

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jalan Tol

Jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol (Pasal 1 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2005 Tentang Jalan Tol). Jalan tol mempunyai tingkat pelayanan keselamatan dan kenyamanan yang lebih tinggi dari jalan umum yang ada dan dapat melayani arus lalu lintas jarak jauh dengan mobilitas tinggi.

Jalan tol yang digunakan untuk lalu lintas antarkota di desain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 80 (delapan puluh) kilometer per jam dan untuk jalan tol di wilayah perkotaan di desain dengan kecepatan rencana paling rendah 60 (enam puluh) kilometer per jam. Jalan tol di desain untuk mampu menahan muatan sumbu terberat (MST) paling rendah 8 (delapan) ton. Setiap ruas jalan tol harus dilakukan pemagaran dan dilengkapi dengan fasilitas penyebrangan jalan dalam bentuk jembatan atau terowongan.

Tempat-tempat yang dapat membahayakan pengguna jalan tol harus diberi bangunan pengaman yang mempunyai kekuatan dan struktur yang dapat menahan benturan kendaraan. Jalan tol wajib dilengkapi dengan aturan perintah dan larangan yang dinyatakan dengan rambu lalu lintas (Pasal 5 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2005 Tentang Jalan Tol).

2.2 Dasar Perencanaan Geometri

Perencanaan geometri jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang dititik beratkan pada perencanaan bentuk fisik sehingga dapat memenuhi fungsi dasar dari jalan yaitu memberikan pelayanan yang optimum pada arus lalu lintas dan sebagai akses ke rumah-rumah. Dalam lingkup perencanaan geometri tidak termasuk perencanaan tebal perkerasan jalan, walaupun dimensi dari perkerasan merupakan bagian dari perencanaan geometri sebagai bagian dari perencanaan jalan seutuhnya. Jadi tujuan dari perencanaan geometri jalan adalah menghasilkan

infrastruktur yang aman, efisiensi pelayanan arus lalu lintas dan memaksimalkan ratio tingkat penggunaan atau biaya pelaksanaan. Ruang, bentuk, dan ukuran jalan dikatakan baik, jika dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada pemakai jalan.

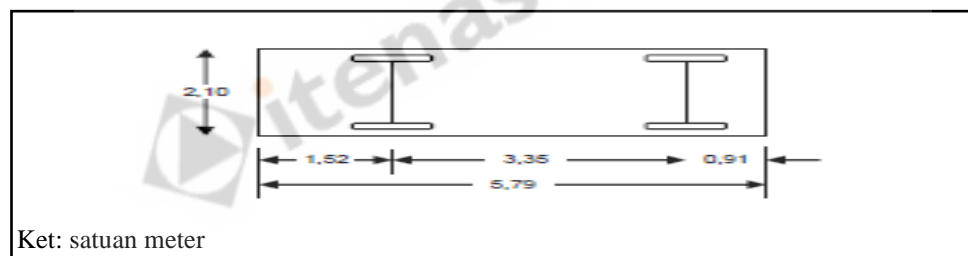
2.3 Parameter Perencanaan

Parameter perencanaan yang digunakan dalam desain geometri jalan antara lain kendaraan rencana, kecepatan rencana, dan landai maksimum.

2.3.1 Kendaraan Rencana

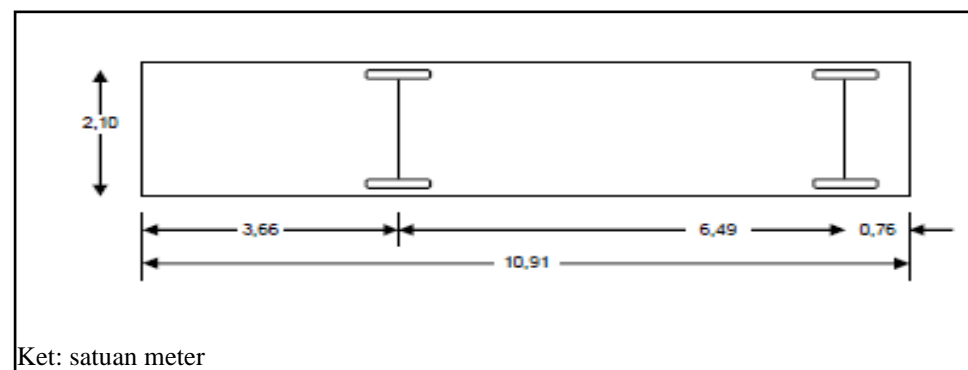
Kendaraan rencana adalah kendaraan yang mewakili satu kelompok jenis kendaraan yang akan menjadikan dasar dari perencanaan geometri jalan.

Kendaraan rencana yang digunakan dalam perencanaan jalan bebas hambatan untuk jalan tol dapat dibedakan menjadi beberapa jenis kendaraan diantaranya adalah mobil penumpang, bus, truk 2 as, truk 3 as, truk 4 as, dan truk 5 as, seperti yang tertera pada Gambar 2.1 sampai dengan Gambar 2.6.



