

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Klasifikasi Jalan

Menurut Pasal 1 Ayat 1 Permen PU No. 19 tahun 2011, jalan adalah infrastruktur transportasi darat yang mencakup bagian jalan, termasuk bangunan pendukung dan perlengkapannya, untuk lalu lintas, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah serta air, kecuali jalan khusus seperti kereta api, lori, dan kabel.

Fasilitas yang terhubung dengan pergerakan kendaraan dan manusia di jalan adalah referensi Prasarana lalu lintas dan transportasi jalan, mencakup zona lalu lintas, stasiun, dan komponen jalan seperti tanda lalu lintas, lampu pengatur lalu lintas, serta perangkat perlindungan dan pengawasan lalu lintas, rambu lalu lintas. Selain itu, prasarana tersebut juga termasuk sistem pemantauan dan pengamanan jalan serta fasilitas penunjang lainnya.

Persyaratan teknis jalan, seperti yang dijelaskan dalam Pasal 1 ayat 3 Permen PU No. 19 tahun 2011, mengacu pada ketentuan teknis yang harus ditaati oleh suatu bagian jalan agar dapat beroperasi secara efektif sesuai dengan Standar Pelayanan Minimal Jalan guna mendukung lalu lintas dan transportasi jalan. Berikut adalah persyaratannya.

2.1.1 Klasifikasi Jalan Menurut Fungsi Jalan

Klasifikasi menurut fungsi jalan terbagi atas:

- 1) Jalan Arteri
- 2) Jalan Kolektor
- 3) Jalan Lokal

Jalan Arteri: Jalan arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.

Jalan Kolektor: Jalan kolektor adalah jalan umum yang melayani angkutan pengumpul / pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.

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

2.1.2 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan dan ketentuannya serta kaitannya dengan klasifikasi menurut fungsi jalan (Pasal 11 PP No.43/1993), sebagai berikut:

- 1) Jalan kelas 1, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui oleh kendaraan bermotor, termasuk muatan beban dengan lebar maximum 2,5-meter milimeter, panjang maximum 18 meter, dan berat sumbu terbesar yang diizinkan melebihi 10 ton;
- 2) Jalan kelas II, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,5 meter, ukuran panjang tidak melebihi 18 meter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 10 ton;
- 3) Jalan kelas III A, dapat dilintasi oleh kendaraan bermotor, termasuk beban dengan lebar maksimum 2,5 meter, panjang maksimum 18 meter, dan berat sumbu terbesar yang diizinkan adalah 8 ton;
- 4) Jalan kelas III B, yaitu jalan kolektor yang dapat dilintasi oleh kendaraan bermotor, termasuk beban dengan lebar maksimum 2,5 meter, panjang maksimum 12 meter, dan berat sumbu terbesar yang diizinkan adalah 8 ton;
- 5) Jalan kelas III C, termasuk jalan lokal yang dapat dilintasi oleh kendaraan bermotor, termasuk beban dengan lebar maksimum 2,1 meter, panjang maksimum 9 meter, dan berat sumbu terbesar yang diizinkan adalah 8 ton.

Tabel 2.1 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat MST (ton)
Arteri	I	>10
	II	10
	III A	8
Kolektor	IIIA	8
	III B	8
	III C	8

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

Dibawah ini merupakan jenis – jenis kelas jalan berdasarkan lebar, panjang, dan bobot yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Pembagian Jenis-Jenis Kelas Jalan Berdasarkan PP No. 43 Tahun 1993

Dimensi	Kelas I	Kelas II	Kelas III A	Kelas III B	Kelas III C
Lebar	< 2,5 m	< 2,5 m	< 2,5 m	< 2,5 m	< 2,1 m
Panjang	< 18 m	< 18 m	< 18 m	< 12 m	< 9 m
Bobot	< 10 m	< 10 m	< 8 m	< 8 m	< 8 m

Sumber: PP No.43 Tahun 1993

2.1.3 Klasifikasi Berdasarkan Medan Jalan

Medan jalan dikategorikan berdasarkan keadaan sebagian besar kemiringan medan yang dihitung secara vertikal terhadap garis kontur. Keseragaman kondisi medan yang direncanakan harus mempertimbangkan keseragaman kondisi medan sesuai dengan rancangan jalur jalan, sambil mengesampingkan perubahan-perubahan minor pada bagian kecil dari segmen rancangan jalan tersebut. Klasifikasi jalan berdasarkan medan dan besarnya kemiringan medan jalan sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Klasifikasi Berdasarkan Medan Jalan

No	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan (%)
1	Datar	D	<3
2	Berbukit	B	3-25
3	Pegunungan	G	>25

2.1.4 Klasifikasi Menurut Wewenang Pembinaan Jalan

Pengelompokan jalan berdasarkan otoritas pembangunannya sesuai dengan **PP. No. 26/1985** mencakup jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten/kota, jalan desa, dan jalan khusus.

