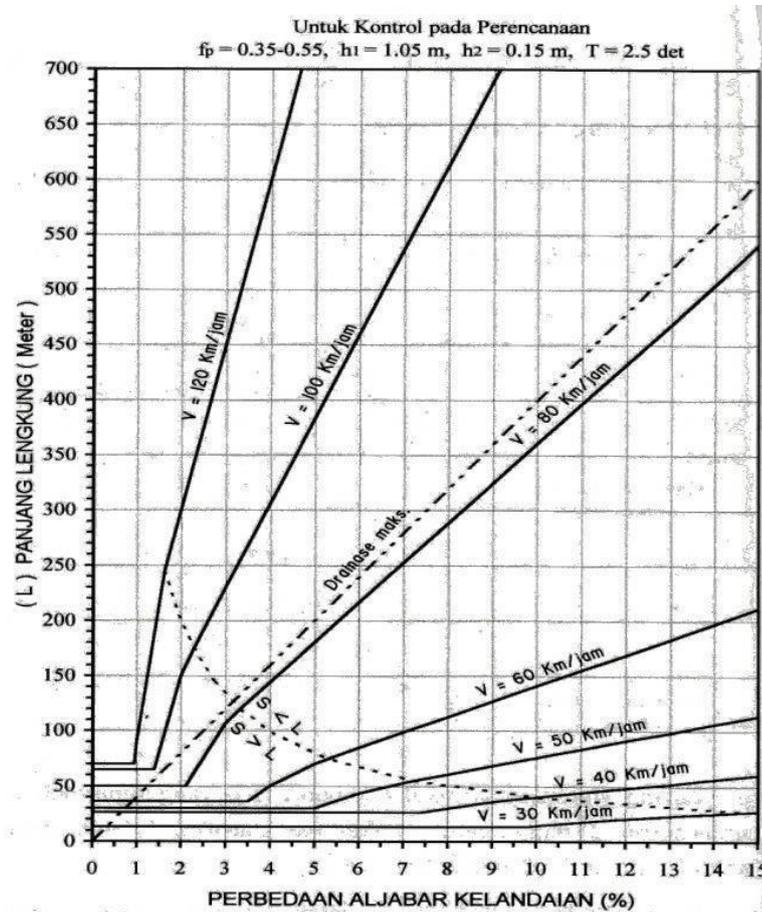
Gambar 2. 19 Grafik panjang lengkung vertikal cekung

- b. Lengkung vertikal cembung, adalah suatu lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada diatas permukaan jalan yang bersangkutan.

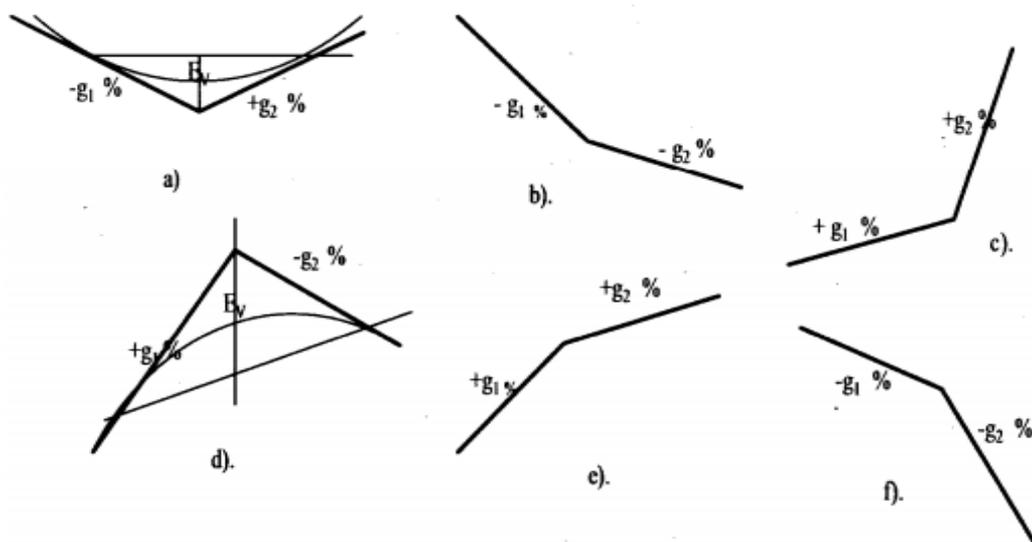


Gambar 2. 20 Macam – macam alinyemen vertikal cembung

Berikut grafik perhitungan lengkung vertikal cembung :



Gambar 2. 21 Grafik panjang lengkung vertikal cembung



Gambar 2. 22 Contoh – contoh alinyemen vertikal

Perhitungan lengkung vertikal cembung dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu :

- a. Lengkung vertikal yang digunakan menggunakan tipikal parabola dan berupa lengkung simetris dengan rumus – rumus yang digunakan sebagai berikut :

$(g_1 \pm g_2) = A$ =perbedaan aljabar untuk kelandaian

$$x = \frac{Lv \cdot g_1}{g_1 - g_2} = \frac{Lv \cdot g_1}{A} \dots\dots\dots (2.42)$$

$$y = \frac{Lv \cdot g_1^2}{2(g_1 - g_2)} = \frac{Lv \cdot g_1^2}{2A} \dots\dots\dots (2.43)$$

$$Ev = \frac{A \cdot Lv}{800} \dots\dots\dots (2.44)$$

Untuk : $x = \frac{1}{2} L$; $y = Ev$

Panjang lengkung vertikal (L_v)

- 1) Syarat keluwesan bentuk

$$L_v = 0,6 \times V \dots\dots\dots (2.45)$$

- 2) Syarat drainase

$$L_v = 40 \times A \dots\dots\dots (2.46)$$

- 3) Syarat kenyamanan

$$L_v = \frac{A \times V}{360} \dots\dots\dots (2.47)$$

Dimana,

x = Jarak dari titik P ke titik yang ditinjau pada stasiun (sta.)

y = Perbedaan elevasi antara titik P dan titik yang ditinjau stasiun (m)

L_v = Panjang lengkung vertikal parabola, yang merupakan jarak proyeksi dari titik A dan titik Q (sta.)

g_1 = kelandaian tangen dari titik P (%)

g_2 = kelandaian tangen dari titik Q (%)

Ketentuan tinggi menurut Bina Marga (1997) untuk lengkung cembung seperti pada tabel 2.17

Tabel 2. 17 Ketentuan Tinggi Untuk Jenis Jarak Pandang

Jarak Pandang	H ₁ (m) Tinggi Mata	H ₂ (m) Tinggi Objek
Henti (Jh)	1,05	0,15
Mendahului (Jd)	1,05	1,05

Sumber : Bina Marga, 1997.

- b. Panjang L_v berdasarkan J_h , (m)

$$J_h < L_v, \text{ maka } L_v = \frac{A J_h^2}{399} \dots \dots \dots (\text{m})$$

$$J_h > L_v, \text{ maka } L_v = 2J_h - \frac{399}{A} \dots \dots \dots (\text{m})$$

- c. Panjang L_v berdasarkan J_d (m)

$$J_d < L_v, \text{ maka } L_v = \frac{A J_d^2}{840} \dots \dots \dots (\text{m})$$

$$J_d > L_v, \text{ maka } L_v = 2J_d - \frac{840}{A} \dots \dots \dots (\text{m})$$

Keterangan :

J_h = jarak pandang henti (m)

J_d = jarak pandang mendahului/menyiap (m)

g_1 = kelandaian tangen dari titik p (%)

g_2 = kelandaian tangen dari titik q (%)

L_v = panjang lengkungan (m)

A = perbedaan aljabar untuk kelandaian (%),

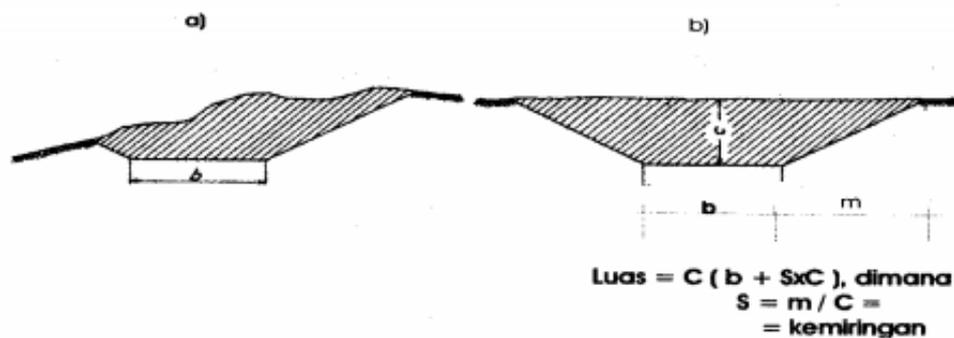
dimana $A = g_1 \pm g_2$

2.6 Pekerjaan Galian dan Timbunan

2.6.1 Perhitungan penampang tanah

Metoda untuk mencari luas penampang galian/timbunan pada setiap stasiun, dapat dilakukan dengan cara :

- Untuk penampang yang tidak beraturan, luas penampang dicari dengan menggunakan alat planimeter, atau dengan cara sederhana, menggambar penampang pada kertas milimeter blok, kemudian hitung kumulatif kotak yang tercakup area penampang, kemudian dikalikan dengan skala gambar.
- Untuk penampang yang beraturan, gunakan rumus planimetri biasa.