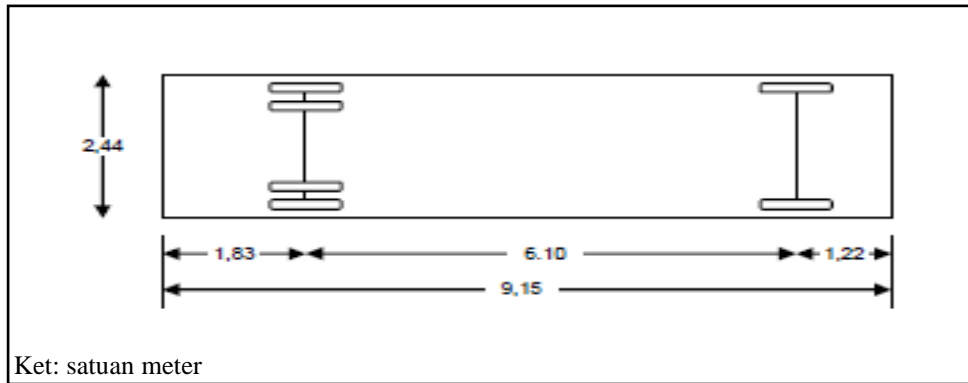
Sumber: Bina Marga 2009

Gambar 2.1 Dimensi Mobil Penumpang



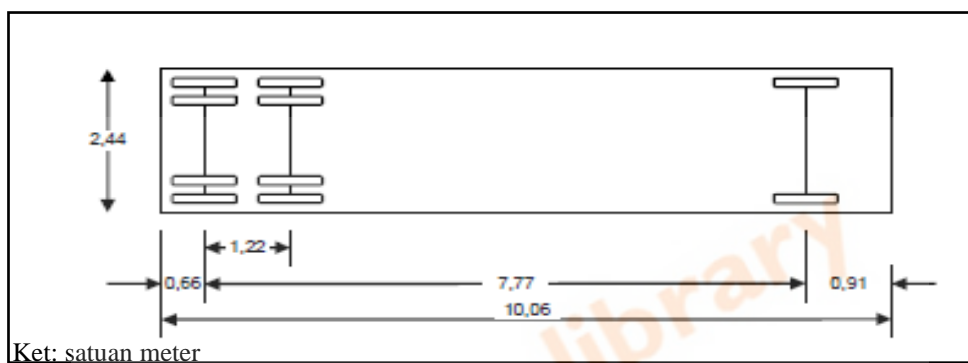
Sumber: Bina Marga 2009

Gambar 2.2 Dimensi Bus



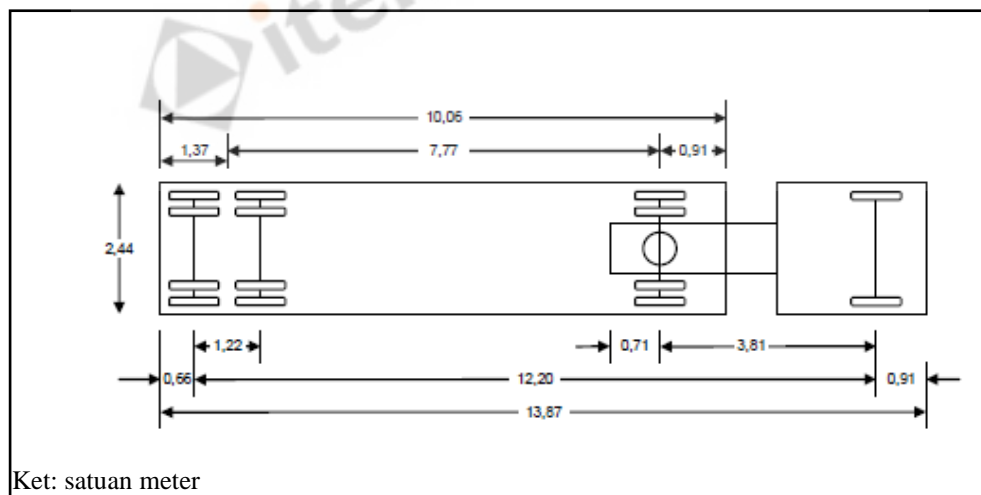
Sumber: Bina Marga 2009

Gambar 2.3 Dimensi Truk 2 as



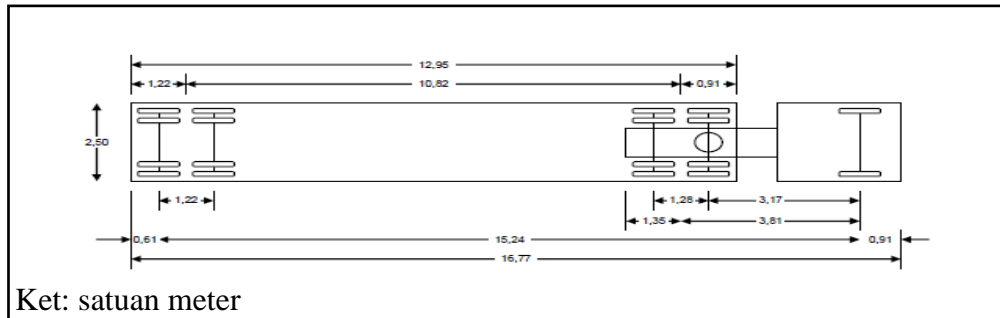
Sumber: Bina Marga 2009

Gambar 2.4 Dimensi Truk 3 as



Sumber: Bina Marga 2009

Gambar 2.5 Dimensi Truk 4 as



Sumber: Bina Marga 2009

Gambar 2.6 Dimensi Truk 5 as

2.3.2 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan kendaraan yang akan dijadikan acuan dalam perencanaan geometri jalan. Kecepatan rencana dapat dicapai oleh kendaraan apabila kendaraan dapat berjalan tanpa ada gangguan dan aman.

Kecepatan jalan bebas hambatan untuk jalan tol terbagi menjadi dua kategori kondisi jalan tol dalam kota dan jalan tol antarkota sedangkan untuk medan jalan dibagi menjadi medan jalan datar, perbukitan, dan pegunungan seperti jalan tercantum pada Tabel 2.1

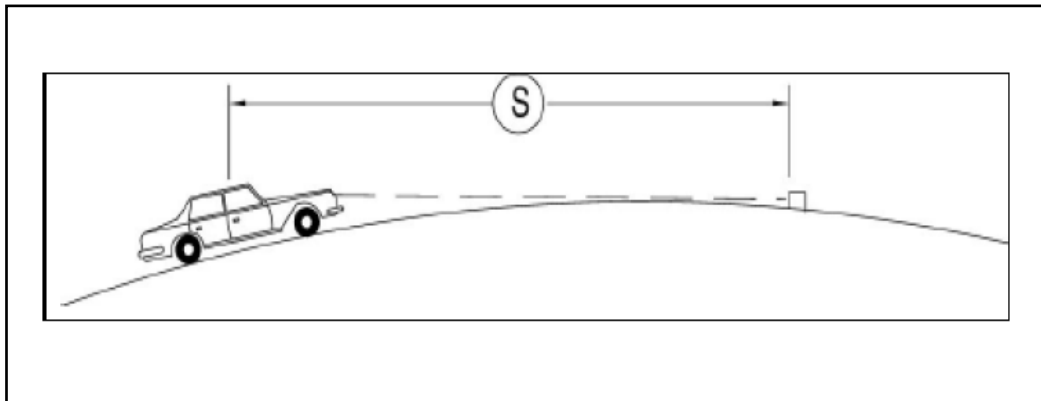
Tabel 2.1 Kecepatan Rencana (V_R)

Medan Jalan	V_R (km/jam) minimal	
	Antarkota	Perkotaan
Datar	120	80-100
Perbukitan	100	80
Pegunungan	80	60