2.2 Bagian – bagian Jalan

2.2.1 Daerah Manfaat Jalan

A. Ruang Manfaat Jalan (Rumaja)

Ruang Manfaat Jalan (Rumaja) adalah area yang mencakup keseluruhan struktur jalan, saluran pinggir jalan, dan batas pengaman. Batasan Ruang Manfaat Jalan (Rumaja) ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain:

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

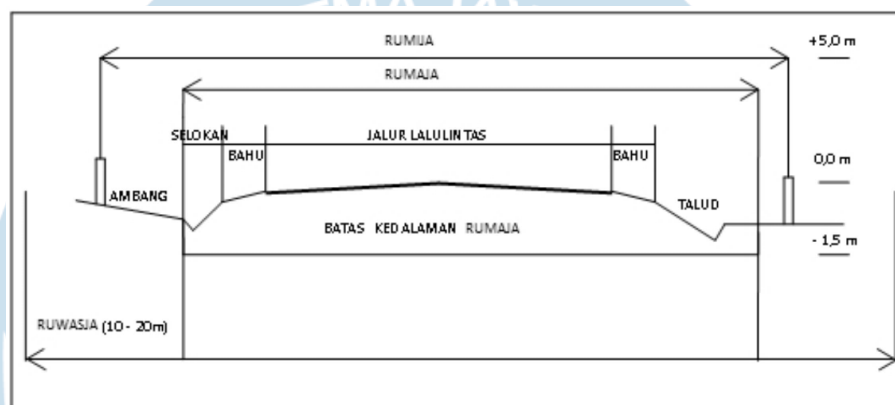
B. Ruang milik jalan (Rumija)

Ruang Milik Jalan (Rumija) merupakan area yang dibatasi oleh lebar yang identik dengan Rumaja, ditambah dengan batas pengaman konstruksi jalan yang memiliki tinggi 5-meter dan kedalaman 1,5 meter.

C. Ruang pengawasan jalan (Ruwasja)

Ruang Pengawasan Jalan (Ruwasja) adalah area sejajar dengan jalan yang berada di luar Rumaja, yang dibatasi oleh dimensi tinggi dan lebar tertentu, dengan persyaratan sebagai berikut:

1. Jalan arteri minimum 20 meters
2. Jalan kolektor minimum 15 meters
3. Jalan lokal minimum 10 meters



Gambar 2.1 Rumaja, Rumija, Ruwasja

Dalam proses pembangunan jalan, penentuan trase jalan juga harus dilakukan dengan hati-hati, sehingga dapat memberikan layanan yang memadai sesuai dengan fungsinya, serta menjamin keamanan dan kenyamanan pengguna. Untuk menciptakan trase jalan yang baik dan ideal, berikut ini adalah beberapa persyaratan yang harus dipenuhi.

1) Syarat Ekonomis

Dalam perencanaan yang melibatkan kriteria ekonomis, berikut ini adalah beberapa hal yang perlu diperhatikan:

1. Penentuan trase jalan harus dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak banyak memotong kontur, hal ini bertujuan untuk menghemat biaya yang dikeluarkan untuk pekerjaan penggalian dan penimbunan.

2. Penyediaan bahan dan tenaga kerja idealnya tidak terlalu jauh dari lokasi proyek, hal ini bertujuan untuk meminimalisir biaya.

2) Syarat Teknis

Tujuan dari kriteria teknis ini adalah untuk menciptakan jalan yang menawarkan rasa aman dan nyaman bagi pengguna jalan tersebut. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan kondisi topografi area tersebut, sehingga perencanaan yang baik dapat dicapai sesuai dengan kondisi lokal.

