

2 LANDASAN TEORI

2.1 Standar Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol

Standar ini memuat ketentuan umum dan ketentuan teknis geometri ruas jalan bebas hambatan untuk jalan tol di perkotaan dan antarkota. Geometri yang dimaksud dalam standar ini meliputi ketentuan teknis geometri jalan utama, jalan penghubung (*ramp*), simpang-susun, geometri pelataran tol dan gerbang tol, dan tempat istirahat dan pelayanan.

Acuan Normatif dalam standar geometri jalan bebas hambatan untuk jalan tol ini merujuk pada buku-buku acuan sebagai berikut :

- Undang – Undang RI nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan
- Undang – Undang RI nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan
- Peraturan Pemerintah RI nomor 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol
- PP nomor 44 Tahun 2009 tentang Perubahan PP nomor 15 tentang Jalan Tol
- Peraturan Pemerintah RI nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan
- AASHTO, Tahun 2001, *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*

2.2 Ketentuan Umum

Persyaratan umum jalan bebas hambatan untuk jalan tol adalah sebagai berikut:

- a) Merupakan lintas alternatif dari ruas jalan umum yang ada.
- b) Ruas jalan umum tersebut minimal mempunyai fungsi arteri primer atau kolektor primer.

Geometri jalan bebas hambatan untuk jalan tol harus :

- a) Memenuhi aspek – aspek keselamatan, keamanan, kenyamanan, dan kelancaran lalu lintas yang diperlukan.
- b) Mempertimbangkan aspek-aspek lalu lintas yang akan digunakan sebagai jalan tol, tingkat pengembangan jalan, standar desain, pemeliharaan, kelas dan fungsi jalan, dan jalan masuk/jalan keluar, serta simpang-susun;
- c) Memenuhi ketentuan standar geometri yang khusus dirancang untuk jalan bebas hambatan dengan sistim pengumpul tol;

- d) Mempertimbangkan faktor teknis, ekonomis, finansial, dan lingkungan;
- e) Memenuhi kelas dan spesifikasi yang lebih tinggi dan harus terkendali penuh dari jalan umum yang ada;
- f) Direncanakan dapat melayani arus lalu lintas jarak jauh mobilitas tinggi;
- g) Dilakukan dengan teknik sedemikian rupa sehingga terbentuk keserasian kombinasi antara alinyemen horizontal dan alinyemen vertical;
- h) Mempertimbangkan ketersediaan saluran samping yang memadai;

Pemilihan alinyemen horisontal dan vertikal jalan bebas hambatan untuk jalan tol harus mempertimbangkan aspek kebutuhan teknik, konstruksi, lingkungan dan aspek kebutuhan pemakai jalan yang memadai dan efisien. Pemilihan alinyemen harus mempertimbangkan :

- a) Keamanan, keselamatan dan kenyamanan bagi pengoperasian lalu lintas dan pengemudi;
- b) Kesesuaian dan keserasian lingkungan dengan topografi, geografi, dan geologi di sekitar jalan tol tersebut;
- c) Koordinasi antara alinyemen horisontal dan alinyemen vertical;
- d) Kelayakan teknik, ekonomi, lingkungan, dan ketersediaan lahan;
- e) Di dalam alinyemen vertikal harus mempertimbangkan landai kritis.

Desain jalan bebas hambatan untuk jalan tol harus memenuhi :

- a) Secara fungsi harus merupakan jalan arteri primer atau kolektor primer;
- b) Jalan masuk dan keluar harus terkendali penuh dan hanya ada jalan yang sudah ditetapkan;
- c) Tidak ada persimpangan yang sebidang;
- d) Karena kondisi topografi dan lahan, maka dapat berbentuk Jalan dengan jalur utama pada permukaan tanah, Jalan layang dengan jalur utama di atas tanah, Jalan dengan jalur utama pada lintas bawah, Jalan terowongan dengan jalur utama di dalam tanah/ air, Jembatan, Kombinasi diantara tersebut dalam butir tersebut di atas.

2.2.1 Ketentuan Teknis Jalan Utama

2.2.1.1 Standar Jalan

Standar jalan terbagi atas beberapa bagian antara lain terdapat standar jalan menurut fungsi, standar jalan menurut kelas jalan dan klasifikasi medan jalan.

A. Standar menurut fungsi jalan

Standar jalan menurut fungsi jalan berdasarkan sifat dan pola pergerakan pada lalu lintas dan angkutan jalan. Klasifikasi jalan bebas hambatan untuk jalan tol menurut fungsi jalan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Klasifikasi menurut fungsi jalan

Fungsi Jalan	Jenis Angkutan yang dilayani	Jarak Perjalanan	Kecepatan Rata-rata	Jumlah Jalan Masuk
Arteri	Utama	Jauh	Tinggi	Dibatasi
Kolektor	Pengumpul atau pembagi	Sedang	Sedang	Dibatasi

B. Standar menurut kelas jalan

Standar menurut kelas jalan dibedakan berdasarkan penggunaan jalan dan kelancaran lalu lintas dan angkutan jalan, serta spesifikasi penyediaan prasarana jalan. Standar kelas jalan bebas hambatan untuk jalan tol berdasarkan penggunaan jalan dan kelancaran lalu lintas dan angkutan jalan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar kelas jalan berdasarkan fungsi, dimensi kendaraan dan MST

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Maksimum yang Diizinkan			Muatan Sumbu Terberat yang diizinkan (ton)
		Lebar (mm)	Panjang (mm)	Tinggi (mm)	
I	Arteri dan Kolektor	2.500	18.000	4.200	10
Khusus	Arteri	>2.500	>18.000	4.200	>10

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk jalan tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

Kelas jalan bebas hambatan untuk jalan tol didesain dengan jalan kelas 1, tetapi untuk kasus khusus dimana jalan tol tersebut melayani kawasan berikat ke jalan menuju dermaga atau ke stasiun kereta api, dimana kendaraan yang dilayani lebih besar dari standar yang ada, maka harus didesain menggunakan jalan kelas khusus.

Klasifikasi kelas jalan bebas hambatan untuk jalan tol berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan adalah jalan bebas hambatan karena:

- Jalan tol melayani arus lalu lintas jarak jauh,
- Tidak ada persimpangan sebidang,
- Jumlah jalan masuk dibatasi dan harus terkendali secara penuh,
- Jumlah lajur minimal dua lajur per arah,
- Menggunakan pemisah tengah atau median, dan
- Harus dilakukan pemagaran

C. Klasifikasi Medan Jalan

Klasifikasi medan jalan berdasarkan kondisi sebagian besar kemiringan medan yang diukur melintang terhadap sumbu jalan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.3. Klasifikasi menurut medan jalan

Medan Jalan	Notasi	Kemiringan Medan
Datar	D	< 10,0%
Perbukitan	B	10,0 % - 25,0 %
Pegunungan	G	> 25,0 %

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk jalan tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

2.2.1.2 Standar Kendaraan Rencana

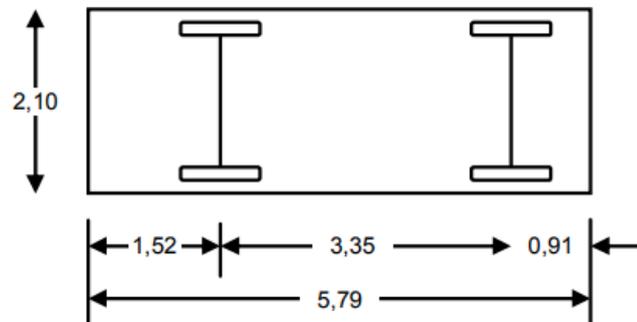
Kendaraan rencana adalah kendaraan yang merupakan wakil dari kelompoknya, dipergunakan untuk merencanakan bagian-bagian dari jalan. Untuk perencanaan geometrik jalan, ukuran lebar kendaraan rencana akan mempengaruhi perencanaan tikungan, dan lebar median dimana mobil diperkenankan untuk memutar. (Silvia Sukirman, 1999:38)

Dimensi standar kendaraan rencana untuk desain jalan bebas hambatan untuk jalan tol dapat dilihat pada Tabel 2.4. dan seperti diilustrasikan pada Gambar 2.1. hingga Gambar 2.6.

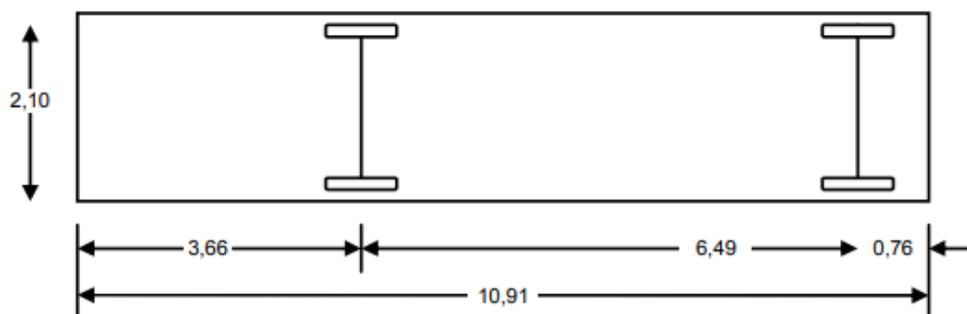
Tabel 2.4 Dimensi kendaraan rencana

Jenis Kendaraan Rencana	Dimensi Kendaraan (m)			Dimensi Tonjolan (m)		Radius Putar Minimum (m)
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang	
Mobil Penumpang	1,3	2,1	5,8	0,9	1,5	7,31
Bus	3,2	2,1	10,9	0,8	3,7	11,86
Truk 2 as	4,1	2,4	9,2	1,2	1,8	12,80
Truk 3 as	4,1	2,4	10,6	1,2	1,8	
Truk 4 as	4,1	2,4	13,9	0,9	0,8	12,20
Truk 5 as	4,1	2,5	16,8	0,9	0,6	13,72

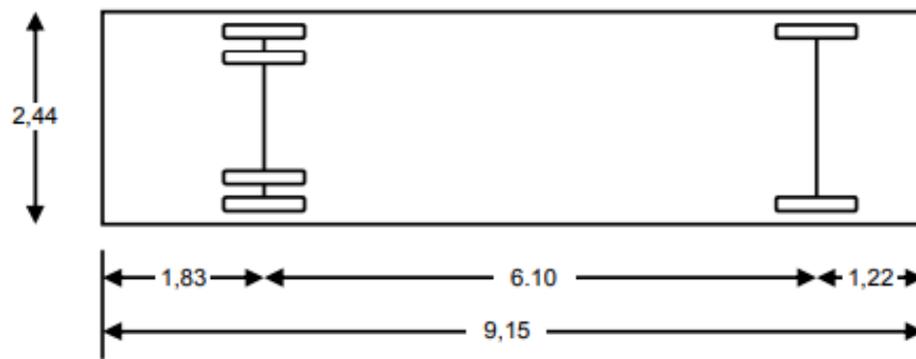
Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk jalan tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)



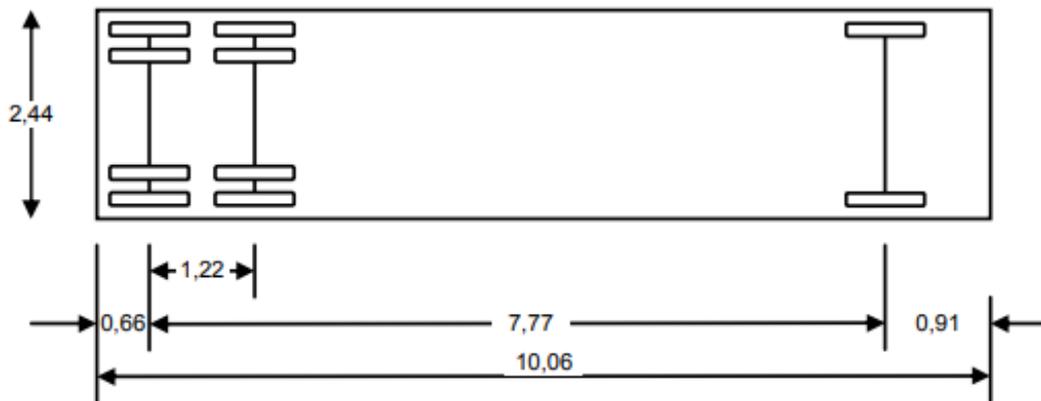
Gambar 2.1 Dimensi mobil penumpang



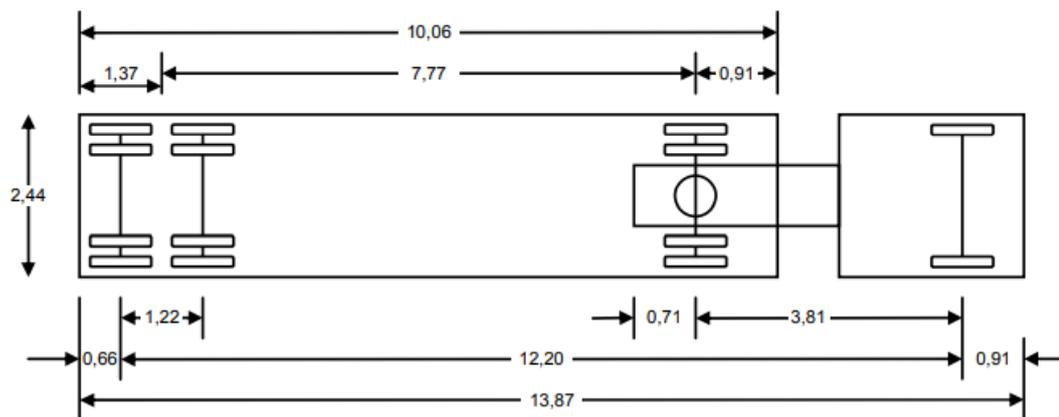
Gambar 2.2 Dimensi bus



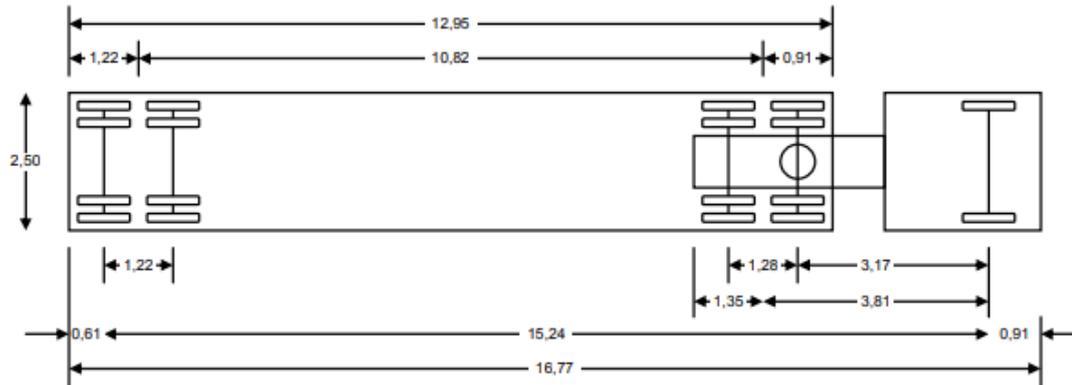
Gambar 2.3 Kendaraan truk 2 as



Gambar 2.4 Kendaraan truk 3 as



Gambar 2.5 Kendaraan truk 4 as



Gambar 2.6 Kendaraan truk 5 as

2.2.1.3 Standar Jumlah Lajur

Standar minimal jumlah lajur adalah 2 (dua) lajur per arah atau 4/2 D dan ditentukan berdasarkan tipe alinyemen sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.5. dan prakiraan volume lalu lintas yang dinyatakan dalam kendaraan/ jam sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Tipe alinyemen

Tipe Alinyemen	Naik + Turun (m/km)	Lengkung Horizontal (rad/km)
Datar	< 10	< 1,0
Perbukitan	10 – 30	10 – 2,5
Pegunungan	> 30	> 2,5

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas hambatan Untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga (No.007/BM/2009).

Tabel 2.6 Jumlah lajur berdasarkan arus lalu lintas

Tipe Alinyemen	Arus Lalu Lintas Per Arah (Kend/ jam)	Jumlah Lajur (Minimal)
Datar	$\leq 2,250$	4/2 D
	$\leq 3,400$	6/2 D
	$\leq 5,000$	8/2 D
Perbukitan	$\leq 1,700$	4/2 D
	$\leq 2,600$	6/2 D
Pegunungan	$\leq 1,450$	4/2 D
	$\leq 2,150$	6/2 D

Keterangan : D artinya pemisahan lajur

Dalam menghitung LHR, karena pengaruh berbagai jenis kendaraan, digunakan faktor ekivalen mobil penumpang.

A. Nilai Ekivalensi Mobil Penumpang (emp)

Nilai emp jalan bebas hambatan untuk jalan tol dapat dilihat pada tabel 2.7. di bawah ini :

Tabel 2.7 Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Tipe Alinyemen	Arus lalu lintas per arah (kend/ jam)		EMP		
	4/2 D	6/2 D	MHV	LB	LT
Datar	2.250	3.400	1,6	1,7	2,5
	\geq 2.800	\geq 4.150	1,3	1,5	2,0
Perbukitan	1.700	2.600	2,2	2,3	4,3
	\geq 2.250	\geq 3.300	1,8	1,9	3,5
Pegunungan	1.450	2.150	2,6	2,9	4,8
	\geq 2.000	\geq 3.000	2,0	2,4	3,8

Keterangan :

LV	Kendaraan Ringan	Kendaraan bermotor ber as dua dengan 4 (empat) roda dan dengan jarak as 2,0 m – 3,0 m (meliputi: mobil penumpang, oplet, mikrobis, pick-up dan truk kecil)
MHV	Kendaraan Berat Menengah	Kendaraan bermotor dengan dua gandar, dengan jarak 3,5 m – 5,0 m (termasuk bis kecil, truk kombinasi dengan jarak gandar < 3,5 m
LT	Truk Besar	Truk tiga gandar dan truk kombinasi dengan jarak gandar < 3,5 m
LB	Bis Besar	Bis dengan dua atau tiga gandar dengan jarak as 5,0 m – 6,0 m

B. Volume Lalu Lintas Rencana

Perkiraan volume lalu lintas selama umur rencana jalan yang diperlukan disebut Volume Jam Rencana (VJR). Volume Jam Rencana dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$VJR = VLHR + \frac{K}{100} \quad \text{Persamaan 2.1}$$

Keterangan :

VLHR = prakiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas (smp/hari)

K = faktor volume lalu lintas jam sibuk (%), disebut faktor K, untuk jalan bebas hambatan $k = 11\%$ (MKJI)

C. Standar pelayanan dan karakteristik operasi

Tingkat pelayanan jalan bebas hambatan untuk jalan tol didefinisikan sebagai kemampuan ruas jalan bebas hambatan untuk menampung lalu lintas pada keadaan tertentu. Tingkat pelayanan minimum untuk jalan bebas hambatan untuk jalan tol antarkota adalah B dan tingkat pelayanan minimum untuk jalan bebas hambatan untuk jalan tol perkotaan adalah C. Karakteristik operasi terkait untuk tingkat pelayanan di jalan tol dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Standar pelayanan dan karakteristik operasi

Tingkat Pelayanan	Karakteristik Operasi Terkait
A	- Arus bebas - Volume pelayanan 1400 smp/jam pada 2 lajur 1 arah
B	- Arus stabil dengan kecepatan tinggi - Volume pelayanan maksimal 2000 smp/jam pada 2 lajur 1 arah
C	- Arus masih stabil - Volume pelayanan pada 2 lajur 1 arah < 75% kapasitas - Lajur (yaitu 1500 smp/jam/lajur atau 3000 smp/jam untuk 2 lajur)

2.2.1.4 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana jalan bebas hambatan untuk jalan tol harus memenuhi kriteria sebagaimana ditetapkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Kecepatan Rencana (V_R)

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

Catatan : Kecepatan rencana 140 km/jam (masuk di *range*) diijinkan untuk jalan tol antarkota setelah dilakukan analisis tertentu.

2.2.1.5 Bagian – Bagian Jalan

Bagian-bagian jalan secara umum meliputi ruang manfaat jalan, ruang milik jalan, dan ruang pengawasan jalan.

A. Ruang Manfaat Jalan

Ruang manfaat jalan diperuntukkan bagi median, perkerasan jalan, jalur pemisah, bahu jalan, saluran tepi jalan, lereng, ambang pengaman, timbunan, galian, gorong-gorong, perlengkapan jalan dan bangunan pelengkap jalan. Ruang manfaat jalan bebas hambatan untuk jalan tol harus mempunyai lebar dan tinggi ruang bebas serta kedalaman sebagai berikut :

- Lebar ruang bebas diukur di antara 2 (dua) garis vertikal batas bahu jalan;
- Tinggi ruang bebas minimal 5 (lima) meter di atas permukaan jalur lalu lintas tertinggi;
- kedalaman ruang bebas minimal 1,50 meter di bawah permukaan jalur lalu lintas terendah.

B. Ruang Milik Jalan

Ruang milik jalan diperuntukan bagi ruang manfaat jalan dan pelebaran jalan maupun penambahan lajur lalu lintas di kemudian hari serta kebutuhan ruangan untuk pengamanan jalan tol dan fasilitas jalan tol. Ruang milik jalan bebas hambatan untuk jalan tol harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Lebar dan tinggi ruang bebas ruang milik jalan minimal sama dengan lebar dan tinggi ruang bebas ruang manfaat jalan.
- lahan ruang milik jalan harus dipersiapkan untuk dapat menampung minimal 2 x 3 lajur lalu lintas terpisah dengan lebar ruang milik jalan minimal 40 meter di daerah antarkota dan 30 meter di daerah perkotaan;

- lahan pada ruang milik jalan diberi patok tanda batas sekurang-kurangnya satu patok setiap jarak 100 meter dan satu patok pada setiap sudut serta diberi pagar pengaman untuk setiap sisi.
- Pada kondisi jalan tol layang, perlu diperhatikan ruang milik jalan di bawah jalan tol.

C. Ruang Pengawasan Jalan

Ruang pengawasan jalan diperuntukkan bagi pandangan bebas pengemudi dan pengamanan konstruksi jalan. Batas ruang pengawasan jalan bebas hambatan untuk jalan tol adalah 40 meter untuk daerah perkotaan dan 75 meter untuk daerah antarkota, diukur dari as jalan tol. Dalam hal jalan tol berdempetan dengan jalan umum ketentuan tersebut diatas tidak berlaku.

Jalan ditetapkan keberadaannya dalam suatu ruang yang telah didefinisikan di atas. Ruang-ruang tersebut dipersiapkan untuk menjamin kelancaran dan keselamatan serta kenyamanan pengguna jalan disamping keutuhan konstruksi jalan. Dimensi ruang yang minimum untuk menjamin keselamatan pengguna jalan diatur sesuai dengan jenis prasarana dan fungsinya. standar ukuran dimensi minimum dari RUMAJA, RUMIJA, dan RUWASJA jalan bebas hambatan untuk jalan tol dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Dimensi ruang jalan bebas hambatan untuk jalan tol

Bagian – bagian jalan	Komponen Geometri	Dimensi Minimum (m)				
RUMAJA	Lebar Badan Jalan		Jalan Tol			
			Antar Kota	Perkotaan		
			3,00	22,0		
			Tinggi	5,00	5,00	
	Kedalaman		1,50	1,50		
RUMIJA	Lebar	30	Jalan Tol			
			JBH	Antar Kota	Perkotaan	Layangan/ Terowongan
				40	30	

RUWASJA		JBH	Jalan Tol		
			Antar Kota	Perkotaan	Jembatan
	Lebar ¹⁾	75	75	40	100 ²⁾

Catatan : ¹⁾Lebar diukur dari As Jalan

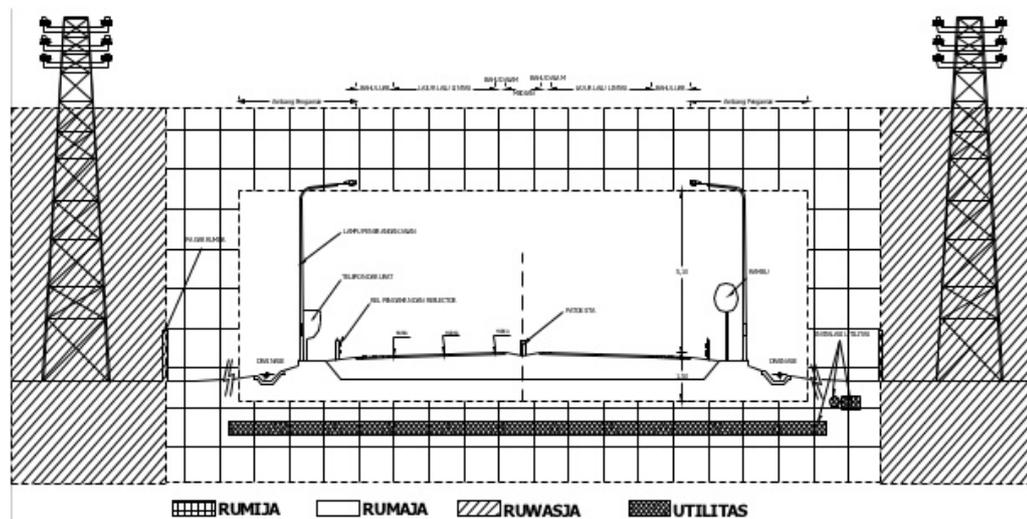
²⁾100 m ke hilir dan 100 m ke hulu

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009).

2.2.1.6 Penampang Melintang

A. Komposisi Penampang Melintang

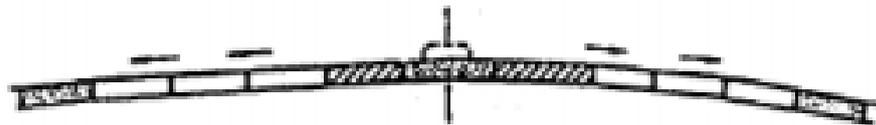
Komposisi penampang melintang jalan bebas hambatan untuk jalan tol terdiri dari: jalur lalu lintas, median dan jalur tepian, bahu, rel pengaman, saluran samping, lereng/talud. Standar tipikal penampang melintang untuk jalan tol di atas tanah (at grade) dan layang (elevated) dapat dilihat pada Gambar 2.7, 2.8 dan 2.9.



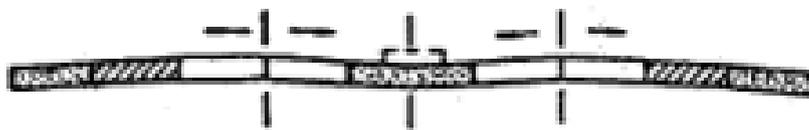
Gambar 2.7 Tipikal Rumaja, Rumaja dan Ruwasja jalan bebas hambatan tol

*) dibutuhkan pada saat kendaraan besar mengalami kerusakan
 Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

Kemiringan melintang jalur lalu lintas dibuat agar air yang menimpa perkerasan jalan dapat masuk ke saluran tepi dengan cepat. Semakin kedap air pada permukaan jalan tersebut, maka kemiringan jalan semakin landai, sebaliknya jika permukaan jalan mudah dirembesi air maka kemiringan jalan harus dibuat cukup besar.



Gambar 2.9 Contoh kemiringan melintang jalan 1 arah pada tiap jalur
 Sumber. Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

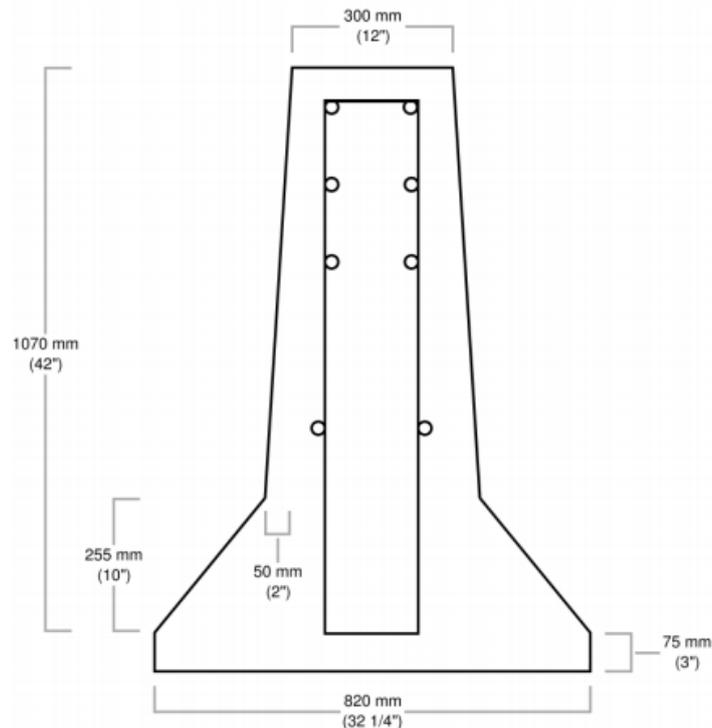


Gambar 2.10 Contoh kemiringan melintang jalan 1 arah pada tiap jalur
 Sumber. Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

C. Median

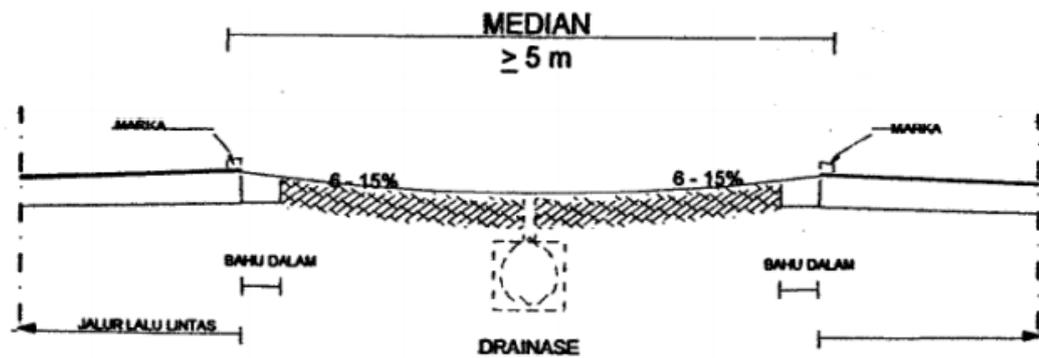
Median atau pemisah tengah merupakan bangunan yang berfungsi memisahkan arus lalu lintas berlawanan arah. Terdapat tiga tipe standar median yang dapat digunakan :

- a) *Median Concrete Barrier*, yaitu penghalang memanjang yang berfungsi sebagai pengaman. Median Concrete Barrier ada 2 jenis yaitu tipe standar dengan tinggi 32” (81,28 cm) dan tipe “high” dengan tinggi 42” (106,68 cm)



Gambar 2.11 Median *concrete barrier* dengan tipe *high*

- b) Median yang diturunkan, yaitu median yang dibuat lebih rendah dari permukaan jalur lalu lintas. Median yang diturunkan harus mengikuti ketentuan sebagai berikut :
- Dipasang apabila lebar lahan yang disediakan untuk median lebih besar atau sama dengan 50 m
 - Kemiringan permukaan median antara 6% - 15%, dimulai dari sisi luar ke tengah-tengah median dan secara fisik berbentuk cekungan.
 - Untuk jalan tol di daerah perkotaan, median yang diturunkan tidak diperbolehkan, harus datar sebagai ruang terbuka hijau dan/ atau ruang untuk pelebaran lajur tambahan di masa yang akan datang.
 - Detail potongan dan penempatan median yang direndahkan dalam potongan melintang jalan dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Median yang diturunkan

Lebar median jalan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 2.12.

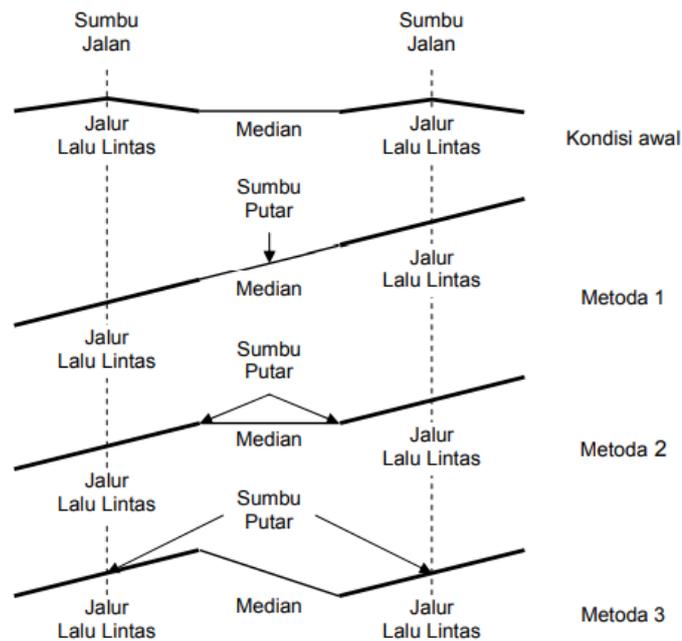
Tabel 2.12 Perencanaan median jalan tol

Lokasi Jalan Tol	Lebar Median (m)		Keterangan
	Minimal	Konstruksi Bertahap	
Antar Kota	5,50	13,00	Diukur dari garis tepi dalam lajur lalu lintas
Perkotaan	3,00	10,00	

Catatan : Untuk median dengan lebar minimum harus menggunakan rel pengaman lalu lintas.

D. Penampang melintang median pada jalan terkena superelevasi

Pada kondisi tikungan dengan superelevasi, medan jalan bebas hambatan untuk jalan tol dipilih dengan cara 3 (tiga) metoda untuk digunakan dalam pencapaian superelevasi, seperti pada Gambar 2.14. dan dijelaskan sebagai berikut



Gambar 2.13 Pencapaian superelevasi pada jalan dengan median

1) Metoda 1, dengan ketentuan :

- Keseluruhan jalur lalu lintas termasuk median terkena superelevasi menyerupai sebidang datar;
- Bagian tengah median menjadi sumbu putar superelevasi.

2) Metoda 2, dengan ketentuan :

- Keseluruhan jalur lalu lintas tanpa median terkena superelevasi;
- Sisi bagian dalam median menjadi sumbu putar jalur dalam, sisi luar median menjadi sumbu putar jalur luar.

3) Metoda 3, dengan ketentuan :

- Kedua jalur lalu lintas diperlakukan secara terpisah ;
- Masing-masing jalur lalu lintas menggunakan sumbu jalurnya untuk melakukan superelevasi.

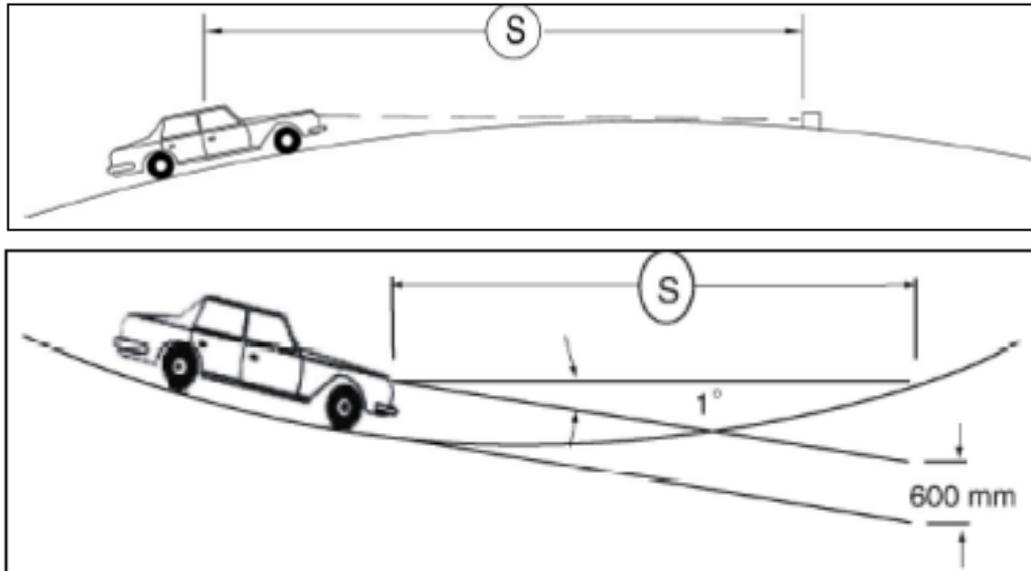
2.2.1.7 Jarak Pandang dan Kebebasan Samping

A. Jarak Pandang

Jarak pandang (S) diperlukan untuk kemungkinan melihat ke depan ketika keadaan menyiap ataupun keadaan henti agar tercipta keadaan yang aman dan efisien. Jarak pandang henti adalah jarak terpendek yang diperlukan bagi kendaraan yang sedang bergerak dengan kecepatan rencana, untuk berhenti dengan aman sebelum mencapai obyek yang tidak bergerak dalam lintasan. Jarak pandang (S)

diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 108 cm dan tinggi halangan 60 cm diukur dari permukaan jalan. Setiap bagian jalan harus memenuhi jarak pandang.

Gambar 2.14 Jarak pandang henti pada lengkung vertikal cembung



Gambar 2.15 Jarak pandang henti pada lengkung vertikal cekung

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/ BM/ 2009)

Jarak pandang henti (S_s) terdiri dari 2 elemen jarak, yaitu :

- 1) Jarak awal reaksi (S_r) adalah jarak pergerakan kendaraan sejak pengemudi melihat suatu halangan yang menyebabkan ia harus berhenti sampai saat pengemudi menginjak rem.
- 2) Jarak awal pengereman (S_b) adalah jarak pergerakan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti.

Jarak pandang henti dapat terjadi pada dua kondisi tertentu dirumuskan sebagai berikut :

- Jarak pandang henti (S_s) pada bagian datar dihitung dengan rumus:

$$S_s = 0,278 \times V_R \times T + 0,039 \frac{V_R^2}{a}$$

Persamaan 2.2

- Jarak pandang henti (S_s) akibat kelandaian dihitung dengan rumus:

$$S_s = 0,278 \times V_R \times T + \frac{V_R^2}{254\left[\left(\frac{a}{9,81}\right) + \text{atau} - G\right]} \quad \text{Persamaan 2.3}$$

Keterangan :

V_R = Kecepatan rencana (km/jam)

T = Waktu reaksi, ditetapkan 2,5 detik

a = Tingkat perlambatan (m/dtk²), ditetapkan 3,4 meter/dtk²

G = Kelandaian jalan (%)

Tabel di bawah ini berisi S_s minimum yang dihitung berdasarkan rumus di atas dengan pembulatan-pembulatan untuk berbagai V_R .

Tabel 2.13 Jarak Pandang Henti (S_s) minimum

V_R (km/ jam)	Jarak Awal Reaksi (m)	Jarak Awal Pengereman (m)	Jarak Pandang Henti (m)	
			Perhitungan	Pembulatan
120	83,3	163,4	246,7	250
100	69,4	113,5	182,9	185
80	55,6	72,6	128,2	130
60	41,7	40,8	82,5	85

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/ 2009)

Tabel di berikut ini berisi S_s minimum dengan kelandaian yang dihitung berdasarkan rumus di atas untuk berbagai V_R .