Sumber: Bina Marga 2009

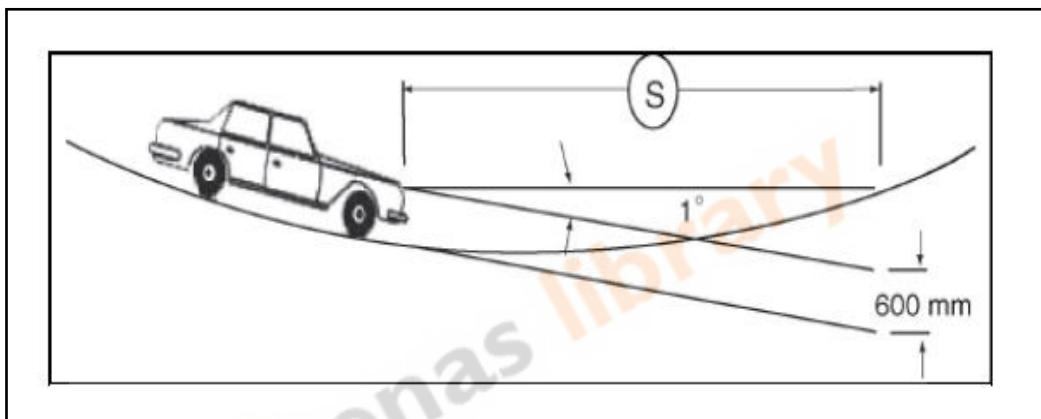
2.4 Jarak Pandang

Jarak Pandang berdasarkan Bina Marga 2009 diukur berdasarkan tinggi mata pengemudi yang diasumsikan setinggi 108 cm dan halangan 60 cm yang diukur dari permukaan jalan seperti Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.



Sumber: Bina Marga 2009

Gambar 2.7 Jarak Pandang Henti Pada Lengkung Vertikal Cembung



Sumber: Bina Marga 2009

Gambar 2.8 Jarak Pandang Henti Pada Lengkung Vertikal Cekung

Jarak pandang henti adalah jarak pandang yang digunakan oleh pengemudi dari saat pengemudi bereaksi melihat rintangan sampai dengan mobil berhasil dihentikan. Jarak pandang henti dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.1.

Jarak pandang henti (S) pada bagian datar :

$$S = 0.278 \times V_R \times T + 0.039 \frac{V_R^2}{a} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

V_R = Kecepatan rencana (km/jam)

T = Waktu reaksi, ditetapkan 2.5 detik

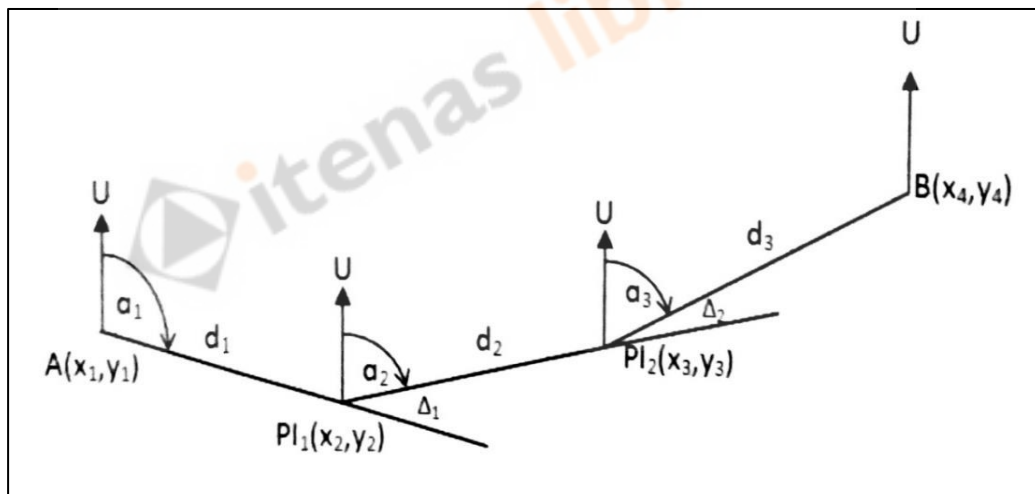
a = Tinggi perlambatan (m/detik), ditetapkan 3.4 (m/detik)

2.5 Alinyemen Horizontal

Alinyemen Horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal, alinyemen horizontal sering disebut juga dengan nama situasi jalan atau trase jalan, yang mana terdiri dari garis lurus yang dihubungkan oleh lengkung. Pada tahap perencanaan alinyemen hozintal dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan foto udara atau peta lokasi yang memiliki garis-garis kontur yang menunjukkan perbedaan elevasi atau menunjukkan daerah elevasi yang sama.

2.6 Jarak Antara Dua Titik Potong Tangen Horizontal Dan Sudut Peubah Arah

Titik potong antara dua garis tangen horizontal atau garis lurus pada alinyemen horizontal dikenal dengan PI (*Point of Intersection*), sedangkan sudut peubah arah dalam perencanaan geometri jalan dinyatakan dengan (Δ). Gambar 2.9 menunjukkan lokasi awal trase (A) dengan koordinatnya, akhir trase (B) dengan koordinatnya, PI dengan koordinatnya, sudut peubah dan sudut jurusan.



Sumber: Sukirman S, 2015

Gambar 2.9 *Point of Intersection* (PI),Sudut Peubah Arah (Δ),Sudut Jurusan (α)

Jarak yang harus dihitung setelah penentuan koordinat adalah d_1 merupakan jarak dari titik A ke titik PI_1 , d_2 merupakan jarak dari titik PI_1 ke titik PI_2 , dan d_3 merupakan jarak dari titik PI_2 ke titik B. Jarak masing-masing bagian lurus dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.2.

$$d_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Sudut jurusan (α) adalah sudut azimut, yaitu sudut berdasarkan arah utara, sedangkan sudut peubah jurusan (Δ) disebut juga sudut *bearing*, adalah sudut peubah arah jalan. Sudut jurusan (α) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3.

$$\alpha_1 = \text{arc tg} \frac{(x_2 - x_1)}{(y_2 - y_1)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Sudut peubah jurusan dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.5.

$$\Delta_1 = \alpha_1 - \alpha_2 \dots\dots\dots (2.4)$$

2.7 Kemiringan Melintang Di Jalan Lurus

Pada jalan lurus kemiringan melintang jalan harus dibuat sedemikian rupa sehingga air hujan yang jatuh pada bagian jalan tidak menggenang. Genangan air yang terdapat pada jalan akan mengakibatkan gesekan antara ban kendaraan dengan perkerasan berkurang sehingga mudah kendaraan mengalami slip. Kemiringan melintang normal jalan untuk perkerasan beton aspal dan beton semen biasanya berkisar 2% - 3%

2.8 Gaya Sentrifugal

Bila suatu benda melaju dengan kecepatan tertentu pada suatu lingkaran yang memiliki radius, maka akan timbul suatu gaya yang tegak lurus dengan arah kecepatan dan menjauhi pusat lingkaran, gaya itulah yang disebut sentrifugal.