2.3 Parameter Perancangan Geometrik

Dalam desain geometrik jalan, ada beberapa parameter perencanaan yang harus dipahami, seperti kendaraan yang direncanakan, kecepatan yang direncanakan, volume dan kapasitas jalan, serta tingkat layanan pada jalan tersebut. Parameter-parameter ini menentukan tingkat kenyamanan dan keamanan yang dihasilkan oleh suatu bentuk geometrik jalan

2.3.1 Kendaraan Rencana

Kendaraan Rencana adalah kendaraan yang dimensi dan radius putarnya dipakai sebagai acuan dalam perencanaan geometrik. Adapun dimensi Kendaraan Rencana dapat dilihat di tabel 2.3. Kendaraan rencana dikelompokkan dalam 3 kategori, yaitu:

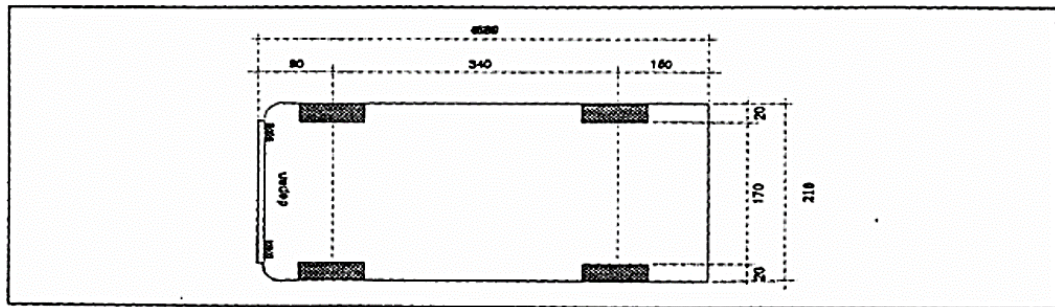
- a. Kendaraan Ringan/Kecil, adalah kendaraan yang mempunyai 2 (dua) as dengan empat roda dengan jarak as 2,00-3,00 meter. Meliputi: Mobil penumpang, Mikrobus, Pick-Up, dan Truk kecil sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.
- b. Kendaraan Sedang, adalah kendaraan yang mempunyai 2 (dua) as gandar, dengan jarak as, dengan jarak as 3,5-5,00 meter. Meliputi: bus kecil, Truk dua as dengan enam roda.

- c. Kendaraan Berat/Besar, ayitu meliputi: Bus besar, yaitu bus dengan dua atau tiga gandar, dengan jarak 5,00 – 6,00 meter.

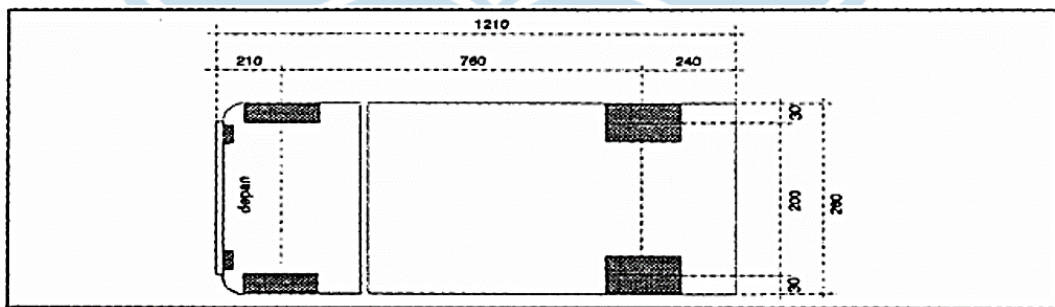
Tabel 2. 4 Kategori Kendaraan Rencana

Kategori Kendaraan Rencana	Dimensi Kendaraan (cm)			Tonjolan (cm)		Radius Putar (cm)		Radius Tonjolan (cm)
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang	Min.	Maks.	
Kecil	130	210	580	90	150	420	730	780
Sedang	410	260	1210	210	240	740	1280	1410
Besar	410	260	2100	120	90	290	1400	1370

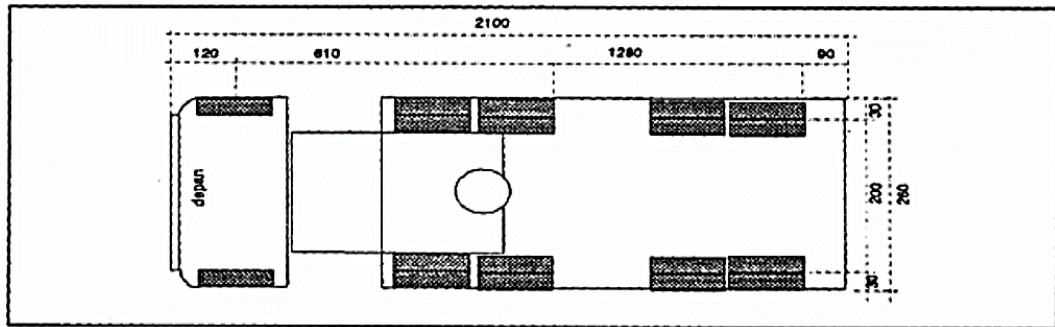
(Sumber: Tata Cara Perencanaan Geometrik Antar Kota, Departemen PU, Ditjen Bina Marga, 1997)