Tabel 2.14 Jarak pandang henti (S_s) minimum dengan kelandaian

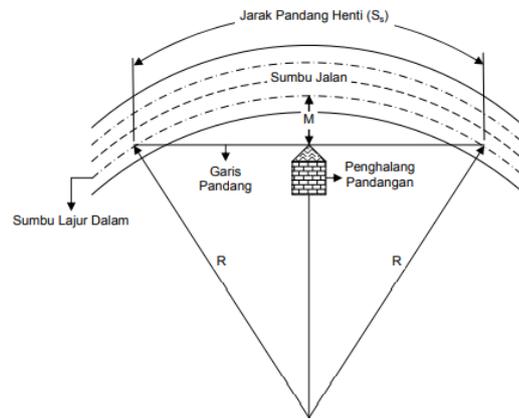
V_R km/jam	Jarak Pandang Henti (m)											
	Turunan						Tanjakan					
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
120	252	257	263	269	275	281	243	238	234	230	227	223
100	187	190	194	198	203	207	180	177	174	172	169	167
80	131	133	136	138	141	144	127	125	123	121	120	118
60	84	86	87	88	90	90	82	81	80	79	78	77

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

B. Daerah Bebas Samping di Tikungan

Daerah bebas samping di tikungan adalah ruang untuk menjamin kebebasan pandang di tikungan sehingga jarak pandang henti dipenuhi. Ini dimaksudkan untuk

memberikan kemudahan pandangan di tikungan dengan membebaskan obyek-obyek penghalang sejauh M (meter), diukur dari garis tengah lajur dalam sampai obyek penghalang pandangan sehingga persyaratan jarak pandang henti dipenuhi. Ilustrasi dari daerah bebas samping di tikungan dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.16 Diagram ilustrasi komponen menentukan daerah bebas samping

Daerah bebas samping di tikungan pada kondisi tertentu dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

- 1) Jika jarak pandang lebih kecil dari panjang tikungan ($S_s < L_c$) seperti pada Gambar 2.17.

$$M = R \left[1 - \cos\left(\frac{90L_c}{\pi R}\right) \right] \quad \text{Persamaan 2.4}$$

- 2) Jika jarak pandang lebih besar dari panjang tikungan ($S_s > L_c$) seperti pada Gambar 2.18.

$$M = R \left[1 - \cos\left(\frac{90L_c}{\pi R}\right) \right] + 0,5(S_s - L_c) \sin\left(\frac{90L_c}{\pi R}\right) \quad \text{Persamaan 2.5}$$

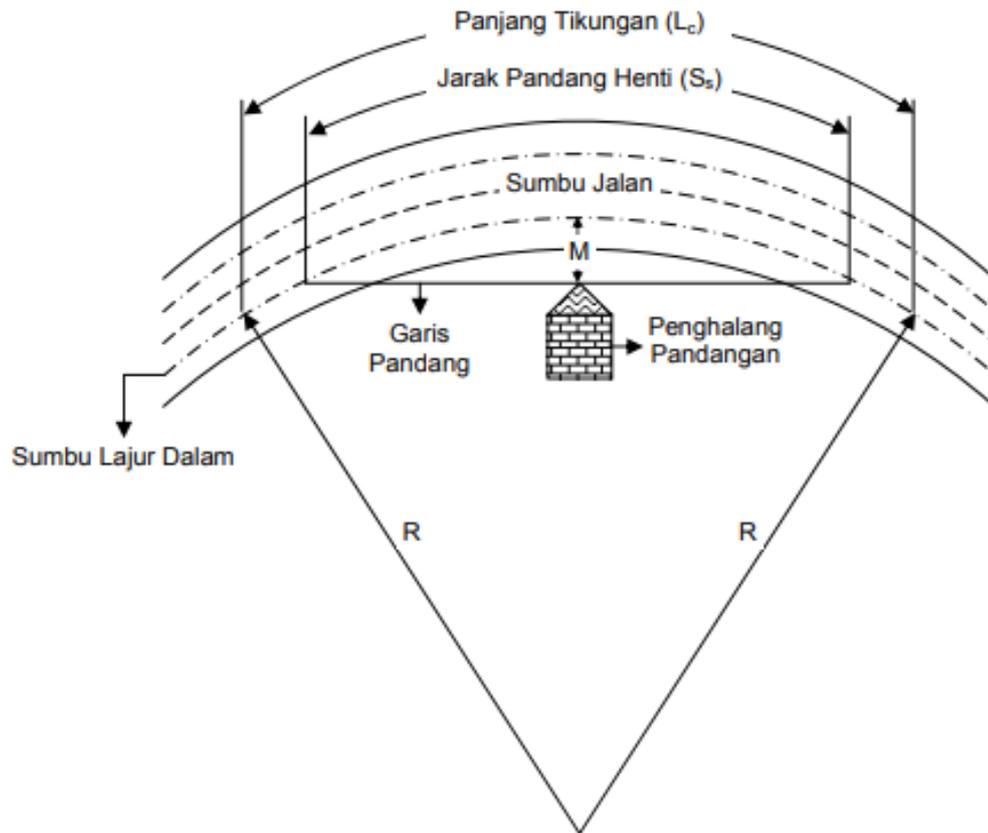
Keterangan:

M : Jarak yang diukur dari sumbu lajur dalam sampai obyek penghalang pandangan (m)

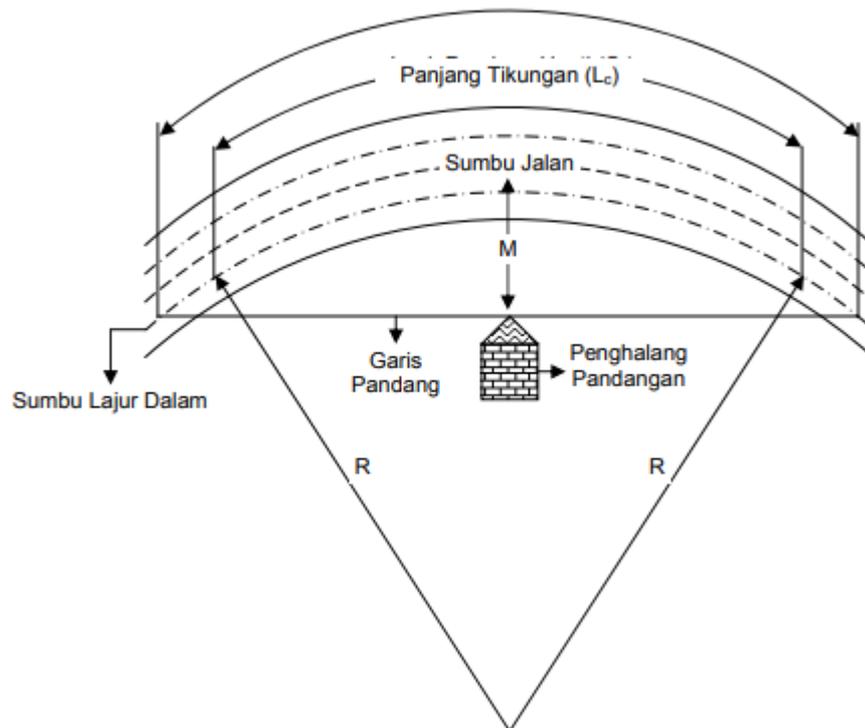
R : Jari-jari sumbu lajur dalam (m)

S_s : Jarak pandang henti (m)

L_c : Panjang tikungan (m)

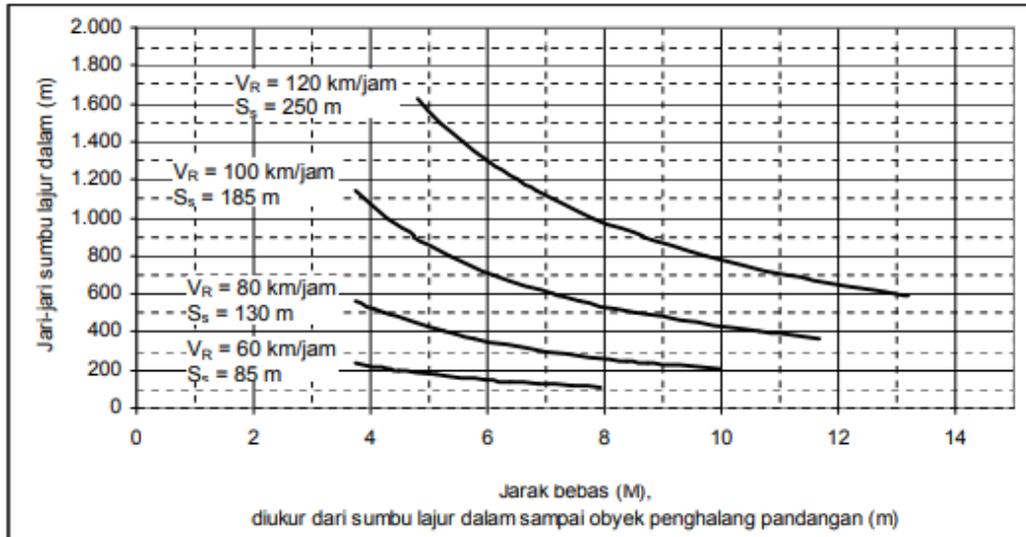


Gambar 2.17 Diagram ilustrasi daerah bebas samping tikungan untuk $S_s < L_c$



Gambar 2.18 Diagram ilustrasi daerah bebas samping tikungan $S_s > L_c$

Gambar 2.19. memberikan nilai M untuk kondisi $S_s < L_c$ pada masing-masing kecepatan rencana. Sedangkan Gambar 2.20 sampai Gambar 2.21 menyajikan nilai M yang dihitung menggunakan rumus di atas. Tabel tersebut digunakan untuk menetapkan nilai M.



Gambar 2.19 Jarak bebas (M) berdasarkan jarak pandang henti pada tikungan ($S_s < L_c$)

R (m)	Daerah bebas samping di tikungan, M (m)			
	$V_R = 120$ km/jam	$V_R = 100$ km/jam	$V_R = 80$ km/jam	$V_R = 60$ km/jam
1.627	4,80			
1.500	5,21			
1.400	5,58			
1.300	6,00			
1.200	6,50			
1.140	6,84	3,75		
1.000	7,80	4,28		
900	8,67	4,75		
800	9,75	5,34		
700	11,13	6,10		
600	12,97	7,12		
563	$R_{min} = 590$	7,59	3,75	
500		8,53	4,22	
400		10,65	5,27	
300		$R_{min} = 365$	7,01	
250			8,40	
240			8,74	3,75
200			$R_{min} = 210$	4,50
175				5,14
150				5,98
140				6,40
130				6,89
120				7,45
				$R_{min} = 110$

Gambar 2.20 Daerah bebas samping di tikungan dengan $S_s < L_c$

R (m)	Daerah bebas samping di tikungan, M (m)			
	V _R = 120 km/jam	V _R = 100 km/jam	V _R = 80 km/jam	V _R = 60 km/jam
1.611	4,80			
1.500	5,15			
1.400	5,52			
1.300	5,95			
1.200	6,44			
1.119	6,90	3,75		
1.000	7,72	4,20		
900	8,58	4,66		
800	9,65	5,24		
700	11,02	5,99		
600	12,85	6,99		
542	R _{min} = 590	7,73	3,75	
500		8,38	4,06	
400		10,46	5,08	
300		R _{min} = 365	6,76	
250			8,10	
220			9,21	3,75
200			R _{min} = 210	4,11
175				4,70
150				5,47
140				5,86
130				6,31
120				6,82
				R _{min} = 110

Gambar 2.21 Daerah bebas samping di tikungan dengan $S_s > L_c$, dimana $S_s - L_c = 25$ m

R (m)	Daerah bebas samping di tikungan, M (m)			
	V _R = 120 km/jam	V _R = 100 km/jam	V _R = 80 km/jam	V _R = 60 km/jam
1.562	4,80			
1.500	5,00			
1.400	5,35			
1.300	5,77			
1.200	6,25			
1.057	7,09	3,75		
1.000	7,49	3,96		
900	8,32	4,40		
800	9,36	4,95		
700	10,69	5,66		
600	12,46	6,60		
500	R _{min} = 590	7,91		
480		8,25	3,75	
400		9,88	4,49	
300		R _{min} = 365	5,99	
250			7,18	
200			R _{min} = 210	
175				
157				3,75
150				3,93
140				4,21
130				4,53
120				4,91
				R _{min} = 110

Catatan:

Jalan antar kota rumija, 40 m, jarak antara sumbu lajur dalam ke rumija adalah 6,75 m.

Jalan perkotaan, rumija 30 m, jarak antara sumbu lajur dalam ke rumija adalah 4,25 m.

Gambar 2.22 Daerah bebas samping di tikungan dengan $S_s > L_c$, dimana $S_s - L_c = 50$ m

2.2.1.8 Alinyemen Horizontal

Alinyemen Horizontal adalah proyeksi garis sumbu jalan pada bidang horizontal yang terdiri dari bagian lurus dan lengkungan (tikungan) yang berfungsi untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima kendaraan saat melaju. Geometri pada bagian lengkung didesain sedemikian rupa dimaksudkan untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima oleh kendaraan yang berjalan pada kecepatan V_R . Untuk keselamatan pemakai jalan, jarak pandang dan daerah bebas samping jalan, maka alinyemen horizontal harus diperhitungkan secara akurat.

A. Panjang Bagian Lurus

Dengan mempertimbangkan faktor keselamatan pemakai jalan, ditinjau dari segi kelelahan pengemudi, maka panjang maksimum bagian jalan yang lurus harus ditempuh dalam waktu tidak lebih dari 2,5 menit (sesuai V_R). Panjang bagian lurus ditetapkan menurut Tabel 2.15.

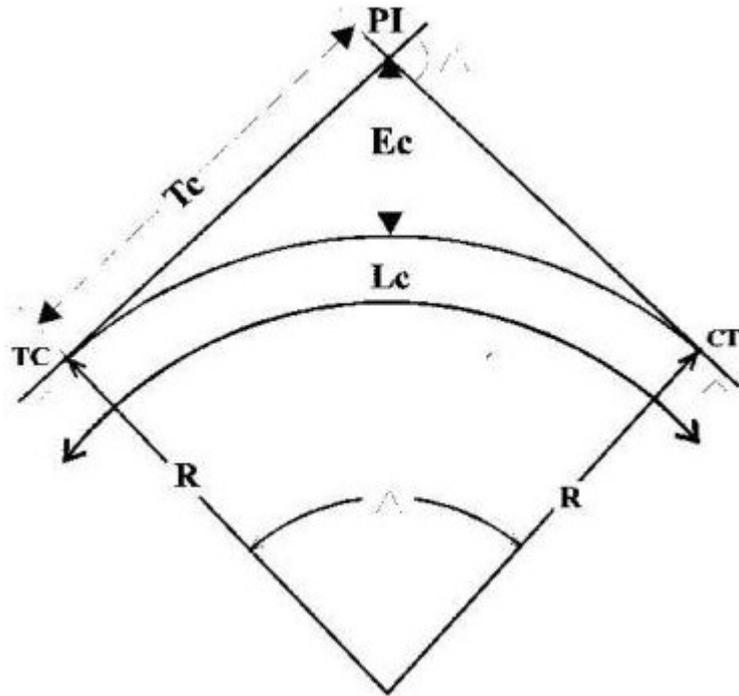
Tabel 2.15 Panjang bagian lurus maksimum

V_R (km/jam)	Panjang Bagian Lurus Maksimum (m)	
	Perhitungan	Pembulatan
140	5833,3	5850
120	5000,0	5000,0
100	4166,7	4200
80	3333,3	3350
60	2500,0	2500

B. Standar Bentuk Tikungan

Standar bentuk tikungan terdiri atas 3 bentuk secara umum, yaitu :

- 1) *Full Circle* (FC), yaitu jenis tikungan yang hanya terdiri dari bagian suatu lengkungan saja. Tikungan ini hanya digunakan untuk jari – jari tikungan yang besar agar tidak terjadi patahan, apabila dengan jari – jari kecil maka diperlukan superelevasi yang besar.

Gambar 2.23 Tikungan *Full Circle*

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

$$Lc = \frac{\Delta}{360^\circ} 2\pi Rc \quad \text{Persamaan}$$

2.6

$$Ec = \frac{Rc}{\cos \frac{\Delta}{2}} - Rc \quad \text{atau}$$

$$Ec = Tc \tan \frac{1}{4} \Delta \quad \text{Persamaan}$$

2.7

$$Tc = Rc \tan \frac{1}{2} \Delta \quad \text{Persamaan}$$

2.8

Dimana :

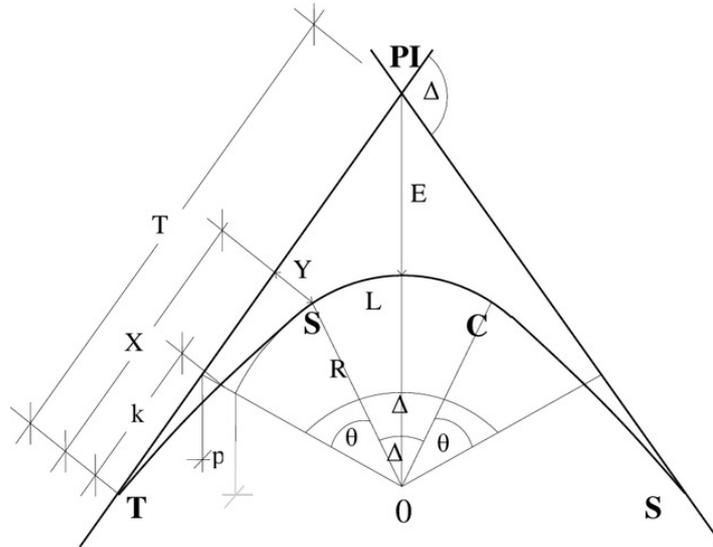
Δ = sudut tangen ($^\circ$)

Tc = panjang tangen (m)

Rc = jari – jari lingkaran (m)

Lc = panjang busur lingkaran (m)

- 2) *Spiral-Circle-Spiral* (SCS), yaitu tikungan yang terdiri dari 1 (satu) lengkung lingkaran dan 2 (dua) lengkung spiral.



Gambar 2.24 Tikungan *Spiral-Circle-Spiral*

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

$$\theta = \frac{L_s}{2R} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi} \quad \text{Persamaan 2.9}$$

$$K = X_c - R \sin \theta_s \quad \text{Persamaan 2.10}$$

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_s \quad \text{Persamaan 2.11}$$

$$P = Y_c - R(1 - \cos \theta_s) \quad \text{Persamaan 2.12}$$

$$L_c = \frac{\Delta_c}{360^\circ} 2\pi R \quad \text{Persamaan 2.13}$$

$$T_s = (R + p) \tan \frac{\Delta}{2} + k \quad \text{Persamaan 2.14}$$

$$Y_c = \frac{L_s}{6R} \quad \text{Persamaan 2.15}$$

$$X_c = L_s - \frac{L_s^3}{40R^2} \quad \text{Persamaan 2.16}$$

$$E_s = \frac{(R+p)}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R \quad \text{Persamaan 2.17}$$

$$L_{\text{total}} = L_c + 2L_s \quad \text{Persamaan 2.18}$$

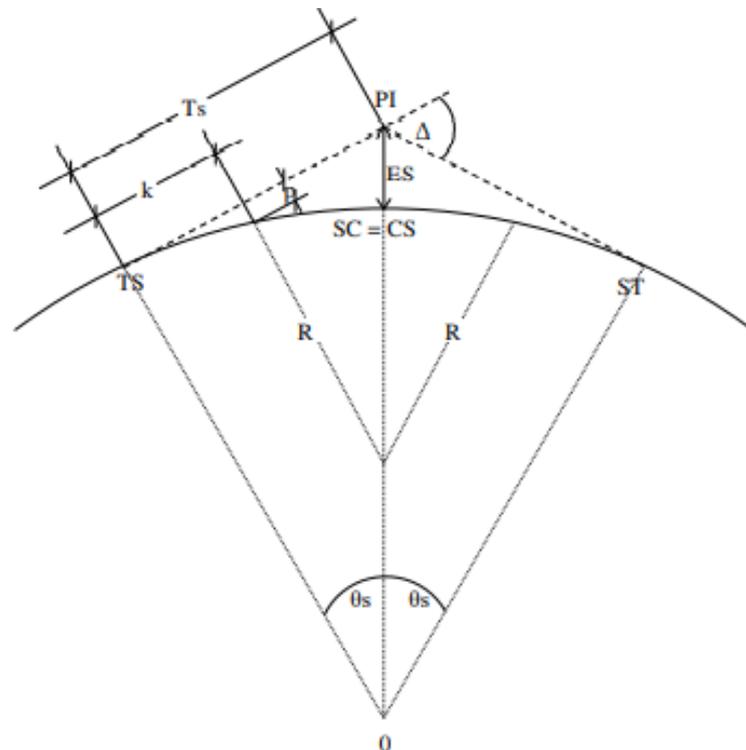
Dimana :

X_c = absis titik SC pada garis tangen (m)

Y_c = ordinat titik SC pada garis tegak lurus pada garis tangen (m)

- L_c = panjang lengkung peralihan (m)
 T_s = panjang tangen (m)
 SC = titik spiral ke lingkaran (m)
 ES = jarak dari PI ke lingkaran (m)
 TS = titik tangen ke spiral
 R = jari – jari lingkaran (m)
 P = pergeseran tangen terhadap *spiral* (m)
 K = absis dari p pada garis tangen spiral
 S = sudut lengkung *spiral* (°)

3) *Spiral-Spiral* (SS), yaitu tikungan yang terdiri atas 2 (dua) lengkung spiral.



Gambar 2.25 Tikungan *Spiral-Spiral*

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol,
Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

$$\theta = \frac{\Delta}{z} \quad \text{Persamaan 2.19}$$

$$\Delta_c = 0 \quad \text{Persamaan 2.20}$$

$$L_c = 0 \quad \text{Persamaan 2.21}$$

$$Y = \frac{L^2}{z} \quad \text{Persamaan 2.22}$$

Dimana :

T_s = panjang tangen (m)

E_s = jarak dari PI ke lingkaran (m)

R = jari – jari lingkaran (m)

Tabel untuk menentukan nilai p dan k dapat dilihat pada Tabel 2.19. berikut:

q_s (°)	p^+	k^+	q_s (°)	p^+	k^+	q_s (°)	p^+	k^+
0.5	0.0007272	0.4999987	14.0	0.0206655	0.4989901	27.5	0.0422830	0.4959406
1.0	0.0014546	0.4999949	14.5	0.0214263	0.4989155	28.0	0.0431365	0.4957834
1.5	0.0021820	0.4999886	15.0	0.0221896	0.4988381	28.5	0.0439946	0.4956227
2.0	0.0029098	0.4999797	15.5	0.0229553	0.4987580	29.0	0.0448572	0.4954585
2.5	0.0036378	0.4999683	16.0	0.0237236	0.4986750	29.5	0.0457245	0.4952908
3.0	0.0043663	0.4999543	16.5	0.0244945	0.4985892	30.0	0.0465966	0.4951196
3.5	0.0050953	0.4999377	17.0	0.0252681	0.4985005	30.5	0.0474735	0.4949448
4.0	0.0058249	0.4999187	17.5	0.0260445	0.4984090	31.0	0.0483550	0.4947665
4.5	0.0065551	0.4998970	18.0	0.0268238	0.4983146	31.5	0.0492422	0.4945845
5.0	0.0072860	0.4998728	18.5	0.0276060	0.4982172	32.0	0.0501340	0.4943988
5.5	0.0080178	0.4998461	19.0	0.0283913	0.4981170	32.5	0.0510310	0.4942094
6.0	0.0094843	0.4998167	19.5	0.0291797	0.4980137	33.0	0.0519333	0.4940163
6.5	0.0102191	0.4997848	20.0	0.0299713	0.4979075	33.5	0.0528408	0.4938194
7.0	0.0102191	0.4997503	20.5	0.0307662	0.4977983	34.0	0.0537536	0.4936187
7.5	0.0109550	0.4997132	21.0	0.0315644	0.4976861	34.5	0.0546719	0.4934141
8.0	0.0116922	0.4996735	21.5	0.0323661	0.4975708	35.0	0.0555957	0.4932057
8.5	0.0124307	0.4996312	22.0	0.0331713	0.4974525	35.5	0.0565250	0.4929933
9.0	0.0131706	0.4995862	22.5	0.0339801	0.4973311	36.0	0.0574601	0.4927769
9.5	0.0139121	0.4995387	23.0	0.0347926	0.4972065	36.5	0.0584008	0.4925566
10.0	0.0146551	0.4994884	23.5	0.0356088	0.4970788	37.0	0.0593473	0.4923322
10.5	0.0153997	0.4994356	24.0	0.0364288	0.4969479	37.5	0.0602997	0.4921037
11.0	0.0161461	0.4993800	24.5	0.0372528	0.4968139	38.0	0.0612581	0.4918711
11.5	0.0168943	0.4993218	25.0	0.0380807	0.4966766	38.5	0.0622224	0.4916343
12.0	0.0176444	0.4992609	25.5	0.0389128	0.4965360	39.0	0.0631929	0.4913933
12.5	0.0183965	0.4991973	26.0	0.0397489	0.4963922	39.5	0.0641694	0.4911480
13.0	0.0191507	0.4991310	26.5	0.0405893	0.4962450	40.0	0.0651522	0.4908985
13.5	0.0199070	0.4990619	27.0	0.0414340	0.4960945			

Gambar 2.26 Tabel p dan k untuk $L_s = 1$

- a) Lengkung khusus, yaitu berupa tikungan majemuk yang memiliki beberapa radius tikungan, yang dapat terdiri dari 3 (tiga) lengkung spiral atau lebih.
- b) Lengkung horizontal gabungan ada 2 macam tikungan gabungan, sebagai berikut :
 - Tikungan gabungan searah, yaitu gabungan dua atau lebih tikungan dengan putaran yang sama tetapi dengan jari – jari yang berbeda. Pada tikungan gabungan jenis ini tergantung perbandingan R_1 dan R_2 .

- Tikungan gabungan balik arah, yaitu gabungan dua tikungan dengan arah putaran yang berbeda. Setiap tikungan gabung balik arah harus dilengkapi dengan bagian lurus di antara kedua tikungan tersebut sepanjang paling tidak 30 meter.

C. Panjang Tikungan

Panjang tikungan (L_t) dapat terdiri dari panjang busur lingkaran (L_c) dan panjang 2 (dua) lengkung spiral (L_s) atau beberapa lengkung spiral yang diukur sepanjang sumbu jalan. Untuk menjamin kelancaran dan kemudahan mengemudikan kendaraan pada saat menikung, maka panjang suatu tikungan tidak kurang dari 6 detik perjalanan dengan V_R . Panjang ini dapat diperhitungkan berdasarkan V_R atau ditetapkan berdasarkan tabel di bawah ini :

Tabel 2.16 Panjang tikungan minimum

V_R (km/jam)	Panjang Tikungan Minimum
120	200
100	170
80	140
60	100

Catatan : a. Pada tikungan *full circle*, nilai $L_s = 0$, Sehingga $L_t = L_c$
 b. Pada tikungan *spiral – spiral*, nilai $L_c = 10$ sehingga $L_t = 2 L_s$

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

D. Superelevasi

- Superelevasi harus dibuat pada semua tikungan kecuali tikungan yang memiliki radius yang lebih besar dari R_{min} tanpa superelevasi. Besarnya superelevasi harus direncanakan sesuai dengan V_R .
- Superelevasi berlaku pada jalur lalu lintas dan bahu jalan.
- Nilai superelevasi berlaku pada jalur lalu lintas dan bahu jalan.
- Nilai superelevasi maksimum ditetapkan antara 4% - 10%
- Harus diperhatikan masalah drainase pada pencapaian kemiringan

Tabel 2.17 Superelevasi maksimum berdasarkan tata guna lahan dan iklim

Superelevasi	Kondisi yang Digunakan
120	Maksimum untuk jalan tol antar kota
100	Maksimum untuk jalan tol antar kota dengan curah hujan tinggi
80	Maksimum untuk jalan tol perkerasan
60	Maksimum untuk jalan tol perkotaan dengan kepadatan tinggi

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

E. Jari – Jari Tikungan

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

$$R = \frac{V_R^2}{127(e_{\max} + f_{\max})} \quad \text{Pers. 2.23.}$$

Keterangan : R_{\min} = Jari – jari Tikungan Minimum (m)

V_R = Kecepatan Rencana (km/ jam)

E_{\max} = Superelevasi Maksimum (%)

f_{\max} = Koefisien Gesek Maksimum,

Berdasarkan nilai superelevasi maksimum ditentukan menggunakan tabel di bawah ini :

Tabel 2.18 Superelevasi maksimum berdasarkan tata cara guna lahan & iklim

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 jalan tol perkerasan
4%	Maksimum untuk jalan tol perkotaan dengan kepadatan tinggi

Besaran nilai koefisien gesek maksimum, ditentukan menggunakan tabel di bawah:

Tabel 2.19 Koefisien gesek maksimum berdasarkan V_R

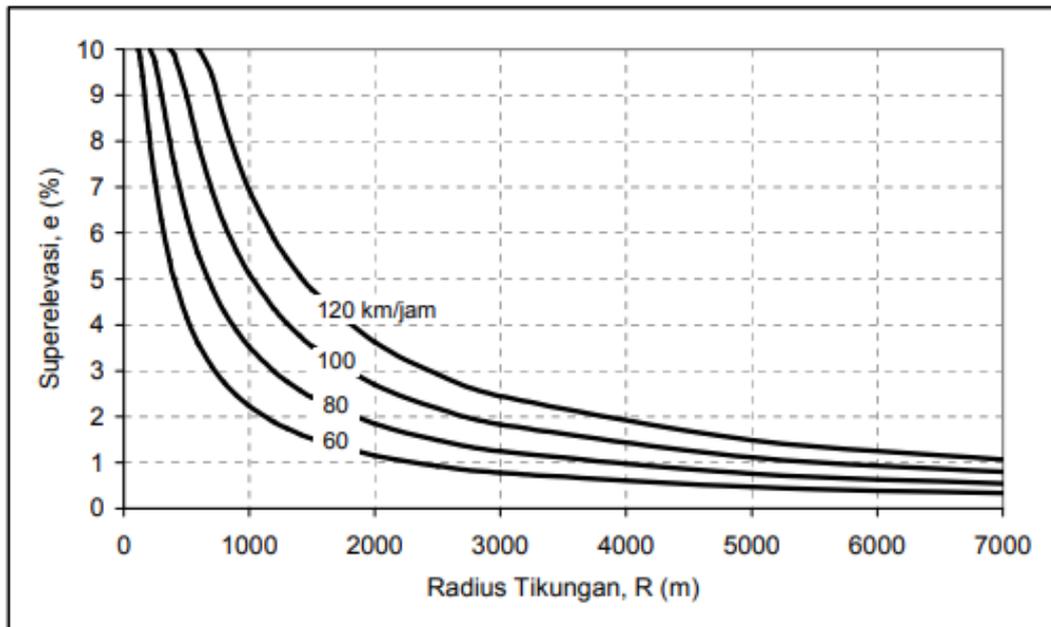
V_R (km/ jam)	Koefisien Gesek Maksimum (f_{max})
120	0,092
100	0,116
80	0,140
60	0,152

Hasil perhitungan R_{min} , ditampilkan pada tabel di bawah ini :

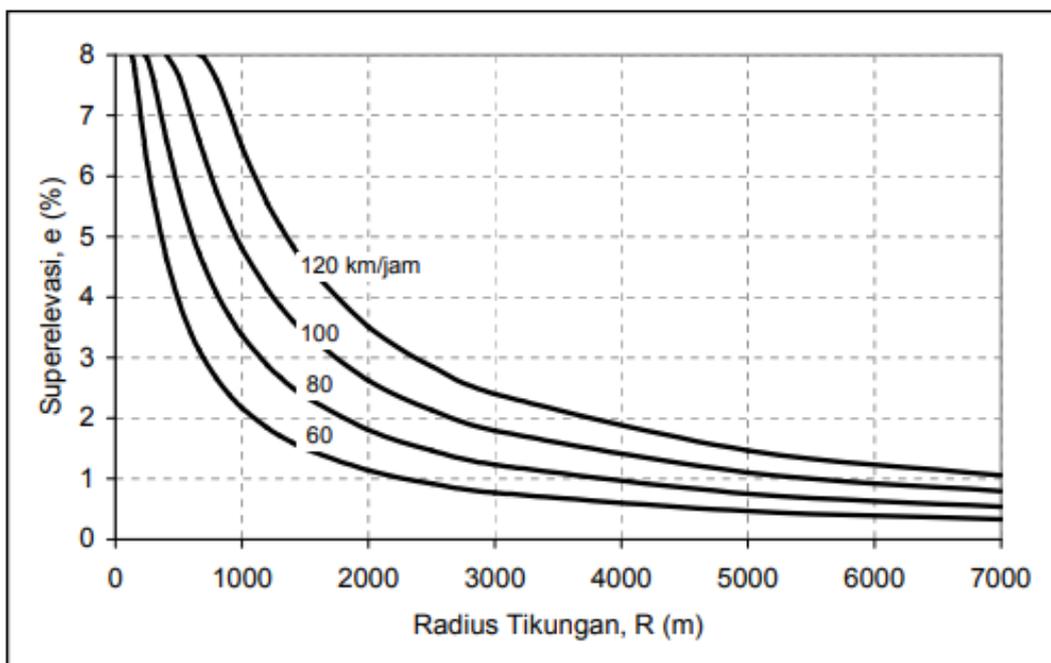
Tabel 2.20 Panjang jari – jari minimum

e_{max} (%)	V_R (km/jam)	f_{max}	$(e/100+f)$	R_{min} (m)	
				Perhitungan	Pembulatan
10.0	120	0,092	0,192	590,6	590
10.0	100	0,116	0,216	364,5	365
10.0	80	0,140	0,240	210,0	210
10.0	60	0,152	0,252	112,5m	110
8.0	120	0,092	0,172	659,2	660
8.0	100	0,116	0,196	401,7	400
8.0	80	0,140	0,220	229,1	230
8.0	60	0,152	0,232	122,2	120
6.0	120	0,092	0,152	746,0	745
6.0	100	0,116	0,176	447,4	445
6.0	80	0,140	0,200	252,0	250
6.0	60	0,152	0,212	133,7	135
4.0	120	0,092	0,132	859,0	860
4.0	100	0,116	0,156	504,7	505
4.0	80	0,140	0,180	280,0	280
4.0	60	0,152	0,192	147,6	150

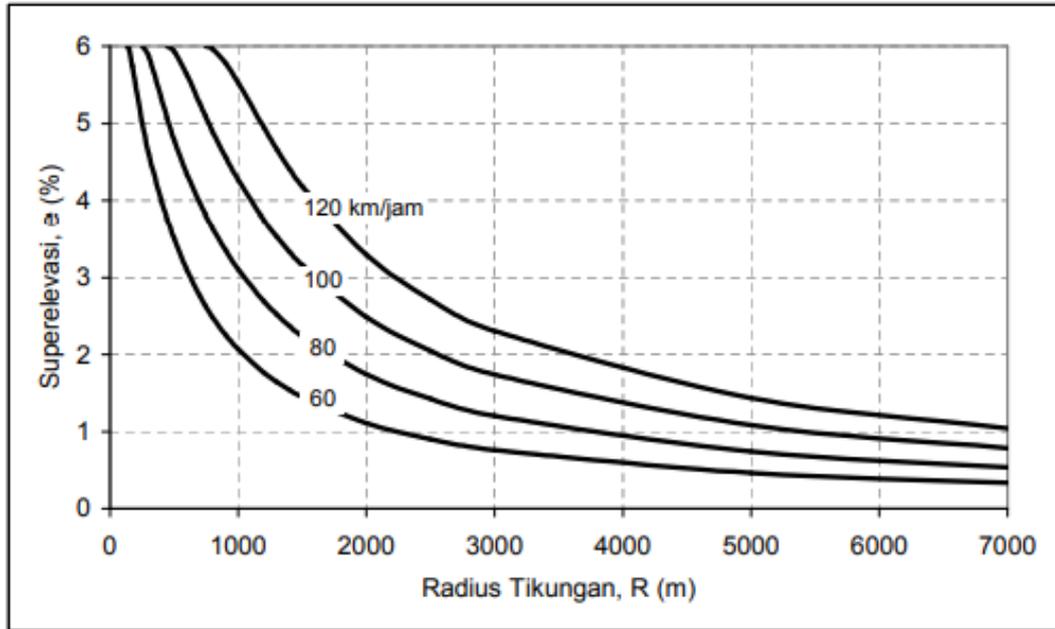
Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)



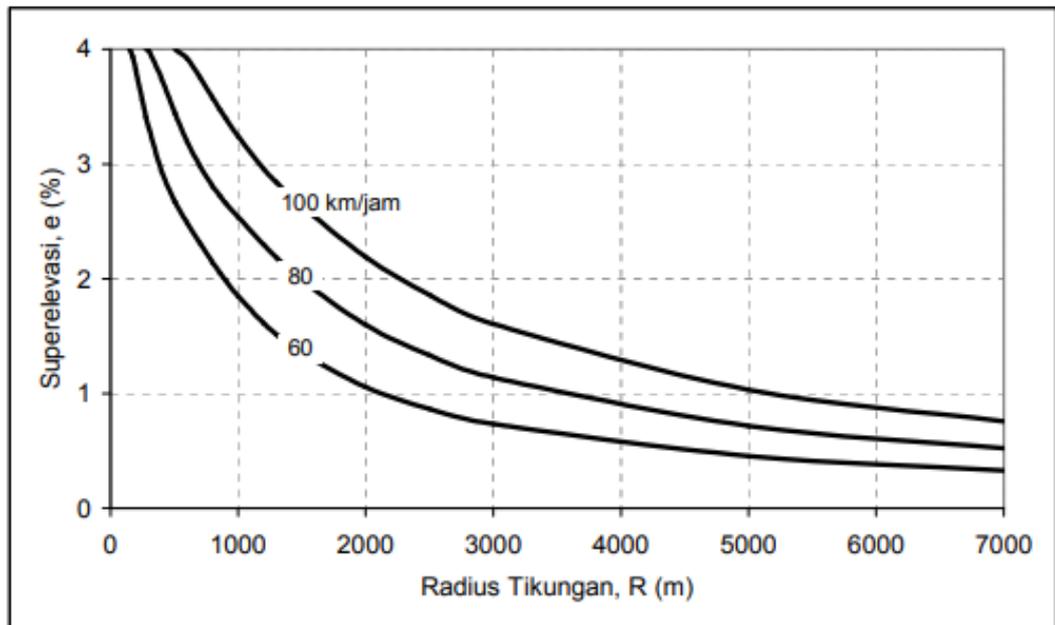
Gambar 2.27 Distribusi besaran superelevasi untuk superelevasi maks. 10%



Gambar 2.28 Distribusi besaran superelevasi untuk superelevasi maks. 8%



Gambar 2.29 Distribusi Besaran Superelevasi untuk Superelevasi maks. 6%



Gambar 2.30 Distribusi Besaran Superelevasi untuk Superelevasi maks. 4%

Pemilihan R_{\min} atau tikungan dengan e_{\max} untuk suatu tikungan adalah tidak memberikan kenyamanan pada pengguna jalan. Disamping itu, kecepatan kendaraan yang menikung bervariasi, dengan demikian, penggunaan R_{\min} hanya untuk kondisi medan jalan yang sulit dan hanya di daerah perkotaan, maka diharuskan menggunakan R yang lebih besar daripada R_{\min} .

F. Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan (L_s) berfungsi untuk memberikan kesempatan kepada pengemudi untuk mengantisipasi perubahan alinyemen jalan dari bentuk lurus (R tak terhingga) sampai bagian lengkung jalan dengan jari – jari R tetap, dengan demikian, gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan saat melintasi tikungan berubah secara berangsur – angsur, baik ketika kendaraan mendekati tikungan maupun meninggalkan tikungan. Ketentuan lengkung peralihan adalah sebagai berikut :

- 1) Bentuk lengkung peralihan yang digunakan adalah bentuk spiral (*clothoide*)
- 2) Panjang lengkung peralihan ditetapkan atas pertimbangan – pertimbangan sebagai berikut :
 - Waktu perjalanan melintasi lengkung peralihan.
 - Tingkat perubahan kelandaian melintang jalan.
 - Gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan.
 - Tingkat perubahan kelandaian relative
- 3) L_s ditentukan yang memenuhi ke empat kriteria tersebut di atas, sehingga dipilih nilai L_s yang terpanjang.

- a) Waktu perjalanan melintasi lengkung peralihan

Waktu perjalanan melintasi lengkung peralihan harus dibatasi untuk menghindarkan kesan perubahan alinyemen yang mendadak. Kriteria ini dihitung dengan rumus :

$$L = \frac{V_R}{36} T \quad \text{Persamaan 2.23}$$

Dimana :

V_R = Kecepatan rencana (km/jam)

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

Atau digunakan tabel dibawah ini

Tabel 2.21 L_s min berdasarkan waktu perjalanan

Vr (km/ jam)	Ls min (m)
120	67
100	56
80	45
60	34

b) Tingkat perubahan kelandaian melintang jalan

Tingkat perubahan kelandaian melintang jalan (re) dari bentuk kelandaian normal ke kelandaian superelevasi penuh tidak boleh melampaui re -max yang ditetapkan sebagai berikut :

1. Untuk $V_R \leq 70$ km/ jam, re -max = 0,035 m/m/detik,
2. Untuk $V_R \geq 80$ km/ jam, re -max = 0,025 m/m/detik.

Kriteria ini dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$L = \frac{\left(\frac{e_m - e_n}{1}\right) V_R}{36r}$$

Persamaan 2.24

Dimana :

e_m = Superelevasi maksimum (%)

e_n = Superelevasi normal (%)

V_R = Kecepatan rencana (km/jam)

re = Tingkat perubahan kelandaian melintang jalan (m/m/det)
atau digunakan tabel dibawah ini.