2.8.1 Superelevasi

Superelevasi adalah kemiringan melintang jalan pada lengkung horizontal yang mana fungsinya untuk mengimbangi gaya sentrifugal kendaraan yang melewati tikungan. Nilai superelevasi di Indonesia dibatasi antara 4% - 10%.

2.8.2 Gaya Gesek Melintang

Apabila kendaraan mengalami sentrifugal maka terjadi gesekan antara ban kendaraan dengan perkerasan jalan akan menyebabkan gaya gesek melintang jalan, gaya gesek melintang jalan tersebut dinotasikan F_s . Besaran F_s dipengaruhi oleh luas bidang kontak antara ban dan muka jalan yang dipengaruhi oleh kecepatan. Pada Tabel 2.2 menunjukkan nilai koefisien gesek melintang jalan maksimum untuk desain geometri jalan.

Tabel 2.2 Koefisien Gesek Melintang Maksimum

V_R (km/jam)	Koefisien Gesek Minimum (f_{maks})
120	0,092
100	0,116
80	0,14
60	0,152

Sumber: Bina Marga 2009

2.8.3 Radius Minimum

Untuk menghindari perancangan lengkung horizontal yang tidak nyaman maka nilai radius lengkung horizontal harus dibatasi dengan nilai minimum. Persamaan 2.5 menunjukkan rumus untuk menghitung radius minimum

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

Dengan :

R_{\min} = Radius minimum untuk suatu kecepatan rencana dan superelevasi maksimum tertentu (m)

e_{\max} = Superelevasi maksimum (%)

f_{\max} = Koefisien gesek melintang maksimum

Dari Persamaan 2.5 dapat dilihat bahwa apa bila kecepatan rencana (V_R) adalah sebuah variabel yang diketahui untuk mendapatkan nilai minimum dari suatu radius (R_{\min}) maka superelevasi dan koefisien gesek akan berada pada kondisi tertinggi atau kondisi maksimum.

2.8.4 Nilai Superelevasi Untuk Berbagai Radius

Gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan di lengkung horizontal diimbangi oleh berat kendaraan akibat adanya superlevasi dan gaya gesek melintang jalan akibat dari kontak antara ban kendaraan dan permukaan jalan. Semakin kecil radius lengkung maka semakin besar gaya sentrifugal yang terjadi.

Pada jalan lurus tidak terdapat gaya sentrifugal dikarenakan tidak memiliki radius lengkung sehingga tidak dibutuhkan superelevasi untuk menahan gaya sentrifugal.

Nilai superelevasi maksimum untuk jalan tol ditunjukkan oleh Tabel 2.3 dengan berbagai kondisi tataguna lahan.

Tabel 2.3 Superelevasi Maksimum Berdasarkan Tataguna Lahan

Superelevasi Maksimum	Kondisi yang Digunakan
10%	Maksimum untuk jalan tol antar kota
8%	Maksimum untuk jalan tol antar kota dengan curah hujan tinggi
6%	Maksimum untuk tol perkotaan
4%	Maksimum untuk tol perkotaan dengan kepadatan tinggi

Sumber: Bina Marga 2009

Tabel 2.4 Tabel Radius Lengkung dan Superelevasi Untuk emaks10%

e(%)	Kecepatan Rencana							
	50 km/jam	60 km/jam	70 km/jam	80 km/jam	90 km/jam	100 km/jam	110 km/jam	120 km/jam
	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)
2,0	815	1120	1480	1840	2230	2740	3160	3700
2,2	735	1020	1340	1660	2020	2480	2860	3360
2,4	669	920	1220	1520	1840	2260	2620	3070
2,6	612	844	1120	1390	1700	2080	2410	2830
2,8	564	778	1030	1290	1570	1920	2230	2620
3,0	522	720	952	1190	1460	1790	2070	2440
3,2	485	670	887	1110	1360	1670	1940	2280
3,4	453	626	829	1040	11270	1560	1820	2140
3,6	424	586	777	974	1200	1470	1710	2020
3,8	398	551	731	917	1130	1390	1610	1910
4,0	374	519	690	866	1060	1310	1530	1810
4,2	353	490	652	820	1010	1240	1450	1720
4,4	333	464	617	777	953	1180	1380	1640

2.9 Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan (L_s) berfungsi untuk memberikan kesempatan kepada pengemudi untuk mengantisipasi radius lingkaran dari kondisi lurus, sehingga nilai radius putar jalan (R) di rubah secara berangsur-angsur dari kondisi lurus yang

memiliki nilai R tak hingga sampai dengan bagian lengkung jalan yang memiliki R yang tetap.

Ada beberapa pertimbangan dalam lengkung peralihan di antaranya adalah:

- a. Bentuk lengkung peralihan yang digunakan adalah bentuk spiral (*clothoide*).
- b. Panjang lengkung peralihan ditetapkan atas pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:
 - 1) Waktu perjalanan melintasi lengkung peralihan
 - 2) Gaya sentrifugal kendaraan melintasi lengkung
 - 3) Kelandaian melintang jalan
- c. Lengkung peralihan (L_s) ditentukan yang memenuhi kriteria tersebut, sehingga dipilih nilai Lengkung peralihan (L_s) yang terpanjang.