Gambar 2. 23 Menghitung luas penampang tidak beraturan

2.6.2 Perhitungan volume tanah

Perhitungan volume tanah pada pekerjaan galian dan timbunan, biasa 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 stasiun. Ini dilakukan untuk semua titik stasiun yang berada pada rancangan trase jalan.

$$\text{Volume} = \frac{A_1 + A_2}{2} \times \text{jarak} \text{ (m}^3\text{)} \dots\dots\dots (2.48)$$

Untuk perhitungan timbunan lakukan cara yang sama dengan galian.

2.7 Perencanaan Tebal Perkerasan

Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun diatas lapisan tanah dasar (*sub grade*), yang berfungsi untuk menopang beban lalu-lintas. Jenis konstruksi perkerasan jalan pada umumnya ada tiga jenis, yaitu :

a. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Yaitu suatu perkerasan yang menggunakan bahan campuran beton bertulang atau bahan – bahan yang bersifat kaku.

b. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Yaitu suatu perkerasan yang menggunakan bahan campuran aspal dan agregat atau bahan – bahan yang bersifat tidak kaku / lentur.

c. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Yaitu perkerasan yang merupakan perpaduan antara lentur dan kaku.

2.7.1 Jenis dan fungsi konstruksi perkerasan lentur

Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan bahan ikat aspal, yang sifatnya lentur terutama pada saat panas. Lapisan perkerasannya bersifat memikul beban dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar (*subgrade*).

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang terletak di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.

Komponen perkerasan lentur terdiri dari:

a. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan diatasnya. Menurut Spesifikasi, tanah dasar adalah lapisan paling atas dari timbunan badan jalan setebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu

sesuai fungsinya, yaitu yang berkenaan dengan kepadatan dan daya dukungnya (CBR).

b. Lapisan Pondasi Bawah (*Asphalt Concrete-Base*)

Lapisan ini merupakan perkerasan yang terletak di bawah lapis pengikat (*AC-BC*), perkerasan tersebut tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk menahan beban lalu lintas yang disebarkan melalui roda kendaraan. Perbedaan terletak pada jenis gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. *AC-Base* merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas.

Lapis pondasi bawah ini berfungsi sebagai:

- 1) Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- 2) Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- 3) Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.

c. Lapisan Pondasi Atas (*Asphalt Concrete-Base Course*)

Lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus atau lapisan permukaan (*wearing course*) dan di atas lapisan pondasi (*Base*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekauan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawahnya yaitu *Base* dan *Sub Grade* (Tanah Dasar). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Lapisan pondasi atas adalah lapisan perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan.

Lapisan pondasi atas ini berfungsi sebagai:

- 1) Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- 2) Bantalan terhadap lapisan permukaan.

d. Lapisan Permukaan (*Asphalt Concrete-Wearing Course*)

Asphalt concrete-wearing course merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Walaupun bersifat non struktural, AC-WC dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan.

Lapisan permukaan ini berfungsi sebagai:

- 1) Lapisan yang langsung menahan akibat beban roda kendaraan.
- 2) Lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan (lapis aus).
- 3) Lapisan yang mencegah air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.
- 4) Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan di bawahnya.



Gambar 2. 24 Struktur perkerasan lentur pada tanah asli (*Bina Marga, 2017*)



Gambar 2. 25 Struktur perkerasan lentur pada tanah timbunan (Bina Marga, 2017)



Gambar 2. 26 Struktur perkerasan lentur pada tanah galian (Bina Marga, 2017)

2.7.2 Kriteria perencanaan tebal perkerasan

Yang menjadi pertimbangan dalam perencanaan tebal perkerasan antara lain :

a. Lalu lintas

1) Jumlah lajur dan lebar lajur rencana

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan, yang menampung lalu lintas terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, jumlah lajur ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel.18

Tabel 2. 18 Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan

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

$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00 \text{ m}$	4
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75 \text{ m}$	5
$18,75 \text{ m} \leq L < 22,50 \text{ m}$	6

2) Distribusi Kendaraan per lajur rencana

Distribusi kendaraan ringan dan berat yang lewat pada lajur rencana adalah sesuai dengan jumlah lajur dan arah. Distribusi kendaraan ringan dan berat pada lajur rencana dipengaruhi oleh volume lalu lintas, sehingga untuk menetapkannya diperlukan survey. Namun demikian, koefisien distribusi kendaraan (D_L) dapat menggunakan pendekatan sesuai pada Tabel 2.19.

Tabel 2. 19 Koefisien distribusi kendaraan per lajur rencana (D_L)

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

Keterangan : *) Mobil Penumpang
**) Truk dan Bus

3) Faktor ekuivalen beban sumbu kendaraan (LEF)

Faktor ekuivalen beban sumbu kendaraan (*Load Equivalency Factor*, LEF) setiap kelas kendaraan adalah sesuai dengan beban sumbu setiap kelas kendaraan, yaitu konfigurasi sumbu tunggal, sumbu ganda (*tandem*), dan sumbu tiga (*triple*). Faktor ekuivalen beban sumbu kendaraan dapat dihitung sesuai persamaan di bawah ini atau melalui tabel yang disajikan pada Lampiran A.

$$LEF = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} \dots\dots\dots (2.49)$$

$$\log \left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}} \right) = 4,79 \log(18+1) - 4,79 \log(L_x + L_2) + 4,33 \log L_2 + \frac{\log \left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f} \right)}{0,40 + \frac{0,081(L_x + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} L_2^{3,23}}} - \frac{\log \left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f} \right)}{0,40 + \frac{0,081(18+1)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19}}}$$

(2.50)

Keterangan :

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

W_{tx} adalah angka beban sumbu x pada akhir waktu t.

W_{t18} adalah angka 18-kip (80 kN) beban sumbu tunggal untuk waktu t.

L_x adalah beban dalam kip pada satu sumbu tunggal atau pada sumbu ganda (tandem), atau satu sumbu tridem.

L₂ adalah kode beban (1 untuk poros tunggal, 2 untuk poros tandem dan 3 untuk as roda tridem).

SN adalah Nilai Struktural, yang merupakan fungsi dari ketebalan dan modulus setiap lapisan dan kondisi drainase dari fondasi dan fondasi bawah.

ΔIP adalah perbedaan antara indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP₀) dengan indeks pelayanan pada akhir umur rencana (IP_t).

IP_f adalah indeks pelayanan jalan hancur (minimum 1,5).

4) Akumulasi lalu lintas pada jalur rencana (W₁₈)

Akumulasi lalu lintas pada lajur rencana (w₁₈) diberikan dalam kumulatif beban sumbu standar. Untuk mendapatkan lalu lintas pada lajur rencana ini, digunakan persamaan berikut:

$$w_{18} = 365 \times D_L \times \hat{w}_{18} \dots\dots\dots (2.51)$$

Keterangan :

w₁₈ adalah akumulasi lalu lintas pada lajur rencana per tahun.

D_L adalah faktor distribusi lajur pada lajur rencana (Tabel 2).

\hat{w}_{18} adalah akumulasi beban sumbu standar kumulatif per hari, sesuai persamaan di bawah ini :

$$\hat{w}_{18} = \sum_i^n BS_i LEF_i \dots\dots\dots (2.52)$$

Keterangan

BS_i adalah beban setiap sumbu kendaraan

LEF_i adalah faktor ekuivalen beban setiap sumbu kendaraan sesuai Persamaan 3.

5) Akumulasi beban sumbu standar selama umur rencana (W_t atau W_{18})

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

$$W_t = W_{18} = w_{18} \times \left[\frac{(1+g)^n - 1}{g} \right] \dots\dots\dots (2.53)$$

Keterangan :

$W_t = W_{18}$ adalah jumlah beban sumbu tunggal standar kumulatif pada lajur rencana.

w_{18} adalah beban sumbu standar kumulatif selama 1 tahun pada lajur rencana.

n adalah umur pelayanan (tahun).

g adalah perkembangan lalu lintas (%).

b. Tingkat kepercayaan (reliabilitas)

Penyertaan tingkat kepercayaan pada dasarnya merupakan cara untuk memasukkan faktor ketidakpastian ke dalam proses perancangan, yaitu dalam rangka memastikan bahwa berbagai alternatif perancangan perkerasan akan bertahan selama umur rencana. Faktor tingkat kepercayaan memperhitungkan kemungkinan adanya variasi pada lalu lintas dua arah prediksi (w_{18}) serta prediksi kinerja, sehingga dapat memberikan tingkat kepastian (R) yang seksi perkerasannya akan bertahan (*survive*) selama umur rencana yang ditetapkan.