Gambar 2. 2 Dimensi Kendaraan Kecil



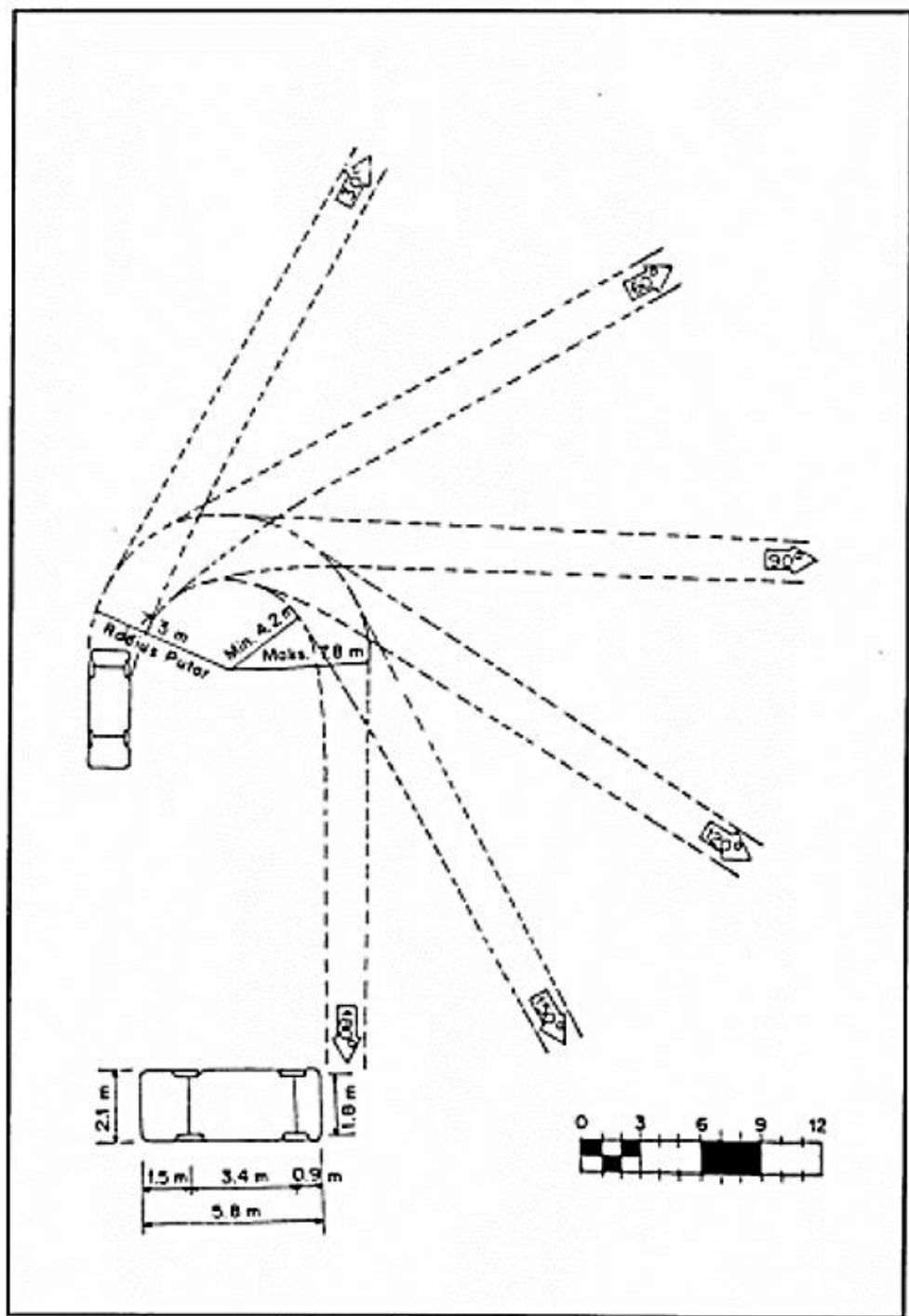
Gambar 2. 3 Dimensi Kendaraan Sedang



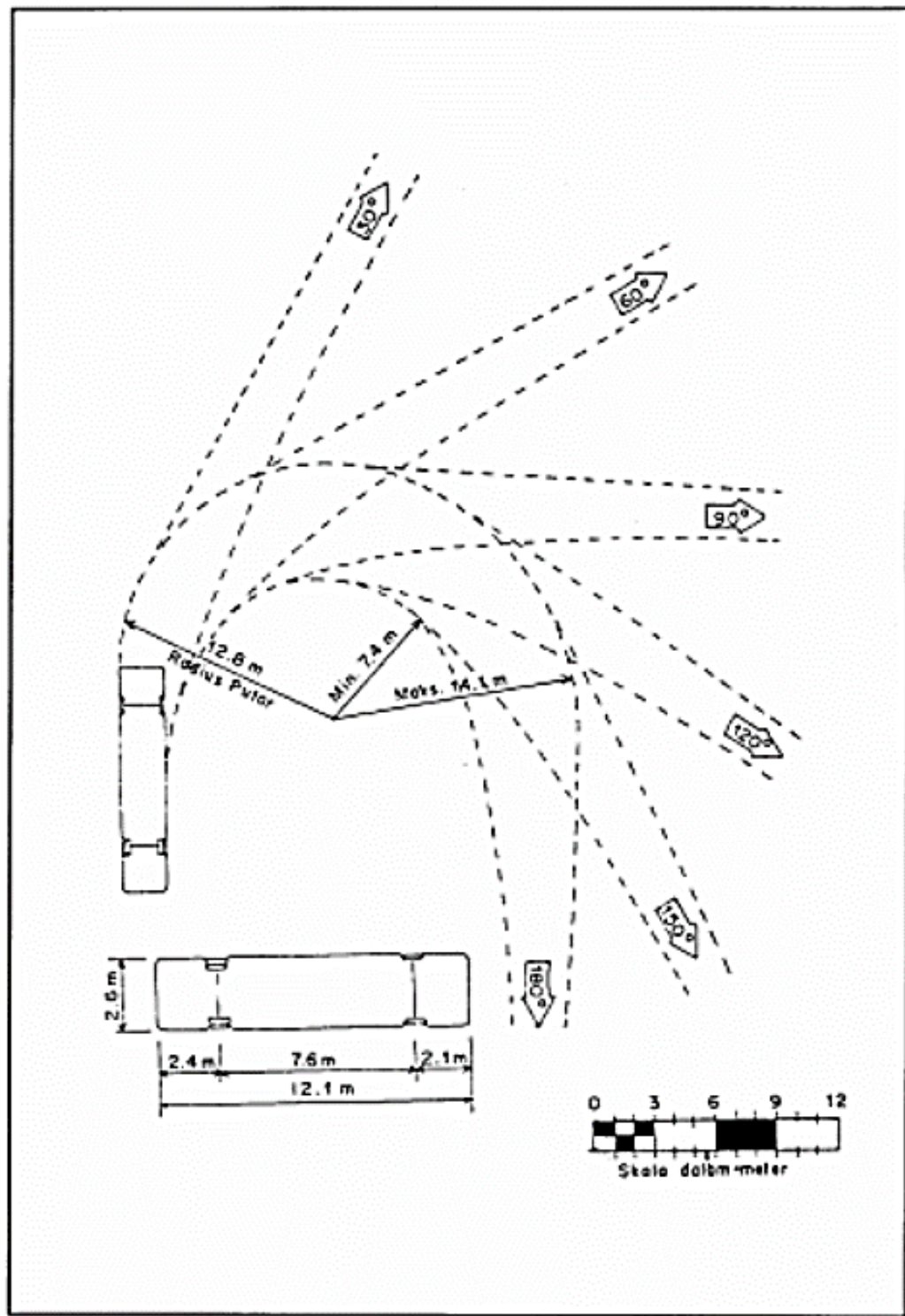
Gambar 2. 4 Dimensi Kendaraan Besar