2.9.1 Waktu Perjalanan Melintasi Lengkung

Lengkung yang berubah mendadak oleh pengguna jalan baik pada saat memasuki lengkung maupun keluar dari lengkung maka dibuat ketetapan waktu tempuh dalam melintasi lengkung peralihan adalah selama 2 detik. Lengkung peralihan berdasarkan waktu perjalanan melintasi lengkung dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.6.

$$L_s = 0,278 \times V_r \times T \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan:

V_R = Kecepatan Rencana (km/jam)

T = Waktu tempuh pada lengkung peralihan (detik), ditetapkan 2 detik

2.9.2 Gaya Sentrifugal Kendaraan Melintasi Lengkung

Gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan saat melintasi lengkung peralihan dapat diantisipasi dengan aman dan berangsur-angsur, dengan menggunakan Persamaan 2.7.

$$L_s = \frac{0,0214 \times V_R^3}{R \times C} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan:

L_s = Lengkung Peralihan (m)

R = Radius Lengkung (m)

C = Perubahan maksimum percepatan arah radial (m/detik²), digunakan 1,2 m/detik²

2.9.3 Kelandaian Melintang Jalan

Dari bentuk superelevasi normal bentuk superelevasi, tingkat perubahan kelandaian relative (L_r) ditetapkan seperti pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tingkat Perubahan Kelandaian Melintang Maksimum

V_R (km/jam)	L_r (m/m)
120	1/263
100	1/227
80	1/200
60	1/167

Sumber: Bina Marga, 2009

Panjang pencapaian perubahan kelandaian dari kemiringan normal sampai dengan kemiringan seperelevasi penuh dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.8.

$$L_s = \frac{B \times n \times e}{L_r} b_w \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:

B = Lebar satu lajur lalulintas (m)

e = Superelevasi rencana (%)

n = Jumlah lajur yang diputar

L_r = Tingkat perubahan kelandaian relative (m/m), yang ditunjukkan oleh Tabel 2.5

b_w = Faktor penyesuaian untuk jumlah lajur yang diputar, di tunjukan oleh Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Faktor Penyesuaian Untuk Jumlah Lajur yang Diputar

n	1	1,5	2
b _w	1	0,83	0,75

Sumber: Bina Marga, 2009

2.10 Diagram Superelevasi

Diagram superelevasi adalah diagram yang menggambarkan pencapaian superelevasi dari kemiringan melintang normal sampai dengan ke superelevasi penuh, sehingga pada tahap perencanaan melintang jalan utama pada lengkung dapat dengan mudah mengetahui superelevasi melintangnya.

2.11 Desain Lengkung Horizontal

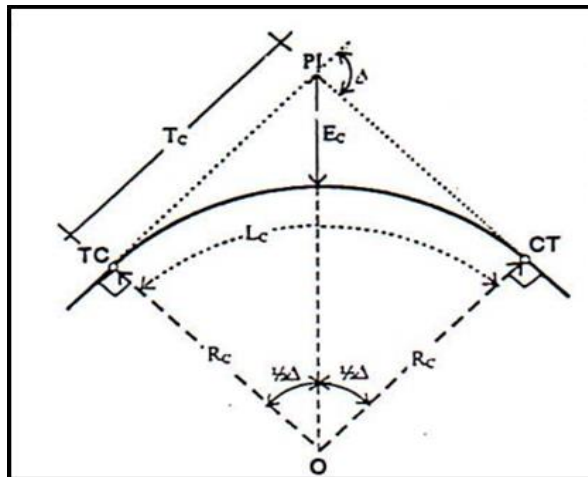
Lengkung horizontal adalah lengkung yang memberikan transisi pertemuan pada dua tangen horizontal yang memungkinkan kedua tangen dapat saling terhubung tanpa perlu ada sudut yang terbentuk.

Standar bentuk tikungan terdiri atas 3 (tiga) bentuk secara umum, yaitu:

- Lengkung Lingkaran Sederhana (*Full Circle* atau FC), yaitu tikungan yang berbentuk busur lingkaran secara penuh. Tikungan ini memiliki satu titik pusat lingkaran dengan jari-jari yang seragam di sepanjang lengkungnya.
- Lengkung *Spiral-Circle-Spiral* (SCS), yaitu tikungan yang terdiri dari 1 (satu) lengkung lingkaran dan 2 (dua) lengkung spiral.
- Lengkung *Spiral-spiral* (SS), adalah tikungan yang terdiri dari dua (dua) lengkung spiral.

2.11.1 Lengkung Lingkaran Sederhana (Full Circle)

Lengkung Lingkaran Sederhana (*Full Circle* atau FC) adalah lengkung tanpa legkung peralihan dan hanya memiliki satu busur lingkaran. Yang dinamakan tangen adalah bagian disisi kiri titik TC dan kanan titik CT pada Gambar 2.10. Titik TC adalah titik peralihan dari tangen horizontal ke lengkung horizontal (*circle*) dan titik CT adalah titik peralihan dari lengkung horizontal ke tangen horizontal di tipe lengkung lingkaran sederhana (*full circle*). Persamaan 2.9 s/d 2.11 menunjukkan persamaan untuk menghitung komponen dalam lengkung lingkaran sederhana.



Sumber: Bina Marga

Gambar 2.10 Lengkung *Full Circle*

$$T_c = R \tan \left(\frac{1}{2} \Delta \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

$$L_c = 2\pi R \frac{\Delta}{360^\circ} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$E_c = \frac{R}{\cos \left(\frac{\Delta}{2} \right)} - R \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan:

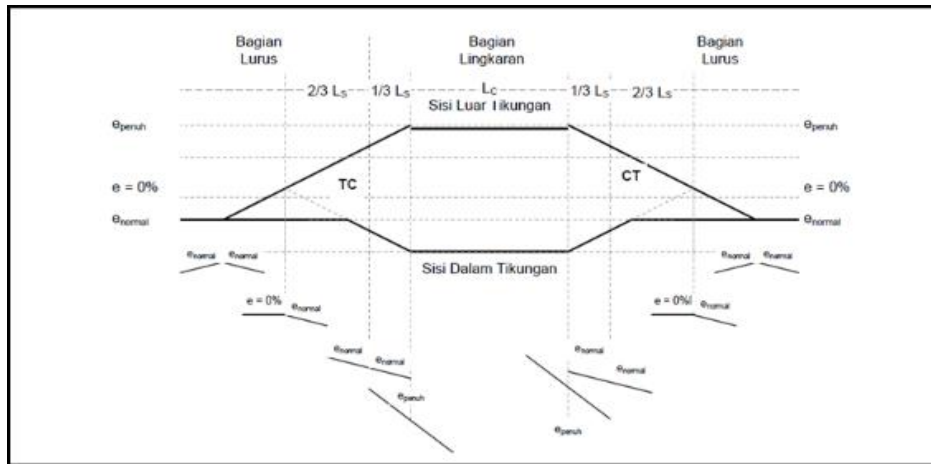
E_c = Jarak PI ke busur lingkaran (m)

L_c = Panjang busur lingkaran TC-CT (m)