Pada umumnya meningkatnya volume lalu lintas dan kesukaran untuk mengalihkan lalu lintas memperlihatkan risiko kinerja yang tidak diharapkan. Hal ini dapat diatasi dengan memilih tingkat reliabilitas yang lebih tinggi. Tabel 3 memperlihatkan rekomendasi tingkat reliabilitas untuk bermacam-macam klasifikasi jalan. Perlu dicatat bahwa tingkat reliabilitas yang lebih tinggi menunjukkan jalan yang melayani lalu lintas paling banyak, sedangkan tingkat yang paling rendah, 50 % menunjukkan jalan lokal.

Reliabilitas kinerja-perancangan dikontrol dengan faktor reliabilitas (F_R) yang dikalikan dengan perkiraan lalu lintas (w_{18}) selama umur rencana. Untuk tingkat reliabilitas (R) yang diberikan, faktor reabilitas merupakan fungsi dari deviasi standar keseluruhan (*overall standard deviation*, S_0) yang memperhitungkan kemungkinan variasi perkiraan lalu lintas dan perkiraan kinerja untuk w_{18} yang diberikan. Dalam Persamaan perancangan perkerasan lentur, tingkat kepercayaan (R) diakomodasi dengan parameter deviasi normal standar (*standard normal deviate*, Z_R). Tabel 4 memperlihatkan nilai Z_R untuk tingkat pelayanan tertentu.

Tabel 2. 20 Tingkat reliabilitas untuk bermacam-macam klasifikasi jalan

Klasifikasi jalan	Rekomendasi tingkat reliabilitas	
	Perkotaan	Antar kota
Bebas hambatan	85--99,9	80--99,9
Arteri	80--99	75--95
Kolektor	80--95	75--95

Penerapan konsep reliabilitas harus memperhatikan langkah-langkah berikut ini :

- (1) Definisikan klasifikasi fungsional jalan dan tentukan apakah merupakan jalan perkotaan atau jalan antar kota
- (2) Pilih tingkat reliabilitas dari rentang yang diberikan pada Tabel 4.
- (3) Pilih deviasi standar (S_0) yang harus mewakili kondisi setempat. Rentang nilai S_0 adalah 0,35 – 0,45.

Tabel 2. 21 Deviasi normal standar (Z_R) untuk berbagai tingkat kepercayaan (R)

Tingkat Kepercayaan, R (%)	Deviasi Normal Standar, Z_R	Tingkat Kepercayaan, R (%)	Deviasi Normal Standar, Z_R	Tingkat Kepercayaan, R (%)	Deviasi Normal Standar, Z_R
50,00	-0,000	90,00	-1,282	96,00	-1,751
60,00	-0,253	91,00	-1,340	97,00	-1,881
70,00	-0,524	92,00	-1,405	98,00	-2,054
75,00	-0,674	93,00	-1,476	99,00	-2,327
80,00	-0,841	94,00	-1,555	99,90	-3,090
85,00	-1,037	95,00	-1,645	99,99	-3,750

c. Kinerja perkerasan

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

Indeks pelayanan awal (IP_0) diperoleh berdasarkan perkiraan pengguna jalan terhadap kondisi perkerasan yang selesai dibangun. Pada *AASHO Road Test*, indeks pelayanan awal yang digunakan untuk perkerasan lentur adalah 4,2. Karena adanya variasi metode pelaksanaan dan standar bahan, indeks pelayanan awal sebaiknya ditetapkan menurut kondisi setempat. Indeks pelayanan akhir (IP_t) merupakan tingkat pelayanan terendah yang masih dapat diterima sebelum perkerasan perlu diperkuat atau direkonstruksi. Untuk jalan- jalan utama, indeks pelayanan akhir yang sebaiknya digunakan minimum 2,5; sedangkan untuk jalan-jalan yang kelasnya lebih rendah dapat digunakan 2,0.

Dalam menentukan indeks pelayanan perkerasan lentur pada akhir umur rencana (IP_t), perlu dipertimbangkan faktor-faktor klasifikasi fungsional jalan sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2.22

Dalam menentukan indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0), perlu diperhatikan jenis lapis permukaan perkerasan lentur pada awal umur rencana. Pada Tabel 8 disajikan indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0) untuk beberapa jenis lapis perkerasan.

Tabel 2. 22 Indeks pelayanan perkerasan lentur (IP_t)

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

Tabel 2. 23 Indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0)

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

d. Daya dukung tanah dasar

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

Penentuan nilai modulus resilien untuk setiap titik pengujian dapat didekati dengan pengujian CBR, yaitu menggunakan Persamaan 14. Nilai CBR atau Modulus resilien (M_R) tanah dasar yang mewakili suatu titik pengujian adalah yang mewakili untuk kedalaman 100 cm serta cara untuk menentukan nilai CBR rata-rata pada setiap titik pengujian adalah mengacu pada *Austroad, Guide to Pavement Technology*, 2010 yang didasarkan pada daya dukung

tanah menurut *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement - Japan Road Association, JRA (1980)*, yaitu:

CBR titik

$$CBR_R = \left(\frac{\sum_i h_i CBR_i^{1/3}}{\sum_i h_i} \right)^3 \dots\dots\dots (2.54)$$

Keterangan :

CBR_R adalah CBR rata-rata

CBR_i adalah nilai CBR pada setiap lapisan i

h_i adalah tebal tiap-tiap lapisan i

Persyaratan penggunaan Persamaan 14 memiliki kondisi sebagai berikut:

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

CBR segmen jalan

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

segmen jalan adalah bagian dari panjang jalan yang mempunyai daya dukung tanah, sifat tanah, dan keadaan lingkungan yang relatif sama.

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

$$CBR_{\text{segmen}} = CBR_{\text{rata-rata}} - \frac{CBR_{\text{maks}} - CBR_{\text{min}}}{F} \dots\dots\dots (2.55)$$

Keterangan :

CBR_{segmen} adalah nilai CBR yang mewakili pada segmen yang ditinjau

CBR_{maksimum} adalah nilai CBR tertinggi pada sepanjang segmen yang ditinjau

CBR_{minimum} adalah nilai CBR terendah pada sepanjang segmen yang ditinjau

$CBR_{\text{rata-rata}}$ adalah nilai CBR rata-rata pada sepanjang segmen yang ditinjau

F adalah koefisien yang disajikan pada Tabel 2.24.

Tabel 2. 24 Nilai untuk perhitungan CBR segmen

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

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

e. Koefisien kekuatan relatif (a)

Koefisien kekuatan relatif bahan jalan, baik campuran beraspal sebagai lapis permukaan (lapis aus dan lapis permukaan antara), lapis fondasi serta lapis fondasi bawah.

Tabel 2. 25 Koefisien kekuatan relatif bahan jalan (a)

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

Tabel (Lanjutan) Koefisien kekuatan relatif bahan jalan (a)

Jenis Bahan	Kekuatan bahan						Koefisien Kekuatan Relatif		
	Modulus Elastis		Stabilitas Marshall (kg)	Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)	ITS (kPa)	CBR (%)	a ₁	a ₂	a ₃
	(MPa)	(x1000 psi)							
CTSB (<i>Cement Treated Subbase</i>)	4.450	645		35				0,170	
CTRSB (<i>Cement Treated Recycling Subbase</i>)	4.270	619		30				0,160	
Tanah Semen	4.000	580		24 ⁽⁴⁾				0,145	
Tanah Kapur	3.900	566		20 ⁽⁴⁾				0,140	
Agregat Kelas A	200	29				90		0,135	
3. Lapis Fondasi Bawah									
Agregat Kelas B	125	18				60			0,125
Agregat Kelas C	103	15				35			0,112
Konstruksi Telford									
- Pemasangan Mekanis						52			0,104
- Pemasangan Manual						32			0,074
Material Pilihan (<i>Selected material</i>)	84	12				10			0,080

Keterangan :

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

Tipe lapisan beraspal yang digunakan sebaiknya disesuaikan dengan kondisi jalan yang akan ditingkatkan, yaitu sesuai dengan lalu lintas rencana serta kecepatan kendaraan (terutama kendaraan truk). Pada Tabel 2.26 disajikan pemilihan tipe lapisan beraspal sesuai lalu lintas rencana dan kecepatan kendaraan.

Tabel 2. 26 Pemilihan tipe lapisan beraspal berdasarkan lalu lintas rencana dan kecepatan kendaraan

Lalu lintas Rencana (juta)	Tipe Lapisan Beraspal	
	Kecepatan Kendaraan; 20 – 70 km/jam	Kecepatan Kendaraan; ≥ 70 km/jam
< 0,3	Perancangan perkerasan lentur untuk lalu lintas rendah	
0,3--10	Lapis Tipis Beton Aspal (Laston/HRS)	Lapis Tipis Beton Aspal (Laston/HRS)
10--30	Lapis Beton Aspal (Laston/AC)	Lapis Beton Aspal (Laston/AC)
≥ 30	Lapis Beton Aspal Modifikasi (Laston Mod/AC-Mod)	Lapis Beton Aspal (Laston/AC)

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

g. Ketebalan minimum lapisan perkerasan

Pada saat menentukan tebal lapis perkerasan, perlu dipertimbangkan keefektifannya dari segi biaya, pelaksanaan konstruksi, dan batasan pemeliharaan untuk menghindari kemungkinan dihasilkannya perancangan yang tidak praktis.