Tabel 2.22 L_s min berdasarkan tingkat perubahan kelandaian melintang jalan

e_m (%)	L_s min (m)			
	$V_R = 120$ km/jam	$V_R = 100$ km/jam	$V_R = 80$ km/jam	$V_R = 60$ km/jam
10.0	107	89	71	38
9.5	100	83	67	36
9.0	93	78	62	33
8.5	87	72	58	31
8.0	80	67	53	29
7.5	73	61	49	26
7.0	67	56	44	24
6.5	60	50	40	21
6.0	53	44	36	19
5.5	47	39	31	17
5.0	40	33	27	14
4.5	33	28	22	12
4.0	27	22	18	10
3.5	20	17	13	7
3.0	13	11	9	5
2.5	7	6	4	2
2.0	0	0	0	0

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen

Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

c) Gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan

Gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan dapat diantisipasi berangsur – angsur pada lengkung peralihan dengan aman. Gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{G \times V^2}{G \times R} \quad \text{Persamaan 2.25}$$

Dimana :

G = Berat kendaraan

V = Kecepatan kendaraan

R = Jari – jari lengkung lintasan

Sedangkan untuk panjang lengkung peralihan yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$L = \frac{0,0214V^3}{RC} \quad \text{Persamaan 2.26}$$

Dimana :

V_R = Kecepatan rencana (km/ jam)

R = Radius tikungan (m)

C = Perubahan maksimum percepatan arah radial (m/det³), digunakan 1,2 m/det³

Percepatan arah radial (m/det³), digunakan 1,2 m/det³ atau digunakan tabel di bawah ini :

Tabel 2.23 L_s min berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal

R (m)	L_s min (m)			
	$V_R = 120$ km/jam	$V_R = 100$ km/jam	$V_R = 80$ km/jam	$V_R = 60$ km/jam
2500	12	7		
2000	15	9	5	
1500	21	12	6	3
1400	22	13	7	3
1300	24	14	7	3
1200	26	15	8	3
1000	31	18	9	4
900	34	20	10	4
800	39	22	11	5
700	44	26	13	6
600	51	30	15	6
500		36	18	8

400		45	23	10
300			30	13
250			37	15
200				19
175				22
150				26
140				28
130				30
120				32
110				35

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

Tingkat Perubahan Kelandaian Relatif (Δ) dari bentuk kemiringan normal ke bentuk kemiringan superelevasi penuh tidak boleh melampaui Δ maksimum yang ditetapkan seperti pada Tabel 2.24.

Tabel 2.24 Tingkat perubahan kelandaian melintang maksimum

V_R (km/jam)	Δ (m/m)
120	1/263
100	1/227
90	1/200
60	1/167

Panjang pencapaian perubahan kelandaian dari kemiringan normal sampai ke kemiringan superelevasi penuh (L_s) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$L_s = \frac{(wn_1)e_d}{\Delta}(b_w) \quad \text{Persamaan 2.27}$$

Dimana :

w = Lebar satu lajur lalu lintas (m)

e_d = Superelevasi rencana (%)

n_1 = Jumlah lajur yang diputar

Δ = Tingkat perubahan kelandaian relative (m/m)

b_w = Faktor penyesuaian untuk jumlah lajur yang diputar

Tabel 2.25 Jumlah lajur yang diputar dan faktor penyesuaian untuk jumlah lajur

n_1	1	5	2
b_w	1,00	0,83	0,75

Tikungan yang memiliki R dengan nilai $e - LN$ tidak memerlukan lengkung peralihan dan tikungan yang memiliki R dengan nilai $e = RC$ tidak memerlukan superelevasi.

$(e_{max} = 10\%)$

R (m)	$V_R = 120$ km/jam			$V_R = 100$ km/jam			$V_R = 80$ km/jam			$V_R = 60$ km/jam								
	e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)							
		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur						
7000	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0						
5000	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0						
3000	2,5	23	35	RC	16	25	LN	0	0	LN	0	0						
2500	2,9	28	42	2,2	18	27	LN	0	0	LN	0	0						
2000	3,6	34	52	2,7	22	33	RC	14	22	LN	0	0						
1500	4,8	45	68	3,5	29	43	2,4	17	26	LN	0	0						
1400	5,1	48	72	3,8	31	46	2,6	19	28	RC	12	18						
1300	5,4	52	77	4,0	33	49	2,8	20	30	RC	12	18						
1200	5,9	56	83	4,3	35	53	3,0	21	32	RC	12	18						
1000	6,9	66	99	5,1	42	63	3,5	25	38	2,2	13	20						
900	7,6	72	108	5,6	46	69	3,9	28	42	2,5	15	22						
800	8,5	80	120	6,2	51	76	4,3	31	46	2,7	16	25						
700	9,4	89	134	6,9	57	85	4,8	35	52	3,1	19	28						
600	10,0	95	142	7,9	64	97	5,5	40	59	3,6	21	32						
500	$R_{min} = 590$			9,0	73	110	6,4	46	69	4,2	25	37						
400				9,9	81	121	7,5	54	81	5,0	30	45						
300				$R_{min} = 365$			9,0	65	97	6,3	38	56						
250							9,7	70	105	7,1	43	64						
200							$R_{min} = 210$			8,2	49	74						
175										8,8	53	79						
150													9,4	56	85			
140																9,6	58	87
130																		
120																10,0	60	90
110													10,0	60	90			
				$R_{min} = 110$														

e_{max}	: superelevasi maksimum 10%
R	: Jari-jari lengkung
V_R	: Asumsi kecepatan rencana
e	: Tingkat superelevasi
Ls	: Panjang minimum pencapaian superelevasi run off (tidak termasuk panjang pencapaian superelevasi run out)
LN	: Lereng Normal
RC	: Lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat kemiringan melintang sebesar lereng normal

Gambar 2.31 Hubungan parameter perencanaan lengkung horizontal dengan V_R

($e_{max} = 8\%$)

R (m)	$V_R = 120$ km/jam			$V_R = 100$ km/jam			$V_R = 80$ km/jam			$V_R = 60$ km/jam		
	e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)	
		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur
7000	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0
5000	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0
3000	2,4	23	34	RC	16	25	LN	0	0	LN	0	0
2500	2,9	27	41	2,1	17	26	LN	0	0	LN	0	0
2000	3,5	33	50	2,6	21	32	RC	14	22	LN	0	0
1500	4,6	43	65	3,4	28	42	2,4	17	25	LN	0	0
1400	4,8	46	69	3,6	30	44	2,5	18	27	RC	12	18
1300	5,2	49	74	3,9	32	47	2,7	19	29	RC	12	18
1200	5,6	53	79	4,1	34	51	2,9	21	31	RC	12	18
1000	6,5	61	92	4,8	39	59	3,4	24	36	2,2	13	20
900	7,1	67	100	5,2	43	64	3,7	27	40	2,4	14	21
800	7,6	72	108	5,7	47	70	4,1	29	44	2,7	16	24
700	8,0	75	113	6,3	52	78	4,5	33	49	3,0	18	27
600	$R_{min} = 660$			7,0	57	86	5,1	37	55	3,4	20	31
500				7,6	63	94	5,8	41	62	3,9	24	35
400				8,0	65	98	6,6	48	71	4,6	28	42
300				$R_{min} = 400$			7,6	55	82	5,6	34	51
250							7,9	57	86	6,2	37	56
200							$R_{min} = 230$			7,0	42	63
175							7,4	44	66			
150							7,8	47	70			
140							7,9	47	71			
130							8,0	48	72			
120				8,0	48	72						
	$R_{min} = 120$											

e_{max} : superelevasi maksimum 8%
R : Jari-jari lengkung
 V_R : Asumsi kecepatan rencana
e : Tingkat superelevasi
Ls : Panjang minimum pencapaian superelevasi run off
(tidak termasuk panjang pencapaian superelevasi run out)
LN : Lereng Normal
RC : Lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat kemiringan melintang sebesar lereng normal

Gambar 2.32 Hubungan parameter perencanaan lengkung horizontal dengan V_R

($e_{max} = 6\%$)

R (m)	$V_R = 120$ km/jam			$V_R = 100$ km/jam			$V_R = 80$ km/jam			$V_R = 60$ km/jam		
	e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)	
		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur
7000	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0
5000	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0
3000	2,3	22	33	RC	16	25	LN	0	0	LN	0	0
2500	2,7	26	39	2,0	17	25	LN	0	0	LN	0	0
2000	3,3	31	47	2,5	20	31	RC	14	22	LN	0	0
1500	4,2	40	59	3,2	26	39	2,2	16	24	LN	0	0
1400	4,4	42	63	3,3	27	41	2,4	17	26	LN	0	0
1300	4,7	44	66	3,5	29	43	2,5	18	27	RC	12	18
1200	4,9	47	70	3,8	31	46	2,7	19	29	RC	12	18
1000	5,5	52	79	4,3	35	52	3,1	22	34	2,1	12	19
900	5,8	55	82	4,6	37	56	3,4	24	36	2,3	14	20
800	6,0	57	85	4,9	40	60	3,6	26	39	2,5	15	22
700	$R_{min} = 745$			5,3	43	65	4,0	29	43	2,8	17	25
600				5,6	46	69	4,3	31	47	3,1	19	28
500				5,9	49	73	4,8	34	52	3,5	21	32
400				$R_{min} = 445$			5,3	38	58	4,0	24	36
300							5,9	42	63	4,6	28	41
250							6,0	43	65	5,0	30	45
200							$R_{min} = 250$			5,5	33	50
175										5,7	34	52
150				5,9	36	54						
140				6,0	36	54						
				$R_{min} = 135$								

e_{max}	: superelevasi maksimum 6%
R	: Jari-jari lengkung
V_R	: Asumsi kecepatan rencana
e	: Tingkat superelevasi
Ls	: Panjang minimum pencapaian superelevasi run off (tidak termasuk panjang pencapaian superelevasi run out)
LN	: Lereng Normal
RC	: Lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat kemiringan melintang sebesar lereng normal

Gambar 2.33 Hubungan parameter perencanaan lengkung horizontal dengan V_R

($e_{\max} = 4\%$)

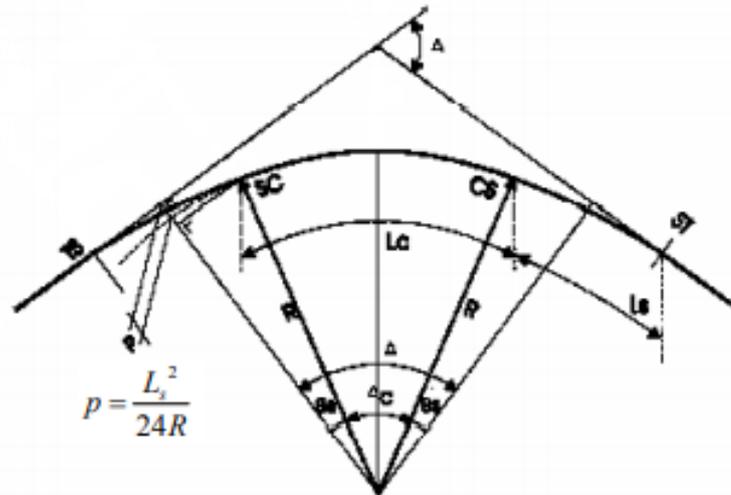
R (m)	$V_R = 100$ km/jam			$V_R = 80$ km/jam			$V_R = 60$ km/jam		
	e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)	
		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur		2 Lajur	4 Lajur
7000	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0
5000	LN	0	0	LN	0	0	LN	0	0
3000	RC	16	25	LN	0	0	LN	0	0
2500	1,9	16	25	LN	0	0	LN	0	0
2000	2,2	18	27	RC	14	22	LN	0	0
1500	2,6	22	32	RC	14	22	LN	0	0
1400	2,7	22	34	2,1	15	22	LN	0	0
1300	2,8	23	35	2,2	16	24	LN	0	0
1200	3,0	24	36	2,3	17	25	RC	12	18
1000	3,2	27	40	2,5	18	27	RC	12	18
900	3,4	28	42	2,7	19	29	RC	12	18
800	3,6	29	44	2,8	20	30	2,1	13	19
700	3,8	31	46	3,0	21	32	2,3	14	21
600	3,9	32	48	3,2	23	35	2,5	15	22
500	$R_{\min} = 505$			3,5	25	37	2,7	16	24
400				3,7	27	40	2,9	18	26
300				4,0	29	43	3,3	20	30
250				$R_{\min} = 280$			3,6	21	32
200							3,8	23	34
175	3,9	24	35						
150	4,0	24	36						
	$R_{\min} = 150$								

e_{\max} : superelevasi maksimum 4%
R : Jari-jari lengkung
 V_R : Asumsi kecepatan rencana
e : Tingkat superelevasi
Ls : Panjang minimum pencapaian superelevasi run off
(tidak termasuk panjang pencapaian superelevasi run out)
LN : Lereng Normal
RC : Lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat kemiringan melintang sebesar lereng normal

Gambar 2.34 Hubungan parameter perencanaan lengkung horizontal dengan V_R

d) Persyaratan Ls min dan Ls max

Jika lengkung peralihan digunakan, maka posisi lintasan tikungan bergeser dari bagian jalan yang lurus ke arah sebelah dalam sejauh p.



Gambar 2.35 Pergeseran lintasan tikungan menggunakan lengkung peralihan
 Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

$$P = \frac{L_s^2}{24R} \quad \text{Persamaan 2.28}$$

Apabila nilai p kurang dari 0,20 m, maka lengkung peralihan tidak diperlukan. Sehingga tipe tikungan menjadi *full circle*.

$$L_{smin} = \sqrt{24(p_{min})R} \quad \text{Persamaan 2.29}$$

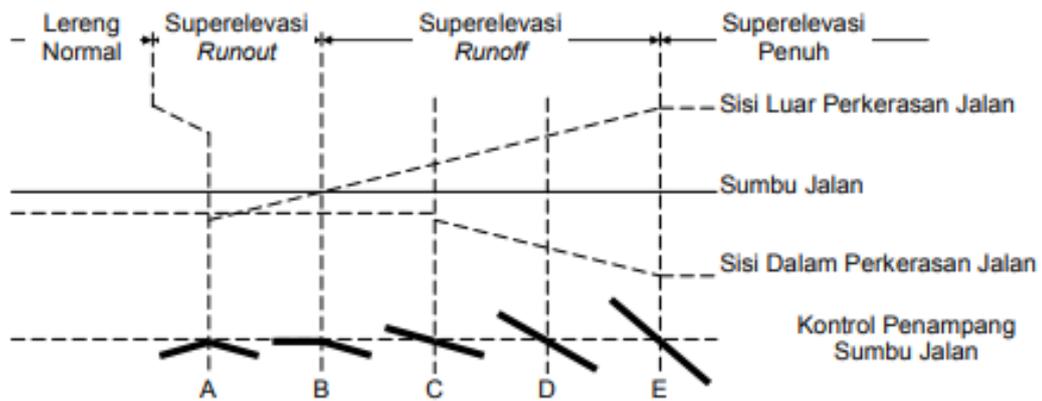
Lengkung peralihan juga dibatasi oleh besarnya nilai p yang dibolehkan jika menggunakan lengkung peralihan yaitu 1,0 m. Sehingga persamaan untuk panjang lengkung peralihan maksimumnya dibolehkan adalah sebagai berikut :

$$L_{smax} = \sqrt{24(p_{max})R} \quad \text{Persamaan 2.30}$$

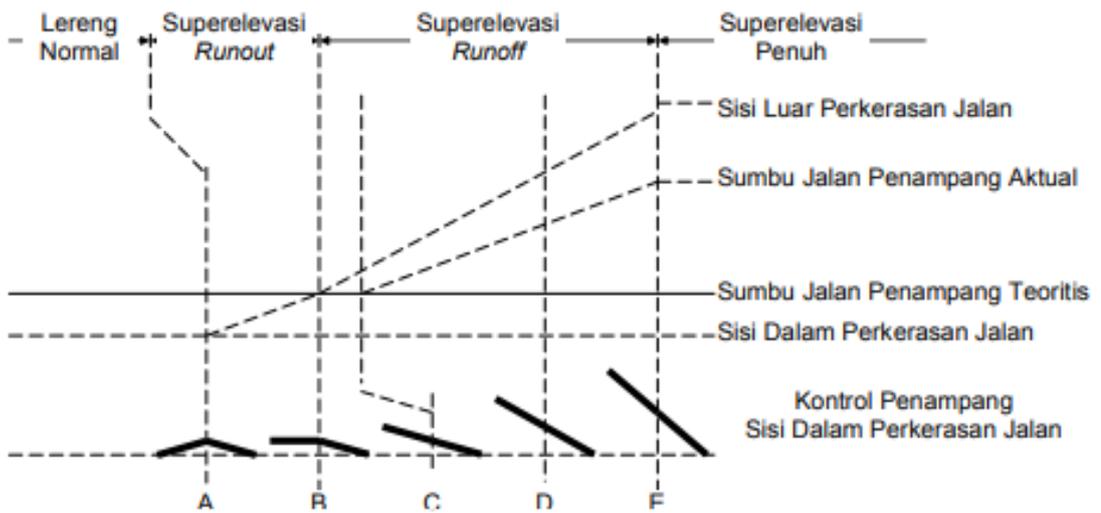
Tabel 2.26 Ls min dan Ls max berdasarkan pergeseran lintasan (p)

R (m)	Ls min (m)	Ls max (m)	R (m)	Ls min (m)	Ls max (m)	R (m)	Ls min (m)	Ls max (m)
5000	155	346	1000	69	155	250	35	77
3000	120	268	900	66	147	200	31	69
2500	110	245	800	62	139	175	29	65
2000	98	219	700	58	130	150	27	60
1500	85	190	600	54	120	140	26	58
1400	82	183	500	49	110	130	25	56
1300	79	177	400	44	98	120	24	54
1200	76	170	300	38	85	110	23	51

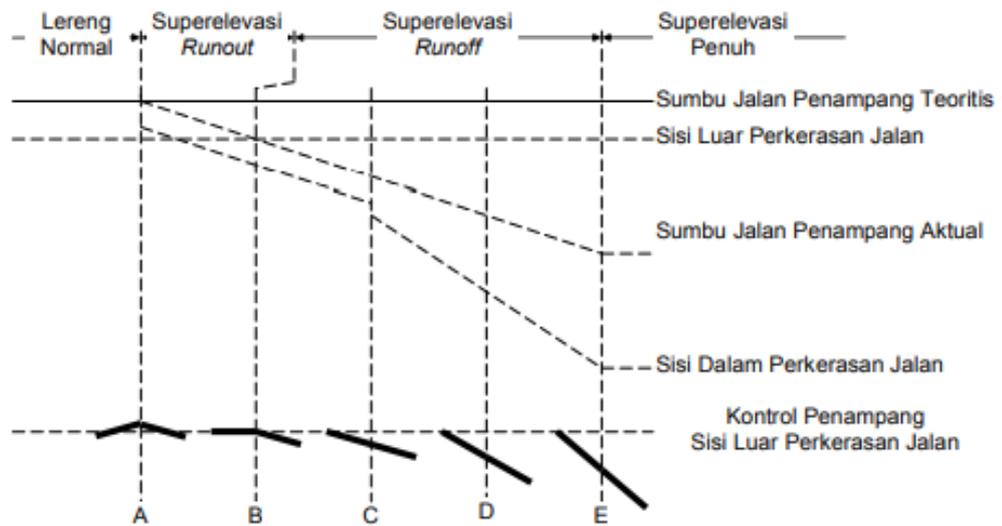
Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)



Gambar 2.36 Diagram superelevasi dengan sumbu putar sumbu jalan



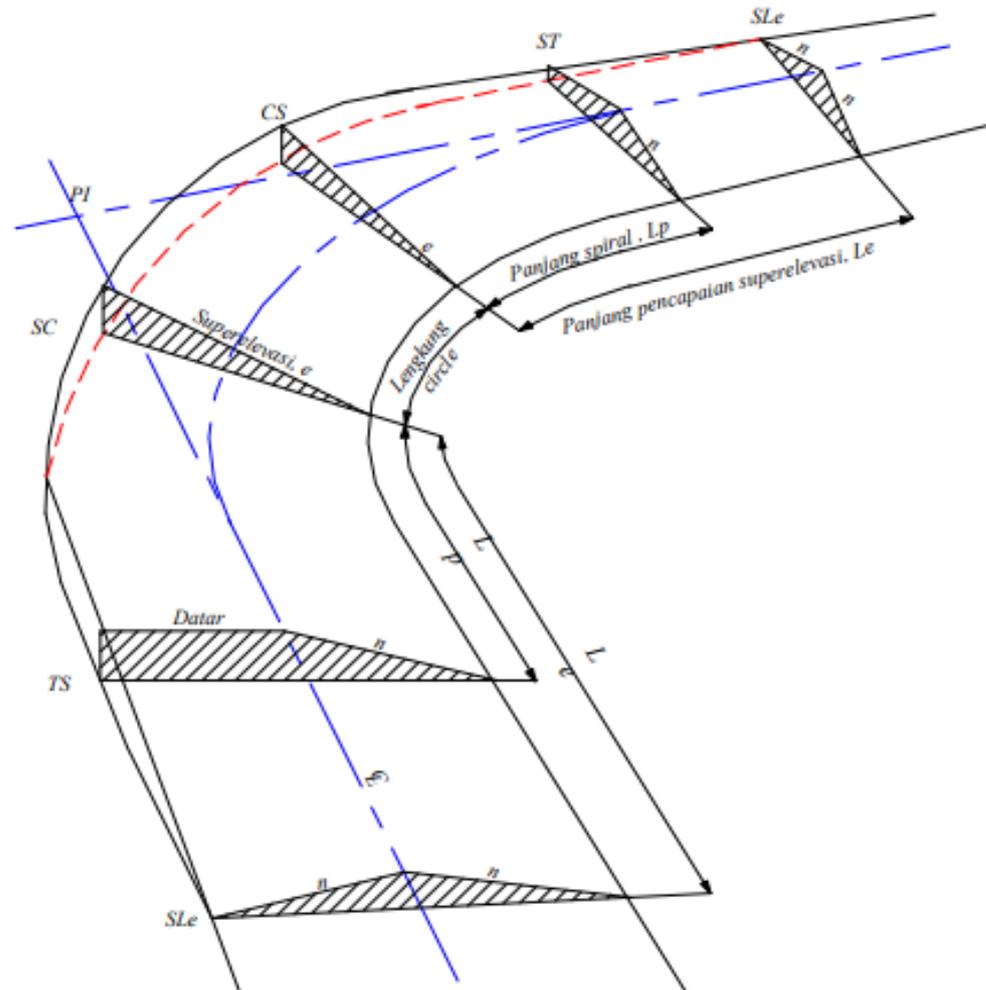
Gambar 2.37 Diagram superelevasi dengan sumbu putar sisi dalam perkerasan jalan



Gambar 2.38 Diagram superelevasi dengan sumbu putar sisi luar perkerasan jalan

G. Diagram Superelevasi

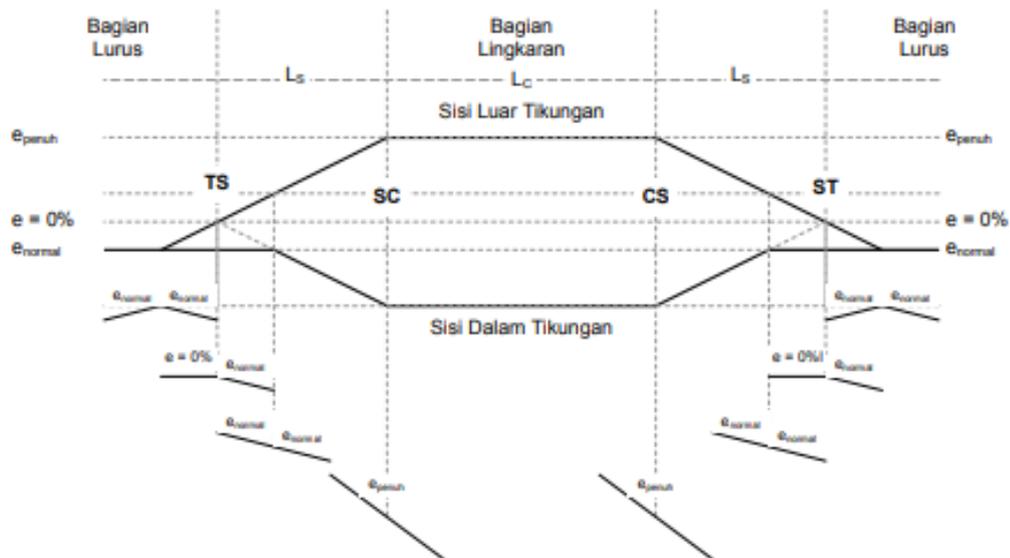
Superelevasi dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus sampai ke superelevasi penuh pada bagian lengkung, seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.39 Metode pencapaian superelevasi pada tikungan

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No.007/BM/2009)

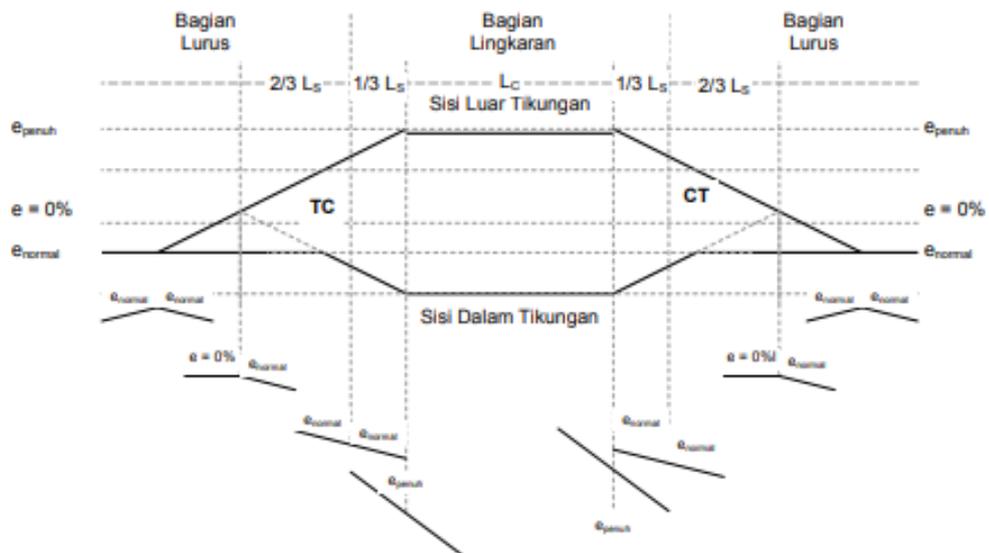
Pada tikungan tipe SCS, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear, diawali dari bentuk normal sampai awal lengkung peralihan pada titik TS, kemudian meningkat secara bertahap sampai mencapai superelevasi penuh pada titik SC, seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.40 Pencapaian superelevasi pada tikungan tipe SCS

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No.007/BM/2009)

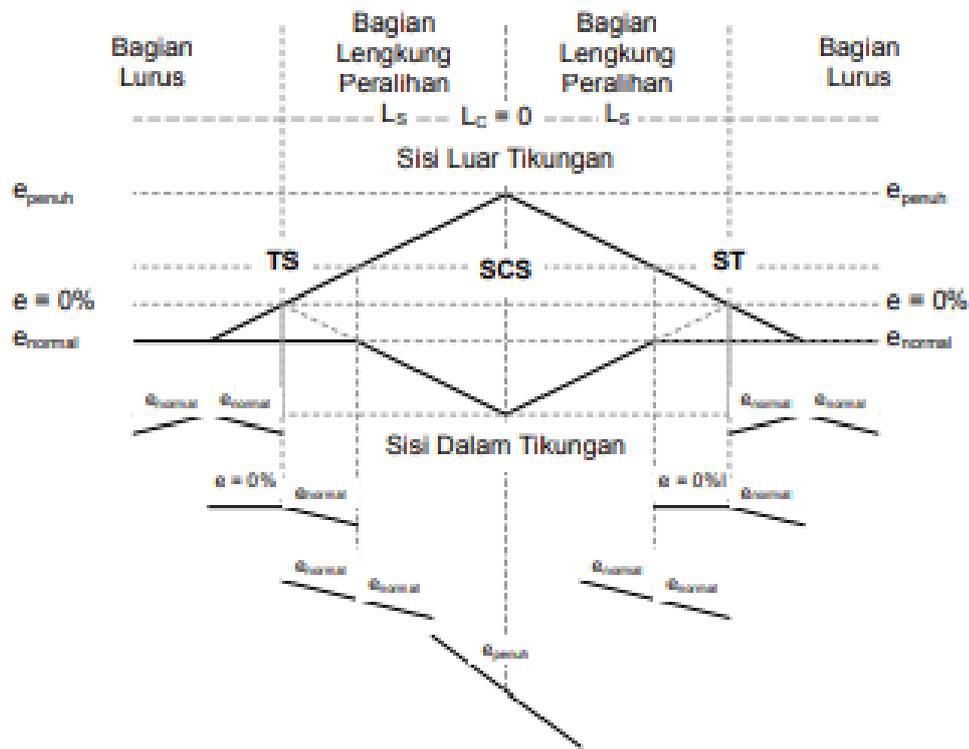
Pada tikungan tipe FC, bila diperlukan pencapaian superelevasi dilakukan secara linear, diawali dari bagian lurus sepanjang $\frac{2}{3} L_s$ dan dilanjutkan pada bagian lingkaran penuh sepanjang $\frac{1}{3}$ bagian panjang L_s , seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.41 Pencapaian superelevasi pada tikungan tipe FC

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No.007/BM/2009)

Pada tikungan tipe SS, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral, seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.42 Pencapaian Superelevasi pada Tikungan Tipe SS

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

H. Pelebaran Jalur Lalu Lintas di Tikungan

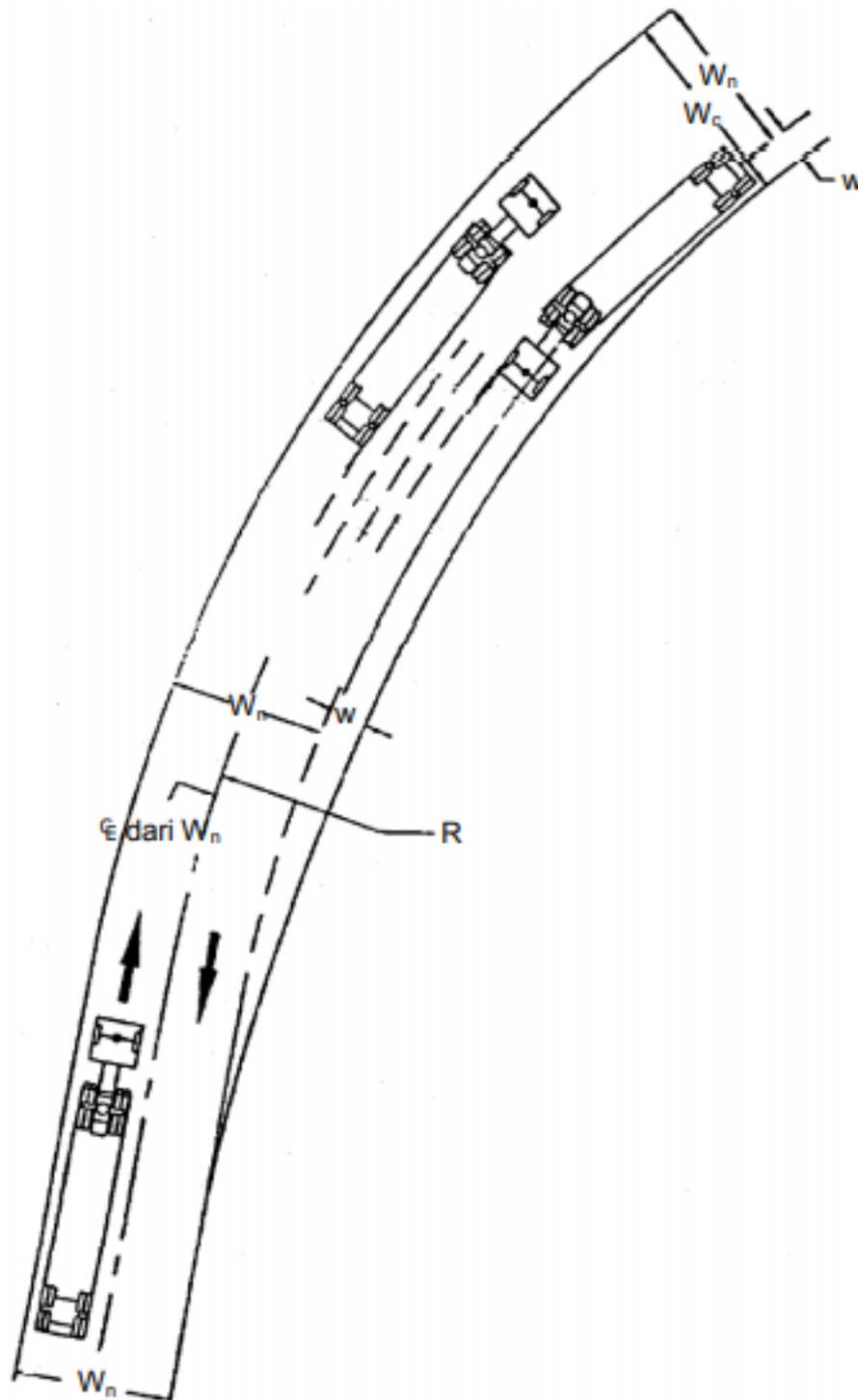
Pelebaran pada tikungan dimaksudkan untuk mempertahankan kondisi pelayanan operasional lalu lintas di bagian tikungan, sehingga sama dengan pelayanan operasional di bagian jalan yang lurus.

Pada jalan bebas hambatan untuk jalan tol, dimana perencanaan tikungan sedapat mungkin menggunakan jari-jari tikungan yang besar, pelebaran jalur lalu lintas tidaklah signifikan. Akan tetapi pada perencanaan ramp yang berbentuk loop, pelebaran jalur lalu lintas di tikungan harus diperhatikan, sesuai dengan rumus :

$$W = W_c - W_n \quad \text{Persamaan 2.31}$$

Keterangan :

- W = Pelebaran jalan pada tikungan (m)
- W_c = Lebar jalan pada tikungan (m)
- W_n = Lebar jalan pada jalan lurus (m)



Gambar 2.43 Pelebaran pada tikungan untuk kendaraan semi trailer

Kendaraan rencana yang akan digunakan dalam perencanaan pelebaran jalan di tikungan adalah Kendaraan goongan V truk semi trailer kombinasi besar dengan 5 sumbu. Pelebaran jalur lalu lintas di tikungan berdasarkan kecepatan rencana dan radius tikungan ditetapkan seperti pada Tabel 2.35. sebagai berikut.

Gambar 2.44 Pelebaran jalur lalu lintas di tikungan

R (m)	$V_R = 120$ km/jam		$V_R = 100$ km/jam		$V_R = 80$ km/jam		$V_R = 60$ km/jam	
	Wc (m)	Pelebaran, W (m)	Wc (m)	Pelebaran, W (m)	Wc (m)	Pelebaran, W (m)	Wc (m)	Pelebaran, W (m)
3000	7,24	0,04	7,21	0,01	7,17	0,00	7,13	0,00
2500	7,27	0,07	7,23	0,03	7,19	0,00	7,15	0,00
2000	7,31	0,11	7,27	0,07	7,22	0,02	7,18	0,00
1500	7,38	0,18	7,33	0,13	7,27	0,07	7,22	0,02
1000	7,49	0,29	7,43	0,23	7,37	0,17	7,30	0,10
900	7,53	0,33	7,46	0,26	7,39	0,19	7,33	0,13
800	7,57	0,37	7,50	0,30	7,43	0,23	7,36	0,16
700	7,62	0,42	7,55	0,35	7,47	0,27	7,40	0,20
600	7,69	0,49	7,61	0,41	7,53	0,33	7,45	0,25
500	$R_{min} = 590$ m		7,69	0,49	7,60	0,40	7,51	0,31
400			7,81	0,61	7,71	0,51	7,61	0,41
300			$R_{min} = 365$ m		7,88	0,68	7,77	0,57
250					8,02	0,82	7,89	0,69
200					$R_{min} = 210$ m		8,07	0,87
150							8,35	1,15
140							8,43	1,23
130							8,52	1,32
120							8,63	1,43
110							8,76	1,56
100							$R_{min} = 110$ m	

Pelebaran yang nilainya lebih kecil dari 0,60 m dapat diabaikan. Untuk jalan 6/2 D, nilai pelebaran dikali 1,5, sedangkan untuk jalan 8/2 D nilai pelebaran dikali 2,0.

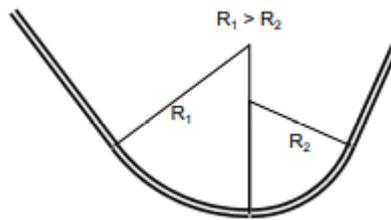
I. Standar bentuk tikungan berurutan

Ada dua macam standar bentuk tikungan berurutan :

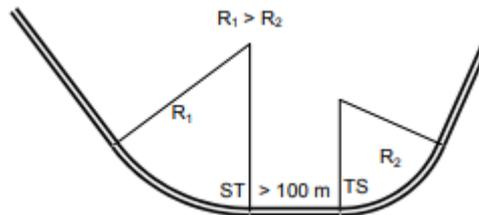
- 1) Tikungan berurutan searah, yaitu dua atau lebih tikungan dengan arah belokan yang sama tetapi dengan jari – jari yang berbeda.
- 2) Tikungan berurutan balik arah, yaitu dua atau lebih tikungan dengan arah belokan yang berbeda.

Penggunaan tikungan berurutan harus dipertimbangkan berdasarkan perbandingan R_1 dan R_2 , dimana dapat ditetapkan bahwa R_1 adalah jari-jari tikungan yang lebih besar. Ketentuan untuk tikungan berurutan adalah sebagai berikut :

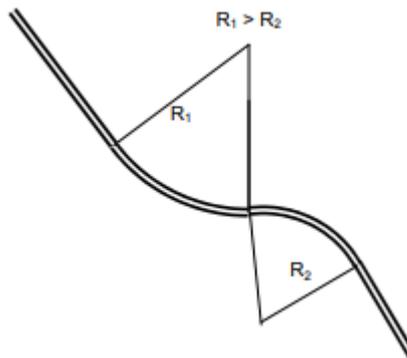
- 1) Setiap tikungan berurutan harus disisipi bagian lurus yang memiliki kemiringan normal dengan ketentuan sebagai berikut :
 - a) Pada tikungan berurutan searah, panjang lurus paling tidak 30 m.
 - b) Pada tikungan berurutan balik arah bagian lurus paling tidak 30 m.
- 2) Jika $R_2/R_1 > 2/3$, maka tikungan berurutan searah harus dihindarkan;
- 3) Jika $R_2/R_1 < 2/3$, maka tikungan berurutan balik arah harus disisipi bagian lurus atau bagian spiral/ clothoide.