R = Jari-jari lingkaran (m)

T_c = Panjang titip TC ke PI (m)

Δ = Sudut peubah jurusan ($^\circ$)



Sumber: Bina Marga,2009

Gambar 2.11 Diagram Superelevasi Lengkung FC

2.1.1 2.11.2 Pengecekan *Overlap*

Overlap adalah kondisi dimana jarak antar lengkung saling melampaui. Setiap tikungan yang sudah direncanakan tidak boleh terjadi *overlap*. Jika *overlap* terjadi maka tikungan tersebut tidak aman untuk digunakan sesuai dengan kecepatan rencana. *Overlap* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.13.

$$T_{cn} + 2/3 L_{sn}' + X_n \leq d_n \dots\dots\dots (2.13)$$

2.1.2 2.11.3 Penomoran Panjang Jalan

Penomoran panjang jalan (*stationing*) pada tahap desain adalah pemberian nomor pada jarak-jarak tertentu dari awal proyek. Nomor jalan yang dikenal dengan nama STA jalan dibutuhkan sebagai prasarana komunikasi bagi semua pihak yang terlibat. Penomoran pada daerah lengkung horizontal dilakukan pada setiap titik-titik penting pada lengkung. Penomoran juga berfungsi sebagai penunjuk panjang jalan. Penomoran dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.14 dan Persamaan 2.15

$$\text{Sta titik TC} = \text{Sta titik A} + d_n - T_{cn} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\text{Sta titik CT} = \text{Sta TC} + L_{cn} \dots\dots\dots(2.15)$$

2.12 Alinyemen Vertikal

Lengkung 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.

Lengkung vertikal disebut juga penampang memanjang atau profil jalan. Pada gambar alinyemen vertikal dapat dilihat elevasi muka tanah asli, elevasi muka jalan, dan bangunan pelengkap seperti jembatan dan gorong-gorong.

Permukaan jalan terdiri dari bagian lurus yang disebut bagian tangen vertikal dan bagian lengkung yang disebut lengkung vertikal jalan.

2.13 Kelandaian Jalan

Alinyemen vertikal terdiri dari garis lurus dan garis lengkung. Garis lurus menunjukkan jalan datar, mendaki atau menurun. Jalan mendaki dan menurun adalah jalan yang mempunyai kelandaian jalan. Kelandaian jalan dinyatakan dalam persen, karena gambar hasil rancangan geometri jalan dibaca dari kiri ke kanan, maka kelandaian jalan diberi tanda positif untuk pendakian dan negatif untuk penurunan dilihat dari kiri.

Pendakian dan penurunan memberikan pengaruh terhadap gerak kendaraan, oleh karena itu masalah kelandaian merupakan bagian terpenting pada perancangan vertikal.

2.13.1 Landai Minimum Jalan

Landai minimum harus diberikan apabila kondisi jalan tidak memungkinkan melakukan drainase ke sisi jalan. Besarnya kelandaian minimum ditetapkan 0,50% memanjang jalan untuk kepentingan aliran air. (Bina Marga, 2009)

2.13.2 Landai Maksimum Jalan

Landai maksimum adalah landai vertikal maksimum dimana kendaraan dengan muatan besar masih dapat bergerak. Landai maksimum jalan untuk alinyemen vertikal harus memenuhi Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Landai Maksimum

VR (km/jam)	Kelandaian Maksimum (%)		
	Datar	Perbukitan	Pegunungan
120	3	4	5
100	3	4	6
80	4	5	6
60	5	6	6

Sumber: Bina Marga, 2009

2.13.3 Panjang Landai Kritis

Panjang landai kritis adalah panjang landai maksimum dimana kendaraan dapat mempertahankan kecepatannya yang ditetapkan atas dasar besarnya landai (tanjakan) dan penurunan kecepatan kendaraan berat. Panjang kritis ditetapkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Panjang Landai Kritis

V_R (km/jam)	Landai (%)	Panjang Landai Kritis (m)
120	3	800
	4	500
	5	400
100	4	700
	5	500
	6	400
80	5	600
	6	500
60	6	600

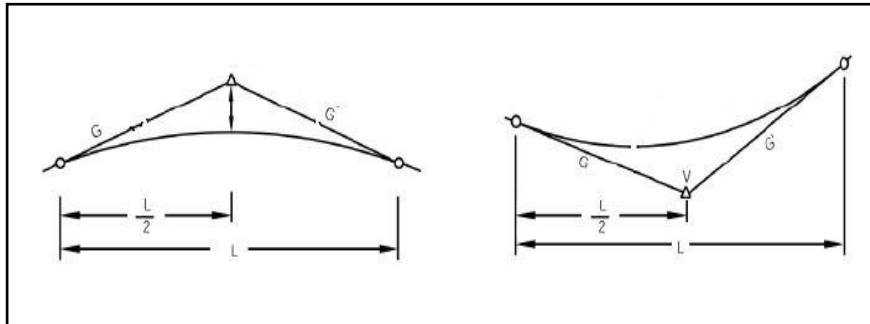
Sumber: No.007/BM/2009

2.14 Lengkung Vertikal

Pergantian dari suatu kelandaian ke kelandaian yang lain dilakukan dengan menggunakan lengkung vertikal. Titik perpotongan dua bagian tangen vertikal dinamakan Poin Perpotongan Vertikal (PPV). Jenis lengkung vertikal dilihat dari letak titik potong kedua bagian tangen dibedakan menjadi:

- Lengkung vertikal cekung, adalah lengkung dimana titik PPV berada di bawah permukaan jalan.
- Lengkung vertikal cembung, adalah lengkung dimana titik PPV berada di atas permukaan jalan.

Gambar 2.12 menunjukkan dari dua landai jalan yang membentuk lengkung vertikal cekung dan lengkung vertikal cembung. Gambar dilihat dari kiri ke kanan, kelandaian mendaki diberi tanda positif, dan menurun diberi tanda negatif.



Sumber: Bina Marga, 2009

Gambar 2.12 Lengkung Cekung dan Lengkung Cembung

Lengkung vertikal berbentuk parabola sederhana, dalam menentukan panjang lengkung vertikal dan elevasi setiap titik pada lengkung digunakan asumsi sebagai berikut:

- a. Panjang lengkung vertikal sama dengan panjang proyeksi lengkung vertikal.
- b. Titik PPV terletak ditengah-tengah garis proyeksi lengkung vertikal.