Tabel 2. 27 Tebal minimum lapisan perkerasan

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

2.7.3 Langkah-langkah perencanaan tebal perkerasan

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

Kinerja struktural perkerasan berkaitan dengan kondisi fisik yang ditunjukkan oleh keberadaan retak, pelepasan butir atau cacat lain yang menurunkan daya dukung perkerasan atau menuntut pemeliharaan; sedangkan kinerja fungsional menyangkut tingkat pelayanan yang dapat diberikan perkerasan kepada para penggunanya. Pada konteks tersebut, kenyamanan pengguna jalan merupakan karakteristik dominan daripada kinerja fungsional.

Penentuan nilai struktur yang diperlukan :

a. Persamaan dasar

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

$$\log(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07$$

..... (2.56)

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

- W_{18} (W_t) = Volume kumulatif lalu lintas selama umur rencana.
 Z_R = Deviasi normal standar sebagai fungsi dari tingkat kepercayaan (R), yaitu dengan menganggap bahwa semua parameter masukan yang digunakan adalah nilai rata-ratanya.

- S_0 = Gabungan *standard error* untuk perkiraan lalu lintas dan kinerja.
- ΔIP = Perbedaan antara indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0).
- M_R = adalah modulus resilien tanah dasar efektif (psi).
- IP_f = adalah indeks pelayanan jalan hancur (minimum 1,5)

b. Estimasi lalu lintas

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

c. Tingkat kepercayaan dan pengaruh drainase

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

d. Modulus resilien tanah dasar efektif

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

e. Perhitungan perancangan tebal perkerasan

$$SN = a_{1-1} \times D_{1-1} + a_{1-2} \times D_{1-2} + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \dots\dots\dots (2.57)$$

Keterangan:

a_1, a_2, a_3 adalah koefisien kekuatan lapis permukaan, lapis fondasi atas dan lapis fondasi bawah sesuai Tabel 10).

D_1, D_2, D_3 adalah tebal lapis permukaan, lapis fondasi atas dan lapis fondasi bawah (inchi) dan tebal minimum untuk setiap jenis bahan sesuai Tabel 12.

m_2, m_3 adalah koefisien drainase lapis permukaan, lapis fondasi atas dan lapis fondasi bawah sesuai Tabel 6.

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

f. Analisis perancangan tebal lapisan

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

- a. Tetapkan umur rencana perkerasan dan jumlah lajur lalu lintas yang akan dibangun.
- b. Tetapkan indeks pelayanan akhir (IPt) dan susunan struktur perkerasan rancangan yang diinginkan.
- c. Hitung CBR tanah dasar yang mewakili segmen, kemudian hitung modulus reaksi tanah dasar efektif (M_R).
- d. Hitung lalu lintas rencana selama umur rencana yang telah ditetapkan, yaitu berdasarkan volume, beban sumbu setiap kelas kendaraan, perkembangan lalu lintas. Untuk menganalisis lalu lintas selama umur rencana diperlukan coba-coba nilai SN dengan indeks pelayanan akhir (IPt) yang telah dipilih. Hasil literasi selesai apabila prediksi lalu lintas rencana relatif sama dengan (sedikit di bawah) kemampuan konstruksi perkerasan rencana yang diinterpretasikan dengan lalu lintas.
- e. Tahap berikutnya adalah menentukan nilai struktural seluruh lapis perkerasan di atas tanah dasar. Dengan cara yang sama, selanjutnya menghitung nilai struktural bagian perkerasan di atas lapis fondasi bawah dan di atas lapis fondasi atas, dengan menggunakan kekuatan lapis fondasi bawah dan lapis fondasi atas. Dengan menyelisihkan hasil perhitungan nilai struktural yang diperlukan di atas setiap lapisan, maka tebal maksimum yang diizinkan untuk suatu lapisan dapat dihitung. Contoh, nilai struktural maksimum yang diizinkan untuk lapis fondasi bawah akan sama dengan nilai struktural perkerasan di atas tanah dasar dikurangi dengan nilai bagian perkerasan di atas lapis fondasi bawah. Dengan cara yang sama, maka nilai struktural lapisan yang lain dapat ditentukan.

Perlu diperhatikan bahwa prosedur tersebut hendaknya tidak digunakan

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

Tabel 2. 28 Faktor ekuivalen beban untuk sumbu tunggal dan $IPt = 2$

Axle Load		Pavement Structural Number (SN)					
(kips)	(kg)	1	2	3	4	5	6
2	908	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	1816	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
6	2724	0,009	0,012	0,011	0,010	0,009	0,009
8	3632	0,030	0,035	0,036	0,033	0,031	0,029
10	4540	0,075	0,085	0,900	0,085	0,079	0,076
12	5448	0,165	0,177	0,189	0,183	0,174	0,168
14	6356	0,325	0,338	0,354	0,350	0,338	0,331
16	7264	0,589	0,598	0,613	0,612	0,603	0,596
18	8172	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	9080	1,61	1,59	1,56	1,55	1,57	1,59
22	9988	2,49	2,44	2,35	2,31	2,35	2,41
24	10896	3,71	3,62	3,43	3,33	3,40	3,51
26	11804	5,36	5,21	4,88	4,68	4,77	4,96
28	12712	7,54	7,31	6,78	6,42	6,52	6,83
30	13620	10,4	10,0	9,2	8,6	8,7	9,2
32	14528	14,0	13,5	12,4	11,5	11,5	12,1
34	15436	18,5	17,9	16,3	15,0	14,9	15,6
36	16344	24,2	23,3	21,2	19,3	19,0	19,9
38	17252	31,1	29,9	27,1	24,6	24,0	25,1
40	18160	39,6	38,0	34,3	30,9	30,0	31,2
42	19068	49,7	47,7	43,0	38,6	37,2	38,5
44	19976	61,8	59,3	53,4	47,6	45,7	47,1
46	20884	76,1	73,0	65,6	58,3	55,7	57,0
48	21792	92,9	89,1	80,0	70,9	67,3	68,6
50	22700	113,0	108,0	97,0	86,0	81,0	82,0

Tabel 2. 29 Faktor ekuivalen beban untuk sumbu ganda dan $IPt = 2$

Axle Load		Pavement Structural Number (SN)					
(kips)	(kg)	1	2	3	4	5	6
2	908	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	1816	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
6	2724	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
8	3632	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002
10	4540	0,007	0,008	0,008	0,007	0,006	0,006
12	5448	0,013	0,016	0,016	0,014	0,013	0,012
14	6356	0,024	0,029	0,029	0,026	0,024	0,023
16	7264	0,041	0,048	0,050	0,046	0,042	0,040
18	8172	0,066	0,077	0,081	0,075	0,069	0,066
20	9080	0,103	0,117	0,124	0,117	0,109	0,105
22	9988	0,156	0,171	0,183	0,174	0,164	0,158
24	10896	0,227	0,244	0,260	0,252	0,239	0,231
26	11804	0,322	0,340	0,360	0,353	0,338	0,329
28	12712	0,447	0,465	0,487	0,481	0,466	0,455
30	13620	0,607	0,623	0,646	0,643	0,627	0,617
32	14528	0,810	0,823	0,843	0,842	0,829	0,819
34	15436	1,06	1,07	1,08	1,08	1,08	1,07
36	16344	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
38	17252	1,76	1,75	1,73	1,72	1,73	1,74
40	18160	2,22	2,19	2,15	2,13	2,16	2,18
42	19068	2,77	2,37	2,64	2,62	2,66	2,70
44	19976	3,42	3,36	3,23	3,18	3,24	3,31
46	20884	4,20	4,11	3,92	3,83	3,91	4,02
48	21792	5,10	4,98	4,72	4,58	4,68	4,83
50	22700	6,15	5,99	5,64	5,44	5,56	5,77
52	23608	7,37	7,16	6,71	6,43	6,56	6,83
54	24516	8,77	8,51	7,93	7,55	7,69	8,03
56	25424	10,4	10,1	9,3	8,8	9,0	9,4
58	26332	12,2	11,8	10,9	10,3	10,4	10,9
60	27240	14,3	13,8	12,7	11,9	12,0	12,6
62	28148	16,6	16,0	14,7	13,7	13,8	14,5
64	29056	19,3	18,6	17,0	15,8	15,8	16,6
66	29964	22,2	21,4	19,6	18,0	18,0	18,9
68	30872	25,5	24,6	22,4	20,6	20,5	21,5
70	31780	29,2	28,1	25,6	23,4	23,2	24,3
72	32688	33,3	32,0	29,1	26,5	26,2	27,4
74	33596	37,8	36,4	33,0	30,0	29,4	30,8
76	34504	42,8	41,2	37,3	33,8	33,1	34,5
78	35412	48,4	46,5	42,0	38,0	37,0	38,6
80	36320	54,4	52,3	47,2	42,5	41,3	43,0
82	37228	61,1	58,7	52,9	47,6	46,0	47,8
84	38136	68,4	65,7	59,2	53,0	51,2	53,0
86	39044	76,3	73,3	66,0	59,0	56,8	58,6
88	39952	85,0	81,6	73,4	65,5	62,8	64,7
90	40860	94,4	90,6	81,5	72,6	69,4	71,3