2.3.2 Jarak Putaran (Manuver) Kendaraan

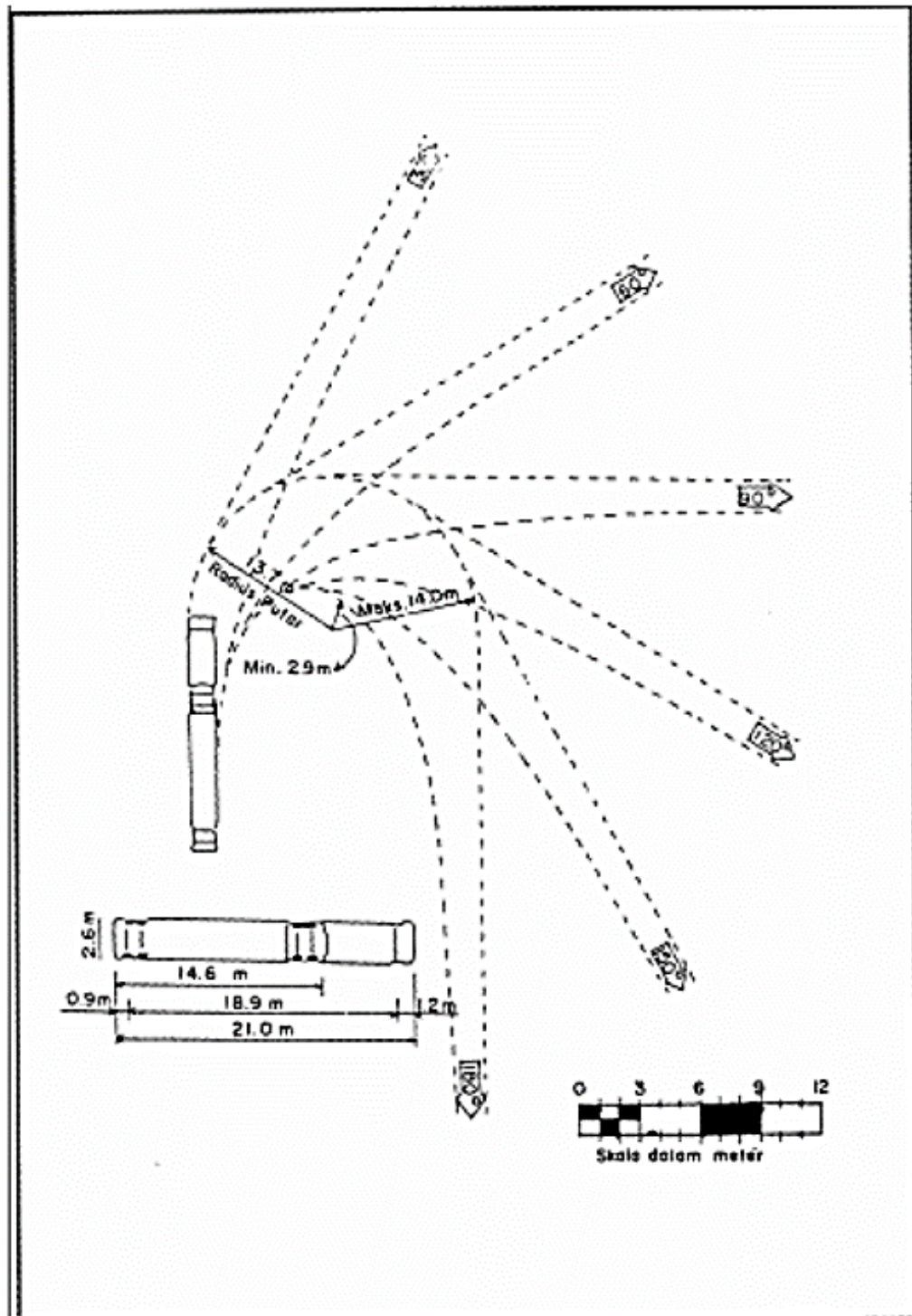
Jarak Manuver Kendaraan Setiap kendaraan memiliki batas putaran, yang berlaku saat kendaraan tersebut melakukan belokan atau putaran pada suatu tikungan jalan. Batas putaran untuk setiap kendaraan berbeda-beda, tergantung pada ukuran kendaraan dan radius putaran kemudinya.