Dengan:

Titik PLV = titik Permulaan Lengkung Vertikal, adalah titik peralihan dari bagian tangen vertikal ke bagian lengkung vertikal.

Titik PTV = titik Permulaan Tangen Vertikal, adalah titik peralihan dari bagian lengkung vertikal ke bagian tangen vertikal.

L = panjang lengkung vertikal, m (asumsi)

g_1 = kelandaian bagian tangen vertikal sebelah kiri, %

g_2 = kelandaian bagian tangen vertikal sebelah kanan, %

A = perbedaan aljabar landai, %

E_v = pergeseran vertikal titik PPV terhadap lengkung vertikal, m

Kelandaian bagian tangen vertikal dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.16

$$g_1 = \frac{100 \times (E_{ppv1} - E_A)}{D_{A-PPV1}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Perbedaan aljabar landai dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.17

$$A = g_1 - g_2 \dots\dots\dots(2.17)$$

1. Panjang Lengkung Vertikal Cekung

Lengkung vertikal cekung adalah lengkung dimana titik PPV berada di bawah permukaan jalan. Panjang lengkung vertikal cekung ditentukan dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- a. Jarak pandang di malam hari menggunakan Persamaan 2.18.

$$L = K \times A \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan:

L = panjang lengkung vertikal cekung, m

A = perbedaan aljabar landai, %

K = terdapat di Tabel 2.9

Tabel 2.9 Nilai K Berdasarkan Jarak Pandang Henti

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jarak Pandang Henti (m)	Nilai K=L/A	
		Hitungan	Pembulatan
20	20	2,1	3
30	35	5,1	6
50	50	8,5	9
60	85	17,3	18
70	105	22,6	23
80	130	29,4	30
90	160	37,6	38
100	185	44,6	45
110	220	54,4	55
120	250	62,8	63
120	285	72,7	73

Sumber: AASHTOO,2011

- b. Kebutuhan drainase

Kebutuhan drainase menggunakan Persamaan 2.19.

$$L \leq 51A \dots \dots \dots (2.19)$$

Dengan:

L = panjang lengkung vertikal cekung, m

A = perbedaan aljabar landai, %

- c. Kenyamanan

Kenyamanan menggunakan Persamaan 2.20.

$$L = \frac{A \times V^2}{395} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dengan:

L = panjang lengkung vertikal cekung, m

A = perbedaan aljabar landai, %

V = kecepatan rencana, km/jam

d. Keluwesan

AASHTO, 2011 memberikan batasan bentuk lengkung vertikal dengan $K =$

30. Jadi panjang lengkung vertikal cekung minimum menggunakan Persamaan 2.17.

$$L = K \times A \dots \dots \dots (2.21)$$

Dengan:

L = panjang lengkung vertikal cekung, m

A = perbedaan aljabar landai, %

2. Panjang Lengkung Vertikal Cembung

Lengkung vertikal cembung dirancang berbentuk parabola. Panjang lengkung vertikal cembung ditentukan dengan memperhatikan syarat jarak pandang henti (S).

a. Jarak Pandang Henti

Jarak pandang henti lebih kecil dari panjang lengkung ($S < L$) menggunakan

Persamaan 2.22.

$$L = \frac{A \times S^2}{658} \dots \dots \dots (2.22)$$

Dengan:

L = panjang lengkung, m

S = jarak pandang henti, m

Jarak pandang henti lebih besar dari panjang lengkung ($S > L$) menggunakan

Persamaan 2.23.

$$L = 2S - \frac{658}{A} \dots \dots \dots (2.23)$$

Dengan:

L = panjang lengkung, m

A = perbedaan aljabar landai, %

S = jarak pandang henti, m

b. Kebutuhan Drainase

Tidak semua lengkung vertikal cembung bermasalah dalam hal drainase jalan, tetapi jika panjang lengkung vertikal cembung relatif panjang dan datar maka dapat menyebabkan kesulitan dalam masalah drainase jika di sepanjang jalan dipasang kereb. Air di samping jalan tidak mengalir lancar. Untuk menghindari hal tersebut, maka AASHTOO 2011 membatasi panjang lengkung vertikal menggunakan Persamaan 2.24.

$$L \leq 51A \dots \dots \dots (2.24)$$

Dengan:

L = panjang lengkung [m],

A = perbedaan aljabar landai [%].

c. Kenyamanan

Panjang lengkung vertikal cembung ditetapkan sedemikian rupa sehingga dapat memberikan rasa nyaman bagi pengemudi kendaraan. Lengkung cembung terlalu pendek memberikan rasa tidak nyaman kepada pengemudi akibat adanya gaya sentrifugal, terlebih-lebih jika dilalui dengan kecepatan tinggi.

AASHTO, 2011 memberikan batasan lengkung vertikal cembung seperti pada Persamaan 2.25.

$$L_{\min} = 0,6 \times V \dots \dots \dots (2.25)$$

Dengan:

V = kecepatan [m/s²],

L_{min} = panjang lengkung minimum[m].

Perhitungan *stationing* untuk titik Permulaan Lengkung Vertikal (PLV) dan titik Permulaan Tangen Vertikal (PTV) digunakan Persamaan 2.26 sampai dengan Persamaan 2.27.

1. Permulaan lengkung vertikal (PLV)

Permula lengkung vertikal (PLV) dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.26.

$$STA PLV_n = STA PPV_n - (1/2 L) \dots \dots \dots (2.26)$$

2. Permulaan tangen vertikal (PTV)

Permula lengkung vertikal (PTV) dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.27.