Tabel 2. 30 Faktor ekuivalen beban untuk sumbu triple dan IPT = 2

Axle Load		Pavement Structural Number (SN)					
(kips)	(kg)	1	2	3	4	5	6
2	908	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	1816	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
6	2724	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
8	3632	0,0009	0,0010	0,0009	0,0008	0,0007	0,0007
10	4540	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
12	5448	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003
14	6356	0,006	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005
16	7264	0,010	0,012	0,012	0,010	0,009	0,009
18	8172	0,016	0,019	0,019	0,017	0,015	0,015
20	9080	0,024	0,029	0,029	0,026	0,024	0,023
22	9988	0,034	0,042	0,042	0,038	0,035	0,034
24	10896	0,049	0,058	0,060	0,055	0,051	0,048
26	11804	0,068	0,080	0,083	0,077	0,071	0,068
28	12712	0,093	0,107	0,113	0,105	0,098	0,094
30	13620	0,125	0,140	0,149	0,140	0,131	0,126
32	14528	0,164	0,182	0,194	0,184	0,173	0,167
34	15436	0,213	0,233	0,248	0,238	0,225	0,217
36	16344	0,273	0,294	0,313	0,303	0,288	0,279
38	17252	0,346	0,368	0,390	0,381	0,364	0,353
40	18160	0,434	0,456	0,481	0,473	0,454	0,443
42	19068	0,538	0,560	0,587	0,580	0,561	0,548
44	19976	0,662	0,682	0,710	0,705	0,686	0,673
46	20884	0,807	0,825	0,852	0,849	0,831	0,818
48	21792	0,976	0,992	1,015	1,014	0,999	0,987
50	22700	1,17	1,18	1,20	1,20	1,19	1,18
52	23608	1,40	1,40	1,42	1,42	1,41	1,40
54	24516	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
56	25424	1,95	1,95	1,93	1,93	1,94	1,94
58	26332	2,29	2,27	2,24	2,23	2,25	2,27
60	27240	2,67	2,64	2,59	2,57	2,60	2,63
62	28148	3,10	3,06	2,98	2,95	2,99	3,04
64	29056	3,59	3,53	3,41	3,37	3,42	3,49
66	29964	4,13	4,05	3,89	3,83	3,90	3,99
68	30872	4,73	4,63	4,43	4,34	4,42	4,54
70	31780	5,40	5,28	5,03	4,90	5,00	5,15
72	32688	6,15	6,00	5,68	5,52	5,63	5,82
74	33596	6,97	6,79	6,41	6,20	6,33	6,56
76	34504	7,88	7,67	7,21	6,94	7,08	7,36
78	35412	8,88	8,63	8,09	7,75	7,90	8,23
80	36320	9,98	9,69	9,05	8,63	8,79	9,18
82	37228	11,2	10,8	10,1	9,6	9,8	10,2
84	38136	12,5	12,1	11,2	10,6	10,8	11,3
86	39044	13,9	13,5	12,5	11,8	11,9	12,5
88	39952	15,5	15,0	13,8	13,0	13,2	13,8
90	40860	17,2	16,6	15,3	14,3	14,5	15,2

Tabel 2. 31 Faktor ekuivalen beban untuk sumbu ganda dan IPT = 2,5

Axle Load		Pavement Structural Number (SN)					
(kips)	(kg)	1	2	3	4	5	6
2	908	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
4	1816	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002
6	2724	0,011	0,017	0,017	0,013	0,010	0,009
8	3632	0,032	0,047	0,051	0,041	0,034	0,031
10	4540	0,078	0,102	0,118	0,102	0,088	0,080
12	5448	0,168	0,198	0,229	0,213	0,189	0,176
14	6356	0,328	0,358	0,399	0,388	0,360	0,342
16	7264	0,591	0,613	0,646	0,645	0,623	0,606
18	8172	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	9080	1,61	1,57	1,49	1,47	1,51	1,55
22	9988	2,48	2,38	2,17	2,09	2,18	2,30
24	10896	3,69	3,49	3,09	2,89	3,03	3,27
26	11804	5,33	4,99	4,31	3,91	4,09	4,48
28	12712	7,49	6,98	5,90	5,21	5,39	5,98
30	13620	10,3	9,5	7,9	6,8	7,0	7,8
32	14528	13,9	12,8	10,5	8,8	8,9	10,0
34	15436	18,4	16,9	13,7	11,3	11,2	12,5
36	16344	24,0	22,0	17,7	14,4	13,9	15,5
38	17252	30,9	28,3	22,6	18,1	17,2	19,0
40	18160	39,3	35,9	28,5	22,5	21,1	23,0
42	19068	49,3	45,0	35,6	27,8	25,6	27,7
44	19976	61,3	55,9	44,0	34,0	31,0	33,1
46	20884	75,5	68,8	54,0	41,4	37,2	39,3
48	21792	92,2	83,9	65,7	50,1	44,5	46,5
50	22700	112,0	102,0	79,0	60,0	53,0	55,0

Tabel 2. 32 Faktor ekuivalen beban untuk sumbu ganda dan $I_{Pt} = 2,5$

Axle Load		Pavement Structural Number (SN)					
(kips)	(kg)	1	2	3	4	5	6
2	908	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
4	1816	0,0005	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002
6	2724	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
8	3632	0,004	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003
10	4540	0,008	0,013	0,011	0,009	0,007	0,006
12	5448	0,015	0,024	0,023	0,018	0,014	0,013
14	6356	0,026	0,041	0,042	0,033	0,027	0,024
16	7264	0,044	0,065	0,070	0,057	0,047	0,043
18	8172	0,070	0,097	0,109	0,092	0,077	0,070
20	9080	0,107	0,141	0,162	0,141	0,121	0,110
22	9988	0,160	0,198	0,229	0,207	0,180	0,166
24	10896	0,231	0,273	0,315	0,292	0,260	0,242
26	11804	0,327	0,370	0,420	0,401	0,364	0,342
28	12712	0,451	0,493	0,548	0,534	0,495	0,470
30	13620	0,611	0,648	0,703	0,695	0,658	0,633
32	14528	0,813	0,843	0,889	0,887	0,857	0,834
34	15436	1,06	1,08	1,11	1,11	1,09	1,08
36	16344	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
38	17252	1,75	1,73	1,69	1,68	1,70	1,73
40	18160	2,21	2,16	2,06	2,03	2,08	2,14
42	19068	2,76	2,67	2,49	2,43	2,51	2,61
44	19976	3,41	3,27	2,99	2,88	3,00	3,16
46	20884	4,18	3,98	3,58	3,40	3,55	3,79
48	21792	5,08	4,80	4,25	3,98	4,17	4,49
50	22700	6,12	5,76	5,03	4,64	4,86	5,28
52	23608	7,33	6,87	5,93	5,38	5,63	6,17
54	24516	8,72	8,14	6,95	6,22	6,47	7,15
56	25424	10,3	9,6	8,1	7,2	7,4	8,2
58	26332	12,1	11,3	9,4	8,2	8,4	9,4
60	27240	14,2	13,1	10,9	9,4	9,6	10,7
62	28148	16,5	15,3	12,6	10,7	10,8	12,1
64	29056	19,1	17,6	14,5	12,2	12,2	13,7
66	29964	22,1	20,3	16,6	13,8	13,7	15,4
68	30872	25,3	23,3	18,9	15,6	15,4	17,2
70	31780	29,0	26,6	21,5	17,6	17,2	19,2
72	32688	33,0	30,3	24,4	19,8	19,2	21,3
74	33596	37,5	34,4	27,6	22,2	21,3	23,6
76	34504	42,5	38,9	31,1	24,8	23,7	26,1
78	35412	48,0	43,9	35,0	27,8	26,2	28,8
80	36320	54,0	49,4	39,2	30,9	29,0	31,7
82	37228	60,6	55,4	43,9	34,4	32,0	34,8
84	38136	67,8	61,9	49,0	38,2	35,3	38,1
86	39044	75,7	69,1	54,5	42,3	38,8	41,7
88	39952	84,3	76,9	60,6	46,8	42,6	45,6
90	40860	93,7	85,4	67,1	51,7	46,8	49,7