Gambar 2. 5 Jari-Jari Manuver Kendaraan Kecil (Departemen PU, 1997)



Gambar 2. 6 Jari-Jari Manuver Kendaraan Sedang (Departemen PU, 1997)



Gambar 2. 7 Jari – jari Manuver Kendaraan Besar

2.3.3 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana (V_r) merupakan kecepatan yang dijadikan acuan dalam perencanaan geometrik jalan, yang memfasilitasi kendaraan untuk bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang baik, lalu lintas yang lancar, dan pengaruh samping jalan yang minimal. Untuk perencanaan jalan antar kota, nilai V_r ditetapkan dengan berdasar pada klasifikasi (fungsi) dan medan jalan, sebagaimana disajikan pada tabel 2.5

Tabel 2. 5 Kecepatan Rencana (V_r), Sesuai Klasifikasi Fungsi dan Medan Jalan

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

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

2.3.4 Volume Lalu Lintas

Volume lalu-lintas harian rata-rata (VLHR), adalah perkiraan volume lalu-lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas yang dinyatakan dalam satuan mobil penumpang per hari (smp/hari):

a. Satuan Mobil Penumpang (SMP)

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

Tabel 2. 6 Satuan Mobil Penumpang (SMP)

Jenis Kendaraan	Nilai SMP
Sepeda	0,5
Mobil Penumpang / Sepeda Motor	1,0
Truk Ringan (<5 ton)	2,0
Truk Sedang (>10 ton)	2,5
Truk Berat (>10 ton)	3,0
Bus	3,0
Kendaraan Tak Bermotor	7,0

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

a. Ekvivalen Mobil Penumpang (EMP)

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

Tabel 2. 7 Ekvivalensi Mobil Penumpang (EMP)

No.	Jenis Kendaraan	Datar / Bukit	Gunung
1	Sedan, Jeep Station Wagon	1,0	1,0
2	Pick up, Bus Kecil, Truk Kecil	1,2 – 2,4	1,9 – 3,5
3	Bus dan Truk Besar	1,2 – 5,0	2,2 – 6,0

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

Satuan volume lalu lintas yang umum dipergunakan sehubungan dengan jumlah dan lebar jalur adalah:

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

Lalu lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) adalah jumlah lalu lintas kendaraan rata-rata yang melewati satu jalur jalan selama 24 jam dan diperoleh dari data satu tahun penuh.

$$\text{LHRT} = \frac{\text{Jumlah Lalu Lintas dalam 1 tahun}}{365 \text{ hari}}$$

c. Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Adalah hasil bagi jumlah kendaraan yang diperoleh selama pengamatan dengan lamanya pengamatan.

$$\text{LHR} = \frac{\text{Jumlah Lalu Lintas selama pengamatan}}{\text{Lamanya pengamatan}}$$

2.3.5 Alinemen Horizontal

Alinemen adalah proyeksi dari sumbu jalan ke bidang horizontal. Alinemen horizontal terdiri dari bagian lurus dan bagian lengkung (juga dikenal sebagai tikungan). Secara umum, penempatan alinemen horizontal harus dapat menjamin keselamatan dan kenyamanan bagi pengguna jalan. Oleh karena itu, beberapa hal berikut ini perlu diperhatikan:

- 1) Sebisa mungkin hindari kondisi 'broken back', yaitu dua tikungan yang berorientasi sama dan hanya dipisahkan oleh segmen lurus yang sangat pendek, karena hal ini dapat menurunkan tingkat keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan.
- 2) Pada bagian jalan yang relatif lurus dan panjang, sebaiknya dihindari adanya tikungan tiba-tiba yang tajam karena hal ini dapat menimbulkan bahaya bagi pengemudi.
- 3) Jika tidak benar-benar diperlukan, hindari penggunaan radius minimum karena jalan tersebut mungkin akan sulit untuk beradaptasi dengan perkembangan yang mungkin terjadi di masa mendatang.
- 4) Jika terpaksa berhadapan dengan tikungan ganda dalam perencanaan, usahakan agar radius (R1) lebih kecil atau setidaknya sama dengan 1,5 kali radius lengkung kedua (R2).

- 5) Hindari sebisa mungkin lengkung yang terbalik dengan mendadak.
- 6) Hindari penggunaan lengkung yang tajam pada area dengan timbunan/elevasi yang tinggi.