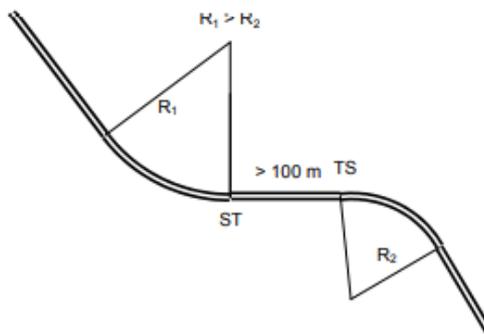
Gambar 2.45 Tikungan berurutan searah yang harus dihindarkan



Gambar 2.46 Tikungan berurutan searah yang harus dihindarkan



Gambar 2.47 Tikungan berurutan balik arah yang harus dihindarkan



Gambar 2.48 Tikungan berurutan balik arah, sisipan bagian lurus minimum

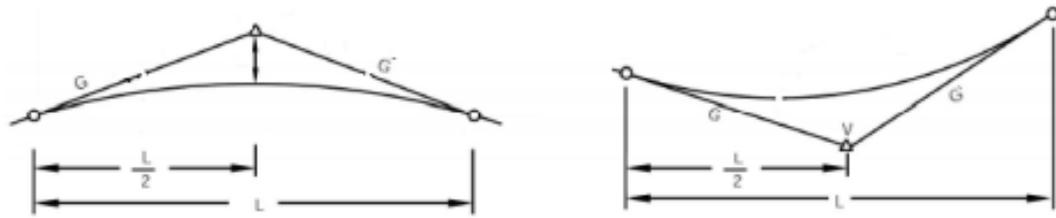
2.2.1.9 Alinyemen Vertikal

A. Bagian – bagian alinyemen vertikal

Alinyemen Vertikal adalah proyeksi garis sumbu jalan pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan yang terdiri atas bagian lurus dan bagian lengkung.

- Bagian lurus dapat berupa landai positif (tanjakan), atau landai negatif (turunan), atau landai nol (datar).

- b) Bagian lengkung vertikal dapat berupa lengkung cekung atau lengkung cembung.



Gambar 2.49 Lengkung Vertikal Cekung dan Lengkung Vertikal Cembung

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

Bila pelaksanaan konstruksi dilakukan secara bertahap selama masa konsesi jalan tol, maka harus dipertimbangkan, misalnya peningkatan perkerasan, penambahan lajur, dan dengan pelaksanaan pembiayaan yang efisien, dan dianjurkan, perubahan alinyemen vertikal di masa yang akan datang seharusnya dihindarkan.

B. Kelandaian minimum

Kelandaian minimum harus diberikan apabila kondisi jalan tidak memungkinkan melakukan drainase ke sisi jalan. Besarnya kelandaian minimum ditetapkan 0,50% memanjang jalan untuk kepentingan pematusan aliran air.

C. Kelandaian maksimum

Pembatasan kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti. Kelandaian maksimum jalan untuk alinyemen vertikal harus memenuhi jalan untuk alinyemen vertikal harus memenuhi tabel di bawah ini :

Tabel 2.27 Kelandaian maksimum

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

D. Panjang landai kritis

Panjang landai kritis yaitu panjang landai maksimum dimana kendaraan dapat mempertahankan kecepatannya sedemikian rupa, yang ditetapkan atas dasar besarnya landai (tanjakan) dan penurunan kecepatan kendaraan berat sebesar 15 km/ jam. Panjang kritis ditetapkan dari tabel dibawah ini.

Tabel 2.28 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	500

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

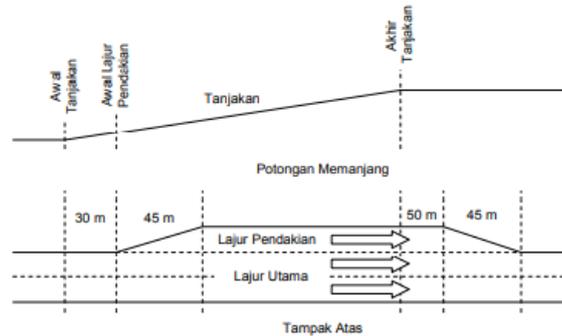
- Jika operating speed turun hingga 2 kali *Level of service*, maka pakai bordes.
- Jika operating speed berbeda (turun) 15 km/jam dari kecepatan desain maka menggunakan *climbing line*, atau dengan menggunakan multi grade.
- Jika kecepatan turun lebih rendah dari 15 km/jam dari kecepatan arus maka kecepatan arus di asumsikan sama dengan kecepatan desain.

E. Lajur Pendakian

Lajur pendakian dimaksudkan untuk menampung truk-truk yang bermuatan berat atau kendaraan lain yang berjalan lebih lambat dari kendaraan-kendaraan lain pada umumnya, agar kendaraan-kendaraan lain dapat mendahului kendaraan lambat tersebut tanpa harus berpindah lajur. Lajur pendakian harus disediakan pada ruas jalan yang mempunyai kelandaian yang besar, menerus, dan volume lalu lintasnya relatif padat.

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

- 1) Apabila panjang kritis terlampaui, jalan memiliki VLHR > 25.000 SMP/hari, dan persentase truk > 15%.
- 2) Lebar lajur pendakian minimal 3,60 m.

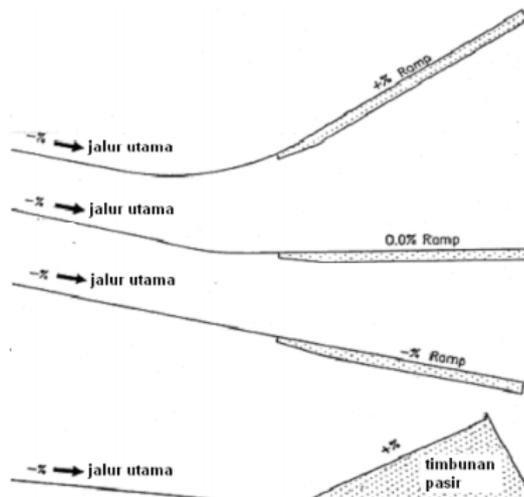


Gambar 2.50 Lajur pendakian tipikal

- 3) Lajur pendakian dimulai 30 meter dari awal perubahan kelandaian dengan serongan sepanjang 45 meter, seperti pada Gambar 2.50.
- 4) Jarak minimum antara 2 lajur pendakian adalah 1,5 km.

F. Lajur Darurat

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 darurat. Kriteria minimum lajur darurat diberikan untuk kondisi kecepatan operasional lalu lintas mencapai 120-140 km/jam dan tingkat fatalitas lajur tersebut melampaui standar. Lajur darurat dapat berupa kelandaian tanjakan, kelandaian turunan, kelandaian datar, atau timbunan pasir, seperti ditampilkan pada Gambar 2.51.



Gambar 2.51 Tipe –tipe lajur darurat

Lajur darurat, selain menggunakan kelandaian, ada juga yang menggunakan beberapa jenis material untuk menahan laju kendaraan. Beberapa jenis material yang bisa menahan laju kendaraan dapat dilihat pada Tabel 2.38. sebagai berikut :

Tabel 2.29 Jenis material dan tahanan laju untuk lajur darurat.

No	Jenis Material	Tahanan Laju (kg/1000 kg berat kendaraan)	Kelandaian Ekivalen (%)
1	Beton semen portland	10	1,0
2	Aspal beton	12	1,2
3	Kerikil, dipadatkan	15	1,5
4	Tanah, berpasir lepas	37	3,7
5	Agregat dihancurkan, lepas	50	5,0
6	Kerikil, lepas	100	10,0
7	Pasir	150	15,0
8	Kerikil bulat	250	25,0

Untuk menghitung panjang lajur darurat, dapat digunakan rumus berikut :

$$L = \frac{v^2}{254 \left(\frac{R \pm G}{100} \right)} \quad \text{Persamaan 2.32}$$

Keterangan:

L : Panjang lajur darurat (m)

V : Kecepatan masuk (km/jam)

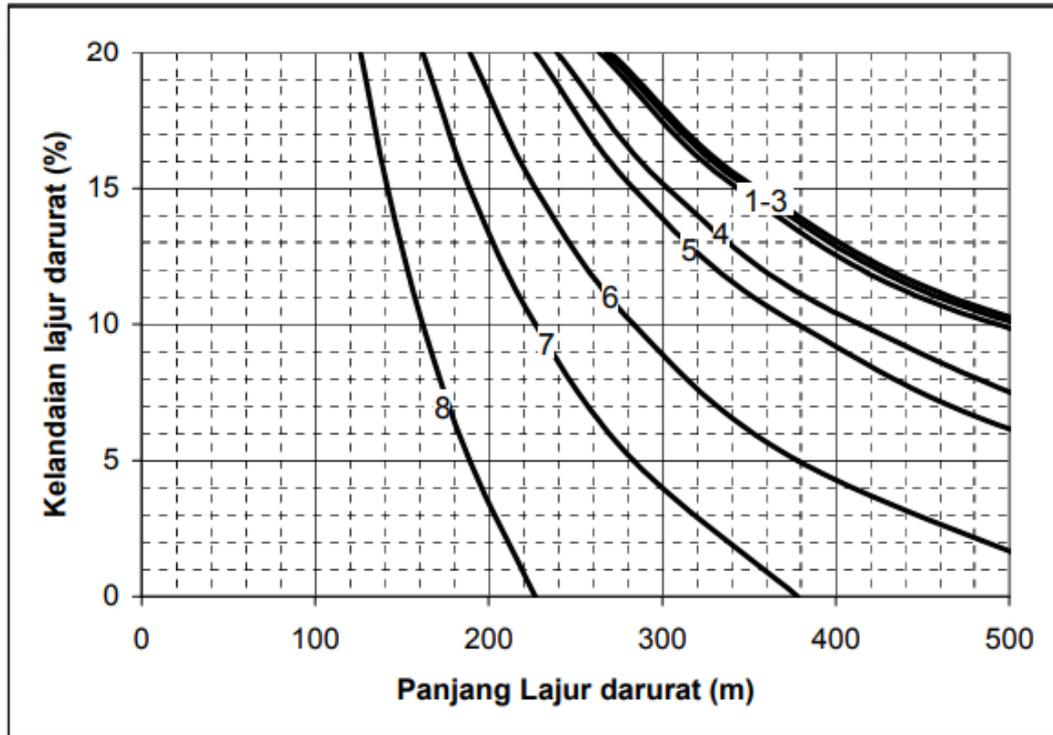
R : Tahanan laju, dinyatakan dengan kelandaian ekivalen (%)

G : Kelandaian (%), (+) tanjakan; (-) turunan.

Tabel 2.30 Panjang lajur darurat untuk kecepatan masuk 120 km/jam

No	Jenis Material	Kelandaian Lajur Darurat (%)					
		0	2	4	6	8	10
1	Beton semen portland	378	333	298	270	246	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



Gambar 2.52 Panjang lajur darurat untuk kecepatan masuk 120 km/jam
(Angka menunjukkan no material)

G. Panjang lengkung vertikal

Lengkung Vertikal harus disediakan pada setiap lokasi yang mengalami perubahan kelandaian dengan tujuan :

- 1) Mengurangi goncangan akibat perubahan kelandaian; dan
- 2) Menyediakan jarak pandang henti.

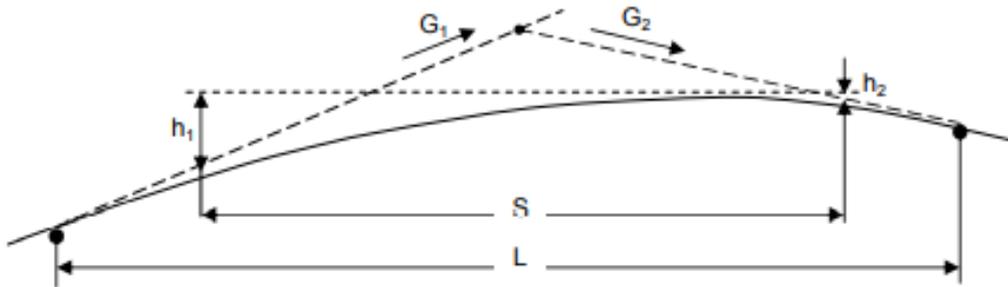
H. Lengkung vertikal cembung

Panjang lengkung vertikal cembung, berdasarkan jarak pandangan henti ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

- 1) Jika jarak pandang henti lebih kecil dari panjang lengkung vertikal cembung ($S < L$), seperti pada gambar 2.53.

$$L = \frac{A^2}{6}$$

Persamaan 2.33



Gambar 2.53 Jarak pandang henti lebih kecil dari panjang lengkung vertikal cembung

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

- 2) Jika jarak pandang henti lebih besar dari panjang lengkung vertikal cembung ($S > L$), seperti pada Gambar dibawah ini

$$L = 2 - \frac{6}{A}$$

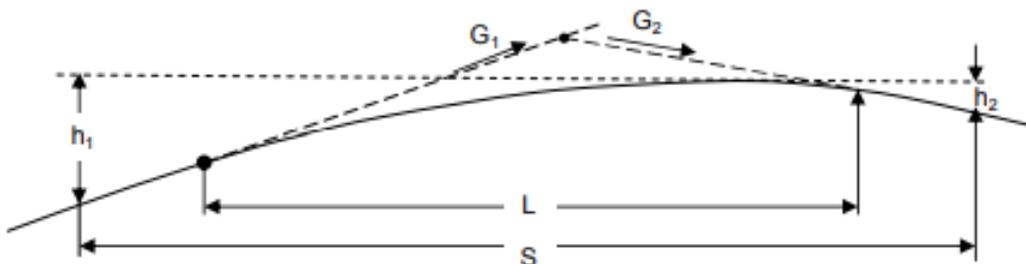
Persamaan 2.34

Dimana :

L = Panjang lengkung vertikal (m)

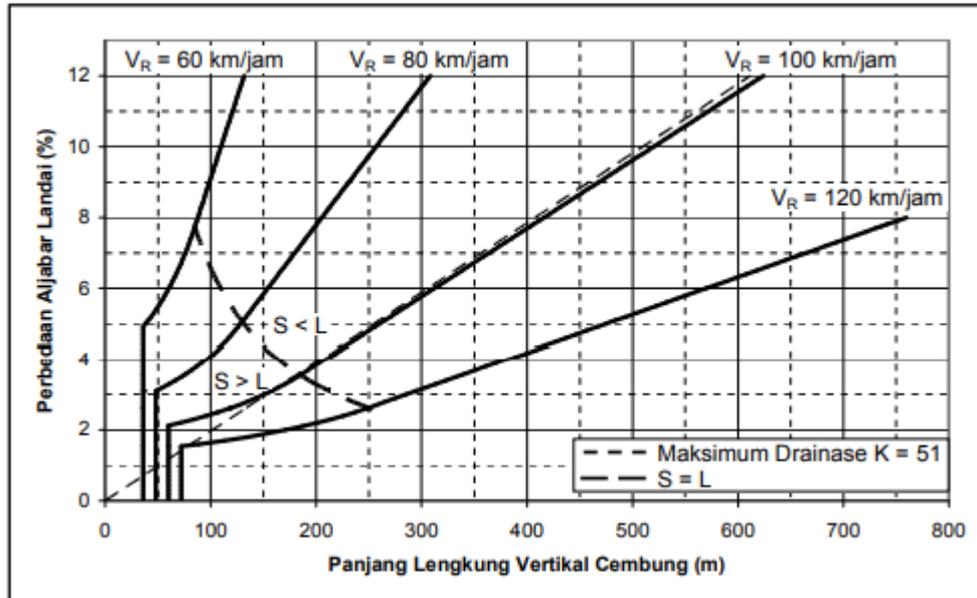
A = Perbedaan aljabar landai (%)

S = Jarak pandang henti (m)



Gambar 2.54 Jarak pandang lebih besar dari panjang lengkung vertikal cembung

Nilai minimum untuk panjang lengkung vertikal pada kondisi jarak pandang lebih besar dari panjang lengkung vertikal, yaitu $L_{\min} = 0,6 V_R$, dimana V_R dalam km/jam dan L_{\min} dalam meter. Panjang minimum lengkung vertikal cembung berdasarkan jarak pandangan henti, untuk setiap kecepatan rencana (V_R) jalan tol dapat menggunakan tabel di bawah ini :



Gambar 2.55 Panjang lengkung vertikal cembung jarak pandang henti

Tabel 2.31 Panjang lengkung vertikal cembung jarak pandang henti

Perbedaan Aljabar Landai (%)	Panjang Lengkung Vertikal Cembung (m)			
	$V_R = 120$ km/jam	$V_R = 100$ km/jam	$V_R = 80$ km/jam	$V_R = 60$ km/jam
12,0		625	309	132
11,0		573	283	121
10,0		521	257	110
9,0		469	232	99
8,0	760	417	206	88
7,0	665	365	180	76
6,0	570	313	155	61
5,0	475	261	129	39
4,0	380	209	96	36
3,0	285	151	48	36
2,0	171	60	48	36
1,0	72	60	48	36

I. Lengkung vertikal cekung

Panjang lengkung vertikal cekung, berdasarkan jarak pandangan henti ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

- 1) Jika jarak pandang henti lebih kecil dari panjang vertikal cekung ($S < L$)

$$L = \frac{AS^2}{120+3,5S} \quad \text{Persamaan 2.35}$$

- 2) Jika jarak pandang henti lebih besar dari panjang lengkung vertikal cekung

$$(S > L),$$

$$L = 2S - \frac{120+3,5S}{A} \quad \text{Persamaan 2.36}$$

Dimana :

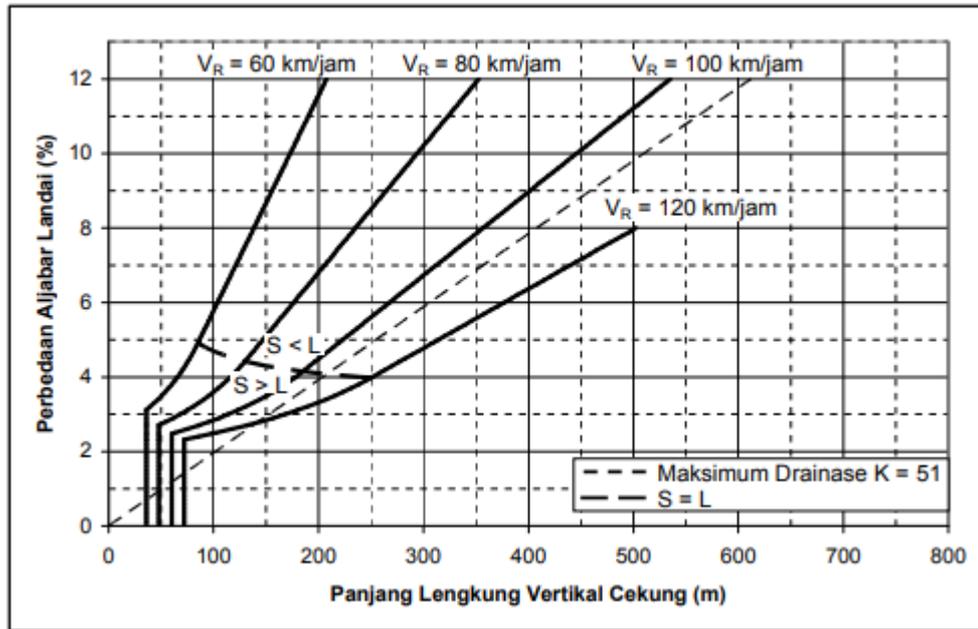
L = Panjang lengkung vertikal (m)

A = Perbedaan aljabar landai (%)

S = Jarak pandang henti (m)

Tabel 2.32 Panjang lengkung vertikal cekung berdasarkan jarak pandang henti

Perbedaan Aljabar Landai (%)	Panjang Lengkung Vertikal Cekung (m)			
	$V_R = 120$ km/jam	$V_R = 100$ km/jam	$V_R = 80$ km/jam	$V_R = 60$ km/jam
12,0		536	353	208
11,0		491	324	191
10,0		446	294	174
9,0		402	265	156
8,0	503	357	236	139
7,0	440	313	206	122
6,0	377	268	177	104
5,0	315	223	147	87
4,0	252	179	117	66
3,0	169	115	69	36
2,0	72	60	48	36
1,0	72	60	48	36



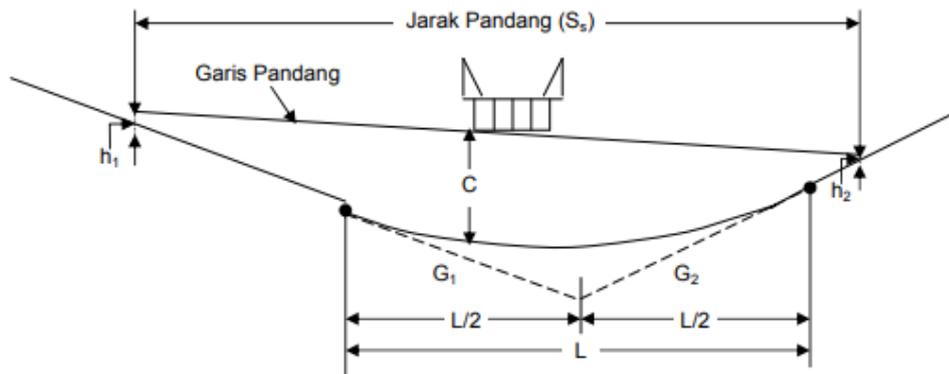
Gambar 2.56 Panjang lengkung vertikal cekung jarak pandang henti

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

Nilai minimum untuk panjang lengkung vertikal pada kondisi jarak pandang lebih besar panjang lengkung vertikal, yaitu L_{min} adalah $0,6 V_R$, dimana V_R dalam km/jam dan L_{min} dalam meter. Panjang minimum lengkung vertikal cekung berdasarkan jarak pandangan henti, untuk setiap kecepatan rencana (V_R) menggunakan Gambar 2.33.

J. Lengkung vertikal cekung di bawah lintasan

Lengkung vertikal cekung di bawah lintasan perlu diperhitungkan, mengingat ada keterbatasan jarak pandang dengan adanya lintasan di atas jalan. Jarak pandang dihitung berdasarkan tinggi mata pengemudi truk (h_1) 2,40 m melihat objek (h_2) 0,60 m pada 2 kelandaian berbeda G_1 dan G_2 dengan keterbatasan kebebasan vertikal (C) di atas jalan, seperti pada Gambar 2.49.



Gambar 2.49. Jarak pandang pada lintasan di bawah

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

Kondisi tersebut mengakibatkan timbulnya keterbatasan jarak pandang pada kondisi masing-masing kecepatan rencana, dimana sangat tergantung dari perbedaan aljabar landai dan letak kondisi lintasan di atas jalan.

Panjang lengkung vertikal cekung, berdasarkan jarak pandangan lintasan di bawah ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

- 1) Jika jarak pandang henti lebih kecil dari panjang lengkung vertikal cekung
($S < L$)

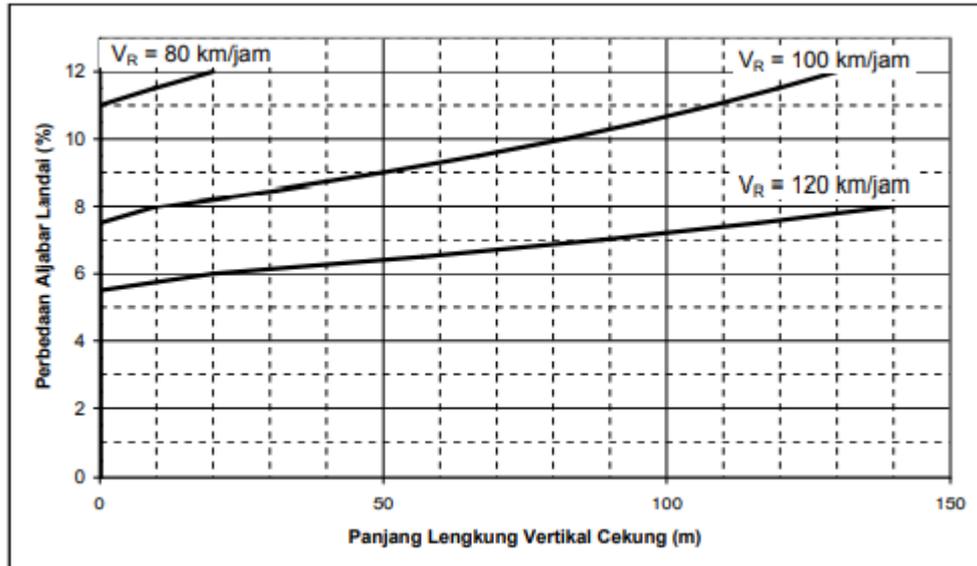
$$L = \frac{AS^2}{800(C-1,5)} \quad \text{Persamaan 2.37}$$

- 2) Jika jarak pandang henti lebih besar dari panjang lengkung vertikal cekung
($S > L$)

$$L = 2S - \left[\frac{800(C-1,5)}{A} \right] \quad \text{Persamaan 2.38}$$

Keterangan:

- L : Panjang lengkung vertikal (m)
- A : Perbedaan aljabar landai (%)
- S : Jarak pandang henti (m)
- C : Kebebasan vertikal (m)



Gambar 2.57 Panjang lengkung vertikal cekung di bawah lintasan

Bila dihitung lengkung vertikal cekung di bawah lintasan, didapat panjang lengkung vertikal cekung yang dihasilkan tersebut oleh persamaan tersebut di atas lebih kecil dari jika menggunakan persamaan panjang lengkung vertikal biasa, maka didapat hasil perhitungan yang lebih besar dari persamaan panjang lengkung vertikal biasa pada kecepatan rencana 235 km/ jam. Maka persamaan tersebut di atas hanya dijadikan sebagai pembandingan dari perencanaan lengkung vertikal cekung biasa.

K. Faktor kenyamanan untuk lengkung vertikal cekung

Untuk kenyamanan lengkung vertikal cekung, maka panjang lengkung vertikal cekung harus lebih besar dari persamaan berikut :

$$L = \frac{AV^2}{395}$$

Persamaan 2.39

Keterangan:

L = Panjang lengkung vertikal (m)

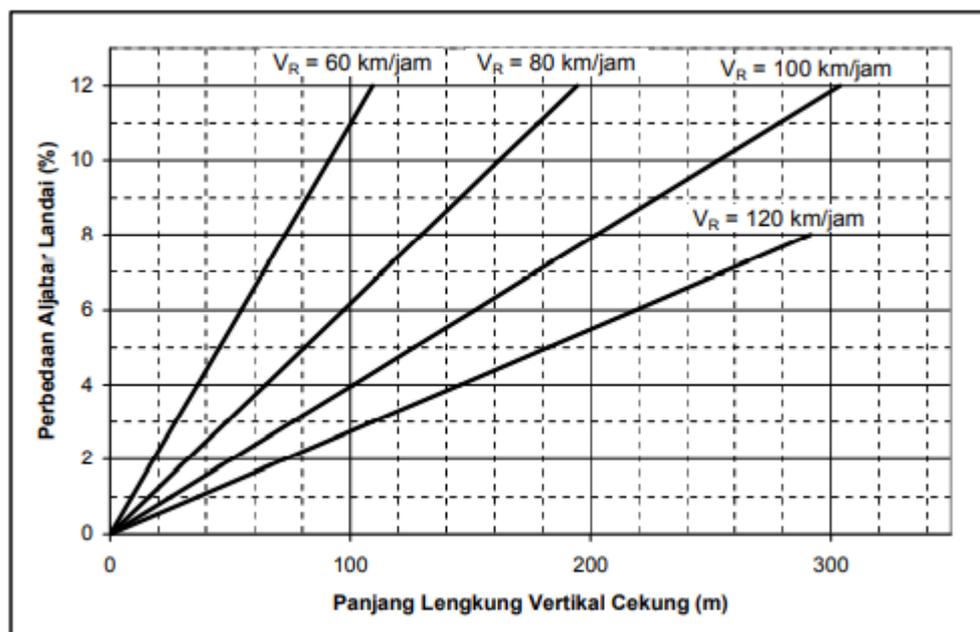
A = Perbedaan aljabar landai (%)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

Panjang minimum lengkung vertikal cekung berdasarkan faktor kenyamanan, untuk setiap kecepatan rencana (V_R) jalan tol dapat menggunakan Tabel 2.33. dan Gambar 2.58.

Tabel 2.33 Panjang lengkung vertikal cekung berdasarkan faktor kenyamanan

Perbedaan Aljabar Landai (%)	Panjang Lengkung Vertikal Cekung (m)			
	$V_R = 120$ km/jam	$V_R = 100$ km/jam	$V_R = 80$ km/jam	$V_R = 60$ km/jam
12,0		304	194	109
11,0		278	178	100
10,0		253	162	91
9,0		228	146	82
8,0	292	203	130	73
7,0	255	177	113	64
6,0	219	152	97	55
5,0	182	127	81	46
4,0	146	101	65	36
3,0	109	76	49	27
2,0	73	51	32	18
1,0	36	25	16	9



Gambar 2.58 Panjang lengkung vertikal cekung menurut faktor kenyamanan

2.2.1.10 Koordinasi Alinyemen

Alinyemen Vertikal, Alinyemen Horizontal, dan Potongan melintang jalan tol harus dikoordinasikan sedemikian rupa sehingga menghasilkan suatu bentuk jalan yang baik dalam arti memudahkan pengemudi mengemudikan kendaraannya dengan aman dan nyaman.

Bentuk kesatuan ketiga elemen jalan tersebut diharapkan memberikan kesan atau petunjuk kepada pengemudi akan bentuk jalan yang akan dilalui didepannya, sehingga pengemudi dapat melakukan antisipasi lebih awal. Koordinasi alinyemen vertikal dan alinyemen horizontal harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a) Lengkung horizontal sebaiknya berimpit dengan lengkung vertikal, dan secara ideal alinyemen horizontal lebih panjang sedikit melingkupi alinyemen vertikal.
- b) Tikungan yang tajam pada bagian bawah lengkung vertikal cekung atau pada bagian atas lengkung vertikal cembung harus dihindarkan.
- c) Lengkung vertikal cekung pada landai jalan yang lurus dan panjang, harus dihindarkan.
- d) Dua atau lebih lengkung vertikal dalam satu lengkung horizontal harus dihindarkan.
- e) Tikungan yang tajam di antara dua bagian jalan yang lurus dan panjang harus dihindarkan.

2.2.2 Ketentuan Teknis Jalan Penghubung (*Ramp*)

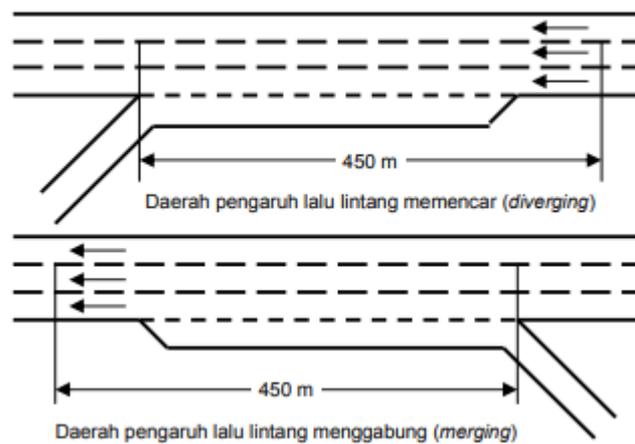
2.2.2.1 Standar

Jalan penghubung merupakan jalan yang menghubungkan jalan tol dengan jalan umum yang ada sampai simpang pertama yang semata-mata untuk lalu lintas keluar dan/atau masuk dari dan/atau ke jalan tol. Jalan penghubung jalan tol harus memenuhi standar sebagai berikut :

- a) Merupakan jalan dengan fungsi minimal kolektor;
- b) Mempunyai kelas jalan yang mampu menahan kendaraan rencana jalan tol;
- c) Mempunyai kelas jalan dengan spesifikasi minimal jalan raya;
- d) Ruang milik jalannya harus dipagar.

Perencanaan geometri jalan penghubung mengikuti standar geometri yang berlaku untuk jalan perkotaan dan/atau jalan antarkota, yang wajib memenuhi standar di atas. Ketentuan pengendalian jalan masuk dan/atau keluar adalah sebagai berikut :

- a) Jalan masuk dan jalan keluar (ramp) ke jalan tol dan dari jalan tol harus dibuat dengan menggunakan lajur percepatan untuk masuk jalur utama dan lajur perlambatan untuk keluar dari jalur utama.
- b) Jarak antara *nose ramp* jalan masuk dan *nose ramp* jalan keluar untuk jurusan yang sama minimal 2 (dua) km untuk jalan tol di daerah perkotaan dan 5 (lima) km untuk jalan tol di daerah antarkota.



Gambar 2.53. Daerah pengaruh on ramp dan off ramp

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

2.2.2.2 Tempat Istirahat dan Tempat Pelayanan

A. Persyaratan Umum

- 1) Tempat istirahat dan pelayanan hanya diperuntukkan bagi pengguna jalan bebas hambatan untuk jalan tol dan dilarang dihubungkan dengan akses apapun dari luar.
- 2) Tempat istirahat dan pelayanan adalah fasilitas pelayanan bagi pengguna jalan bebas untuk jalan tol dan bukan fasilitas yang menjadi tempat tujuan.
- 3) Tempat istirahat dan pelayanan harus dapat melayani semua jenis kendaraan pengguna jalan bebas hambatan untuk jalan tol.

B. Persyaratan Geometri Jalan Keluar dan Jalan Masuk

- 1) Jarak antara *nose ramp* jalan masuk (*on ramp*) simpang-susunan dengan *nose ramp* jalan keluar (*off ramp*) ke tempat istirahat dan pelayanan atau sebaliknya pada arah yang sama minimal adalah 5 (lima) km.
- 2) Jarak interval antara tempat istirahat dan pelayanan pada arah yang sama ditentukan sebagaimana Tabel 2.43. berikut :

Tabel 2.34 Jarak interval antara tempat istirahat dan pelayanan

	Jarak Minimum (km)	Jarak Maksimum (km)
Jarak tempat istirahat dengan tempat istirahat dan pelayanan	10	20
Jarak tempat pelayanan dengan tempat pelayanan	30	50

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

- c) Geometri jalur utama pada lokasi tempat istirahat harus memenuhi ketentuan sebagaimana Tabel 2.44. berikut :

Tabel 2.35 Geometri jalur utama pada lokasi tempat istirahat

V_R Jalur Utama (km/jam)	Komponen Geometri	
	Radius Tikungan Minimum (m)	Landai Maksimum (%)
120	2.000	2
100	1.500	2
80	1.000	3
60	500	4

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

Geometri jalan keluar dan jalan masuk (*ramp*) dengan 1 lajur lalu lintas harus memenuhi kriteria sebagaimana Tabel 2.45. berikut:

Tabel 2.36 Geometri jalan keluar dan jalan masuk (*ramp*) 1 lajur lalu lintas

Komponen Geometri	Standar Kriteria
Kecepatan rencana	40 km/ jam
Lebar lajur	4,00 m
Lebar bahu luar (kiri)	2,50 m
Lebar bahu dalam (kanan)	0,50 m
Kemiringan melintang normal	2 %
Landai maksimum	6 %

- d) Jalan dan/atau prasarana pergerakan lalu lintas di dalam kawasan tempat istirahat dan pelayanan harus dilengkapi dengan pengaturan lalu lintas dan rambu-rambu
- e) Jalan masuk dan jalan keluar (*on/off ramp*) tempat istirahat dan pelayanan dilengkapi dengan lajur perlambatan dan lajur percepatan.
- f) Jarak *nose ramp* jalan keluar dan jalan masuk dengan pencabangannya atau dengan fasilitas umum (area tempat parkir, area SPBU, dan lain-lain) minimal 60 meter.

C. Persyaratan Fasilitas Pelayanan

- 1) Luasan tempat istirahat dan pelayanan serta fasilitas pelayanannya harus diperhitungkan untuk dapat menampung kebutuhan pelayanan sampai sepuluh tahun terhitung sejak dioperasikan dengan kapasitas fasilitas pelayanan dapat dibangun secara bertahap.
- 2) Pada tempat istirahat, minimal harus disediakan tempat parkir untuk 30 kendaraan golongan I (mobil penumpang dan truk kecil/ roda tunggal) dan 10 kendaraan golongan II (truk besar dan bus besar)
- 3) Pada tempat istirahat dan pelayanan minimal harus disediakan tempat parkir untuk 80 kendaraan golongan I dan 20 kendaraan golongan II.

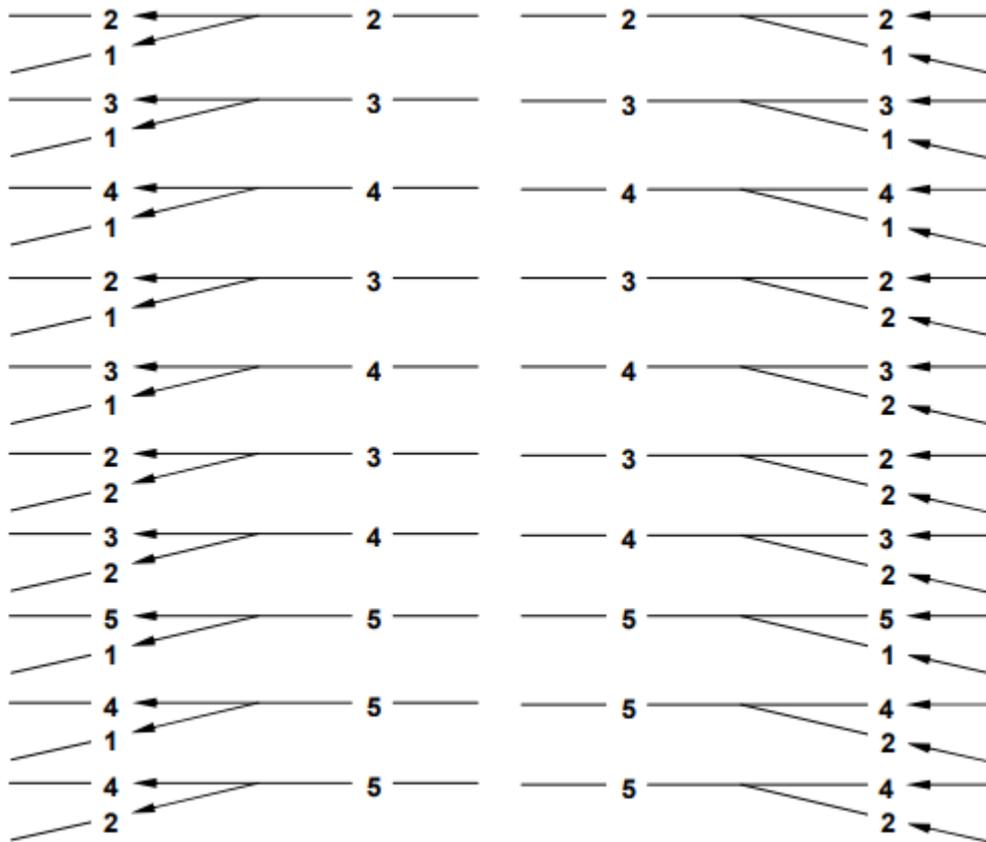
2.2.3 Ketentuan Teknis Simpangsusun

2.2.3.1 Persyaratan Teknis Simpangsusun

Persyaratan teknis simpangsusun yang harus diperhatikan dalam perencanaan simpangsusun :

- a) Jenis-jenis *ramp* (*Direct, Indirect, Loop*);
- b) Jalur-jalur tambahan yang terdiri dari lajur percepatan dan perlambatan;
- c) Tempat keluar masuk simpangsusun;
- d) Penggunaan sumbu acuan perancangan antara sumbu jalan di jalan utama dengan sumbu jalan di *ramp*;
- e) Standar geometri yang digunakan;
- f) Landai *ramp* untuk lajur percepatan dan perlambatan;
- g) Ruang bebas berkaitan dengan tinggi minimum jembatan;
- h) Konsistensi bentuk simpangsusun dan/atau jarak antara simpangsusun berurutan.

Keseimbangan jalur di jalur utama dan di simpang susun yang harus mengikuti ketentuan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.59.