Tabel 2. 33 Faktor ekuivalen beban untuk sumbu triple dan $IPt = 2,5$

Axle Load		Pavement Structural Number (SN)					
(kips)	(kg)	1	2	3	4	5	6
2	908	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	1816	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
6	2724	0,0006	0,0007	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003
8	3632	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
10	4540	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002
12	5448	0,005	0,007	0,006	0,004	0,003	0,003
14	6356	0,008	0,012	0,010	0,008	0,006	0,006
16	7264	0,012	0,019	0,018	0,013	0,011	0,010
18	8172	0,018	0,029	0,028	0,021	0,017	0,016
20	9080	0,027	0,042	0,042	0,032	0,027	0,024
22	9988	0,038	0,058	0,060	0,048	0,040	0,036
24	10896	0,053	0,078	0,084	0,068	0,057	0,051
26	11804	0,072	0,103	0,114	0,095	0,080	0,072
28	12712	0,098	0,133	0,151	0,128	0,109	0,099
30	13620	0,129	0,169	0,195	0,170	0,145	0,133
32	14528	0,169	0,213	0,247	0,220	0,191	0,175
34	15436	0,219	0,266	0,308	0,281	0,246	0,228
36	16344	0,279	0,329	0,379	0,352	0,313	0,292
38	17252	0,352	0,403	0,461	0,436	0,393	0,368
40	18160	0,439	0,491	0,554	0,533	0,487	0,459
42	19068	0,543	0,594	0,661	0,644	0,597	0,567
44	19976	0,666	0,714	0,781	0,769	0,723	0,692
46	20884	0,811	0,854	0,918	0,911	0,868	0,838
48	21792	0,979	1,015	1,072	1,069	1,033	1,005
50	22700	1,17	1,20	1,24	1,25	1,22	1,20
52	23608	1,40	1,41	1,44	1,44	1,43	1,41
54	24516	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
56	25424	1,95	1,93	1,90	1,90	1,91	1,93
58	26332	2,29	2,25	2,17	2,16	2,20	2,24
60	27240	2,67	2,60	2,48	2,44	2,51	2,58
62	28148	3,09	3,00	2,82	2,76	2,85	2,95
64	29056	3,57	3,44	3,19	3,10	3,22	3,36
66	29964	4,11	3,94	3,61	3,47	3,62	3,81
68	30872	4,71	4,49	4,06	3,88	4,05	4,30
70	31780	5,38	5,11	4,57	4,32	4,52	4,84
72	32688	6,12	5,79	5,13	4,80	5,03	5,41
74	33596	6,93	6,54	5,74	5,32	5,57	6,04
76	34504	7,84	7,37	6,41	5,88	6,15	6,71
78	35412	8,83	8,28	7,14	6,49	6,78	7,43
80	36320	9,92	9,28	7,95	7,15	7,45	8,21
82	37228	11,1	10,4	8,8	7,9	8,2	9,0
84	38136	12,4	11,6	9,8	8,6	8,9	9,9
86	39044	13,8	12,9	10,8	9,5	9,8	10,9
88	39952	15,4	14,3	11,9	10,4	10,6	11,9
90	40860	17,1	15,8	13,2	11,3	11,6	12,9

Tabel 2. 34 Faktor ekuivalen beban untuk sumbu tunggal dan IPT = 3

Axle Load		Pavement Structural Number (SN)					
(kips)	(kg)	1	2	3	4	5	6
2	908	0,0008	0,0009	0,0006	0,0003	0,0002	0,0002
4	1816	0,004	0,008	0,006	0,004	0,002	0,002
6	2724	0,014	0,030	0,028	0,018	0,012	0,010
8	3632	0,035	0,070	0,080	0,055	0,040	0,034
10	4540	0,082	0,132	0,168	0,132	0,101	0,086
12	5448	0,173	0,231	0,296	0,260	0,212	0,187
14	6356	0,332	0,388	0,468	0,447	0,391	0,358
16	7264	0,594	0,633	0,695	0,693	0,651	0,622
18	8172	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	9080	1,60	1,53	1,41	1,38	1,44	1,51
22	9988	2,47	2,29	1,96	1,83	1,97	2,16
24	10896	3,67	3,33	2,69	2,39	2,60	2,96
26	11804	5,29	4,72	3,65	3,08	3,33	3,91
28	12712	7,43	6,56	4,88	3,93	4,17	5,00
30	13620	10,2	8,9	6,5	5,0	5,1	6,3
32	14528	13,8	12,0	8,4	6,2	6,3	7,7
34	15436	18,2	15,7	10,9	7,8	7,6	9,3
36	16344	23,8	20,4	14,0	9,7	9,1	11,0
38	17252	30,6	26,2	17,7	11,9	11,0	13,0
40	18160	38,8	33,2	22,2	14,6	13,1	15,3
42	19068	48,8	41,6	27,6	17,8	15,5	17,8
44	19976	60,6	51,6	34,0	21,6	18,4	20,6
46	20884	74,7	63,4	41,5	26,1	21,6	23,8
48	21792	91,2	77,3	50,3	31,3	25,4	27,4
50	22700	110,0	94,0	61,0	37,0	30,0	32,0

Tabel 2. 35 Faktor ekuivalen beban untuk sumbu ganda dan $IPt = 3$

Axle Load		Pavement Structural Number (SN)					
(kips)	(kg)	1	2	3	4	5	6
2	908	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
4	1816	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
6	2724	0,003	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001
8	3632	0,006	0,011	0,009	0,005	0,003	0,003
10	4540	0,011	0,024	0,020	0,012	0,008	0,007
12	5448	0,019	0,042	0,039	0,024	0,017	0,014
14	6356	0,031	0,066	0,068	0,045	0,032	0,026
16	7264	0,049	0,096	0,109	0,076	0,055	0,046
18	8172	0,075	0,134	0,164	0,121	0,090	0,076
20	9080	0,113	0,181	0,232	0,182	0,139	0,119
22	9988	0,166	0,241	0,313	0,260	0,205	0,178
24	10896	0,238	0,317	0,407	0,358	0,292	0,257
26	11804	0,333	0,413	0,517	0,476	0,402	0,360
28	12712	0,457	0,534	0,643	0,614	0,538	0,492
30	13620	0,616	0,684	0,788	0,773	0,702	0,656
32	14528	0,817	0,870	0,956	0,953	0,896	0,855
34	15436	1,07	1,10	1,15	1,15	1,12	1,09
36	16344	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
38	17252	1,75	1,71	1,64	1,62	1,66	1,70
40	18160	2,21	2,11	1,94	1,89	1,98	2,08
42	19068	2,75	2,59	2,29	2,19	2,33	2,50
44	19976	3,39	3,15	2,70	2,52	2,71	2,97
46	20884	4,15	3,81	3,16	2,89	3,13	3,50
48	21792	5,04	4,58	3,70	3,29	3,57	4,07
50	22700	6,08	5,47	4,31	3,74	4,05	4,70
52	23608	7,27	6,49	5,01	4,24	4,57	5,37
54	24516	8,65	7,67	5,81	4,79	5,13	6,10
56	25424	10,2	9,0	6,7	5,4	5,7	6,9
58	26332	12,0	10,6	7,7	6,1	6,4	7,7
60	27240	14,1	12,3	8,9	6,8	7,1	8,6
62	28148	16,3	14,2	10,2	7,7	7,8	9,5
64	29056	18,9	16,4	11,6	8,6	8,6	10,5
66	29964	21,8	18,9	13,2	9,6	9,5	11,6
68	30872	25,1	21,7	15,0	10,7	10,5	12,7
70	31780	28,7	24,7	17,0	12,0	11,5	13,9
72	32688	32,7	28,1	19,2	13,3	12,6	15,2
74	33596	37,2	31,9	21,6	14,8	13,8	16,5
76	34504	42,1	36,0	24,3	16,4	15,1	17,9
78	35412	47,5	40,6	27,3	18,2	16,5	19,4
80	36320	53,4	45,7	30,5	20,1	18,0	21,0
82	37228	60,0	51,2	34,0	22,2	19,6	22,7
84	38136	67,1	57,2	37,9	24,6	21,3	24,5
86	39044	74,9	63,8	42,1	27,1	23,2	26,4
88	39952	83,4	71,0	46,7	29,8	25,2	28,4
90	40860	92,7	78,8	51,7	32,7	27,4	30,5