$$STA PTV_n = STA PPV_n + (1/2 L) \dots \dots \dots (2.27)$$

3. Elevasi Komponen Lengkung Vertikal

a. Elevasi muka jalan PPV

Elevasi muka jalan PPV dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.28

$$\text{Elevasi PPV}_1 = \text{elevasi titik PPV}_1 - E_v \dots \dots \dots (2.28)$$

b. Elevasi muka jalan PLV

Elevasi muka jalan PPV dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.29

$$\text{Elevasi PLV}_n = \text{elevasi titik PPV}_n + g_n \times (\text{STA PPV}_n - \text{STA PLV}_n) \dots \dots (2.29)$$

c. Elevasi muka jalan PTV

Elevasi muka jalan PPV dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.30

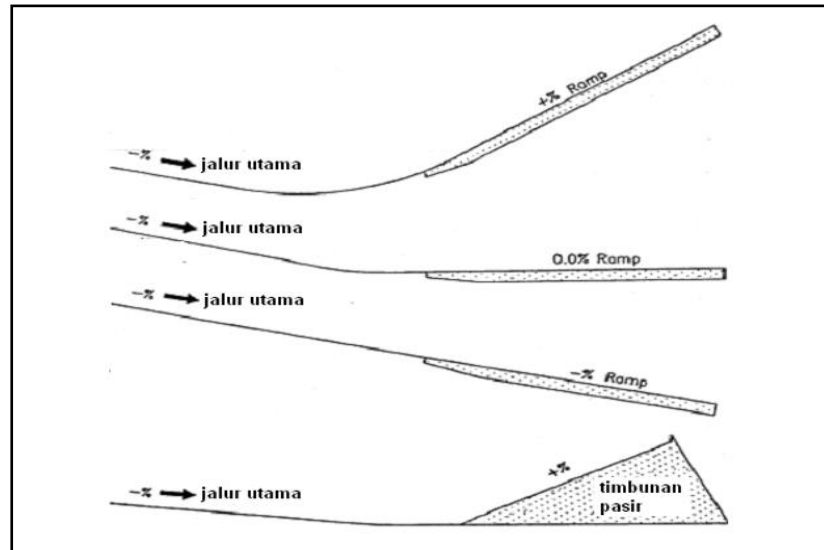
$$\text{Elevasi PLV}_1 = \text{elevasi titik PPV}_1 + g_2 \times (\text{STA PTV}_1 - \text{STA PPV}_1) \dots \dots (2.30)$$

2.15 Lajur Penyelamatan

Lajur penurunan yang panjang memungkinkan terjadinya kendaraan akan lepas kontrol, terutama kendaraan berat. Untuk mengantisipasi kondisi tersebut diperlukan pembatasan panjang lajur penurunan atau penyediaan lajur penyelamatan. Lajur penyelamatan adalah lajur yang dibuat untuk meredam kendaraan dengan kecepatan tinggi yang tidak dapat direm atau rem blong, sehingga kendaraan tersebut dapat berhenti dengan sendirinya. Selain itu, untuk jalan yang berpotensi dapat mengakibatkan kecelakaan saat jalan berada pada turunan harus dibuat lajur penyelamatan agar dapat mengurangi potensi kecelakaan.

Berdasarkan Bina Marga (2009), kriteria minimum lajur penyelamatan adalah diberikan untuk kondisi kecepatan operasional lalu lintas mencapai 120-140 km/jam.

Lajur penyelamatan dapat berupa kelandaian tanjakan, kelandaian turunan, kelandaian datar, atau timbunan pasir, seperti ditampilkan pada Gambar 2.13.



Sumber: N0.007/BM/2009

Gambar 2.13 Tipe-Tipe Jalur Penyelamatan

Lajur penyelamatan, selain menggunakan kelandaian, juga menggunakan beberapa jenis material untuk menahan lajur kendaraan. Panjang lajur penyelamatan yang dibutuhkan berdasarkan jenis material dan kelandaian lajur penyelamatan ditunjukkan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Panjang Lajur Penyelamatan Untuk Kecepatan Masuk 120 km/jam

No	Jenis Material	Kelandaian Lajur Penyelamatan (%)					
		0	2	4	6	8	10
1	Beton semen portland	378	333	298	270	248	227
2	Aspal beton	315	283	258	236	218	202
3	Kerikil, dipadatkan	252	231	214	199	186	174
4	Tanah, berpasir, lepas	102	99	95	92	89	87
5	Agregat dihancurkan, lepas	76	74	72	70	68	67
6	Kerikil, lepas	38	37	37	36	36	35
7	Pasir	25	25	25	25	24	24
8	Kerikil bulat	15	15	15	15	15	15

Ket: untuk total berat kendaraan 15 ton

Sumber: No.007/BM/2009

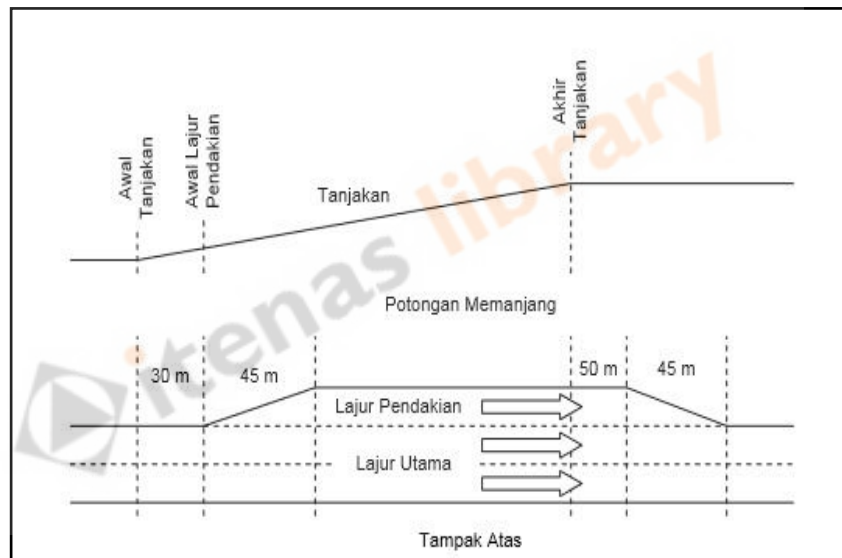
2.16 Lajur Pendakian

Lajur pendakian adalah lajur yang digunakan untuk kendaraan yang bermuatan berat dengan berjalan lebih lambat dibandingkan dengan kendaraan lainnya, sehingga kendaraan lain bisa mendahului kendaraan yang berjalan lambat

tanpa harus berpindah lajur. Lajur pendakian harus disediakan pada ruas jalan yang mempunyai kelandaian yang besar, menerus, dan volume lalu lintasnya relatif padat. Kecepatan kendaraan pada pendakian berkurang dibandingkan dengan gerakan di jalan lurus terutama pada kendaraan berat.

Penempatan lajur pendakian, berdasarkan perencanaan geometri jalan bebas hambatan untuk jalan tol harus dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

- Apabila panjang kritis terlampaui.
- Lebar lajur pendakian minimal 3,6 m dan presentase truk 15%.
- Lajur pendakian dimulai 30 meter dari awal perubahan kelandaian dengan serongan sepanjang 45 meter dan berakhir 50 meter sesudah puncak kelandaian dengan serongan sepanjang 45 meter, seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Lajur Pendakian