Gambar 2.59 Ketentuan keseimbangan jumlah lajur

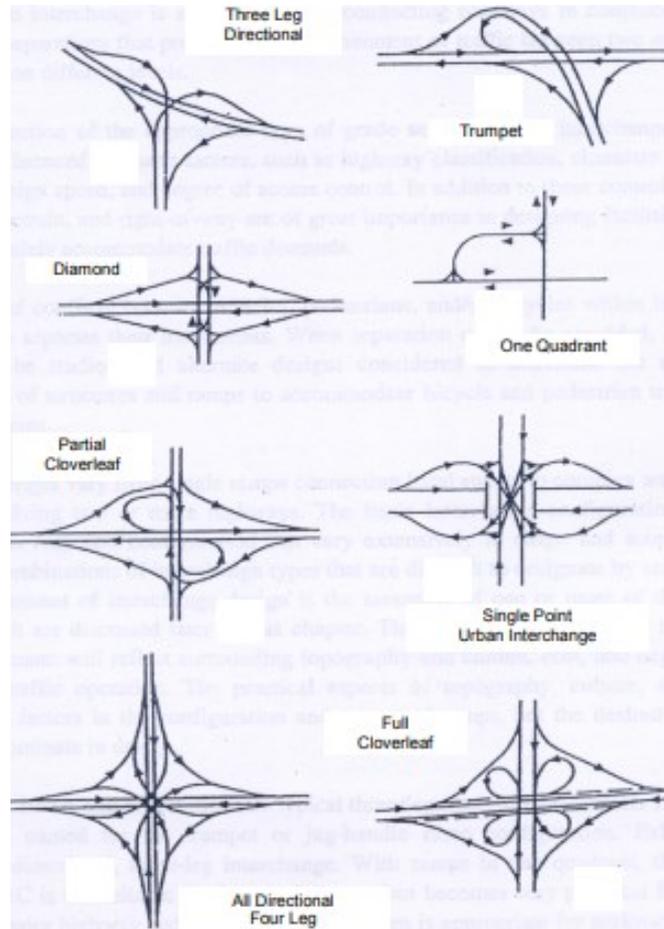
Jalur utama yang lebih dari 4 (empat) lajur, maka antara lajur ke empat dengan lajur ke lima perlu diberikan paku jalan.

2.2.3.2 Standar Tipe dan Bentuk Persimpangan

Standar spesifikasi jalan bebas hambatan untuk jalan tol adalah tidak adanya persimpangan yang sebidang. Standar tipe dan bentuk simpang tak sebidang diantaranya adalah sebagai berikut :

- T (atau Trumpet) atau Y, untuk simpang susun 3 kaki/lengan;
- *Diamond* untuk simpang susun 4 kaki/lengan dan arus major dan minor;
- *Cloverleaf* terdiri dari *partial cloverleaf* dan *full cloverleaf*;
- *Directional* atau langsung;
- Kombinasi, merupakan penggabungan dari bentuk-bentuk dasar diatas.

Pemilihan pemakaian dan penerapan tipe dan bentuk simpang tak sebidang harus mempertimbangkan ketersediaan dan kondisi lapangan dari lahan rumijatul serta lingkungan sekitarnya. Standar bentuk simpang tak sebidang dapat dilihat pada Gambar 2.60.

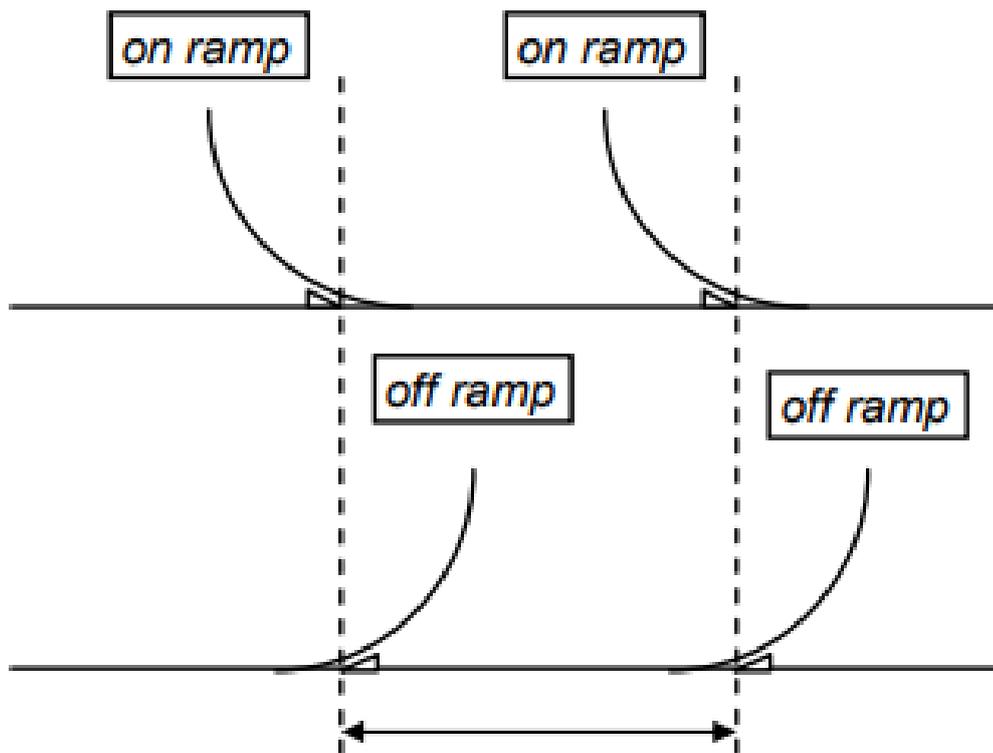


Gambar 2.60 Standar tipe persimpangan/ simpangsusun

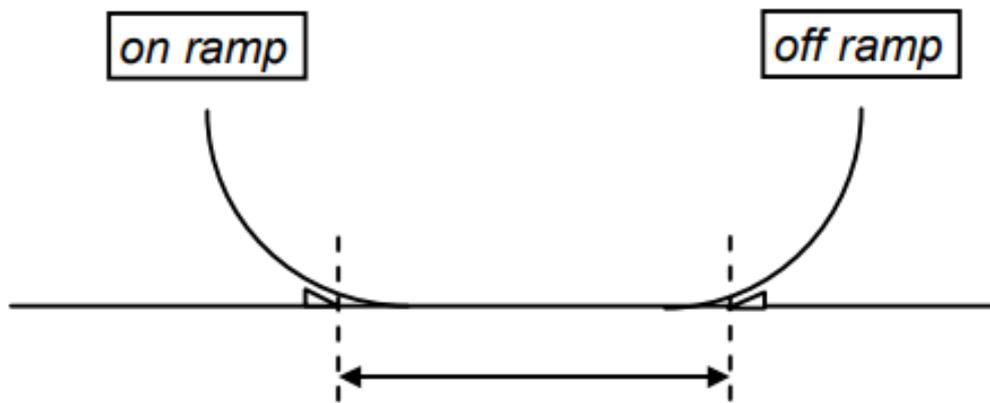
2.2.3.3 Jarak Simpangsusun

Ketentuan jarak simpangsusun seperti diilustrasikan pada Gambar 2.61, 2.62, dan 2.63 adalah sebagai berikut :

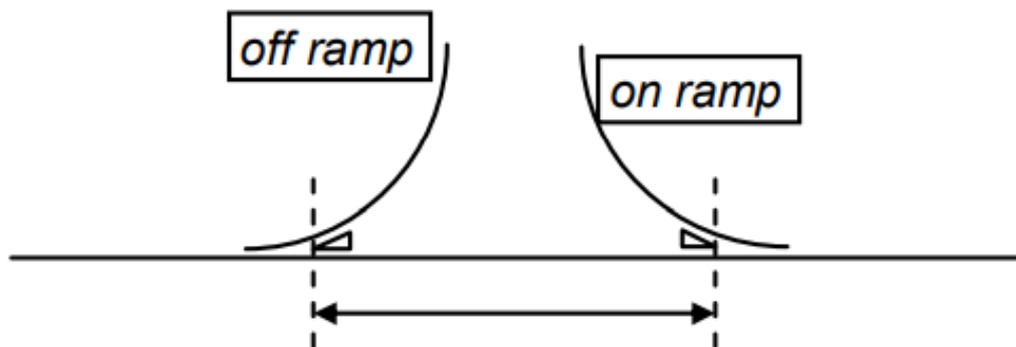
- a) Jarak antar simpangsusun untuk jalan tol antarkota minimal adalah 5 (lima) km as ke as atau dengan jarak *nose ramp* jalan masuk dan *nose ramp* jalan keluar untuk jurusan yang sama pada dua simpangsusun minimal adalah 5 (lima) km.
- b) Jarak antar simpangsusun untuk jalan tol perkotaan minimal adalah 2 (dua) km as ke as atau dengan jarak *nose ramp* jalan masuk dan *nose ramp* jalan keluar untuk jurusan yang sama pada dua simpangsusun minimal adalah 2 (dua) km.



Gambar 2.61 Ilustrasi *nose ramp* pada *on ramp-on ramp* dan *off ramp-off ramp*



Gambar 2.62 Ilustrasi jarak *nose ramp* pada *on ramp* – *off ramp*



Gambar 2.63 Ilustrasi Jarak *nose ramp* pada *off ramp* – *on ramp*

- c) Simpangsusun pelayanan harus direncanakan menghubungkan jalan tol dan jalan bukan tol yang berfungsi sebagai jalan arteri atau minimal kolektor dalam sistem jaringan jalan primer.
- d) Jarak *nose ramp* jalan masuk simpangsusun dengan *nose ramp* jalan keluar tempat istirahat atau jarak *nose ramp* jalan keluar simpangsusun dengan *nose ramp* jalan masuk tempat istirahat pada arah yang sama minimal 5 (lima) km.
- e) Jarak terowongan/ pintu gerbang bandar udara internasional/ pintu gerbang pelabuhan laut internasional yang dihubungkan dengan jalan tol harus berjarak dengan jarak *nose ramp* jalan keluar/ masuk simpangsusun minimal 2 (dua) km.
- f) Penyediaan simpangsusun pada jalan tol mempertimbangkan jumlah penduduk pada wilayah yang bersangkutan untuk dilayani, dengan ketentuan sebanyak-banyaknya 1 (satu) simpangsusun untuk 1 (satu) wilayah dengan penduduk minimal 100.000 jiwa.

2.2.3.4 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana ramp simpangsusun yang menghubungkan jalan tol dengan jalan tol (Simpangsusun Sistem) harus memenuhi ketentuan sebagaimana Tabel 2.37. berikut :

Tabel 2.37 Kecepatan rencana ramp pada simpangsusun sistem

V_R Jalan Tol I (km/jam)	V_R Jalan Tol II (km/jam)			
	120	100	80	60
120	60 – 80			
100	60 – 80	60 – 80		
80	40 – 80	40 – 60	40 – 60	
60	40 – 60	40 – 60	40 – 60	40 – 60

Kecepatan rencana ramp simpangsusun yang menghubungkan jalan tol dengan jalan bukan tol (Simpangsusun Pelayanan) harus memenuhi ketentuan sebagaimana Tabel 2.38. berikut :

Tabel 2.38 Kecepatan rencana ramp pada simpangsusun pelayanan

V_R Jalan Tol (km/ jam)	V_R Jalan Bukan Tol (km/ jam)		
	100	80	60
120	60 – 80		

100	60 – 80		
80	40 – 60	40 – 60	
60	40 - 60	40 - 60	40 – 60

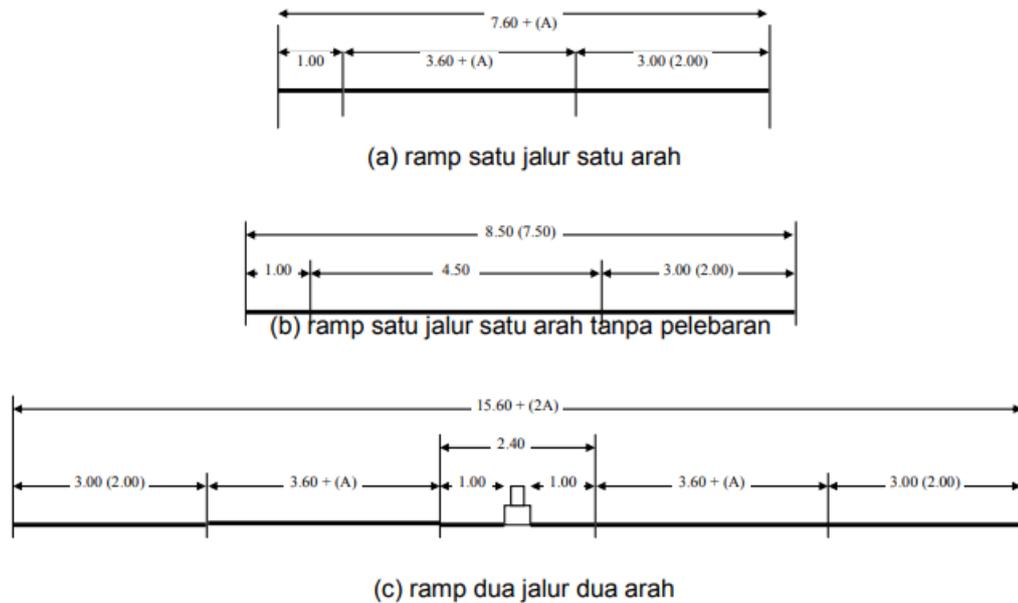
2.2.3.5 Penampang Melintang

- a) Ramp simpangsusun 2 (dua) arah lalu lintas harus dilengkapi dengan median.
- b) Lebar jalur lalu lintas *ramp* simpangsusun dengan 1 lajur lalu lintas dengan 1 arah minimal 4,5 meter dengan tanpa mempertimbangkan kebutuhan pelebaran lajur lalu lintas pada tikungan.
- c) Lebar lajur lalu lintas *ramp* simpangsusun dengan 1 lajur lalu lintas untuk 1 arah atau dengan 2 lajur lalu lintas untuk 1 arah, dibuat sama dengan lebar lajur lalu lintas pada jalur utamanya dengan mempertimbangkan kebutuhan pelebaran pada tikungan.
- d) Besarnya kebutuhan pelebaran pada *ramp* mengikuti perhitungan pelebaran pada tikungan.
- e) Lebar bahu luar dan bahu dalam *ramp* simpangsusun harus memenuhi ketentuan sebagaimana Tabel 2.48. berikut :

Tabel 2.39 Lebar bahu luar dan bahu dalam *ramp*

Kecepatan Rencana Jalan Utama (km/ jam)	Lebar Bahu Luar (m)		Lebar Bahu Dalam (m)	
	Antarkota	Perkotaan	Antarkota	Perkotaan
120	3,00	-	1,00	-
100	3,00	2,00	1,00	1,00
80	3,00	2,00	1,00	0,50
60	-	2,00	-	0,50

- f) Pada *ramp* Simpangsusun Pelayanan dengan 2 lajur lalu lintas untuk 1 arah, lebar bahu luar dapat dibuat sama dengan lebar bahu dalam. Lebar median pada *ramp* simpangsusun dengan 2 (dua) lajur lalu lintas untuk 2 (dua) arah menggunakan median datar atau median ditinggikan (*median concrete barrier*) seperti pada ketentuan teknik jalan utama tersebut diatas.



Keterangan:

Satuan dalam meter

(A) : pelebaran yang dibutuhkan

() : angka untuk jalan tol perkotaan

Gambar 2.64 Tipikal potongan melintang pada *ramp*

2.2.3.6 Perencanaan *Ramp*

A. Tipe *Ramp*

Berdasarkan pergerakannya, terdapat 3 (tiga) tipe *ramp*, yaitu *Direct*, *Semi Direct*, dan *Indirect*.

1) *Direct* ((Hubungan Langsung)

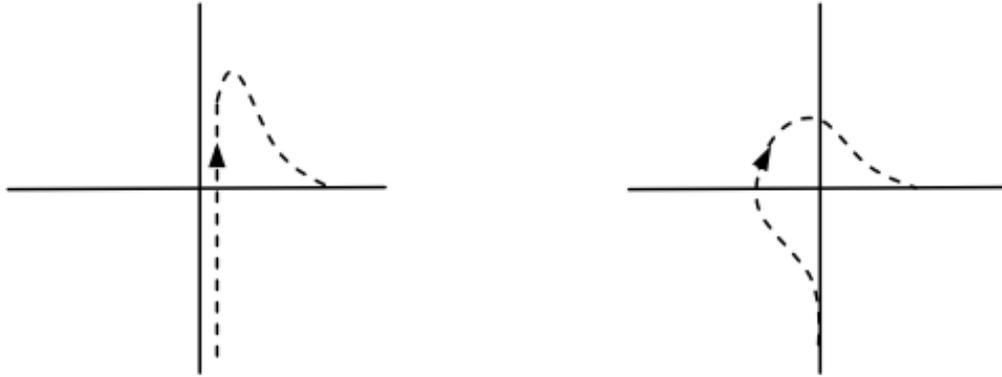
Sebelum pergerakannya, terdapat 3 (tiga) tipe *ramp*, yaitu *Direct*, *Semi Direct*, dan *Indirect*.



Gambar 2.65 Jalur penghubung langsung

2) *Semi Direct* (Hubungan Setengah Langsung)

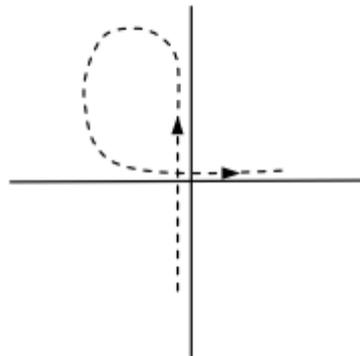
Dalam menuju arah tujuan, *ramp* melalui/ mengelilingi titik pusat dahulu dan memotong salah satu arus lain secara tegak lurus, seperti Gambar 2.66. berikut.



Gambar 2.66 Jalur penghubung setengah langsung

3) *Indirect* (Hubungan Tidak Langsung)

Dalam menuju arah tujuan, *ramp* berbelok ke arah berlawanan dahulu dan kemudian memutar sekitar 270° , seperti Gambar 2.67. berikut.



Gambar 2.67 Jalur penghubung tidak langsung

B. Radius Tikungan pada *Ramp/ Loop*

Radius tikungan pada *ramp/ loop* harus memenuhi ketentuan sebagai berikut

- 1) Sesuai dengan kecepatan rencana masuk *ramp*, sebagaimana Tabel 2.40.

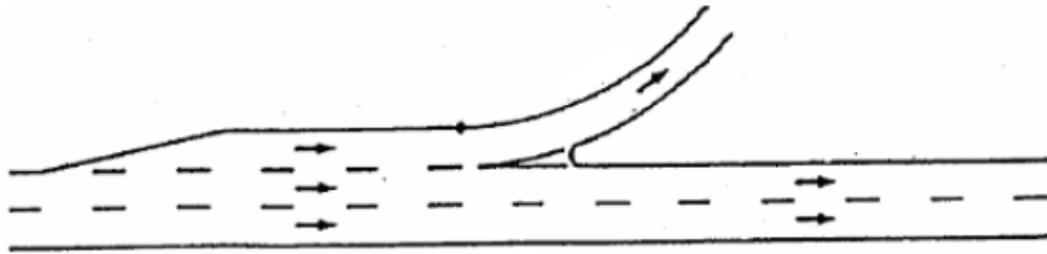
Tabel 2.40 Radius tikungan minimum untuk *ramp*

V_R (km/ jam)	Radius Tikungan Minimum (m)		
	$e_{\max} = 6\%$	$e_{\max} = 8\%$	$e_{\max} = 10\%$
80	250	230	210
60	135	125	115
40	55	50	45

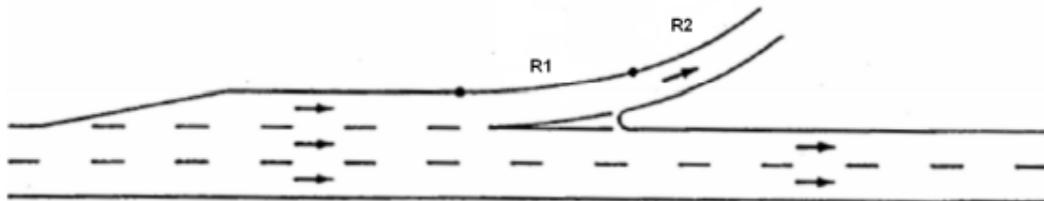
- 2) Jika digunakan tikungan majemuk, perbandingan antara radius tikungan pertama dengan tikungan ke dua adalah 2:1, atau minimal 1,5:1, dengan panjang masing-masing lengkung ditentukan sebagaimana Tabel 2.52. berikut :

Tabel 2.41 Panjang minimum lengkung lingkaran di *ramp*

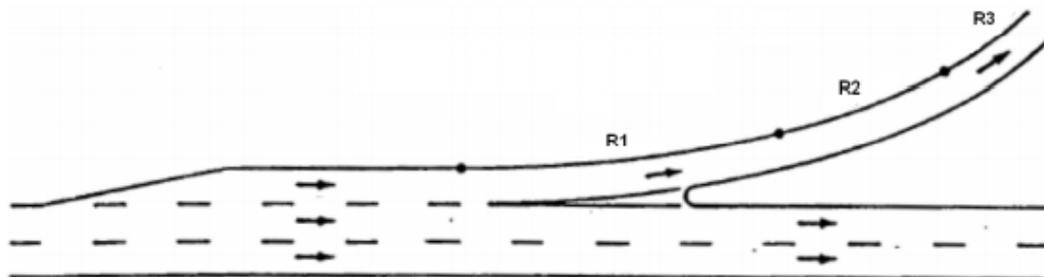
R (m)	Panjang Minimum Lengkung Lingkaran (m)	
	Minimal	Ideal
150 atau lebih besar	45	60
125	35	55
100	30	45
75	25	35
60	20	30
50	15	20



Gambar 2.68 *Ramp* dengan menggunakan 1 (satu) radius tikungan



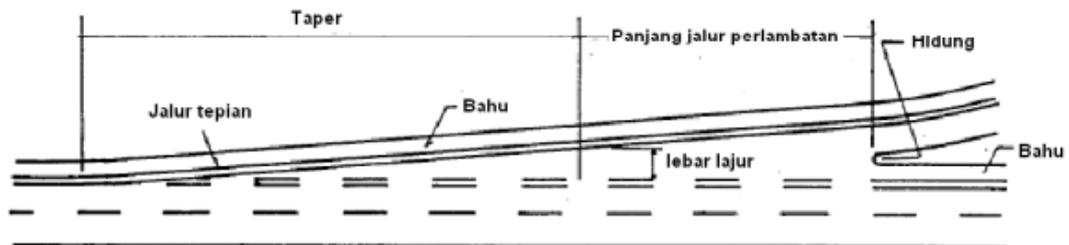
Gambar 2.69 *Ramp* dengan menggunakan 2 (dua) radius tikungan



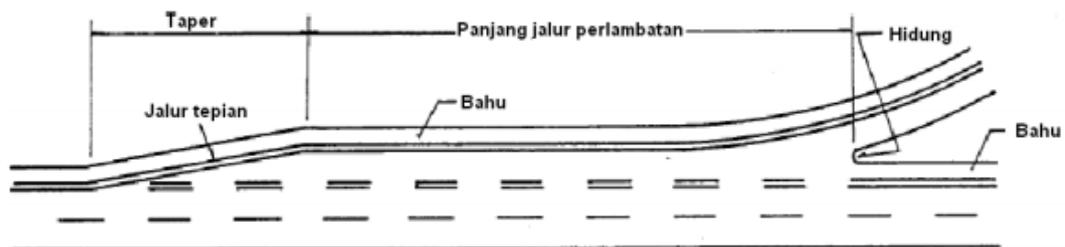
Gambar 2.70 *Ramp* dengan menggunakan 3 (tiga) radius tikungan

2.2.3.7 Lajur Percepatan dan Lajur Perlambatan

- a) Jalan keluar pada simpangsusun dengan 1 (satu) lajur lalu lintas menggunakan lajur perlambatan tipe taper, seperti Gambar 2.71. berikut.

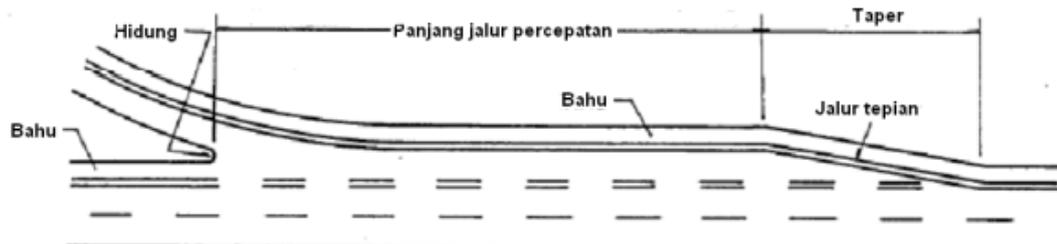


Gambar 2.71 Lajur perlambatan tipe taper

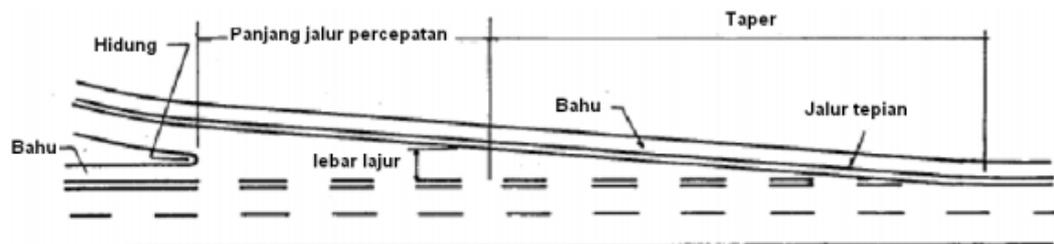


Gambar 2.72 Lajur perlambatan tipe paralel

- b) Jalan masuk pada simpangsusun dengan 1 (satu) lajur lalu lintas menggunakan lajur percepatan tipe paralel, seperti Gambar 2.73. berikut.



Gambar 2.73 Lajur percepatan tipe paralel



Gambar 2.74 Lajur percepatan tipe taper

- c) **Jalan Keluar dan Jalan Masuk pada simpangsusun dengan 2 lajur lalu lintas menggunakan lajur perlambatan dan lajur percepatan.**
- d) **Lajur perlambatan dan lajur percepatan harus memenuhi ketentuan sebagaimana Tabel 2.42. dan Tabel 2.43. berikut :**

Tabel 2.42 Panjang lajur percepatan minimum

V _R Jalan Tol (km/ jam)	Panjang Lajur Percepatan Minimum (m)		
	V _R Ramp (km/ jam)		
	80	60	40
120	245	410	490
100	40	205	285
80	-	65	145
60	-	-	45

Tabel 2.43 Panjang lajur perlambatan minimum

V _R Jalan Tol (km/jam)	Panjang Lajur Perlambatan Minimum (m)		
	V _R Ramp (km/ jam)		
	80	60	40
120	120	155	175
100	85	120	145
80	-	80	100
60	-	-	65

2.2.3.8 Taper

Taper digunakan untuk awal lajur percepatan/ perlambatan yang disediakan untuk pergerakan belok kanan dan belok kiri secara serong, untuk mengarahkan penggabungan maupun pemisahan terhadap lalu lintas di jalur utama.

Panjang taper minimum untuk pergerakan memisah dan menggabung ditampilkan pada Tabel 2.53. berikut :

Tabel 2.44 Panjang taper lajur tunggal

Kecepatan Rencana (km/ jam)	Panjang Taper Minimum (m)	
	Memisah	Menggabung
120	135	270
100	113	225
80	90	180
60	42	84

2.2.4 Ketentuan Teknis Geometri Pelataran Told dan Gerbang Tol

2.2.4.1 Persyaratan Perencanaan

Perencanaan pelataran tol dan gerbang tol harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a) Kelancaran lalu lintas;
- b) Keamanan dan efisiensi pengoperasian;
- c) Pandangan bebas.

A. Kelancaran Arus Lalu Lintas

- a) Untuk menghindari adanya antrian pada gerbang tol utama yang mempengaruhi operasional jalan tol, kecuali dapat dibuktikan melalui analisa teknis, maka jarak jalan penghubung antara gerbang tol utama ke arah persimpangan jalan bukan tol minimum 2 km dengan tetap memperhatikan keseimbangan kapasitas antara gerbang tol dan persimpangan.
- b) Pada gerbang tol simpang susun atau *ramp* harus direncanakan sedemikian rupa sehingga bila terjadi antrian tidak mengganggu kelancaran arus lalu lintas pada jalur utama jalan tol maupun jalan bukan tol.
- c) Pelataran tol dan gerbang tol tidak boleh menjadi lokasi leher botol (*bottle neck*) bagi arus lalu lintas. Oleh karena itu harus tersedia lajur lalu lintas dan gardu tol yang cukup pada gerbang tol untuk dapat menampung volume lalu lintas pada jam puncak/ sibuk.

B. Keamanan dan Efisien Pengoperasian

- a) Keberadaan gerbang tol harus dapat diketahui oleh pengguna jalan untuk itu harus dilengkapi dengan rambu-rambu petunjuk maupun peringatan yang jelas dan dapat terbaca dari kendaraan yang berjalan dengan kecepatan tinggi, mengenai jarak keberadaan gerbang tol yang bersangkutan.
- b) Untuk menghindari akumulasi polusi gas buang di daerah gerbang tol maka dihindari penempatan gerbang tol di daerah galian yang cukup dalam.
- c) Untuk kebutuhan drainase areal pelataran tol, maka gerbang tol harus diletakkan pada titik tertinggi dari lengkung vertikal cembung alinyemen vertikal jalan.
- d) Gerbang tol harus memungkinkan dan menjamin kendaraan dapat berhenti dan berjalan kembali dengan aman dari kegiatan operasional pengumpulan tol terlaksanakan secara efisien. Untuk itu pelataran tol sedapat mungkin direncanakan dan ditempatkan pada daerah lurus dan datar.
- e) Penyediaan lahan untuk areal pelataran tol dan gerbang tol harus memperhitungkan kemungkinan peningkatan kapasitas gerbang (perluasan) di masa mendatang seimbang dengan rencana kapasitas jalan maksimum.

C. Pandangan Bebas

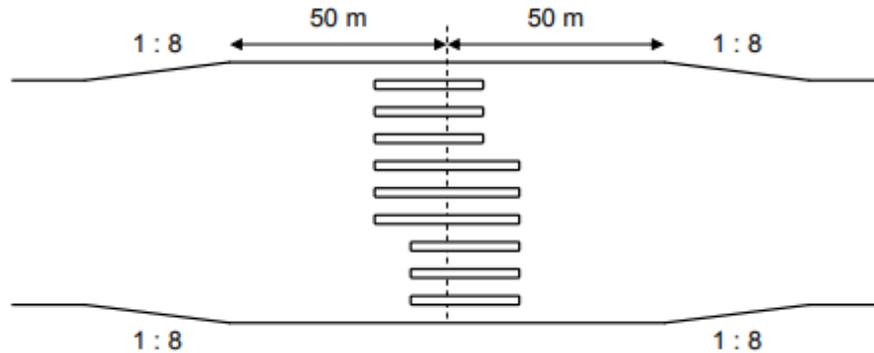
- a) Penempatan gerbang tol dihindari diletakkan pada tikungan dengan jari-jari kecil atau pada lengkung vertikal cekung dimana jarak pandangan terbatas dan lalu lintas cenderung berjalan dengan kecepatan relatif tinggi.
- b) Gerbang tol harus diletakkan min. 250 m dari jembatan lintas atas (*overpass*) sehingga pandangan bebas pengemudi & geometri pelataran tol tak terganggu.

2.2.4.2 Perencanaan Pelataran Tol

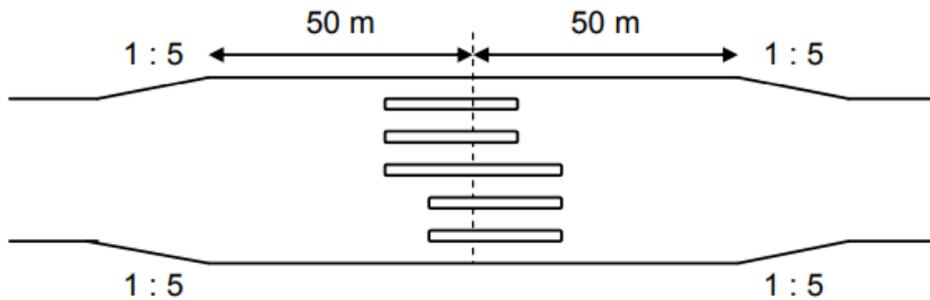
Lebar laju lalu lintas pada gerbang tol 2,90 m dan lebar pulau tol (*toll island*) 2,10 m. Untuk dapat melayani sesuatu yang bersifat khusus, seperti misalnya angkutan dengan kendaraan khusus yang ekstra lebar maka pada lajur paling luar (kiri) dibuat dengan minimal lebar 3,50 m, kemiringan melintang permukaan perkerasan pada pelataran tol minimum 1,0% dan maksimum 2,0% sedangkan untuk permukaan perkerasan pelataran tol pada *barrier*, kemiringan melintang permukaan perkerasannya dibuat minimum sebesar 0,5%, dengan ketentuan sumbu gerbang tol berada pada puncak lengkung vertikal dengan landai memanjang jalan +2% dan -2%.

Pelebaran jalur pada pelataran tol harus dibuat dengan panjang transisi yang cukup, sehingga memungkinkan manuver atau weaving lalu lintas dari jalur normal ke arah lajur tol/ gardu yang akan dituju dan/ atau sebaliknya.

Pada pelataran tol barrier, pelebaran jalur harus dibuat dengan kemiringan taper maksimum pelataran 1:8, dan kemiringan taper maksimum pelataran tol pada *ramp* atau jalan akses 1:5.

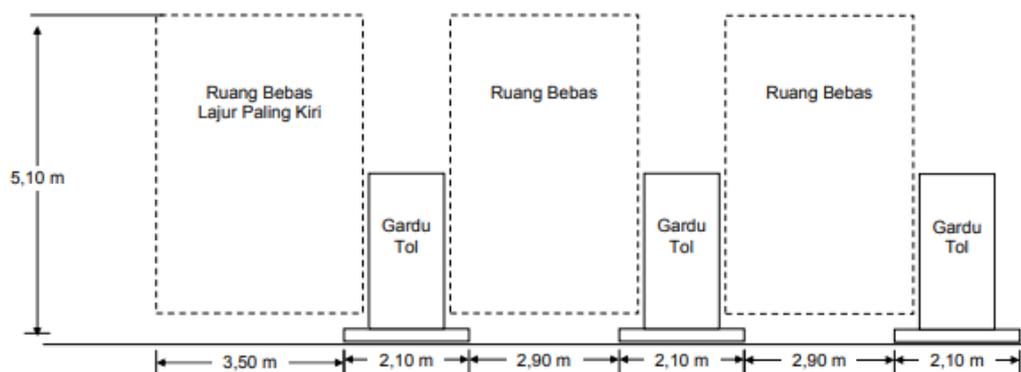


Gambar 2.75 Pelataran tol pada gerbang tol *barrier*



Gambar 2.76 Pelataran tol pada gerbang tol *ramp*

Pada kondisi-kondisi khusus tertentu dimana ketersediaan lahan menjadi penentu atau jumlah lajur tol relatif kecil (2 lajur s/d 4 lajur saja) seperti di wilayah misalnya, kemiringan maksimum adalah taper 1:3.



Gambar 2.77 Ruang bebas pada gerbang tol

2.2.4.3 Perencanaan Gerbang Tol

A. Kriteria Umum

Gerbang tol harus direncanakan sesuai dengan kriteria sebagai berikut :

- a) Bentuk konstruksi atap dan tinggi minimum gerbang tol dibuat sedemikian rupa sehingga mempunyai ruang bebas pada lajur lalu lintas dengan tinggi minimum 5,10 m.
- b) Lebar atap gerbang tol minimum 13 m dan bentuk *listplank* nya dibuat sedemikian sehingga memungkinkan pemasangan lampu lalu lintas ataupun *lane indicator*. Penempatan kolom gerbang harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu pandangan bebas pengumpul tol ke arah datangnya kendaraan dan kebutuhan akan ruang gerak yang memadai bagi karyawan gerbang dalam melaksanakan tugasnya di gerbang tol.
- c) Untuk gerbang tol dengan jumlah lajur lebih dari 10 lajur (9 pulau tol) diharuskan dilengkapi dengan terowongan penghubung antar gardu dan ke kantor gerbang untuk keselamatan dan keamanan pengumpul tol yang sekaligus menampung utilitas.
- d) Penempatan lampu pada atap gerbang agar dibuat sedemikian hingga tidak menyilaukan pengumpul tol untuk melihat kendaraan yang datang serta tidak mengganggu fungsi *lane indicator*.

B. Pulau Tol (*Toll Island*)

Lebar pulau tol minimum 2,10 m dengan panjang minimum 25 m untuk lajur searah dan 33 m untuk lajur bolak balik (*reversible lane*). Ujung pulau tol yang menghadap arah datangnya lalu lintas dilengkapi dengan *bull nose* serta 2 *bumper block*. Satu *bumper block* diletakkan pada ujung akhir *bull nose* dan satu lainnya diletakkan di muka gardu tol. Panjang *bull nose* 7 m dan tinggi *bumper block* 1,35 m di atas permukaan jalan. Batas keliling pulau tol dilengkapi dengan *concrete curb* (kanstin/ bingkai jalan) dengan tinggi 0,25 m di atas permukaan jalan.

C. Gardu Tol (*Toll Booth*)

Gardu Tol perlu direncanakan sedemikian rupa sehingga menciptakan kondisi kerja yang cukup nyaman dan aman bagi pengumpul tol. Untuk itu gardu tol harus dilengkapi dengan pengatur suhu, pasokan udara segar dan alat komunikasi antar gardu dan dengan kantor gerbang/ pos tol. Ukuran gardu tol

minimal lebar 1,25 m panjang 2,00 m dan tinggi 2,5 m. Pintu gardu tol berupa pintu geser dan diletakkan pada bagian belakang gardu, dengan lebar minimum 0,60 m.

D. Jumlah Kebutuhan Gardu Tol

Untuk menetapkan jumlah lajur atau jumlah gardu tol yang direncanakan, akan ditentukan oleh 3 (tiga) faktor yaitu :

- a) Volume lalu lintas. Dalam merencanakan jumlah lajur (gardu tol), volume lalu lintas yang harus diperhitungkan adalah volume lalu lintas pada jam sibuk, dalam hal ini yang dipakai adalah volume lalu lintas jam perencanaan.
- b) Waktu pelayanan di gardu tol. Besarnya waktu pelayanan sangat dipengaruhi oleh sistem pengumpulan tol dan kemampuan peralatan tol maupun keterampilan dan kesiapan petugas pengumpul tol maupun pemakai jalan. Besarnya waktu pelayanan tersebut adalah sebagai berikut :
 - 1) Sistem pengumpulan tol terbuka
 - Gardu masuk/ keluar : 6 detik
 - 2) Sistem pengumpulan tol tertutup
 - Gardu masuk : 4 detik
 - Gardu keluar : 10 detik
- c) Standar pelayanan (jumlah antrian kendaraan yang diperkenankan). Untuk keperluan perhitungan rencana jumlah lajur (gardu) tol pada gerbang tol, jumlah antrian kendaraan per lajur (per gardu) maksimum adalah 3 (tiga) kendaraan. Dengan demikian kapasitas gerbang tol dapat dihitung seperti pada Tabel 2.45. berikut ini :

Tabel 2.45 Kapasitas gerbang tol menurut jumlah gardu dan waktu pelayanan

Jumlah Gardu	Kapasitas Gerbang Tol (Kendaraan/ jam)		
	Waktu Pelayanan (detik)		
	4	6	10
1	675	450	270
2	1.575	1.050	630
3	2.475	1.650	990
4	3.375	2.250	1.350
5	4.275	2.850	1.710
6	5.175	3.450	2.070
7	6.075	4.050	2.430
8	6.975	4.650	2.790
9	7.875	5.250	3.150
10	8.775	5.850	3.510
11	9.675	6.450	3.870
12	10.575	7.050	4.230
13	11.475	7.650	4.590
14	12.375	8.250	4.950
15	13.275	8.850	5.310

Sumber : Buku Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (No. 007/BM/2009)

2.3 Perkerasan Jalan

Secara umum perkerasan jalan terbagi menjadi 3 jenis, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan perkerasan komposit (*composite pavement*) yang merupakan gabungan antara perkerasan lentur dengan perkerasan kaku (beton semen). Pada tugas akhir ini akan membahas mengenai perhitungan tebal perkerasan kaku menggunakan 2 metode yaitu, metode Pd-T-14-2003 dan metode *AASHTO* 1993.

2.3.1 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan beton sebagai bahan utama terdiri dari pelat (*slab*) beton semen portland dan lapisan pondasi diatas tanah dasar (bisa juga tidak ada). Perkerasan beton memiliki modulus elastisitas yang tinggi, yang akan mendistribusikan beban terhadap bidang area yang luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari slab beton itu sendiri. Maka faktor utama yang paling diperhatikan dalam perencanaan perkerasan jalan beton adalah kekuatan beton itu sendiri.