Tabel 2. 36 Faktor ekuivalen beban untuk sumbu triple dan IPt = 3

Axle Load		Pavement Structural Number (SN)					
(kips)	(kg)	1	2	3	4	5	6
2	908	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
4	1816	0,0005	0,0004	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001
6	2724	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
8	3632	0,003	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001
10	4540	0,005	0,008	0,005	0,003	0,002	0,002
12	5448	0,007	0,014	0,010	0,006	0,004	0,003
14	6356	0,011	0,023	0,018	0,011	0,007	0,006
16	7264	0,016	0,035	0,030	0,018	0,013	0,010
18	8172	0,022	0,050	0,047	0,029	0,020	0,017
20	9080	0,031	0,069	0,069	0,044	0,031	0,026
22	9988	0,043	0,090	0,097	0,065	0,046	0,039
24	10896	0,059	0,116	0,132	0,092	0,066	0,056
26	11804	0,079	0,145	0,174	0,126	0,092	0,078
28	12712	0,104	0,179	0,223	0,168	0,126	0,107
30	13620	0,136	0,218	0,279	0,219	0,167	0,143
32	14528	0,176	0,265	0,342	0,279	0,218	0,188
34	15436	0,226	0,319	0,413	0,350	0,279	0,243
36	16344	0,286	0,382	0,491	0,432	0,352	0,310
38	17252	0,359	0,456	0,577	0,524	0,437	0,389
40	18160	0,447	0,543	0,671	0,626	0,536	0,483
42	19068	0,550	0,643	0,775	0,740	0,649	0,593
44	19976	0,673	0,760	0,889	0,865	0,777	0,720
46	20884	0,817	0,894	1,014	1,001	0,920	0,865
48	21792	0,984	1,048	1,152	1,148	1,080	1,030
50	22700	1,18	1,23	1,30	1,31	1,26	1,22
52	23608	1,40	1,43	1,47	1,48	1,45	1,43
54	24516	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
56	25424	1,95	1,92	1,86	1,85	1,88	1,91
58	26332	2,28	2,21	2,09	2,06	2,13	2,20
60	27240	2,66	2,54	2,34	2,28	2,39	2,50
62	28148	3,08	2,92	2,61	2,52	2,66	2,84
64	29056	3,56	3,33	2,92	2,77	2,96	3,19
66	29964	4,09	3,79	3,25	3,04	3,27	3,58
68	30872	4,68	4,31	3,62	3,33	3,60	4,00
70	31780	5,34	4,88	4,02	3,64	3,94	4,44
72	32688	6,08	5,51	4,46	3,97	4,31	4,91
74	33596	6,89	6,21	4,94	4,32	4,69	5,40
76	34504	7,78	6,98	5,47	4,70	5,09	5,93
78	35412	8,76	7,83	6,04	5,11	5,51	6,48
80	36320	9,84	8,75	6,67	5,54	5,96	7,06
82	37228	11,0	9,8	7,4	6,0	6,4	7,7
84	38136	12,3	10,9	8,1	6,5	6,9	8,3
86	39044	13,1	12,1	8,9	7,0	7,4	9,0
88	39952	15,3	13,4	9,8	7,6	8,0	9,6
90	40860	16,9	14,8	10,7	8,2	8,5	10,4

2.8 Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap jalan raya bukan hanya sekedar pelengkap akan tetapi merupakan bagian penting yang harus diadakan untuk pengamanan konstruksi jalan itu sendiri dan petunjuk bagi pengguna jalan agar unsur kenyamanan dan keselamatan dapat dipenuhi.

Bangunan pelengkap jalan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Bangunan Drainase Jalan.
- b. Bangunan Penguat tebing.
- c. Bangunan untuk keamanan lalu – lintas, Rambu dan Marka Jalan.

2.8.1 Drainase

Menurut Pd.T-02-2006-B tentang perencanaan sistem drainase jalan, drainase jalan adalah prasarana yang dapat bersifat alami ataupun buatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menyalurkan air permukaan maupun bawah tanah, biasanya menggunakan bantuan gaya gravitasi, yang terdiri atas saluran samping dan gorong gorong ke badan air penerima atau tempat peresapan buatan.

Drainase dibagi menjadi dua macam, yaitu :

a. Drainase Permukaan

Drainase permukaan adalah sistem drainase yang dibuat untuk mengendalikan air (limpasan) permukaan akibat hujan. Tujuan dari sistem drainase ini, untuk memelihara agar jalan tidak tergenang air hujan dalam waktu yang cukup lama (yang akan mengakibatkan kerusakan konstruksi jalan), tetapi harus segera dibuang melalui sarana drainase jalan.

Sarana drainase permukaan terbagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1) Saluran :

Saluran adalah tempat atau wadah bagi aliran air atau sungai.

Saluran dibagi menjadi dua yaitu:

- Saluran penangkap (*Catch Ditch*)
- Saluran samping (*Side Ditch*)

Selokan samping jalan adalah selokan yang dibuat di sisi kiri dan kanan badan jalan.

2) Gorong – gorong (*Culvert*)

Gorong – gorong adalah saluran tertutup yang berfungsi mengalirkan air, dan biasanya melintang jalan.

3) Saluran alam (sungai) yang memotong jalan.

b. Drainase Bawah Permukaan

Drainase bawah permukaan adalah sarana untuk mengalirkan air yang berada di bawah permukaan dari suatu tempat ke tempat lain dengan tujuan melindungi bangunan yang berada di atasnya. Drainase bawah permukaan bertujuan untuk menurunkan muka air tanah dan mencegah serta membuang air infiltrasi dari daerah sekitar jalan dan permukaan jalan atau air yang naik dari *subgrade* jalan.

2.8.2 Prinsip dan Pertimbangan Perencanaan Drainase

a. Prinsip-prinsip umum perencanaan drainase :

1) Penggunaan yang efektif dan efisien

Perencanaan drainase haruslah sedemikian rupa sehingga fungsi fasilitas drainase sebagai penampung, pembagi, dan pembuangan air dapat sepenuhnya berdaya guna dan berhasil guna.

2) Ekonomis dan aman

Pemeliharaan dimensi dari fasilitas drainase haruslah mempertimbangkan faktor ekonomis dan factor keamanan.

3) Pemeliharaan

Perencanaan drainase haruslah mempertimbangkan pula segi kemudahan dan nilai ekonomis dari pemeliharaan sistem drainase tersebut.

b. Pertimbangan dalam perencanaan drainase

1) Pada daerah yang datar dan lurus

Penanganan pengendalian air untuk daerah ini biasanya dengan membuat kemiringan perkerasan dan bahu jalan mulai dari tengah

perkerasan menurun/melandai ke arah selokan samping. Besarnya kemiringan bahu jalan biasanya diambil 2% lebih besar daripada kemiringan permukaan jalan.

2) Daerah 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 bias mengalir ke selokan samping. Untuk itu maka kemiringan melintang perkerasan jalan disarankan agar menggunakan nilai-nilai maksimum.

3) Pada daerah tikungan

Kemiringan melintang pada perkerasan jalan pada daerah ini harus mempertimbangkan pula kebutuhan kemiringan jalan menurut persyaratan alinyemen horizontal jalan, karena kemiringan perkerasan jalan harus dimulai dari sisi luar tikungan menurun/melandai ke sisi dalam tikungan. Besarnya kemiringan pada daerah ini ditentukan oleh nilai maksimum dari kebutuhan kemiringan alinyemen horizontal atau kebutuhan kemiringan menurut keperluan drainase. Besarnya kemiringan melintang perkerasan/bahu jalan pada daerah tikungan.

2.8.3 Persyaratan Teknis Perencanaan Drainase

Hal – hal yang perlu dipertimbangkan pada perencanaan drainase permukaan diuraikan dibawah ini :

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

- b. Inventarisasi data bangunan drainase (gorong – gorong, jembatan, dll.)
Eksisting meliputi lokasi, dimensi, arah aliran pembuangan dan kondisi. Data ini digunakan agar perencanaan sistem drainase jalan tidak mengganggu sistem drainase yang ada.
- c. Segmen panjang segmen saluran (L)
Penentuan panjang segmen saluran (L) didasarkan pada :
- Kemiringan rute jalan; disarankan kemiringan saluran mendekati kemiringan rute jalannya.
 - Adanya tempat buangan air seperti badan air (misalnya sungai, waduk, dll)
 - Langkah coba – coba, sehingga dimensi saluran ekonomis
- d. Luas daerah layanan (A)
- Perhitungan luas daerah layanan didasarkan pada panjang segmen jalan yang ditinjau
 - 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.
 - Luas daerah layanan terdiri atas luas setengah badan jalan (A1), luas bahu jalan (A2), dan luas daerah sekitar (A3).
 - Batasan luas daerah layanan tergantung dari daerah sekitar dan topografi dan daerah sekelilingnya. Panjang daerah pengaliran diperhitungkan terdiri atas setengah lebar badan jalan (I1), lebar bahu jalan (I2), dan daerah sekitar (I3) yang terbagi atas daerah perkotaan \pm 10m dan untuk daerah luar kota yang didasarkan pada topografi daerah tersebut.
 - Jika diperlukan, pada daerah perbukitan, direncanakan beberapa saluran untuk menampung limpasan dari daerah bukit dengan batas daerah layanan adalah puncak bukit tersebut tanpa merusak stabilitas lereng. Sehingga saluran tersebut hanyamenampung air dari luas daerah layanan daerah sekitar (A3).

e. Koefisien pengaliran (C)

Koefisien pengaliran dipengaruhi kondisi permukaan tanah (tata cara guna lahan) pada daerah layanan dan kemungkinan perubahan tata guna lahan. Angka ini akan mempengaruhi debit yang mengalir debit yang mengalir, sehingga dapat diperkirakan daya tampung saluran. Untuk itu diperlukan peta topografi dan melakukan survei lapangan agar corak topografi 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.

f. Faktor limpasan (fk)

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

Tabel 2. 37 Harga koefisien pengaliran (C) dan harga faktor limpasan (fk)

No.	Kondisi permukaan tanah	Koefisien Pengaliran (C)	Faktor Limpasan (fk)
	Bahan		
1	Jalan beton & jalan aspal	0,70 – 0,95	-
2	Jalan kerikil & jalan tanah	0,40 – 0,70	-
3	Bahu Jalan:		
	- Tanah berbutir halus	0,40 – 0,65	-
	- Tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20	-
	- Batuan massif keras	0,70 – 0,85	-
	- Batuan masif lunak	0,60 – 0,75	-
	Tata Guna Lahan		

1	Daerah perkotaan	0,70 – 0,95	2,0
2	Daerah pinggiran kota	0,60 – 0,70	1,5
3	Daerah industri	0,60 – 0,90	1,2
4	Permukiman padat	0,40 – 0,60	2,0
5	Permukiman tidak padat	0,40 – 0,60	1,5
6	Taman dan kebun	0,20 – 0,40	0,2
7	Persawahan	0,45 – 0,60	0,5
8	Perbukitan	0,70 – 0,80	0,4
9	Pegunungan	0,75 – 0,90	0,3

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Desain Permukaan Jalan, 1993)

Keterangan:

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

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:

$$C = \frac{C1.A1+C2.A2+C3.A3 .fk}{A1+A2+A3} \dots\dots\dots (2.58)$$

g. Waktu Konsentrasi(Tc)

- 1) Waktu terpanjang yang dibutuhkan untuk seluruh seluruh daerah layanan dalam menyalurkan air secara simultan (*run off*) setelah melewati titik – titik tertentu
- 2) Waktu konsentrasi untuk saluran terbuka dihitung dengan rumus dibawah ini:

$$T_c = t_1 + t_2 \dots\dots\dots (2.59)$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times I_o \times \frac{nd}{\sqrt{is}}\right)^{0,167} \dots\dots\dots (2.60)$$

$$t_2 = \frac{L}{60 \times V} \dots\dots\dots (2.61)$$

Dimana,

Tc = waktu konsentrasi (menit)

t1 = waktu untuk mencapai awal saluran dari titik terjauh (menit)

t2 = waktu aliran dalam saluran samping L dari ujung saluran (menit)

lo = jarak titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

L = panjang saluran (m)

nd = koefisien hambatan (lihat tabel 2.)

is = kemiringan saluran memanjang

v = kecepatan air rata – rata pada saluran drainase (m/detik)

Tabel 2. 38 Koefisien hambatan (nd) berdasarkan kondisi permukaan

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

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Desain Permukaan Jalan, 1993)

h. Analisa Hidrologi

1) Data curah hujan

- Merupakan data curah hujan harian maksimum setahun dinyatakan dalam mm/hari. Data hujan ini diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika yaitu stasiun curah hujan yang terletak pada daerah layanan saluran samping jalan.
- Jika daerah layanan tidak memiliki data curah hujan, maka dapat digunakan data dari stasiun 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.

3) Intensitas curah hujan

Mencari intensitas curah hujan berdasarkan rumus yang dikemukakan oleh Dr. Ishiguro tahun 1953 atau disebut juga dengan rumus Mononobe :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^m \dots\dots\dots(2.62)$$

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (jam)

m = tetapan

R₂₄ = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

Rumus ini digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan setiap waktu berdasarkan data curah hujan harian.

i. Menghitung debit aliran air (Q)

Debit aliran (Q) adalah jumlah pengaliran limpasan yang masuk ke dalam saluran samping yang jumlahnya menurut persamaan berikut :

$$Q_r = \frac{C_w \times I_r \times A}{3,6} \dots\dots\dots (2.63)$$

2.9 Manajemen Proyek

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

2.9.1 Daftar harga satuan alat dan bahan

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

2.9.2 Analisa harga satuan pekerjaan

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

Analisa bahan suatu pekerjaan ialah menghitung banyaknya volume masing-masing bahan serta besarnya biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan tersebut.

2.9.3 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.

Dalam perencanaan jalan raya diusahakan agar volume galian sama dengan volume timbunan. Dengan mengkombinasikan alinyemen vertikal dan

horizontal memungkinkan kita untuk menghitung banyaknya volume galian dan timbunan. Langkah-langkah dalam perhitungan galian dan timbunan, antara lain :

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

2.9.4 Perhitungan rencana anggaran biaya

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

2.9.5 Rekapitulasi biaya

Rekapitulasi biaya adalah biaya total yang diperlukan setelah menghitung dan mengalikannya dengan harga satuan yang ada. Dalam rekapitulasi terlampir pokok-pokok pekerjaan beserta biayanya dan waktu pelaksanaannya. Disamping itu juga dapat menunjukkan lamanya pemakaian alat dan bahan-bahan yang diperlukan serta pengaturan hal-hal tersebut tidak saling mengganggu pelaksanaan pekerjaan.

2.9.6 Rencana kerja (*Time Schedule*)

Rencana Kerja (*Time Schedule*) Adalah pengaturan waktu rencana kerja secara terperinci terhadap suatu item pekerjaan yang berpengaruh terhadap suatu item pekerjaan yang berpengaruh terhadap selesainya secara keseluruhan suatu proyek konstruksi.

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

a. Bagan Balok (*Barchart*)

Barchart adalah sekumpulan daftar kegiatan yang disusun dalam kolom arah vertikal dan kolom arah horizontal yang menunjukkan skala waktu.

b. Kurva S

Kurva S adalah kurva yang menggambarkan komulatif progress pada setiap waktu dalam pelaksanaan pekerjaan. Bertambah atau tidaknya persentase pembangunan konstruksi dapat dilihat pada kurva s dan dapat dibandingkan dengan keadaan dilapangan.

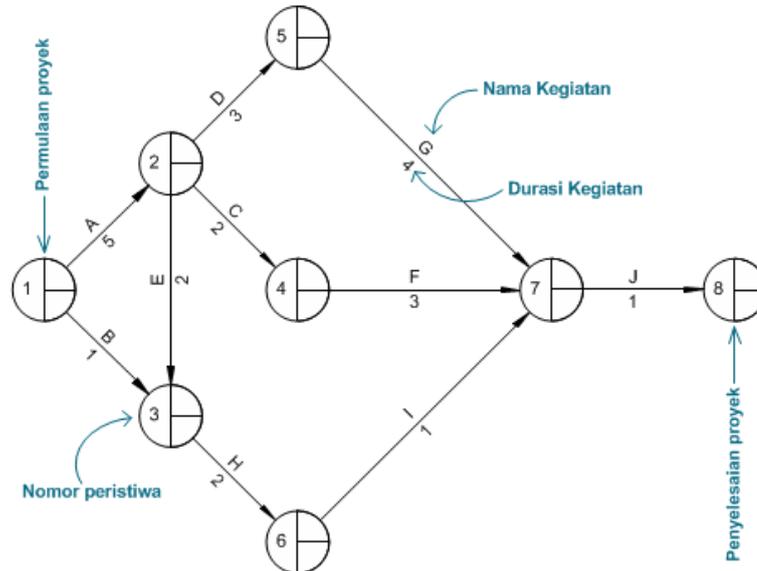
c. Jaringan Kerja/*Network planning* (NWP)

NWP adalah salah satu cara baru dalam perencanaan dan pengawasan suatu proyek. Di dalam NWP dapat diketahui adanya hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan satu dengan yang lain. Hubungan ini digambarkan dalam suatu diagram *network*, sehingga kita akan dapat mengetahui bagian-bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan dan pekerjaan mana yang dapat menunggu.

Adapun kegunaan dari NWP ini adalah :

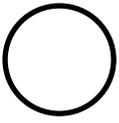
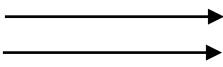
- 1) Merencanakan, *scheduling* dan mengawasi proyek secara logis.
- 2) Memikirkan secara menyeluruh, tetapi juga secara mendetail dari proyek.
- 3) Mendokumenkan dan mengkomunikasikan secara *scheduling* (waktu) dan alternatif-alternatif lain penyelesaiannya proyek dengan tambahan waktu.
- 4) Mengawasi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

Gambar *Network Planning* dapat dilihat pada gambar nomor gambar dibawah ini :



Gambar 2. 27 Contoh *Network Planning*

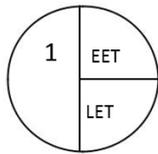
Keterangan :

- 1)  (*Arrow*), bentuk ini merupakan anak panah yang artinya aktifitas atau kegiatan. Simbol ini merupakan pekerjaan atau tugas dimana penyelesaiannya membutuhkan jangka waktu tertentu dan *resources* tertentu. Anak panah selalu menghubungkan dua buah nodes, arah dari anak-anak panah menunjukkan urutan-urutan waktu.
- 2)  (*Node/event*), bentuknya merupakan lingkaran bulat yang artinya sat, peristiwa, atau kejadian. Simbol ini adalah permulaan atau akhir dari suatu kegiatan.
- 3)  (*Double arrow*), anak panah sejajar merupakan kegiatan dilintasan kritis (*critical path*).

4) ----->

(*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.

5)



1= Nomor kejadian

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

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

6) A,B,C,DE,F,G,H merupakan kegiatan, sedangkan La,Lb,Lc,Ld,Le,Lf,Lg dan Lh merupakan durasi dari kegiatan tersebut