2.3.1.1 Jenis – Jenis Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

A. Perkerasan Beton Bersambung tanpa Tulangan (*Rigid Pavement*)

Jenis perkerasan beton semen ini dibuat tanpa tulangan dengan ukuran pelat mendekati bujur sangkar, dimana panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan–sambungan melintang untuk mencegah retak beton. Umumnya perkerasan ini tidak menggunakan tulangan, namun ruji (*dowel*) dan batang pengikat (*tie bar*).

B. Perkerasan Beton Bersambung dengan Tulangan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement*)

Jenis perkerasan beton semen ini dibuat dengan tulangan, yang ukuran pelatnya berbentuk persegi panjang, dimana panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan melintang. panjang pelat berkisar 8- 15 m.

C. Perkerasan Beton Semen Menerus dengan Tulangan (*Continuously Reinforced Concrete Pavement*)

Jenis perkerasan ini dibuat dengan tulangan, pelat tulangan mulai melintang. Pelat beton menerus hanya dibatasi adanya sambungan muai melintang. Panjang pelat beton lebih dari 75 m.

D. Perkerasan Beton Semen Pra-Tegang (*Prestressed Concrete Pavement*)

Jenis perkerasan beton semen yang menggunakan tulangan prategang untuk mengurangi pengaruh susut, muai akibat perubahan suhu dan umumnya tanpa tulangan melintang. Banyak digunakan untuk *airport, apron, taxiway, runway*.

2.4 Analisa Kapasitas Jalan

2.4.1 Arus Lalu Lintas

Perhitungan arus lalu lintas pada jalan bebas hambatan berpedoman pada PKJI 2014 dengan cara perhitungan sebagai berikut :

$$Q = LHRT \times k \times Ekr$$

Persamaan 2.40

Dimana :

Q = Arus kendaraan (kendaraan/ jam)

LHRT = Lalu lintas harian rata – rata tahunan (kendaraan/ hari)

K = Rasio antara arus jam rencana dan LHRT (nilai ormal 0,11)

Tabel 2.46 Ekr untuk JBH4/2-T

Tipe Alinyemen	Q per arah (kend./ jam)	Ekr		
		KS	BB	TB
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1250	1,4	1,4	2,0
	2250	1,6	1,7	2,5
	≥ 2800	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,8	1,6	4,8
	900	2,0	2,0	4,6
	1700	2,2	2,3	4,3
	≥ 2250	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	700	2,9	2,6	5,1
	1450	2,6	2,9	4,8
	≥ 2000	2,0	2,4	3,8

Sumber : PKJI 2014

Tabel 2.47 Ekr untuk JBH6/2-T

Tipe Alinyemen	Q per arah (kend./ jam)	Ekr		
		KS	BB	TB
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1500	1,4	1,4	2,0
	2750	1,6	1,7	2,5
	≥ 3250	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,8	1,6	4,8
	1100	2,0	2,0	4,6
	2100	2,2	2,3	4,3
	≥ 2650	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	800	2,9	2,6	5,1
	1700	2,6	2,9	4,8
	≥ 2300	2,0	2,4	3,8

Sumber : PKJI 2014

2.4.2 Analisa Kapasitas

Untuk jalan tak-terbagi, semua analisa (kecuali analisa-kelandaian khusus) dilakukan pada kedua arah menggunakan satu set formulir. Untuk jalan terbagi analisa dilakukan pada masing – masing arah dan seolah – olah masing – masing arah adalah jalan satu arah yang terpisah.

$$C = C_0 \times FC_L \times FC_{PA}$$

Persamaan 2.41

Keterangan :

C = Kapasitas

C_0 = Kapasitas dasar (smp/jam)

FC_L = Faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu-lintas

FC_{PA} = Faktor penyesuaian akibat pemisahan arah (jalan bebas hambatan tak terbagi)

2.4.3 Kapasitas Dasar (C_0)

Kapasitas dasar adalah kapasitas suatu segmen jalan untuk suatu set koordinasi yang ditentukan sebelumnya (geometrik, pola arus lalu lintas dan faktor lingkungan). Perhatikan bahwa pengaruh tipe medan pada kapasitas juga diperhitungkan melalui penggunaan emp yang berbeda seperti yang diuraikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 2.48 Kapasitas jalan bebas hambatan

Tipe JBH/ Tipe alinyemen	Kapasitas dasar (skr/jam/lajur)
JBH4/2 dan JBH 6/2	
Datar	2300
Bukit	2250
Gunung	2150

Sumber : PKJI 2014

Kapasitas dasar untuk jalan bebas hambatan dengan lebih dari enam lajur (berlajur banyak) dapat ditentukan dengan menggunakan kapasitas per lajur yang diberikan dalam tabel di atas, meskipun lajur yang bersangkutan tidak dengan lebar yang standar.

2.4.4 Faktor Penyesuaian Lebar Jalur (F_{CL})

Untuk jalan bebas hambatan yang umumnya mempunyai bahu diperkeras yang dapat digunakan untuk lalu lintas, lebar bahu tidak ditambahkan pada lebar efektif jalur lalu lintas.

Tabel 2.49 Faktor Kapasitas Akibat Lebar Jalur Lalu Lintas (F_{CL})

Tipe Jalan	Lebar efektif jalur lalu lintas (L _{Li-E}), m		F _{CL}
JBH4/2	Per Lajur	3,25	0,96
Dan		3,50	1,00
JBH6/2		3,75	1,03

Sumber : PKJI 2014

Faktor penyesuaian kapasitas jalan dengan lebih dari enam lajur dapat ditentukan dengan menggunakan nilai per lajur yang diberikan untuk jalan bebas hambatan empat-dan enam lajur pada tabel di atas.

2.4.5 Faktor Penyesuaian Pemisah Arah (F_{C_{PA}})

Faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisah arah dapat ditentukan sesuai dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2.50 Faktor kapasitas akibat pemisah arah

Pemisahan arah SP % - %		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
F _{C_{SP}}	Jalan bebas hambatan tak terbagi	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88

Sumber : PKJI 2014

2.4.6 Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan adalah ratio antara arus total lalu lintas (Q) dalam smp/jam dengan kapasitas (C).

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

Persamaan 2.42

Dimana :

DS = Derajat Kejenuhan

Q = Arus total lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas

2.5 Drainase

Drainase berasal dari kata *drainage* yang artinya mengeringkan atau mengalirkan. Drainase merupakan sebuah sistem yang dibuat untuk menangani persoalan kelebihan air baik kelebihan air yang berada di atas permukaan tanah

maupun air yang berada di bawah permukaan tanah. Kebutuhan terhadap drainase berawal dari kebutuhan air untuk kehidupan manusia di mana untuk kebutuhan tersebut manusia memanfaatkan sungai untuk kebutuhan rumah tangga, pertanian, perikanan, peternakan dan lainnya.

2.5.1 Jenis Drainase

Untuk lebih memudahkan pemahaman tentang drainase, selanjutnya jenis drainase, selanjutnya jenis drainase dapat dikelompokkan berdasarkan :

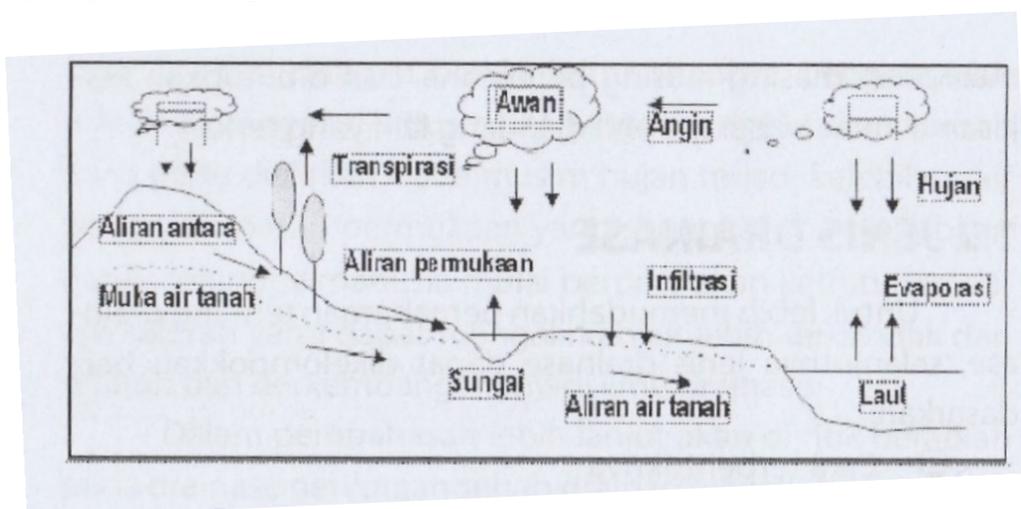
2.5.1.1 Drainase Berdasarkan Cara Terbentuknya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari cara terbentuknya, dapat dikelompokkan menjadi :

a) Drainase alamiah (*natural drainage*)

Drainase alamiah terbentuk melalui proses alamiah yang berlangsung lama. Saluran drainase terbentuk akibat gerusan air sesuai dengan kontur tanah. Drainase alamiah ini terbentuk pada lokasi tanah yang cukup kemiringannya, sehingga air akan mengalir dengan sendirinya, masuk ke sungai-sungai. Pada tanah yang cukup porous, air yang ada di permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (*infiltrasi*).

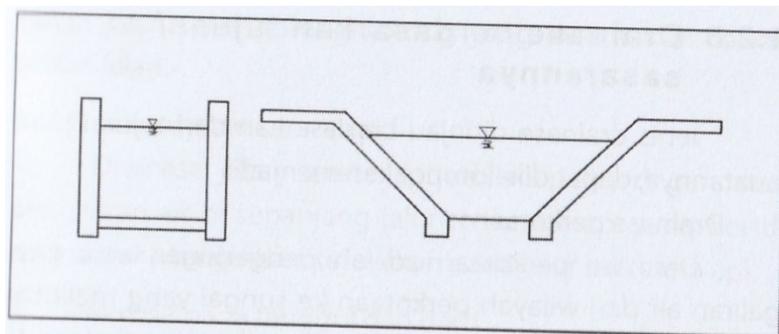
Air yang meresap berubah menjadi aliran antara (*Sub-Surface Flow*) mengalir menuju sungai, dan dapat juga mengalir masuk ke dalam tanah (perkolasi) hingga ke air tanah yang kemudian bersama-sama dengan air tanah mengalir sebagai aliran air tanah (*Ground Water Flow*) menuju sungai. Umumnya drainase alamiah ini berupa sungai beserta anak-anak sungainya yang membentuk suatu jaringan alur sungai.



Gambar 2.78 Terbentuknya drainase alamiah

b) Drainase Buatan (artificial drainage)

Drainase buatan adalah sistem yang dibuat dengan maksud tertentu dan merupakan hasil rekayasa berdasarkan hasil hitungan-hitungan yang dilakukan untuk upaya penyempurnaan atau melengkapi kekurangan sistem drainase alamiah. Pada sistem drainase buatan memerlukan biaya-biaya baik pada perencanaannya maupun pada pembuatannya.



Gambar 2.79 Drainase buatan

2.5.1.2 Drainase Berdasarkan Sistem Pengalirannya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari sistem pengalirannya, dapat dikelompokkan menjadi :

a) Drainase Dengan Sistem Jaringan

Drainase dengan sistem jaringan adalah suatu sistem pengeringan atau pengaliran air pada suatu kawasan yang dilakukan dengan mengalirkan air melalui sistem tata saluran dengan bangunan-bangunan pelengkapannya.

b) Drainase Dengan Sistem Resapan

Drainase dengan sistem resapan adalah sistem pengeringan atau pengaliran air yang dilakukan dengan meresapkan air ke dalam tanah. Cara resapan ini dapat dilakukan langsung terhadap genangan air di permukaan tanah ke dalam tanah atau melalui sumuran/ saluran resapan. Sistem resapan ini sangat menguntungkan bagi usaha konservasi air.

2.5.1.3 Drainase Berdasarkan Tujuan/ Sasaran Pembuatannya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari tujuan pembuatannya, dapat dikelompokkan menjadi :

a) Drainase perkotaan

Drainase perkotaan adalah pengeringan atau pengaliran air dari wilayah perkotaan ke sungai yang melintasi wilayah perkotaan tersebut sehingga wilayah perkotaan tidak digenangi air.

b) Drainase daerah pertanian

Drainase daerah pertanian adalah pengeringan atau pengaliran air di daerah pertanian baik di persawahan maupun daerah sekitarnya yang bertujuan untuk mencegah kelebihan air agar pertumbuhan tanaman tidak terganggu.

c) Drainase lapangan terbang

Drainase lapangan terbang adalah pengeringan atau pengaliran air di kawasan lapangan terbang terutama pada *runway* (landasan pacu) dan *taxiway* sehingga kegiatan penerbangan baik *take off*, landing maupun *taxing* tidak terhambat. Pada lapangan terbang drainase juga bertujuan untuk keselamatan terutama pada saat *landing* dan *take off* yang apabila tergenang air dapat mengakibatkan tergelincirnya pesawat terbang.

d) Drainase jalan raya

Drainase jalan raya adalah pengeringan atau pengaliran air di permukaan jalan yang bertujuan untuk menghindari kerusakan pada badan jalan dan menghindari kecelakaan lalu lintas. Drainase jalan raya biasanya berupa saluran di kiri-kanan jalan serta gorong-gorong yang melintas di bawah badan jalan.

e) Drainase jalan kereta api

Drainase jalan kereta api adalah pengeringan atau pengaliran air di sepanjang jalur rel kereta api yang bertujuan untuk menghindari kerusakan pada jalur rel kereta api.

f) Drainase pada tanggul dan dam

Drainase pada tanggul dan dam adalah pengaliran air di daerah sisi luar tanggul dan dam yang bertujuan untuk mencegah keruntuhan tanggul dan dam akibat erosi rembesan aliran air (pipung).

g) Drainase lapangan olahraga

Drainase lapangan olahraga adalah pengeringan atau pengaliran air pada suatu lapangan olahraga seperti lapangan bola kaki dan lainnya yang bertujuan agar kegiatan olahraga tidak terganggu meskipun dalam kondisi hujan.

h) Drainase untuk keindahan kota

Drainase untuk keindahan kota adalah bagian dari drainase perkotaan, namun pembuatan drainase ini lebih ditujukan lebih pada sisi estetika seperti tempat rekreasi dan lainnya.

i) Drainase untuk kesehatan lingkungan

Drainase untuk kesehatan lingkungan merupakan bagian dari drainase perkotaan, dimana pengeringan dan pengaliran air bertujuan untuk mencegah genangan yang dapat menimbulkan wabah penyakit.

j) Drainase untuk penambahan areal

Drainase untuk penambahan areal adalah pengeringan atau pengaliran air pada daerah rawa ataupun laut yang tujuannya sebagai upaya untuk menambah areal.

2.5.1.4 Tata Letaknya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari tata letaknya dapat dikelompokkan menjadi:

a) Drainase permukaan tanah (*surface drainage*)

Drainase permukaan tanah adalah sistem drainase yang salurannya berada di atas permukaan tanah. Pengaliran air terjadi karena adanya beda tinggi permukaan saluran (*Slope*).

b) Drainase bawah permukaan tanah (*subsurface drainage*)

Drainase bawah permukaan tanah adalah sistem drainase yang dialirkan di bawah tanah (ditanam) biasanya karena sisi artistik atau pada suatu areal yang tidak memungkinkan untuk mengalirkan air di atas permukaan tanah seperti pada lapangan olahraga, lapangan terbang, taman dan lainnya.

2.5.1.5 Drainase Berdasarkan Fungsinya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari fungsinya dapat dikelompokkan menjadi:

a) Drainase Single Purpose

Drainase single purpose adalah saluran drainase yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan misalnya air hujan atau air limbah atau lainnya.

b) Drainase Multi Purpose

Drainase multi purpose adalah saluran drainase yang berfungsi mengalirkan lebih dari satu air buangan baik secara bercampur maupun bergantian misalnya campuran air hujan dan air limbah.

2.5.1.6 Drainase Berdasarkan Konstruksinya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari konstruksinya, dapat dikelompokkan menjadi:

a) Drainase Saluran Terbuka

Drainase saluran terbuka adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfir). Drainase saluran terbuka biasanya mempunyai luasan yang cukup dan digunakan untuk mengalirkan air hujan atau air limbah yang tidak membahayakan kesehatan lingkungan dan tidak mengganggu keindahan.

b) Drainase Saluran Tertutup

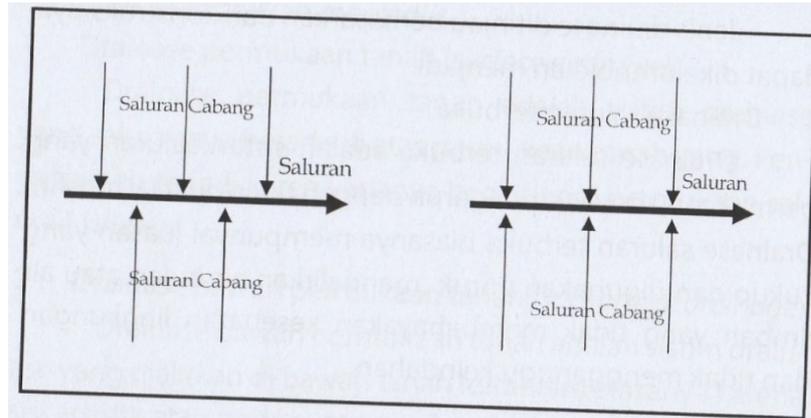
Drainase saluran tertutup adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfir). Saluran drainase saluran tertutup sering digunakan untuk mengalirkan air limbah atau air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan dan mengganggu keindahan.

2.5.2 Pola Jaringan Drainase

Pada sistem jaringan drainase terdiri dari beberapa saluran yang saling berhubungan sehingga membentuk suatu pola jaringan. Dari bentuk pola jaringan dapat dibedakan sebagai berikut :

a) Pola siku

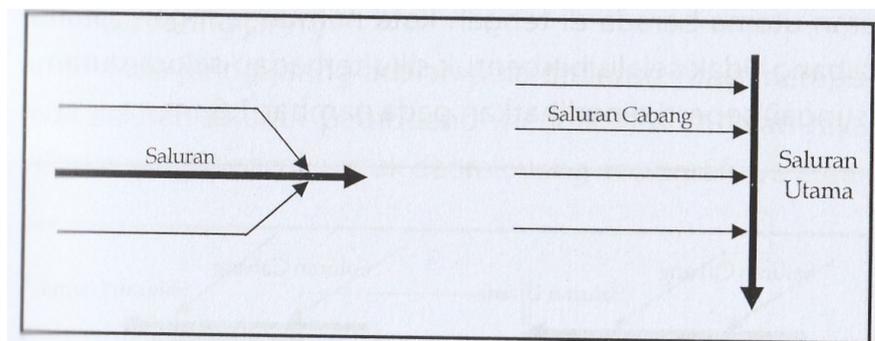
Pola siku adalah suatu pola dimana saluran cabang membentuk siku-siku pada saluran utama seperti diperlihatkan pada gambar 2.75. biasanya dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi daripada sungai di mana sungai merupakan saluran pembuang utama berada di tengah kota.



Gambar 2.80 Pola jaringan siku

b) Pola Paralel

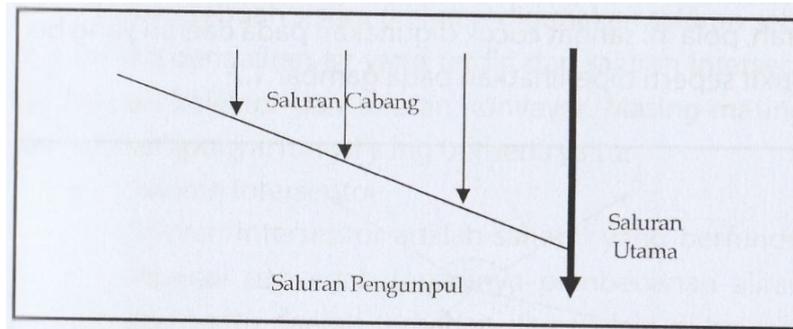
Pola paralel adalah suatu pola dimana saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang yang pada bagian akhir saluran cabang dibelokkan menuju saluran utama. Pada pola paralel saluran cabang cukup banyak dan pendek-pendek.



Gambar 2.81 Pola jaringan paralel

c) Pola Grid Iron

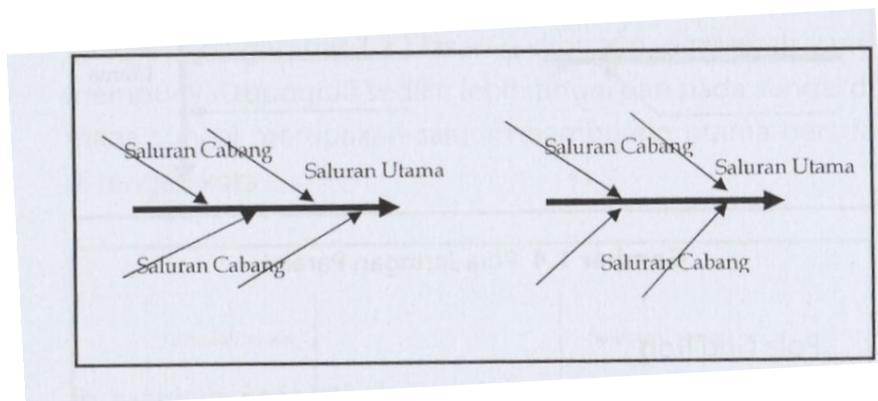
Pola grid iron merupakan pola jaringan drainase dimana sungai terletak di pinggiran kota. Sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul kemudian dialirkan pada sungai seperti diperlihatkan pada Gambar 2.82. Berikut ini



Gambar 2.82 Pola jaringan grid iron

d) Pola Alamiah

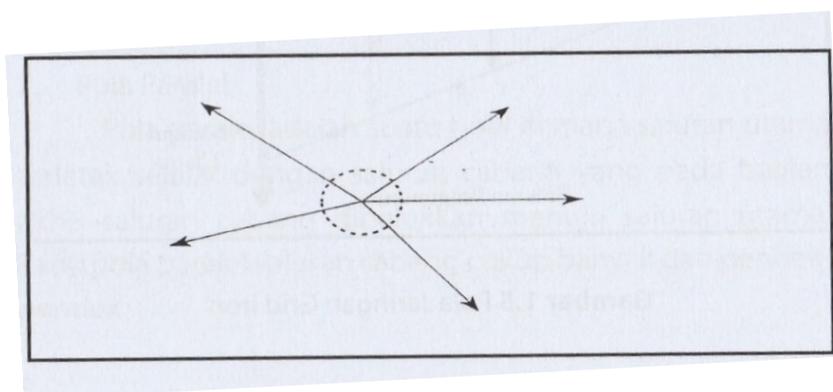
Pola alamiah adalah suatu pola jaringan drainase yang hampir sama dengan pola siku, dimana sungai sebagai saluran utama berada di tengah kota namun jaringan saluran cabang tidak selalu berbentuk siku terhadap saluran utama (sungai) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.83. berikut ini:



Gambar 2.83 Pola jaringan alamiah

e) Pola Radial

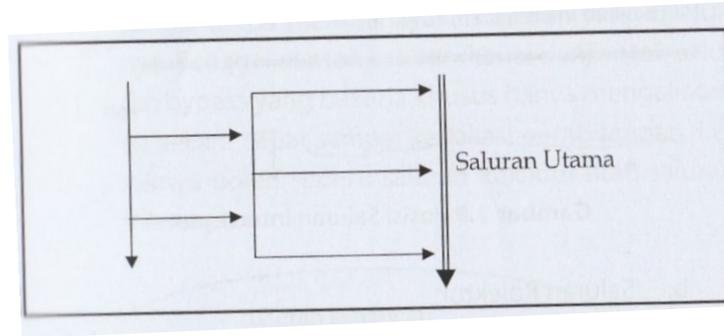
Pola radial adalah pola jaringan drainase yang mengalirkan air dari pusat sumber air memencar ke berbagai arah, pola ini sangat cocok digunakan pada daerah yang berbukit seperti diperlihatkan pada Gambar 2.84. berikut ini:



Gambar 2.84 Pola jaringan radial

a) Pola Jaring – Jaring

Pola jaring-jaring adalah pola drainase yang mempunyai saluran-saluran pembuang mengikuti arah jalan raya. Pola ini sangat cocok untuk daerah yang topografinya datar.



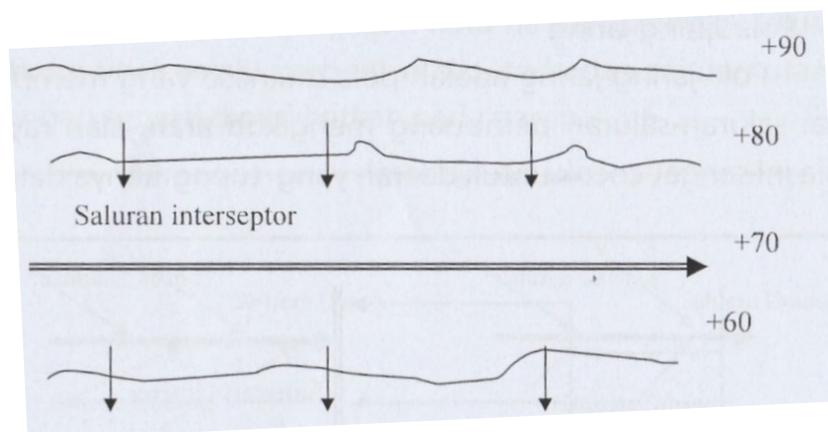
Gambar 2.85 Pola jaringan jaring-jaring

2.5.3 Fungsi Saluran Drainase

Dalam sebuah sistem drainase digunakan saluran sebagai sarana pengaliran air yang terdiri dari saluran interseptor, saluran kolektor dan saluran konveyor. Masing-masing saluran mempunyai fungsi yang berbeda yaitu:

a) **Saluran Interseptor**

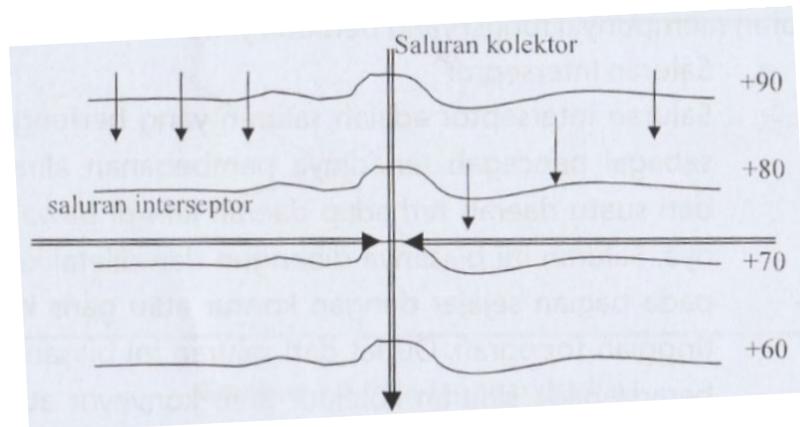
Saluran interseptor adalah saluran yang berfungsi sebagai pencegah terjadinya pembebanan aliran dari suatu daerah terhadap daerah lain di bawahnya. Saluran ini biasanya dibangun dan diletakkan pada bagian sejajar dengan kontur atau garis ketinggian topografi. Outlet dari saluran ini biasanya berada pada saluran kolektor atau konveyor atau langsung pada saluran alamiah/ sungai.



Gambar 2.86 Posisi saluran interceptor

b) Saluran Kolektor

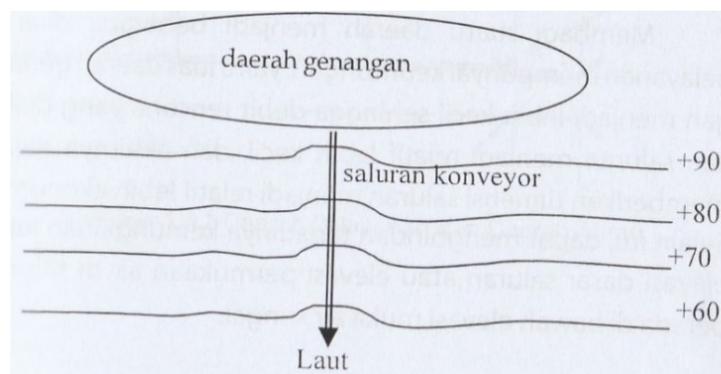
Saluran kolektor berfungsi sebagai pengumpul aliran dari saluran drainase yang lebih kecil, misalnya saluran interseptor. Outlet saluran ini berada pada saluran konveyor atau langsung ke sungai. Letak saluran kolektor ini di bagian terendah lembah dari suatu daerah sehingga secara efektif dapat berfungsi sebagai pengumpul dari anak cabang saluran yang ada.



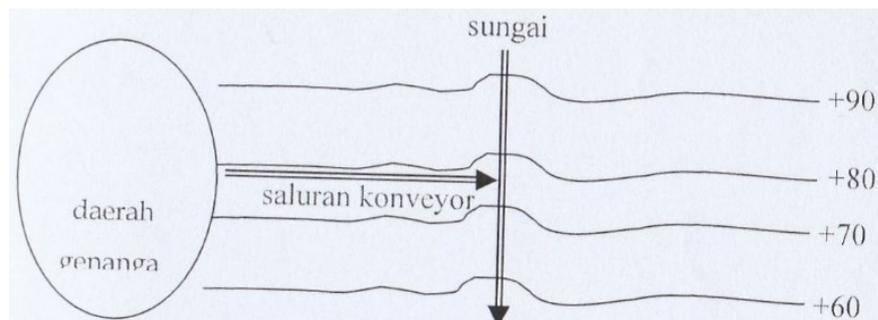
Gambar 2.87 Posisi saluran kolektor

c) Saluran Konveyor

Saluran konveyor adalah saluran yang berfungsi sebagai saluran pembawa seluruh air buangan dari suatu daerah ke lokasi pembuang, misalnya ke sungai tanpa membahayakan daerah yang dilaluinya. Sebagai contoh saluran/ kanal banjir atau saluran *bypass* yang bekerja khusus hanya mengalirkan air secara cepat sampai ke lokasi pembuangan. Letaknya boleh seperti saluran kolektor atau saluran interseptor.



Gambar 2.88 Posisi saluran konveyor (a)



Gambar 2.89 Posisi saluran konveyor (b)

2.5.4 Desain Hidrologi

Untuk menyelesaikan persoalan drainase sangat berhubungan dengan aspek hidrologi khususnya masalah hujan sebagai sumber air yang akan dialirkan pada sistem drainase dan limpasan sebagai akibat tidak mempunya sistem drainase mengalirkan ke tempat pembuangan akhir. Desain hidrologi diperlukan untuk mengetahui debit pengaliran.

2.5.4.1 Hujan dan Limpasan

Hujan dan limpasan merupakan dua fenomena yang tidak dapat dipisahkan yang saling terkait satu sama lainnya. Fenomena hujan merupakan fenomena alam yang tidak dapat diketahui secara pasti namun dapat dilakukan perkiraan-perkiraan berdasarkan data-data hujan terdahulu. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh para ahli mengenai hujan menunjukkan bahwa hujan-hujan yang besarnya tertentu mempunyai masa ulang rata-rata tertentu pula dalam jangka waktu cukup panjang. Akibat terjadinya hujan maka akan terjadi limpasan berupa air hujan yang akan mencapai sungai tanpa mencapai permukaan air tanah yakni curah hujan yang dikurangi sebagian dari infiltrasi, sebagian dai besarnya air yang tertahan dan sebagian dari besarnya genangan.

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi limpasan diantaranya adalah tata guna lahan, daerah pengaliran, kondisi topografi dari daerah pengaliran, jenis tanah dan faktor-faktor lain seperti karakteristik sungai, adanya daerah pengaliran yang tidak langsung, daerah-daerah tampungan, drainase buatan dan lain-lain. Pengaliran di dalam sungai disebabkan terutama oleh hujan. Jatuhnya hujan di suatu daerah baik menurut waktu maupun menurut pembagian geografisnya tidak tetap melainkan berubah-ubah tergantung kepada musim yang sedang berlangsung.

a) Hujan

Pengelompokan hujan setiap hari (24) jam yang besarnya tertentu selama bertahun-tahun memperlihatkan bahwa hujan-hujan kecil terjadi lebih sering dari pada hujan-hujan besar.

Peninjauan lebih lanjut mengenai hujan-hujan itu menunjukkan bahwa hujan-hujan yang besarnya tertentu mempunyai masa ulang rata-rata tertentu pula dalam jangka waktu yang cukup panjang. Pada hujan harian yang besarnya 40 mm terjadi rata-rata 10 tahun sekali, artinya dalam 50 tahun terjadi 5 kali atau dalam 100 tahun terjadi 10 kali dan selanjutnya hujan yang besarnya 40 mm sehari itu mempunyai masa ulang rata-rata 10 tahun.

Keadaan yang paling ekstrim adalah intensitas hujan yang besar dengan waktu yang lama, dapat mengakibatkan banjir. Ini terjadi akibat adanya limpasan permukaan yang sangat besar yang disebabkan oleh hujan dan tidak dapat ditampung lagi oleh sungai atau saluran drainase, disamping itu limpasan permukaan yang berlebihan disebabkan tanah sudah jenuh air.

b) Limpasan

Limpasan permukaan adalah air yang mencapai sungai tanpa mencapai permukaan air tanah yakni curah hujan yang dikurangi sebagian dari infiltrasi, besarnya air yang tertahan dan besarnya genangan. Limpasan dapat dibagi dalam 2 sumber yaitu :

- Air yang mengalir di atas permukaan tanah.
- Air yang mengalir di bawah permukaan (*Subsurface*) yaitu sebagian air yang mengalir ke sungai dari proses infiltrasi di bawah permukaan tanah.

2.5.4.2 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu. Besarnya intensitas hujan berbeda-beda, tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas hujan diperoleh dengan cara melakukan analisis data hujan baik secara statistik maupun secara empiris. Biasanya intensitas hujan dihubungkan dengan durasi hujan jangka pendek misalnya 5 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jaman. Data curah hujan jangka pendek ini hanya dapat diperoleh dengan menggunakan alat pencatat hujan otomatis. Di Indonesia, alat ini sangat sedikit dan jarang. Sehingga yang banyak

digunakan adalah alat pencatat hujan biasa yang mengukur hujan 24 jam atau disebut hujan harian.

Apabila yang tersedia hanya data hujan harian ini, maka intensitas hujan dapat diestimasi dengan menggunakan rumus Mononobe seperti berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad \text{Persamaan 2.43}$$

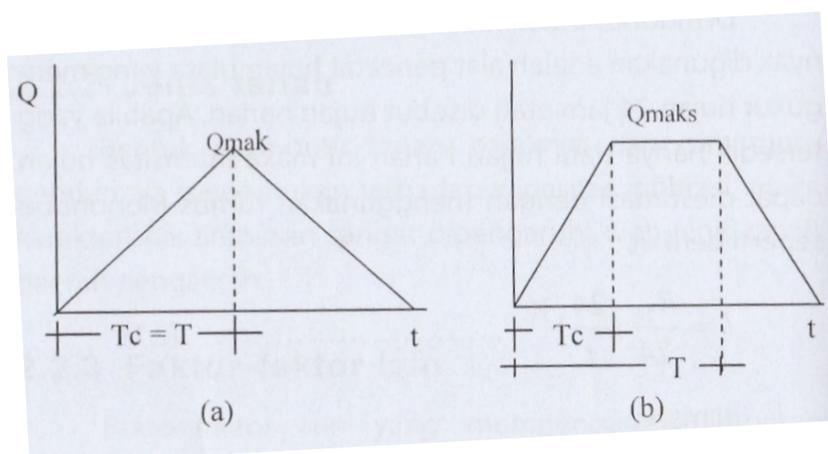
Dimana :

I = Intensitas Curah Hujan (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t = Durasi (lamanya) curah hujan (menit) atau (jam)

Dari Gambar 2.90. (a) memperlihatkan hidrograf rasional untuk durasi hujan sama dengan waktu konsentrasi. Debit maksimum terjadi saat waktu konsentrasi yaitu setelah aliran dari tempat yang paling jauh dengan aliran dari bagian lainnya bersama-sama sampai ke tempat pengukuran dan aliran langsung kembali mengecil setelah hujan berhenti. Apabila lama hujan lebih besar dari waktu konsentrasi, maka debit akan konstan sebesar debit maksimum sampai hujan berhenti dan kemudian aliran mengecil kembali, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.90. (b).



Gambar 2.90 (a) Hidrograf rasional durasi hujan (T) = Waktu konsentrasi (T_c) dan (b) Hidrograf rasional durasi hujan (T) > Waktu konsentrasi (T_c)

2.5.4.3 Hujan Rencana

Hujan rencana yang dimaksud adalah hujan harian maksimum yang akan digunakan untuk menghitung intensitas hujan, kemudian intensitas ini digunakan untuk mengestimasi debit rencana. Hujan rencana dapat dihitung secara statistik berdasarkan data curah hujan terdahulu dengan menggunakan rumus berikut :

$$R_r = \bar{R} + K \cdot S_d \quad \text{Persamaan 2.44}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_r}{n} \quad \text{Persamaan 2.45}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} \quad \text{Persamaan 2.46}$$

Dimana :

R_r = Hujan rencana periode ulang T tahun (mm)

\bar{R} = Hujan harian tahunan maksimum rata-rata (mm)

K = Faktor frekuensi untuk periode ulang T tahun sesuai dengan tipe sebaran tipe sebaran data hujan

S_d = Standar deviasi

R_i = Hujan harian maksimum tahun ke i

N = Jumlah data atau tahun

2.5.4.4 Rumus Rasional

Ada banyak rumus rasional yang dibuat secara empiris yang dapat menjelaskan hubungan antara hujan dengan limpasannya diantaranya adalah :

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot C_s \cdot I \cdot A \quad \text{Persamaan 2.47}$$

Dimana :

Q = Debit (m³/det)

C = Koefisien aliran

C_s = Koefisien tampungan

I = Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = Luas daerah aliran (km²)

Rumus rasional lainnya yang menggambarkan hubungan antara hujan dan limpasannya yang dipengaruhi oleh penyebaran hujannya sebagai berikut :

$$Q = C \cdot \beta \cdot I \cdot A \quad \text{Persamaan 2.48}$$

Dimana :

Q = Debit (m³/ det)

C = Koefisien aliran

β = Koefisien penyebaran hujan

I = Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = Luas daerah aliran (km²)

Koefisien penyebaran hujan (β) merupakan nilai yang digunakan untuk mengoreksi pengaruh penyebaran hujan yang tidak merata pada suatu daerah pengaliran. Koefisien penyebaran hujan (β) diperlihatkan Tabel 2.63. berikut ini:

Tabel 2.51 Koefisien penyebaran hujan (Hadihardjaja, 1997)

Luas Daerah Pengaliran (km ²)	Koefisien Penyebaran Hujan (β)
0,00 – 4,00	1,000
5,00	0,995
10,00	0,980
15,00	0,955
20,00	0,920
25,00	0,875
30,00	0,820
50,00	0,500

Sumber : Hadihardjaja, 1997

Dari rumus diatas dapat kita ketahui bahwa besarnya debit sangat dipengaruhi oleh intensitas hujan dan luas daerah hujan. Semakin besar intensitas hujan maka akan semakin besar pula debit air yang dihasilkan.

2.5.4.5 Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran (*RunOff Coefficient*) adalah perbandingan antara jumlah air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah (*Surface RunOff*) dengan yang jatuh dari atmosfer. Nilai koefisien pengaliran bergantung dari jenis tanah dan konstruksi dipermukaan tanah yang menyebabkan air hujan tidak secara langsung ke permukaan tanah/ berinfiltrasi. Maka akan menghasilkan limpasan permukaan hampir 100%. Rumus menentukan koefisien pengaliran sebagai berikut:

$$C = Q/R$$

Persamaan 2.49

Keterangan:

C = Koefisien Pengaliran

Q = Jumlah Limpasan

R = Jumlah Curah Hujan

Koefisien pengaliran secara umum diperlihatkan pada Gambar 2.91. berikut ini :

Tipe Daerah Aliran	Jenis Tanah	Harga C
Perumputan	Tanah pasir, datar, 2 %	0,05 - 0,10
	Tanah pasir, rata-rata 2 - 7 %	0,10 - 0,15
	Tanah pasir, curam, 7 %	0,15 - 0,20
	Tanah gemuk, datar, 2 %	0,13 - 0,17
	Tanah gemuk, rata-rata 2 - 7 %	0,18 - 0,22
	Tanah gemuk, curam 7 %	0,25 - 0,35
Business	Daerah kota lama	0,75 - 0,95
	Daerah pinggiran	0,50 - 0,70
Perumahan	Daerah "Single Family"	0,30 - 0,50
	"Multi Units", terpisah-pisah	0,40 - 0,60
	"Multi Units", tertutup	0,60 - 0,75
	"Suburban"	0,25 - 0,40
	Daerah rumah-rumah apartemen	0,50 - 0,70
Industri	Daerah ringan	0,50 - 0,80
	Daerah berat	0,60 - 0,90
Jalan	Beraspal	0,70 - 0,95
	Beton	0,80 - 0,95
	Batu	0,70 - 0,85
Pertamanan, kuburan		0,10 - 0,25
Tempat bermain		0,20 - 0,35
Halaman kereta api		0,20 - 0,40
Daerah yang tidak dikerjakan		0,10 - 0,30
Untuk berjalan dan naik kuda		0,75 - 0,85
Atap		0,75 - 0,95

Sumber : Subarkah, 1980

Gambar 2.91 Koefisien pengaliran untuk penggunaan secara umum

2.5.4.6 Koefisien Tampungan

Daerah yang memiliki cekungan untuk menampung air hujan relatif mengalirkan lebih sedikit air hujan dibandingkan dengan daerah yang tidak memiliki cekungan sama sekali. Efek tampungan oleh cekungan ini terhadap debit rencana diperkirakan dengan koefisien tampungan diperoleh dengan rumus berikut:

$$C_s = \frac{2 T_c}{2 T_c + T_d} \quad \text{Persamaan 2.50}$$

Dimana :

C_s = Koefisien tampungan;

T_c = Waktu konsentrasi (jam);

T_d = Waktu aliran air mengalir di dalam saluran dari hulu hingga ke tempat pengukuran (jam)

2.5.4.7 Karakteristik Hujan

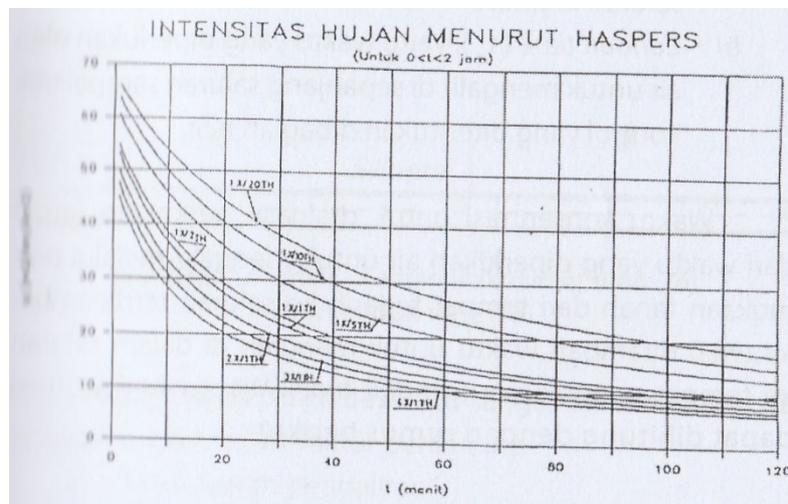
Karakteristik hujan dapat diketahui berdasarkan durasi hujan, intensitas hujan dan waktu konsentrasinya.

a) Durasi Hujan

Durasi hujan adalah lama kejadian hujan (menitan, jam-jaman, harian) diperoleh terutama dari hasil pencatatan alat pengukur hujan otomatis.

b) Lengkung Intensitas Hujan

Lengkung intensitas hujan adalah grafik yang menyatakan hubungan antara intensitas hujan dengan durasi hujan, hubungan tersebut dinyatakan dalam bentuk lengkung intensitas hujan dengan periode ulang hujan tertentu. Pada Gambar 2.86. merupakan salah satu contoh lengkung intensitas hujan untuk beberapa macam periode ulang hujan menurut Haspers.



Gambar 2.92 Kurva intensitas hujan

c) Waktu Konsentrasi (T_c)

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan untuk mengalirkan air dari titik yang paling jauh pada daerah aliran ke titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir suatu saluran. Debit maksimum tersebut akan terjadi apabila durasi hujan harus sama atau lebih besar dari waktu konsentrasi. Pada prinsipnya waktu konsentrasi dapat dibagi menjadi:

- 1) *Inlet time* (t_o), yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase.
- 2) *Conduit time* (t_d), yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di sepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir.

Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$t_c = t_o + t_d$$

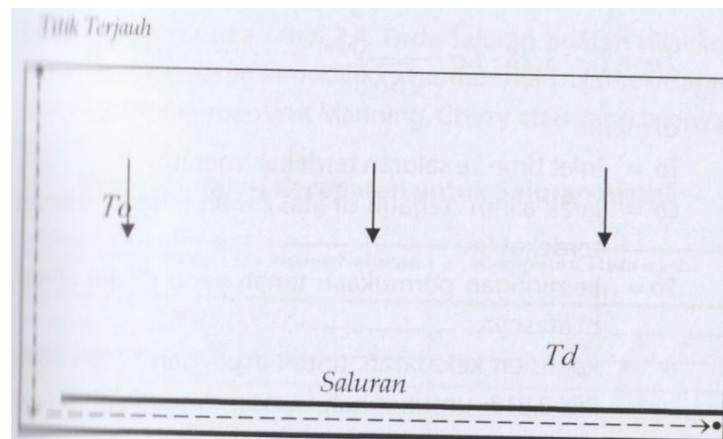
Persamaan 2.51

Dimana :

T_c = Waktu konsentrasi (jam);

T_o = *Inlet time*, waktu yang diperlukan air hujan mengalir di permukaan tanah dari titik terjauh ke saluran terdekat (jam);

T_d = *Conduit Time*, waktu yang diperlukan air hujan untuk mengalir di dalam saluran sampai ke tempat pengukuran (jam).



Gambar 2.93 Lintasan aliran waktu *inlet time* (T_o) dan *conduit time* (T_d)

Waktu konsentrasi besarnya sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini:

- 1) Luas daerah pengaliran
- 2) Panjang saluran drainase
- 3) Kemiringan dasar saluran
- 4) Debit dan kecepatan aliran

Harga T_o dan T_d dan T_c dapat diperoleh dari rumus-rumus empiris, salah satunya adalah Rumus Kirpich, seperti berikut ini.

$$T_o = 0,0195 \left(\frac{L_o}{\sqrt{S_o}} \right)^{0,77}$$

Persamaan 2.52

Atau dengan rumus berikut ini.

$$T_0 = \left(\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot L_0 \cdot \frac{n}{\sqrt{S_0}}\right)^{0,167} \quad \text{Persamaan 2.53}$$

Dimana:

T_0 = Inlet Time ke saluran terdekat (menit);

L_0 = Jarak aliran terjauh di atas tanah hingga saluran terdekat (m);

S_0 = Kemiringan permukaan tanah yang dilalui aliran di atasnya;

N = Koefisien kekasaran, untuk aspal dan beton adalah 0,013; untuk tanah bervegetasi adalah 0,020 dan tanah perkerasan adalah 0,100.

Harga T_d ditentukan oleh panjang saluran yang dilalui aliran dan kecepatan aliran di dalam saluran, seperti ditunjukkan oleh rumus berikut ini.

T_d = *Conduit time* sampai ke tempat pengukuran (jam);

L_l = Jarak yang ditempuh aliran di saluran ke tempat pengukuran (m);

V = Kecepatan aliran di dalam saluran (m/det).

Lama waktu mengalir di dalam saluran (t_d) ditentukan dengan rumus sesuai dengan kondisi salurannya, untuk saluran alami, sifat-sifat hidroliknya sukar ditentukan, maka t_d dapat ditentukan dengan menggunakan perkiraan kecepatan air seperti pada Tabel 2.52.

Tabel 2.52 Tabel kecepatan untuk saluran alami

Kemiringan Rata-rata Dasar Saluran (%)	Kecepatan Rata-rata (m/ det)
Kurang dari 1	0,40
1 – 2	0,60
2 – 4	0,90
4 – 6	1,20
6 – 10	1,50
10 – 15	2,40

Sumber : Wesli, 2008

Harga T_c ditentukan oleh panjang saluran yang dilalui aliran dan kemiringan saluran, seperti ditunjukkan oleh rumus berikut ini.

$$T_c = 0,00013 \frac{L^{0,7}}{S^{0,385}} \quad \text{Persamaan 2.54}$$

Keterangan :

T_c = Waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang jarak dari tempat terjauh di daerah aliran sampai tempat pengamatan banjir, di ukur menurut jalannya sungai (km)

S = Perbandingan dari selisih tinggi antara tempat terjauh dan tempat pengamatan, diperkirakan sama dengan kemiringan rata-rata dari daerah aliran.

2.5.4.8 Gorong – Gorong

Bangunan gorong-gorong ini dimaksudkan untuk meneruskan aliran air buangan yang melintas di bawah jalan raya. Dalam merencanakan gorong-gorong ini perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- ✓ Harus cukup besar untuk melewati debit air maksimum dari daerah pengaliran secara efisien.
- ✓ Kemiringan dasar gorong-gorong dibuat lebih besar dari saluran pembuangannya, dimaksudkan agar dapat menggelontor sedimen.
- ✓ Keadaan aliran pada gorong-gorong.

Dikenal ada 2 keadaan aliran gorong-gorong yakni:

- ✓ Kendali Inlet
- ✓ Kendali Outlet

Untuk setiap jenis pengendalian, rumus serta faktor yang berlainan harus digunakan. Rumus untuk gorong-gorong kotak yang pendek yang berpengendalian inlet telah diberikan oleh Henderson FM “*Open Chanel Flow*” (1966), yaitu:

- a) Bila $H_w/D < 1,2$ kira-kira permukaan air pada bagian masuk tidak akan menyinggung bagian atas dari lubang gorong-gorong oleh karena itu arus menjadi kritis. Oleh karena itu debit maka debitnya adalah:
- b) Apabila $H_w/D > 1,2$ kira-kira permukaan air akan menyentuh bagian atas lubang gorong-gorong, dan untuk nilai atau nilai yang lebih besar dari 4, maka tempat masuk gorong-gorong akan berlalu pintu geser. Hasil eksperimen

memperlihatkan bahwa pengaruh kombinasi dari penyempitan vertikal maupun horizontal dapat diutarakan sebagai satu koefisien penyempitan, C_b , dibidang tegak, yang untuk dasar langit-langit>> yang dibulatkan dan tepi vertikal adalah 0,8, sedangkan untuk tepi persegi adalah 0.6. Debit bisa dihitung berdasarkan asumsi tersebut dengan memakai persamaan:

$$Q = C_n.B.B\sqrt{2g(Hw - Cn.D)} \quad \text{Persamaan 2.55}$$

2.5.4.9 Aplikasi Hidrolika Pada Perencanaan Drainase

Yang perlu diperhatikan dalam perencanaan drainase dilihat dari sisi hidrolika adalah sebagai berikut :

- a) **Kecepatan maksimum aliran agar ditentukan tidak lebih besar dari kecepatan maksimum yang diizinkan sehingga tidak terjadi kerusakan.**
- b) **Kecepatan minimum aliran agar ditentukan tidak lebih kecil dari pada kecepatan minimum yang diizinkan sehingga tidak terjadi pengendapan dan pertumbuhan tanaman air.**
- c) **Bentuk penampang saluran agar dipilih berupa segi empat, trapesium, lingkaran, bagian dari lingkaran, bulat telur, bagian dari bulat telur, atau kombinasi dari bentuk-bentuk diatas.**
- d) **Saluran hendaknya dibuat dalam bentuk majemuk. Terdiri dari saluran kecil dan saluran besar, guna mengurangi beban pemeliharaan.**
- e) **Kelancaran pengaliran air dari jalan ke dalam saluran drainase agar dilewatkan melalui lubang patus yang berdimensi dan berjarak penempatan tertentu.**
- f) **Dimensi bangunan pelengkap seperti gorong-gorong, pintu air dan lubang pemeriksaan agar ditentukan berdasarkan kriteria perancangan sesuai dengan macam kota, daerah dan macam saluran.**

2.5.4.10 Debit Rencana

A. Periode Ulang

Debit rencana adalah debit maksimum yang akan dialirkan oleh saluran drainase untuk mencegah terjadinya genangan. Untuk drainase jalan raya, sebagai debit rencana ditetapkan debit banjir maksimum periode ulang 5 tahun, yang mempunyai makna kemungkinan banjir maksimum tersebut disamai atau dilampaui

1 kali dalam 5 tahun atau 2 kali dalam 10 tahun atau 20 kali dalam 100 tahun. Penetapan debit banjir maksimum periode ulang 5 tahun ini berdasarkan pertimbangan :

- a) Risiko akibat genangan yang ditimbulkan oleh hujan relatif kecil dibandingkan dengan banjir yang ditimbulkan meluapnya sebuah sungai.
- b) Luas lahan di jalan raya relatif terbatas apabila ingin direncanakan saluran yang melayani debit banjir maksimum periode ulang lebih besar dari 5 tahun.
- c) Daerah jalan raya mengalami perubahan dalam periode tertentu sehingga mengakibatkan perubahan pada saluran drainase.

Perencanaan debit rencana untuk drainase jalan raya dihadapi dengan persoalan tidak tersedianya data aliran. Umumnya untuk menentukan debit aliran akibat air hujan diperoleh dari hubungan rasional antara air hujan dengan limpasannya. Untuk debit air limbah rumah tangga diestimasikan 25 liter perorang perhari, yang meningkat secara linear dengan jumlah penduduk

B. Langkah Perhitungan Debit Rencana

Untuk dapat memahami penentuan debit rencana berikut ini diberikan contoh dengan angka-angka. Pada perencanaan sebuah drainase perkotaan dimisalkan suatu daerah aliran memiliki luas $0,2 \text{ km}^2$ dengan tipe kawasan yang terdapat di dalamnya sebagai berikut :

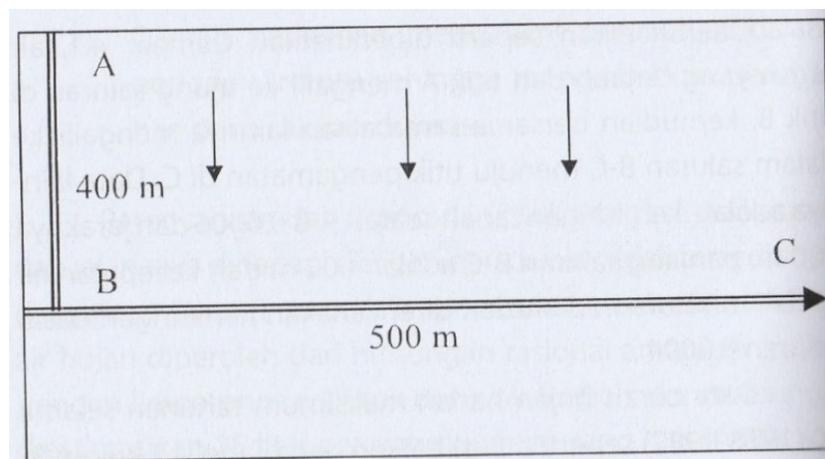
- a) Kawasan pemukiman $0,04 \text{ km}^2$; dengan nilai koefisien pengaliran 0,60
- b) Kawasan perdagangan $0,08 \text{ km}^2$; dengan nilai koefisien pengaliran 0,80
- c) Kawasan daerah tak terbangun $0,06 \text{ km}^2$; dengan nilai koefisien pengaliran 0,20
- d) Jalan aspal $0,01 \text{ km}^2$; dengan koefisien pengaliran 0,90 dan
- e) Jalan tanah $0,01 \text{ km}^2$; dengan koefisien pengaliran 0,70

Air hujan yang terjauh dari titik A mengalir ke ujung saluran di titik B, kemudian bersama-sama aliran lainnya mengalir ke dalam saluran B-C menuju titik pengamatan di C. Data lainnya adalah kemiringan tanah searah A-B 0,0006 dan jaraknya 200 m; panjang saluran B-C adalah 600 m dan kecepatan air di dalam saluran 0,5 m/det. Direncanakan kemiringan dasar saluran 0,0004.

Data curah hujan harian maksimum tahunan selama 10 (1978 – 1987) seperti diperlihatkan pada Tabel 2.63. Kolom 3.

Tabel 2.53 Hujan harian maksimum tahunan 10 tahun (1978 – 1987)

No	Tahun	R _{24 maks} (mm)	(R _i -R _{rerata}) ²
(1)	(2)	(3)	(4)
1	1978	115	237,16
2	1979	87	158,76
3	1980	70	876,16
4	1981	55	1989,16
5	1982	57	1814,76
6	1983	85	213,16
7	1984	136	1324,96
8	1985	53	2171,56
9	1986	197	9486,76
10	1987	141	1713,96
	Jumlah	996	19986,4



Gambar 2.94 Daerah aliran sebuah drainase perkotaan

Langkah pertama adalah menetapkan nilai koefisien aliran pada daerah aliran tersebut sebagai berikut:

- Kawasan pemukiman = $0,04/0,2 \times 0,6$ = 0,12
- Kawasan perdagangan = $0,08/0,2 \times 0,8$ = 0,32
- Kawasan daerah tak terbangun = $0,06/0,2 \times (0,2+0,35)/2$ = 0,085
- Jalan aspal = $0,01/0,2 \times 0,9$ = 0,045
- Jalan tanah = $0,01/0,2 \times 0,70$ = 0,035

Nilai koefisien aliran (C) daerah aliran = 0,605

Langkah berikutnya menghitung waktu konsentrasi dan koefisien tampungan pada daerah aliran sebagai berikut :

1) Waktu konsentrasi daerah aliran di titik C:

Inlet Time:

$$T_o = 0,0195 \left(\frac{L_o}{\sqrt{S_o}} \right)^{0,77}$$

$$T_o = 0,0195 \left(\frac{400}{\sqrt{0,0006}} \right)^{0,77}$$

$$T_o = 34,200 \text{ menit} = 0,570 \text{ jam}$$

Conduit Time:

$$T_d = \frac{1}{3600} \cdot \frac{L_1}{V}$$

$$T_d = \frac{1}{3600} \cdot \frac{500}{0,5}$$

$$T_d = 0,278 \text{ jam}$$

Waktu Konsentrasi

$$T_c = T_o + T_d$$

$$T_c = 0,570 + 0,278 = 0,848 \text{ jam}$$

2) Koefisien tampungan daerah aliran:

$$C_s = \frac{2T_c}{2T_c + T_d}$$

$$C_s = \frac{2 \times 0,848}{2 \times 0,848 + 0,278}$$

$$C_s = 0,859$$

Berdasarkan data curah hujan pada Tabel 2.63. dapat dilakukan perhitungan hujan rencana sebagai berikut:

Diasumsikan debit banjir periode ulang 5 tahun dihasilkan oleh hujan rencana periode ulang 5 tahun.

1) Hujan rencana periode ulang 5 tahun:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \frac{996}{10} = 99,6 \text{ mm}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{19986,4}{9}} = 47,124 \text{ mm}$$

$$K = -\sqrt{\frac{6}{\pi}} \left(0,5772 + \ln \ln \frac{T}{T-1} \right) = -\sqrt{\frac{6}{\pi}} \left(0,5772 + \ln \ln \frac{5}{5-1} \right) = 0,720$$

Hujan Rencana :

$$R_5 = \bar{R} + K.Sd = 99,6 + 0,720 . 47,124 = 133,530 \text{ mm}$$

2) Banjir rencana periode ulang 5 tahun:

Dari perhitungan di atas diperoleh $C = 0,605$; $C_s = 0,859$;

$T_c = 0,848$ jam dan luas daerah $A = 0,2 \text{ km}^2$, maka ;

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{133,530}{24} \left(\frac{24}{0,848} \right)^{\frac{2}{3}} = 51,728 \text{ mm/ jam}$$

$$Q = 0,278 . C . C_s . I . A = 0,278 . 0,605 . 0,859 . 51,728 . 0,2 = 1,495 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi Debit Rencana Periode ulang 5 tahun drainase tersebut adalah 1,495 m^3/det .

2.5.4.11 Saluran Drainase

Pada saluran drainase secara umum dikenal ada dua jenis konstruksi saluran, yaitu :

- 1) Saluran tanah tanpa lapisan dan
- 2) Saluran dengan lapisan, seperti pasangan batu, beton, kayu dan baja.

Untuk drainase jalan raya umumnya dipakai saluran dengan lapisan. Selain karena potensi terhadap bahaya erosi akibat aliran terlalu cepat, estetika dan kestabilan terhadap gangguan dari luar seperti lalu lintas merupakan alasan lain yang menuntut saluran drainase jalan raya dibuat dari saluran dengan lapisan. Saluran ini dapat berupa saluran terbuka atau saluran yang diberi tutup dengan lubang-lubang kontrol di tempat-tempat tertentu. Saluran yang diberi tutup ini bertujuan supaya saluran memberikan pandangan yang lebih baik atau ruang gerak bagi kepentingan lain di atasnya.

A. Kriteria Teknis

Dalam perencanaan dan pelaksanaan pembuatan saluran drainase, kriteria teknis saluran drainase untuk air hujan dan air limbah perlu diperhatikan agar saluran drainase tersebut dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Kriteria teknis saluran drainase tersebut adalah sebagai berikut :

a) Kriteria teknis saluran drainase air hujan:

- 1) Muka air rencana lebih rendah dari muka tanah yang akan dilayani;
- 2) Aliran berlangsung cepat, namun tidak menimbulkan erosi;

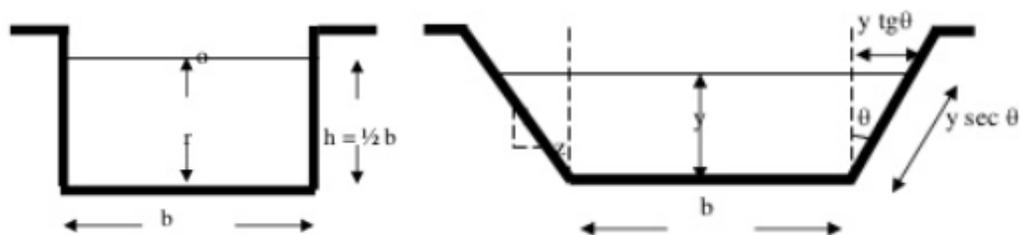
3) Kapasitas saluran membesar searah aliran.

b) Kriteria teknis saluran drainase air limbah:

- 1) Muka air rencana lebih rendah dari muka tanah yang akan dilayani;
- 2) Tidak mencemari kualitas air sepanjang lintasannya;
- 3) Tidak mudah dicapai oleh binatang yang dapat menyebarkan penyakit;
- 4) Ada proses pengenceran atau penggelontoran sehingga kotoran yang ada dapat terangkut secara cepat sampai ke tempat pembuangan akhir;
- 5) Tidak menyebarkan bau atau mengganggu estetika.

B. Bentuk Penampang Saluran

Mengingat tersedianya lahan merupakan hal yang perlu dipertimbangkan, maka penampang saluran drainase jalan raya dianjurkan mengikuti penampang Hidrolis Terbaik, yaitu suatu penampang yang memiliki luas terkecil untuk suatu debit tertentu atau memiliki keliling basah terkecil dengan hantaran maksimum. Unsur-unsur geometris penampang hidrolis terbaik diperlihatkan pada Gambar 2.95 berikut ini :



Gambar 2.95 Penampang hidrolis terbaik penampang melintang persegi panjang dan penampang melintang trapesium

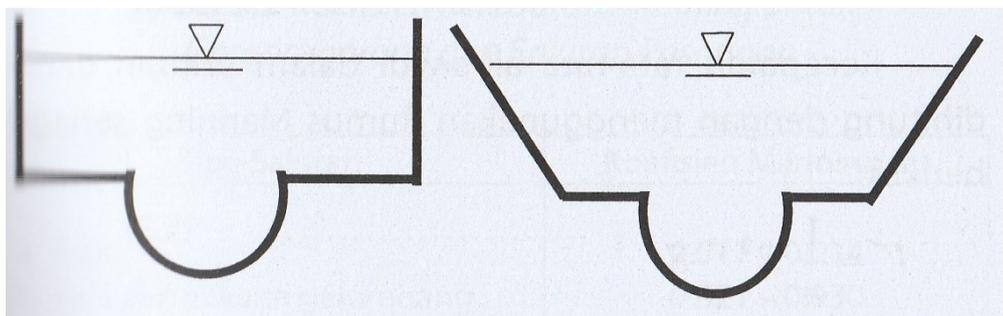
Penampang melintang	Luas A	Keliling basah P	Jari-jari hidraulik R	Lebar puncak T	Kedalaman hidraulik D	Faktor penampang Z
Trapesium, setengah bagian segi enam	$\sqrt{3}y^2$	$2\sqrt{3}y$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{4}{3}\sqrt{3}y$	$\frac{3}{4}y$	$\frac{3}{2}y^{2.5}$
Persegi panjang, setengah bagian bujur sangkar	$2y^2$	$4y$	$\frac{1}{2}y$	$2y$	y	$2y^{2.5}$
Segitiga, setengah bagian bujur sangkar	y^2	$2\sqrt{2}y$	$\frac{1}{4}\sqrt{2}y$	$2y$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}y^{2.5}$
Setengah lingkaran	$\frac{\pi}{2}y^2$	πy	$\frac{1}{2}y$	$2y$	$\frac{\pi}{4}y$	$\frac{\pi}{4}y^{2.5}$
Parabola Lengkung hidrostatik	$\frac{4}{3}\sqrt{2}y^2$	$\frac{8}{3}\sqrt{2}y$	$\frac{1}{2}y$	$2\sqrt{2}y$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{8}{9}\sqrt{3}y^{2.5}$
	$1,39586 y^2$	$2,9836y$	$0,46784 y$	$1,917532y$	$0,72795y$	$1,19093y^{2.5}$

Sumber: Chow, 1992

Gambar 2.96 Tabel unsur – unsur geometrik penampang hidrolis terbaik

Untuk mencegah gelombang atau kenaikan muka air yang melimpah ke tepi, maka perlu tinggi jagaan pada saluran, yaitu jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air pada kondisi debit rencana. Tinggi jagaan ini (F) berkisar 5% sampai 30% kedalaman aliran. Dibandingkan air limbah, air hujan mempunyai efektifitas rendah dan hanya berfungsi secara maksimal pada saat musim hujan saja.

Oleh karena itu, untuk saluran drainase air hujan dianjurkan penampangnya berbentuk saluran tersusun, misalnya seperti gambar di bawah ini. Penampang setengah lingkaran diharapkan berfungsi mengalirkan debit lebih kecil dari debit rencana atau debit akibat hujan harian maksimum rata-rata.



Gambar 2.97 Penampang saluran tersusun

2.6 Perencanaan Drainase

Perencanaan saluran tepi bertujuan untuk mengendalikan alur air sehingga tidak ada endapan pada permukaan jalan yang nantinya jika dibiarkan akan merusak perkerasan jalan tersebut.

2.6.1 Menghitung Intensitas Curah Hujan

Rumus menghitung intensitas curah hujan (I) menggunakan analisa distribusi frekuensi sebagai berikut :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(X_i - X)^2}{n}} \quad \text{Persamaan 2.56}$$

$$X_T = X + \frac{S}{S} (Y_T - Y_N) \quad \text{Persamaan 2.57}$$

$$I = \frac{9\% X}{4} \quad \text{Persamaan 2.58}$$

Keterangan :

X_T = Besarnya curah hujan untuk periode ulang T tahun (mm)/24 jam

X = Nilai rata – rata aritmatik hujan kumulatif

S_x = Standar deviasi

Y_T = Variasi yang merupakan fungsi periode ulang

Y_N = Nilai yang tergantung pada N

S_N = Standart deviasi merupakan fungsi dari N

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

Tabel 2.54 Nilai Y_t

Periode Ulang (Tahun)	Variasi yang berkurang
2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
25	3.1985
50	3.9019
100	4.6001

Sumber : Tata cara perencanaan drainase jalan T-03-3424-1994

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5126	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5225	0,5252	0,5288	0,5283	0,5255	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5352	0,5371	0,5380	0,5368	0,5402	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5432
40	0,5435	0,5422	0,5448	0,5453	0,5458	0,5453	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5485	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5519	0,5518
60	0,5521	0,5534	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5552	0,5555	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5989	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599

Gambar 2.98 Tabel Yn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0,095	10,206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	0,0628	10,695	1,0695	1,0811	1,0854	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1066
30	0,1124	1,1199	1,1199	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1338
40	0,1413	1,1435	1,1435	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	0,1607	1,1523	1,1523	1,1558	1,1557	1,1581	1,1596	1,1708	1,1721	1,1734
60	0,1747	1,1759	1,1759	1,1782	1,1782	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	0,1899	1,1653	1,1653	1,1681	1,1690	1,1698	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	0,1938	1,1945	1,1945	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1967	1,1994	1,2001
90	0,2007	1,2013	1,2020	1,2025	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2050

Gambar 2.99 Tabel Sn

Sumber : Tata cara perencanaan drainase jalan T-03-3424-1994

2.6.2 Menghitung Waktu Konsentrasi (Tc)

Waktu konsentrasi (Tc), dihitung dengan rumus :

$$T_c = t_1 + t_2$$

Persamaan 2.59

Keterangan :

Tc = Waktu konsentrasi (menit)

t1 = Waktu inlet (menit)

t2 = Waktu aliran (menit)

Lo = Jarak titik terjauh ke fasilitas drainase

L = Panjang saluran

Nd = Koefisien hambatan

S = Kemiringan daerah pengaliran

V = Kecepatan air rata – rata di selokan (m/dt)

Kondisi Lapis Permukaan	Nd
1. Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2. Permukaan licin dan kedap air	0,020
3. Permukaan licin dan kokoh	0,100
4. Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,200
5. Padang rumput dan rerumputan	0,400
6. Hutan gundul	0,600
7. Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,800

Gambar 2.100 Tabel hubungan kondisi permukaan dengan koefisien hambatan

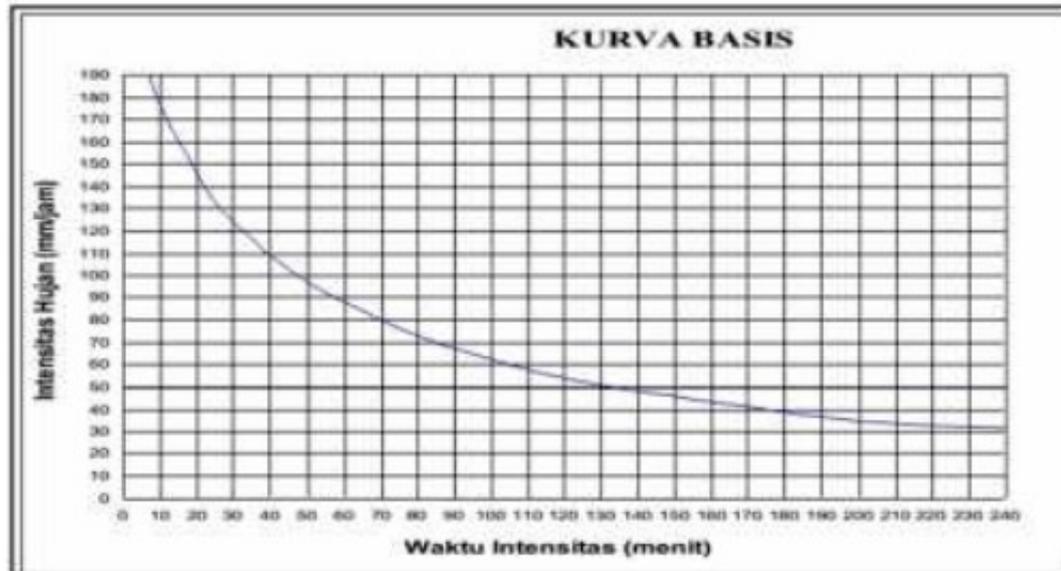
Jenis Bahan	Kecepatan aliran yang diizinkan (m/s)
Pasir halus	0,45
Lempung kepasiran	0,5
Lanau alluvial	0,6
Kerikil halus	0,75
Lempung kokoh	0,75
Lempung padat	1,1
Kerikil kasar	1,2
Batu-batu besar	1,5
Pasangan batu	0,60 – 1,80
Beton	0,60 – 3,00
Beton bertulang	0,60 – 3,00

Gambar 2.101 Tabel kecepatan aliran yang diizinkan berdasarkan jenis material

Sumber : Tata cara perencanaan drainase jalan T-03-3424-1994

2.6.3 Kurva Basis

Dalam menentukan kurva lamanya intensitas hujan rencana, yang dapat diturunkan dari kurva basis (lengkung intensitas standart) seperti diuraikan pada grafik di bawah ini.



Gambar 2.102 Kurva basis

Sumber : Tata cara perencanaan drainase jalan T-03-3424-1994

2.6.4 Menghitung Koefisien Aliran Rata – Rata

Bila daerah pengaliran terdiri dari beberapa tipe kondisi permukaan yang mempunyai nilai C yang berbeda, harga C rata – rata ditentukan dengan persamaan:

$$C = \frac{C1.A1+C2.A2+C3.A3+\dots}{A1+A2+A3+\dots} \quad \text{Persamaan 2.60}$$

Keterangan :

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

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

No.	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran I
1	Jalan beton dan jalan beraspal	0,70 – 0,95
2	Jalan kerikil dan jalan tanah	0,40 – 0,70
3	Bahu jalan :	
	- Tanah berbutir halus	0,40 – 0,65
	- Tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20
	- Batuan 50actor keras	0,70 – 0,85
	- Batuan 50actor lunak	0,60 – 0,75
4	Daerah Perkotaan	0,70 – 0,95
5	Daerah pinggir kota	0,60 – 0,70
6	Daerah Industri	0,60 – 0,90
7	Pemukiman Padat	0,40 – 0,60
8	Pemukiman tidak padat	0,40 – 0,60
9	Taman dan kebun	0,20 – 0,40
10	Persawahan	0,45 – 0,60
11	Perbukitan	0,70 – 0,80
12	Pegunungan	0,75 – 0,90

Gambar 2.103 Tabel hubungan kondisi permukaan tanah dan koefisien pengaliran

Sumber : Tata Cara Perencanaan Drainase Jalan T-03-3424-1994

2.6.5 Menghitung Luas Daerah Pengaliran

Luas daerah pengaliran batas – batasnya tergantung dari pembebasan dan daerah sekelilingnya. Perencanaan drainase pada Tugas Akhir ini juga memperhatikan daerah pengaliran di luar jalan dengan menggunakan elevasi kontur pada peta topografi lokasi proyek.

2.6.6 Menghitung Debit Air (Q)

Perhitungan debit air yang menggenangi di jalan adalah dengan cara sebagai berikut :

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

Persamaan 2.61

Keterangan :

- Q = Debit air (m³)
- C = Koefisien pengaliran
- I = Intensitas hujan (mm/ jam)
- A = Luas daerah pengaliran (km²)

2.6.7 Menghitung Kemiringan Saluran

a) Menghitung kemiringan saluran di lapangan :

$$I = \frac{t_1 - t_2}{L} \times 100\% \quad \text{Persamaan 2.62}$$

Keterangan :

t_1 = Tinggi tanah di bagian tertinggi (m)

t_2 = Tinggi tanah di bagian terendah (m)

b) Menghitung kemiringan saluran :

$$I = \frac{V \cdot n}{R^{2/3}} \quad \text{Persamaan 2.63}$$

$$R = \frac{F}{P} \quad \text{Persamaan 2.64}$$

Keterangan :

V = Kecepatan aliran (m/ detik)

N = Koefisien

R = Jari – jari hidrolis

F = Luas penampang basah (m)

P = Keliling basah (m)

I = Kemiringan saluran yang diizinkan

No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
	Saluran buatan, beton atau batu kali				
1	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian	0.025	0.03	0.033	0.035
2	Seperti no.1, dengan penyelesaian	0.017	0.02	0.025	0.03
3	Saluran beton	0.014	0.016	0.019	0.021
4	Saluran beton halus dan rata	0.01	0.011	0.012	0.013
5	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0.013	0.014	0.014	0.015
	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0.015	0.016	0.016	0.018

Gambar 2.104 Tabel harga n untuk rumus manning

Sumber : Tata Cara Perencanaan Drainase Jalan T-03-3424-1994

c) Dari hasil kedua perhitungan di atas akan dibandingkan.

- Apabila (i lapangan) < (i perhitungan), maka kemiringan selokan direncanakan sesuai dengan i perhitungan
- Apabila (i lapangan) > (i perhitungan), maka harus dibuat pematah arus

d) Pematah arus

Pematah arus untuk mengurangi kecepatan aliran diperlukan bagi selokan samping jalan yang panjang dan mempunyai kemiringan cukup besar, pemasangan jarak pematah arus (L) harus sesuai dengan Tabel 2.75. di bawah ini.

Tabel 2.55 Hubungan kemiringan saluran samping jalan dan jarak pematah arus

i (%)	6%	7%	8%	9%	10%
L (m)	16 m	10 m	8 m	7 m	6 m

Sumber : Tata Cara Perencanaan Drainase Jalan T-03-3424-1994

2.7 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah mempunyai pengertian luas sebagai pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Dalam pengertian lain stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan-tambah buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik.

Dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan lokal yang ada, dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan tambah ke dalam tanah. Setiap komponen lapis perkerasan harus mampu menahan geseran, lendutan berlebihan yang menyebabkan retaknya lapisan di atasnya dan mencegah deformasi permanen yang berlebihan akibat memadatnya material penyusun. Untuk ini, bila tanah di lokasi proyek tidak memenuhi syarat, maka dibutuhkan penanganan tanah lebih dulu agar tanah tersebut mempunyai kapasitas dukung yang cukup, sehingga alat berat bisa bekerja.

Beberapa cara stabilisasi tanah, misalnya: pemadatan, mencampur tanah dengan bahan granuler, menggunakan tulangan atau perkuatan (seperti geosintetik), penggalian dan penggantian tanah dan lain-lain. Serta pemroses tanah secara kimia, seperti: mencampur tanah dengan semen, kapur, abu-terbang, aspal dan lain-lain. Hal-hal yang perlu dipertimbangkan, bila tanah di tempat tidak memenuhi syarat untuk pembangunan struktur, adalah :

- 1) Membongkar material di lokasi dan menggantikannya dengan material yang sesuai.
- 2) Merubah atau memperbaiki sifat-sifat tanah di tempat, sehingga material tersebut memenuhi syarat.

Pada pembangunan perkerasan jalan, tanah-dasar dengan $CBR < 2$, umumnya diperlukan stabilisasi.

2.7.1 Stabilisasi Tanah untuk Pembangunan Jalan

Perkerasan lentur atau perkerasan aspal beserta lapisan-lapisan di bawahnya tidak dirancang dapat menahan momen, tapi dirancang untuk mendistribusikan beban lewat komponen-komponen perkerasan ketanah dasar. (Hary CH, 2010:2)

Penambahan kekuatan pada tanah dasar akan menambah umur perkerasan. Stabilisasi memperbaiki kapasitas dukung tanah-dasar, sehingga mengurangi tebal komponen perkerasan. Beberapa bahan-tambah dapat mengontrol kelembaban tanah, sehingga pelaksanaan pekerjaan lebih mudah dan memungkinkan dilakukan pemadatan yang baik pada musim kemarau. Dalam kondisi tertentu, material lapis-pondasi dapat lebih menguntungkan jika distabilisasi, dan material tanah-dasar juga terkadang dilakukan hal yang sama untuk mendukung lapis pondasi pada jalan raya utama. Tabel 2.76. memberikan petunjuk macam tanah dan metode stabilisasi yang cocok untuk memperbaiki stabilitas dan keawetan tanah-dasar yang disarankan oleh Johnson (1965).

2.7.1.1 Tipe – Tipe Stabilisasi

Umumnya, stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

A. Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan di lokasi proyek, di pabrik atau di tempat pengambilan bahan timbunan (*borrow area*). Material yang telah dicampuri ini, kemudian dihamparkan dan dipadatkan di lokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk di tempat dan menggantinya dengan material granuler dari tempat lain.

Tabel 2.56 Macam tanah dan metode stabilisasi yang cocok untuk stabilitas dan keawetan tanah-dasar (*subgrade*) (Johnson, 1965)

Item	Macam Tanah	Metode Stabilisasi
Perbaikan Stabilitas	Granuler Kasar	Pemadatan, tanah-aspal, tanah-semen, <i>cement-treated base</i> , semen modifikasi tanah, stabilisasi mekanis. Tanah-kapur atau kapur memodifikasi tanah, jika tanah mengandung bahan reaktif.
	Granuler Halus	Pemadatan, tanah-aspal, tanah-semen, semen memodifikasi tanah, stabilisasi mekanis, tanah-kapur atau kapur memodifikasi tanah jika tanah mengandung bahan halus yang reaktif, atau jika ditambahkan <i>pozzolan</i> (misal abu terbang)
Untuk tanah berlanau dan berlempung. Termasuk reduksi <i>resilient</i> tanah elastis pada tanah antara lanau dan lempung (juga tanah <i>micaceous</i>). Pencegahan erosi tanah dasar, semua tipe tanah terkait masalah <i>pumping</i> (pemompaan) pada perkerasan beton.	Tanah sangat berlanau	Pemadatan, tanah-semen, semen memodifikasi tanah, stabilisasi mekanis dengan atau tanpa semen, tanah-kapur jika reaksinya seperti yang dikehendaki.
	Tanah berlempung plastisitas rendah. Lempung plastisitas tinggi.	Pemadatan, tanah-kapur, dan kapur memodifikasi tanah atau kombinasi semen dan kapur. Pembungkus aspal.
Kontrol perubahan volume (termasuk kembang-susut; juga pemadatan akibat beban lalu lintas)	Tanah-tanah berlempung plastisitas rendah	Mengontrol kadar air dan kepadatan agar menghasilkan sedikit perubahan volume dari kondisi awal sampai akhir masa layanan. Dengan menggunakan tanah-semen, semen memodifikasi tanah, tanah-kapur, kapur memodifikasi tanah, atau campuran yang melibatkan keduanya. Perantara penahan air, jika efektif.
	Lempung plastisitas tinggi	Mengontrol kadar air dan kepadatan dalam porsi lebih rendah dari tanah-dasar ditambah tanah-kapur atau kapur-modifikasi tanah dengan tebal secukupnya; perlindungan dengan selimut aspal secukupnya.

Sumber : Buku Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan, (Hary Christady Hardiyatmo, 2010: 4)

Menurut Lambe (1962) stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat-sifat tanah:

- 1) Penyusunan kembali partikel-partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu, dan pemadatan.
- 2) Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah. Sifat-sifat tanah tertentu dapat diubah dengan menambah atau menyingkirkan sebagian fraksi tanah. Biaya yang dikeluarkan untuk pekerjaan menambah atau menyingkirkan ini umumnya sangat lebih rendah dibandingkan dengan metode stabilisasi yang lain. Contohnya, lempung berpasir dicampur dengan kerikil untuk memenuhi daya dukung tanah-dasar dari proyek jalan tertentu.

B. Stabilisasi dengan Menggunakan Bahan-Tambah

Bahan-tambah (*additives*) adalah bahan hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti: kekuatan, tekstur, kemudahan-dikerjakan (*workability*) dan plastisitas. Contoh-contoh bahan-tambah adalah: kapur, semen portland, abu-terbang (*fly-ash*), aspal (*bitumen*) dan lain-lain. Jika pencampuran hanya dimaksudkan untuk merubah gradasi dan plastisitas tanah, dan kemudahan dikerjakan, maka hanya memerlukan bahan-tambah sedikit. Namun, bila stabilisasi dimaksudkan untuk merubah tanah agar mempunyai kekuatan tinggi, maka diperlukan bahan-tambah yang lebih banyak. Material yang telah dicampur dengan bahan-tambah ini harus dihamparkan dan dipadatkan dengan baik.

2.7.1.2 Modifikasi Tanah

Istilah modifikasi digunakan untuk menggambarkan suatu proses stabilisasi yang hanya ditujukan untuk perbaikan sifat-sifat tanah, tapi tidak ditujukan untuk menambah kekuatan maupun keawetan tanah. Tujuan dilakukan modifikasi tanah-dasar adalah untuk menciptakan landasan kerja bagi alat berat, dengan tanpa memperhatikan pengaruh modifikasi tanah tersebut terhadap hitungan perancangan perkerasan. Walaupun sebenarnya modifikasi tanah juga menunjukkan proses stabilisasi, namun tujuan utamanya lebih mengarah untuk perbaikan sifat-sifat

teknis tanah, misalnya mereduksi plastisitas, mempertinggi kemudahan dikerjakan dan mengurangi potensi pengembangan.

2.7.2 Pemilihan Bahan Tambah

Berbagai macam bahan perantara stabilisasi telah digunakan dalam pembangunan jalan. Bahan perantara atau bahan-tambah untuk terjadinya sementasi dapat berupa semen, kapur dan campuran kapur dan abu-terbang (*fly-ash*), aspal dan lain-lain. Bahan-bahan ini bekerja sebagai pengikat campuran yang secara permanen mengikat partikel-partikel tanah atau agregat tanah secara bersama-sama, sehingga terbentuk material tanah dengan butiran lebih besar. Butiran yang membesar ini mengurangi plastisitas tanah asli sebelum dicampur dan menambah kekuatannya.

2.7.2.1 Pertimbangan Pemilihan Bahan-Tambah

Bahan perantara stabilisasi dipilih menurut macam tanah, kondisi masalah di lokasi pekerjaan stabilisasi, serta ke-ekonomisan penggunaannya. Jadi, dalam stabilisasi dengan bahan-tambah, tanah di lokasi tetap digunakan, dengan tidak dilakukan pembongkaran untuk penggantian tanah setempat. Beberapa pertimbangan yang perlu dilakukan dalam memilih tipe bahan-tambah yang cocok, adalah:

- 1) Jenis tanah yang akan distabilisasi;
- 2) Jenis struktur yang distabilisasi;
- 3) Ketentuan kekuatan tanah yang harus dicapai;
- 4) Tipe dari perbaikan tanah yang diinginkan;
- 5) Dana yang tersedia;
- 6) Kondisi lingkungan.

Jenis tanah menentukan jenis bahan-tambah yang cocok untuk stabilisasi. Namun, semen lebih cocok untuk stabilisasi tanah granuler, dan kurang cocok digunakan untuk stabilisasi tanah lempung dengan keplastisan sedang sampai tinggi. Jika material berupa kerikil berlempung, kapur akan membuat material lebih kuat, dan jika campuran ini digunakan untuk struktur lapis pondasi pada perkerasan, maka akan memberikan kekuatan yang lebih tinggi.

2.7.2.2 Metode Pemilihan Bahan-Tambah

Berikut ini akan dipelajari, beberapa petunjuk dari cara pemilihan bahan-tambah untuk stabilisasi tanah yang telah digunakan ;

A. *Alaska department of transportation and public facilities research & technology transfer*

Dalam metode ini, distribusi ukuran butiran dan batas-batas *Atterberg* digunakan sebagai dasar penilaian macam stabilisasi yang akan digunakan. Petunjuk dalam Gambar 2.105. di bawah ini hanya sebagai pertimbangan awal, dan dapat digunakan untuk maksud modifikasi tanah, seperti: stabilisasi dengan kapur untuk membuat material lebih kering dan mengurangi plastisitasnya.

Material lolos saringan no.200	> 25% lolos saringan no.200 (0,075 mm)			< 25% lolos saringan no.200 (0,075 mm)		
	≤ 10	10 – 20	≥ 20	≤ 6 (PI x persen lolos saringan no.200 ≤ 60)	≤ 10	≥ 10
Indeks plastisitas, PI (%)						
Bentuk stabilisasi :						
Semen dan campuran pengikat	Cocok	Ragu	Tidak cocok	Cocok	Cocok	Cocok
Kapur	Ragu	Cocok	Cocok	Tidak cocok	Ragu	Cocok
Aspal (bitumen)	Ragu	Ragu	Tidak cocok	Cocok	Cocok	Ragu
Aspal/semen dicampur	Cocok	Ragu	Tidak cocok	Cocok	Cocok	Ragu
Granuler	Cocok	Tidak cocok	Tidak cocok	Cocok	Cocok	Ragu
Lain-lain campuran	Tak cocok	Cocok	Cocok	Tidak cocok	Ragu	Cocok

Gambar 2.105 Petunjuk awal untuk pemilihan metode stabilisasi (Hicks, 2002)

B. *Ingles dan Metcalf (1972)*

Jika dibandingkan antara stabilisasi kapur dan semen, pada dasarnya stabilisasi kapur cocok untuk lempung, sedang stabilisasi semen cocok untuk pasir (tanah granuler). Batasan dalam Tabel 2.78. tersebut masih sangat kasar, karena belum memperhatikan karakteristik plastisitas tanah yang distabilisasi.

Tipe tanah		Lempung halus	Lempung kasar	Lanau halus	Lanau kasar	Pasir halus	Pasir kasar
Ukuran butiran Tanah (mm)		<0,0006	0,0006 - 0,002	0,002 - 0,01	0,01 - 0,06	0,06 - 0,40	0,4 - 2,0
Stabilitas volume tanah		Sangat buruk	Sedang	Sedang	Baik	Sangat baik	Sangat baik
Tipe stabilisasi	Kapur	[Dotted pattern]					
	Semen	[Diagonal lines pattern]				[Dotted pattern]	
	Aspal					[Dotted pattern]	
	Polimerik-organik		[Diagonal lines pattern]	[Dotted pattern]			
	Mekanis		[Dotted pattern]				
	Termal	[Dotted pattern]					
			[Dotted pattern] = Efisiensi maksimum	[Diagonal lines pattern] = efektif, tapi pengendalian mutu sulit			

Gambar 2.106 Penerapan stabilisasi tanah yang cocok (Ingles dan Metcalf, 1972)

C. Department of the Army and the Air Forces

Department of the army and the air forces (1994) memberikan cara untuk memilih bahan-tambah yang akan digunakan untuk stabilisasi tanah, yaitu dengan menggunakan Gambar 2.92. dan Tabel 2.79. Kecocokan bahan-tambah yang akan digunakan untuk stabilisasi bergantung pada gradasi tanah dan/atau indeks plastisitas (PI). Jadi, data analisis gradasi dan batas-batas *Atterberg* harus tersedia lebih dulu dalam memilih jenis bahan-tambah. Tipe bahan stabilisasi untuk setiap area dalam Gambar 2.92. tersedia dalam Tabel 2.79. kolom 3, dengan;

- A = Aspal
- S = Semen Portland
- K = Kapur
- AT = Abu Terbang

Batasan gradasi dalam Tabel 2.79. kolom 5, berguna untuk menghindari pemilihan bahan-tambah yang tidak cocok untuk tanah tertentu. Cara pemilihan tipe bahan-tambah yang cocok untuk tanah tertentu adalah sebagai berikut:

Misalnya tanah yang akan distabilisasi di lapangan mempunyai klaifikasi sistem Unified SC. Dari hasil uji saringan, diperoleh material lolos saringan nomor 4 adalah 90% dan lolos saringan nomor 200 adalah 27%. Dari uji batas-batas *Atterberg* diperoleh $LL = 20$; $PL = 11$ ($PI = 20 - 11 = 9$). Material yang lolos saringan di antara no. 4 dan no. 200 (atau material yang lolos saringan no. 4 dan

tinggal di saringan no. 200) adalah $90 - 27 = 63\%$. Pemilihan bahan-tambah adalah sebagai berikut:

- Dengan substitusi nilai-nilai tersebut ke dalam Gambar 2.92, maka tanah tersebut masuk dalam area 1C. Menurut Tabel 2.79. kolom 3, maka ada empat macam kemungkinan bahan-tambah dapat digunakan, yaitu aspal (A), semen portland (S), Kapur (K) atau campuran kapur, semen dan abu-terbang (K-S-AT). Kemudian diperhatikan batasan-batasan kecocokannya.
- Bila tanah distabilisasi dengan bahan-tambah aspal, syaratnya PI harus ≤ 10 dan material lolos saringan no. 200 $\leq 30\%$. Maka, aspal cocok digunakan untuk tanah tersebut.
- Bila digunakan semen portland, $PI = 9 \leq 20 + \frac{1}{4}(27/2) = 23,4$ (lihat catatan kaki ...^b). Jadi, semen juga cocok digunakan untuk tanah tersebut.
- Bila digunakan kapur, maka PI harus ≥ 12 . Karena tanah mempunyai $PI = 9$, maka kapur tidak cocok digunakan untuk tanah tersebut.
- Bila digunakan campuran kapur-semen-abu-terbang (K-S-AT), syaratnya $PI \leq 25$. Jadi, campuran kapur-semen-abu terbang juga cocok untuk tanah tersebut.

Dari hasil-hasil di atas, maka aspal, semen atau campuran kapur-semen-abu terbang dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi dari tanah tersebut. Jika tipe bahan stabilisasi sudah ditentukan, maka beberapa sampel harus diuji di laboratorium guna dilakukan uji coba kadar campuran dan kriteria untuk stabilisasi di lapangan.

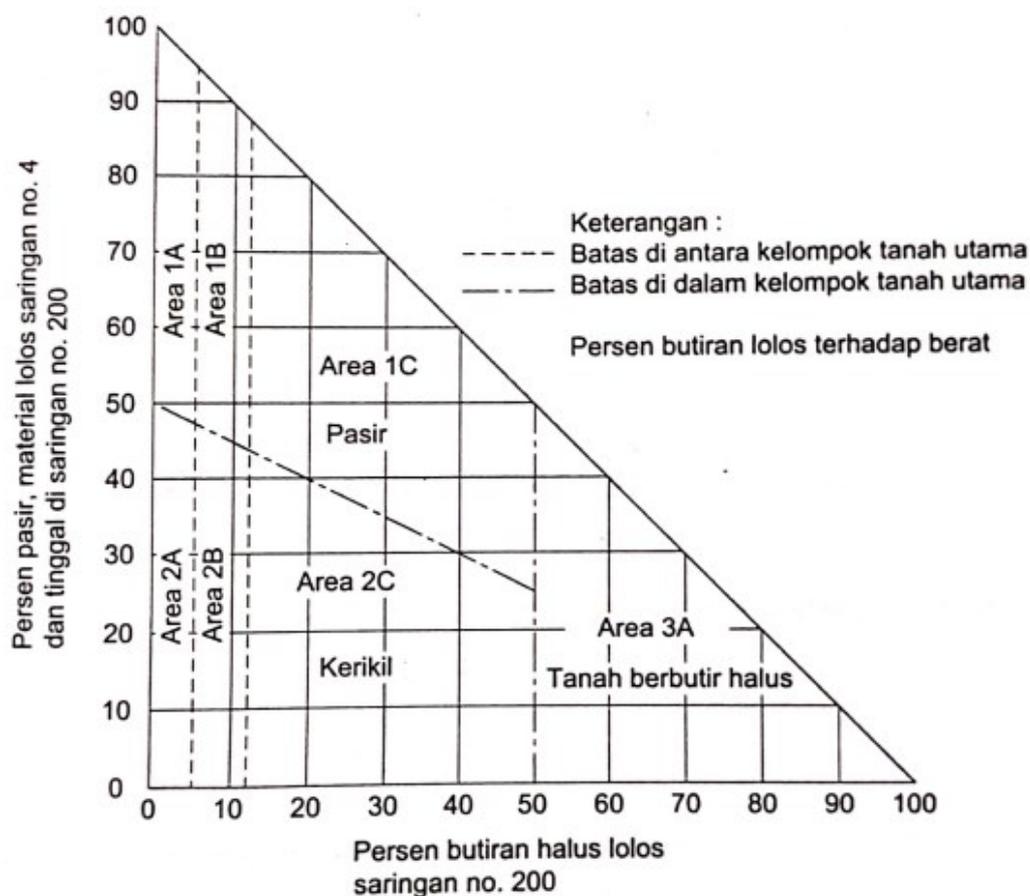
Tabel 2.2.57. Syarat pemilihan bahan-tambah untuk stabilisasi (Department of the army and the air forces, 1994)

Area	Klasifikasi tanah ^{a)}	Tipe bahan-tambah penstabil	Batasan <i>PI</i> , <i>LL</i> atau <i>PL</i> (%)	Batasan persen lolos saringan no. 200	Keterangan
1A	SW/ SP	A	-	-	-
		S	-	-	
		K-S-AT	$PI \leq 25$	-	
1B	SW – SM/	A	$PI \leq 10$	-	-
	SP – SM/	S	$PI \leq 30$	-	
	SW – SC/	K	$PI \leq 12$	-	
	SP – SC	K-S-AT	$PI \leq 25$	-	
1C	SM/SC/ SM-SC	A	$PI \leq 10$	$\leq 30\%$ terhadap berat	-
		S	--- ^{b)}	-	
		K	$PI \geq 12$	-	
		K-S-AT	$PI \leq 25$	-	
2A	GW/ GP	A	-	-	Hanya material gradasi baik. Material harus mengandung > 45% lolos saringan no. 4 (terhadap berat)
		S	-	-	
		K-S-AT	$PI \leq 25$	-	
2B	GW – GM/	A	$PI \leq 10$	-	Hanya material bergradasi baik. Material harus mengandung > 45% lolos saringan no. 4 (terhadap berat)
	GP – GM/	S	$PI \leq 30$	-	
	GW – GC/	K	$PI \geq 12$	-	
	GP – GC	K-S-AT	$PI \leq 25$	-	
2C	GM/GC/ GM – GC	A	$PI \leq 10$	$\leq 30\%$ terhadap berat	-
		S	--- ^{b)}	-	
		K	$PI \geq 12$	-	
		K-S-AT	$PI \leq 25$	-	
3	CH/CL/ MH/OH/ OL/ML-CL	S	$LL < 40$ dan $PI < 20$	-	Tanah organik dan sangat asam dalam area ini tidak cocok distabilisasi dengan cara-cara yang biasanya
		K	$PI \geq 12$	-	

Catatan kaki dalam Tabel 2.57 :

Klasifikasi menurut sistem unified (MIL-STD 619B), batasan LL dan PI menurut metode 103 dalam MIL-STD-621^a

- $PI < \{20 + \frac{1}{4} \times (50\% \text{ lolos saringan no. 200})\}$.
- A = aspal; S = semen; K = kapur; AT = abu-terbang.



Gambar 2.107 Batas – batas gradasi butiran untuk pemilihan bahan-tambah untuk stabilisasi (Department of the army and the air forces, 1994).

D. Indiana Department of Transportation

Metode yang diberikan oleh Indiana Department of Transportations (INDOT, 2002) ini mirip dengan metode Department of the Army and the Air Forces (1994), yaitu pemilihan bahan-tambah yang cocok untuk tanah tertentu didasarkan pada batas-batas Atterberg (PL , LL dan PI) dan gradasi butiran tanah.

Maksud stabilisasi tanah :

- Kapur : jika tanah mempunyai $PI > 10$ dan kadar lempung ($0,002 \text{ mm}$) $> 10\%$.
- Semen : jika tanah mempunyai $PI \leq 10$ dan lolos saringan no. 200 $< 20\%$.

- 3) Kapur, semen, atau kombinasi dengan abu-terbang: jika tanah $< 10\%$ lolos saringan no. 200 dan $10 < PI < 20$.

Maksud modifikasi tanah :

- 1) Kapur, jika tanahnya $> 35\%$ tanah lolos saringan no. 200 dan $PI > 5$.
- 2) Semen atau abu-terbang, jika tanahnya $\leq 35\%$ lolos saringan no. 200 dan $PI < 5$ (semen dan abu-terbang dapat dikombinasikan).

Kadar bahan-tambah yang digunakan untuk stabilisasi :

- 1) Kapur : 3 – 9%
- 2) Semen : 3 – 10%
- 3) Abu-terbang : 10 – 25%

Untuk lebih mengefektifkan maksud stabilisasi tanah, campuran tanah dengan kapur + abu terbang, tanah dengan semen + abu terbang dan tanah dengan kapur, semen dan abu-terbang, INDOT (2002), menyarankan :

- 1) Perbandingan kapur dan abu-terbang antara 1 : 1 sampai 1 : 9.
- 2) Perbandingan semen dan abu-terbang antara 1 : 3 sampai 1 : 4.
- 3) Kombinasi kapur, semen dan abu-terbang, digunakan perbandingan 1 : 2 : 4.

Pembahasan secara rinci mengenai cara-cara penentuan kadar bahan-tambah yang cocok akan dipelajari pada bab-bab selanjutnya.

2.7.2.3 Faktor – Faktor yang Perlu Diperhatikan

Setelah tipe bahan tambah ditentukan dari uji pendahuluan di laboratorium, faktor-faktor lain yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan tipe bahan-tambah untuk stabilisasi, adalah:

- a) Iklim
- b) Uji laboratorium
- c) Ketersediaan biaya, alat, personil dan bahan.

A. Iklim

Pemilihan bahan stabilisasi harus mempertimbangkan faktor iklim. Dalam area yang basah, umumnya kadar air dalam perkerasan akan tinggi. Oleh karena itu, kekuatan material yang distabilisasi harus diperhatikan dalam kondisi basah. Kapur, umumnya cocok untuk stabilisasi tanah kohesif, khususnya sebagai zat perantara

agar tanah kohesif menjadi agak kering. Kapur juga dapat digunakan dalam tanah-tanah berlanau, jika ditambahkan pozzolan untuk menaikkan reaksi sementasi.

B. Uji Laboratorium

Sebelum proyek dimulai, penting untuk melakukan uji pendahuluan di laboratorium guna menentukan nilai kadar bahan-tambah yang akan digunakan. Nilai kadar bahan-tambah dipilih berdasarkan maksud dilakukannya pekerjaan stabilisasi, yaitu untuk maksud modifikasi tanah atau untuk stabilisasi tanah.

C. Ketersediaan Biaya, Alat, Personil dan Bahan

Setelah melakukan analisis seluruh data yang ada, maka umumnya akan diperoleh beberapa pilihan dalam menentukan tipe-tipe stabilisasinya. Keputusan terakhir, biasanya didasarkan pada biaya yang tersedia dan tuntutan kinerja hasil stabilisasi yang diharapkan. Pertimbangan ketersediaan alat-alat yang harus disediakan dan tenaga kerja yang berpengalaman dalam stabilisasi yang dipilih juga harus dilakukan. Hal yang penting pula, yaitu ketersediaan material di dekat lokasi proyek. Bila pengambilan bahan-bahan untuk pekerjaan stabilisasi berjarak sangat jauh dari lokasi proyek, maka harga satuannya akan semakin mahal. Dari ke tiga faktor-faktor tersebut, umumnya pertimbangan ketersediaan biaya yang tersedia menjadi faktor penentu.

2.7.3 Pemadatan

Pemadatan termasuk stabilisasi tanah secara mekanis. Setelah dipadatkan, susunan partikel-partikel tanah menjadi lebih padat, sehingga mempunyai sifat-sifat teknis yang lebih baik dari sebelumnya. Dalam pembangunan proyek-proyek jalan raya, gedung dan bendungan, pemadatan adalah salah satu pekerjaan yang penting. Bila perkerasan jalan telah selesai dibangun, tanah harus tidak boleh mengalami deformasi berlebihan, baik oleh akibat beban yang bekerja maupun oleh berat timbunannya sendiri. Deformasi tanah yang tidak seragam akan mengakibatkan kerusakan pada perkerasan. Pada kepadatan tanah tertentu, kapasitas dukung ditentukan oleh kadar airnya, bila kadar air semakin tinggi, maka kapasitas dukung tanah semakin rendah. Tujuan pemadatan adalah :

- 1) Mempertinggi kuat geser tanah.
- 2) Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas).

- 3) Mengurangi permeabilitas.
- 4) Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air, dan lain-lainnya.

2.7.3.1 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Hasil Pematatan

Faktor – faktor yang mempengaruhi hasil pematatan adalah :

- a) Berat volume kering awal (γ_d)
- b) Kadar air (w)
- c) Usaha pematatan
- d) Jenis tanah

A. Berat Volume Kering Awal

Tanah sebelum dipadatkan akan mempunyai berat volume kering (kepadatan) awal tertentu. Tanah – tanah yang mempunyai berat volume kering awal yang lebih besar, setelah pematatan akan mempunyai kepadatan yang lebih tinggi pada usaha pematatan yang sama.

B. Pengaruh Kadar Air

Kadar air merupakan parameter sangat penting dalam pematatan. Akan tetapi, terlalu banyak air akan membuat tanah menjadi jenuh, sehingga tanah sulit dipadatkan. Terdapat beberapa macam tanah yang tidak sensitif terhadap air waktu dipadatkan, contohnya: kerikil bergradasi terbuka atau pasir kasar bersih. Material ini sangat lolos air, sehingga air mudah terdrainase, dan butiran dengan mudah merapat saat dipadatkan.

C. Pengaruh Usaha Pematatan

Usaha pematatan adalah suatu pengukur energi mekanik yang diterapkan ke tanah. Biasanya, bila energi pematatan membesar, maka tanah menjadi semakin padat. Di laboratorium, usaha pematatan diberikan dengan menjatuhkan pemukul beberapa kali pada contoh tanah dalam mould. Dengan kadar air tertentu, kenaikan usaha pematatan menghasilkan susunan partikel yang lebih rapat, sehingga menaikkan nilai berat volume kering.

2.7.3.2 Tipe – Tipe Alat Pemasat di Lapangan

Di lapangan, tanah dipadatkan dengan memberikan energi dalam tiga cara :

- 1) Tekanan (*pressure*) atau penggilasan (*rollings*).
- 2) Kejutan (*impact*) atau tumbukan (*ramming*).
- 3) Getaran (*vibration*) atau guncangan (*shaking*).

Tipe – tipe pemasat antara lain :

- 1) Penggilasan : roda halus (*smooth wheel*), kaki kambing (*sheeps foot*), ban karet (*pneumatik-tyread*) dan sebagainya.
- 2) Tumbukan : pemberat dijatuhkan (termasuk tiang), tipe pembakaran internal dan tipe pneumatik.
- 3) Getaran : tipe hidrolik dan tipe pemberat tak seimbang.

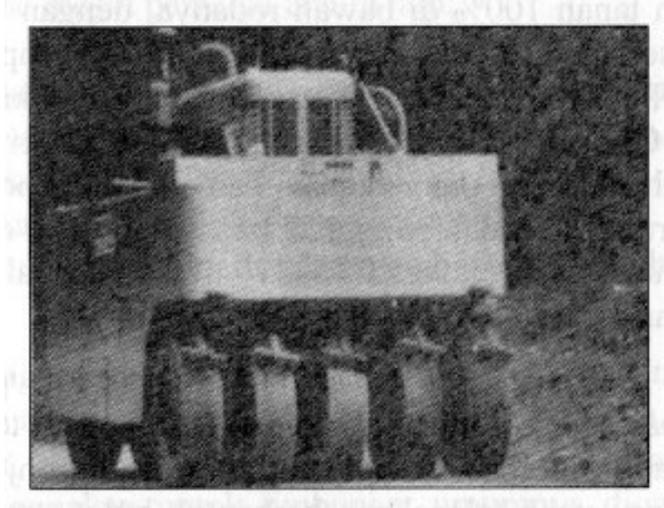
Pembangunan dari suatu struktur dari urugan tanah umumnya terdiri dari dua operasi terpisah, yaitu: penghamparan dan perataan lapisan tanah, dan kemudian dilakukan proses pemadatan. Ketebalan lapisan timbunan, umumnya berkisar di antara 150 sampai 500 mm, bergantung pada ukuran dan tipe alat pemasat dan ukuran butiran maksimum tanah yang dipadatkan. Oleh karena itu, penggunaan mesin pemasat yang cocok menjadi hal yang sangat penting dalam proyek urugan tanah. Beberapa macam tipe mesin pemasat atau penggilas spesial telah dikembangkan oleh banyak pabrik.

Macam alat penggilas yang akan dipakai bergantung pada tipe tanah yang akan dipadatkan. Penggilas drum halus atau roda drum dapat memadatkan tanah 100% di bawah rodanya, dengan tekanan kontak pada tanah sekitar 380 kPa, dan dapat digunakan hampir untuk semua jenis tanah. Pada proyek – proyek besar banyak dipakai penggilas kaki kambing . Seperti tercermin dalam namanya, pada drum dilengkapi dengan tonjolan – tonjolan atau kaki – kaki yang telapaknya berbentuk bulat atau persegi. Penggilas kaki kambing dapat dioperasikan dengan ditarik oleh penggerak, maupun digerakkan oleh mesinnya sendiri.



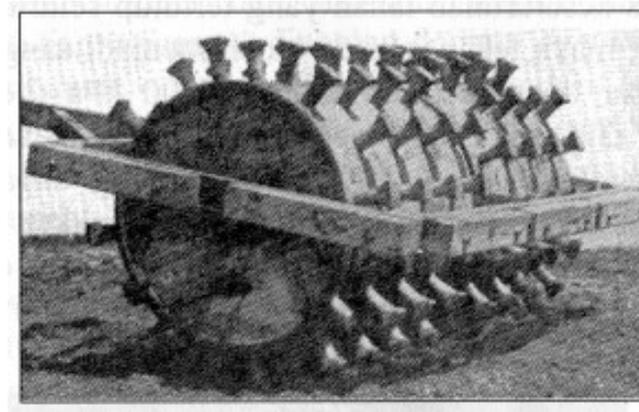
Gambar 2.108 Penggilas drum halus (*smooth drum roller*)

Sumber : <https://www.rokhmansorong.com/tipe-tipe-alat-pemadat-di-lapangan/>



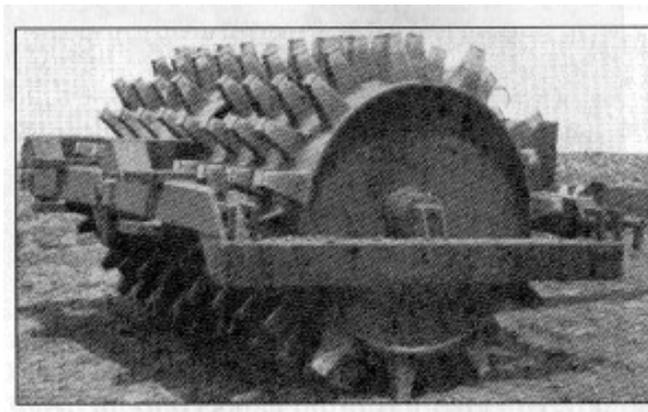
Gambar 2.109 Penggilas ban karet (*pneumatic tire roller*).

Sumber : <https://www.rokhmansorong.com/tipe-tipe-alat-pemadat-di-lapangan/>



Gambar 2.110 Penggilas kaki kambing tipe tongkat (*sheeps foot roller*)

Sumber : <https://www.rokhmansorong.com/tipe-tipe-alat-pemadat-di-lapangan/>



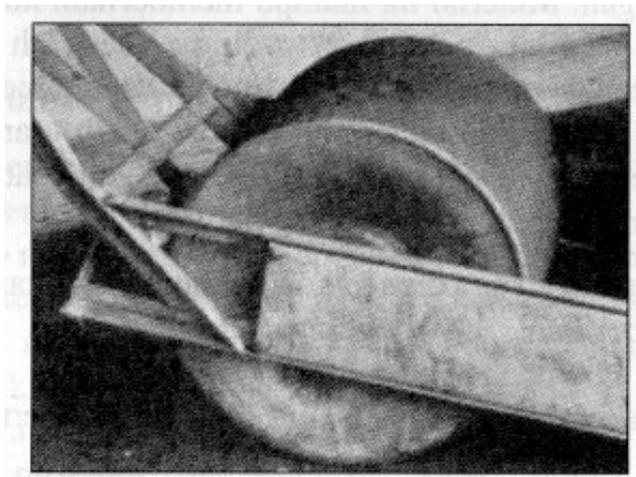
Gambar 2.111 Penggilas kaki kambing tipe meruncing.

Sumber : <https://www.rokhmansonong.com/tipe-tipe-alat-pemadat-di-lapangan/>

Penggilas berkaki menonjol yang lain adalah penggilas kaki kambing tipe meruncing (*tamping foot roller*) (Gambar 2.96.). Pada penggilas ini, 40% dari luas keseluruhan tanah yang tertutup roda tertekan. Tekanan kontak pada tanah berkisar di antara 1400 sampai 8400 kPa, bergantung pada ukuran roda dan pengisian air pada drum. Kaki yang dilengkapi engsel dapat bekerja sebagai alat peremas tanah. Alat ini sangat baik untuk memadatkan tanah-tanah berbutir halus.

Tipe alat pemadat yang lain, adalah mesin penggilas grid (*mesh* atau *grid roller*) yang dapat memadatkan sampai 40% area dengan tekanan pada roda 1400 sampai 6200 kPa. Alat ini sangat ideal untuk memadatkan tanah – tanah berbatu, kerikil dan pasir. Dengan kecepatan yang relatif tinggi, tanah digetarkan, dipecah dan ditumbuk.

Beberapa alat penggilas drum halus dan kaki kambing dilengkapi dengan alat penggetar, sehingga semakin efisien bila digunakan untuk memadatkan tanah granuler. Terdapat pula mesin penggilas ringan (Gambar 2.97.) dikendalikan dengan tangan dan pemadat kecil dengan landasan yang berbentuk pelat bergetar. Alat ini digunakan pada lokasi – lokasi sempit, di mana mesin pemadat yang besar tidak dapat digunakan.



Gambar 2.112 Mesin penggilas ringan

Sumber : <https://www.rokhmansorong.com/tipe-tipe-alat-pemadat-di-lapangan/>

2.7.3.3 Variabel yang Mempengaruhi Hasil Pemadatan Tanah di Lapangan

Terdapat banyak variabel yang mempengaruhi hasil pekerjaan pemadatan tanah di lapangan. Beberapa bergantung pada operator, dan yang lain bergantung pada kondisi tanah yang dipadatkan, serta karakteristik mesin pemadat. Variabel – variabel tersebut adalah :

- 1) Karakteristik tanah : kepadatan awal, ukuran butiran, bentuk butiran, dan kadar air saat pemadatan.
- 2) Karakteristik mesin pemadat: berat, ukuran, frekuensi operasi dan kisaran frekuensi.
- 3) Prosedur pelaksanaan : jumlah lintasan mesin penggilas, tebal lapisan yang dipadatkan, frekuensi operasi vibrator, kecepatan lintasan.

Hasil pemadatan di lapangan dipengaruhi oleh tipe tanah bahan timbunan, cara pemadatan, pemilihan tipe mesin pemadat, dan jumlah lintasan yang sesuai.

2.7.3.4 Persyaratan Pemadatan Tanah di Lapangan

Karena tujuan pemadatan adalah untuk memperoleh stabilitas tanah dan memperbaiki sifat – sifat teknisnya, maka sifat – sifat teknis tanah timbunan setelah dipadatkan sangat penting di perhatikan, tidak hanya kadar air dan berat volume keringnya saja. Prosedur pelaksanaan di lapangan pada umumnya, diterangkan di bawah ini. Percobaan di laboratorium dilaksanakan pada contoh tanah yang diambil dari lokasi pengambilan bahan timbunan, untuk ditentukan sifat – sifat tanah yang

akan dipakai dalam perencanaan. Sesudah bangunan dari tanah direncanakan, lalu spesifikasi pemadatan dibuat.

2.8 Rencana Anggaran Biaya

Dalam menghitung rancangan anggaran biaya, penulis menggunakan Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor : 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.

2.8.1 Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Umum

Pedoman ini menetapkan langkah – langkah menghitung harga satuan dasar (HSD) upah tenaga kerja, HSD alat dan HSD bahan, yang selanjutnya menghitung harga satuan pekerjaan (HSP) sebagai bagian dari harga perkiraan sendiri (HPS), dapat digunakan pula untuk menganalisis harga perkiraan perencana (HPP) untuk penangan pekerjaan bidang pekerjaan umum. Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini. Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2000 tentang Penyelenggaraan Jasa Konstruksi; (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, Nomor 05/PRT/M/2014, tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum; Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 07/PRT/M/2011 tentang Standar dan Pedoman Pemilihan Penyedia Barang/ Jasa Pekerjaan Konstruksi dan Jasa Konsultansi sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 31/PRT/M/2015; Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 15/KPTS/M/2004, tanggal 17 Desember 2004, tentang Pelaksanaan Perhitungan Formula Sewa Peralatan, Sewa Bangunan dan Tanah dan Sewa Prasarana Bangunan di lingkungan Departemen Pekerjaan Umum.

2.8.2 Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Sumber Daya Air

AHSP Sumber Daya Air (SDA) sangat tergantung dari kebutuhan mutu yang disesuaikan dengan spesifikasi teknis pekerjaan, metode kerja, kondisi lokasi pekerjaan dan berbagai aspek lainnya seperti K3 serta dampak lingkungan yang harus dicapai. Spesifikasi teknis kegiatan SDA telah disusun dalam 14 (empat belas) volume yaitu berdasarkan jenis – jenis bangunan air serta kerangka acuan untuk kegiatan studi.

AHSP SDA ini merupakan acuan untuk menghitung harga satuan pekerjaan (HSP) yang menganalisis biaya upah tenaga kerja dan/atau harga bahan - bahan bangunan ataupun peralatan sebagai koefisien kebutuhan penggunaan tenaga kerja, bahan dan peralatan untuk satu satuan volume pekerjaan. AHSP-SDA telah mempertimbangkan berbagai karakteristik pekerjaan SDA yang umumnya berhubungan dengan air (underwater dan underground), keterbatasan aksesibilitas ke lokasi pekerjaan, waktu pelaksanaan pekerjaan terkait dengan musim ataupun kondisi air di sungai (banjir), di laut (pasang atau surut) serta ketersediaan bahan yang kurang berkualitas dan juga penggunaan jenis material khusus dan/atau bahan aditif. Seperti halnya Spesifikasi Teknis, AHSP pun merupakan bagian dari dokumen kontrak pekerjaan yang digunakan sebagai acuan teknis untuk mencapai suatu tingkat mutu pekerjaan tertentu mulai dari proses persiapan, metode pelaksanaan, bahan, peralatan dan pengendalian mutu.

2.8.3 Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Bina Marga

Perkembangan Analisis Harga Satuan adalah sebagai berikut:

- Tahun 1995, perhitungan harga satuan dengan spread sheet berupa perangkat lunak untuk perencanaan jalan, disusun oleh Road Betterment Office (RBO) Sumatera Barat kemudian dikembangkan oleh Ditjen Bina Marga dan dijadikan Panduan Analisis Harga Satuan No. 028/T/BM/1995 dengan mempergunakan program aplikasi Lotus.
- Tahun 2002, perangkat lunak AHS dikembangkan oleh (Sumatera Road Regional Project) SRRP dan program aplikasi menggunakan Microsoft Excel.
- Panduan Analisis Harga Satuan No. 008/BM/2008
- Panduan Analisis Harga Satuan No.008-1/BM/2008 dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum pada Desember 2010.

Kegiatan pekerjaan fisik di Direktorat Jenderal Bina Marga, atau di dinas - dinas daerah terkait dengan pekerjaan Bina Marga pada umumnya mengikuti spesifikasi teknik untuk dokumen kontrak pekerjaan, yaitu Spesifikasi Umum dan Spesifikasi Khusus. Spesifikasi tersebut sebagai dasar untuk menyusun Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP).

2.8.4 Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Cipta Karya

- Lingkup pekerjaan konstruksi bangunan gedung terdiri atas level tertinggi atau level 1 hingga level terkecil yang disebut Task. Deskripsi lingkup pekerjaan konstruksi disebut Struktur Rincian Kerja atau *Work Breakdown Structure* (WBS). Lingkup pekerjaan Cipta Karya mengikuti ketentuan dalam Tabel 16.
- Lingkup pekerjaan pada level 2 dapat berkembang sesuai dengan kebutuhan dan dirinci menjadi level yang lebih rendah (sub level).