2.3.6 Bagian Tikungan

A. Jenis Tikungan berupa:

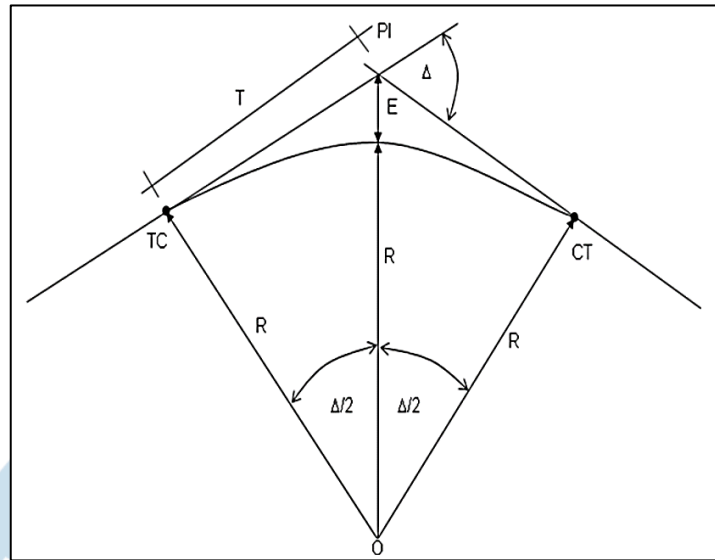
A. Full Circle (FC)

Tikungan ini hanya melibatkan bagian lingkaran, tanpa bagian transisi. Lengkung ini biasa diterapkan pada tikungan dengan jari-jari yang besar dan sudut tangen yang relatif kecil. Dari perspektif keamanan dan kenyamanan pengendara dan kendaraan, jenis tikungan ini adalah yang paling ideal. Namun, jika dilihat dari segi penggunaan lahan dan biaya pembangunan yang relatif terbatas, jenis tikungan ini menjadi pilihan yang cukup mahal.

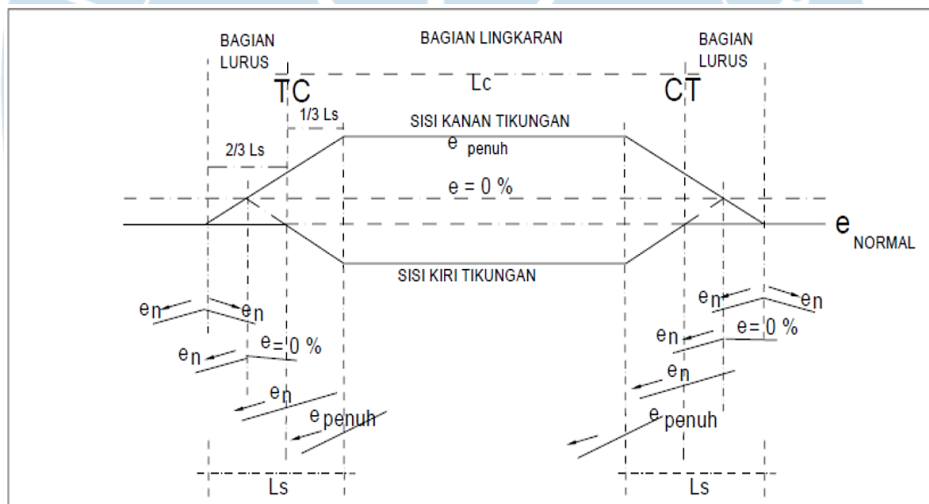
Tabel 2. 8 Jari-jari Tikungan yang Tidak Memerlukan Lengkung Peralihan

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

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



Gambar 2. 8 Komponen Full-Circle



Gambar 2. 9 Diagram Superelevasi pada Tikungan FC

Sumber: RSNI T-14-2004

Ketentuan dan rumus untuk tikungan Full-Circle adalah sebagai berikut:

$$T = R \cdot \tan \frac{1}{2} \Delta \dots \dots \dots (1)$$

$$E = T \cdot \tan \frac{1}{4} \Delta \dots \dots \dots (2)$$

$$L = \frac{\pi}{180} \times \Delta R \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

Δ = sudut tikungan ($^{\circ}$)

O = titik pusat lingkaran

R = jari-jari tikungan (m)

T = jarak TC-PI atau PI-CT

E = jarak PI ke puncak busur lingkaran (m)

L = panjang lengkung (CT – TC), (m)

PI = titik potong antara 2 garis tangen

B. Spiral-Circle-Spiral (SCS)

Lengkung Spiral adalah transisi dari segmen lurus ke segmen melingkar, yang panjangnya dihitung dengan memperhatikan perubahan gaya sentrifugal dari nol hingga mencapai segmen melingkar. Radius yang digunakan untuk tikungan spiral-lingkaran-spiral harus sesuai dengan kecepatan yang direncanakan, yang tidak menyebabkan kemiringan tikungan melebihi nilai maksimum yang telah ditetapkan.

Jari – jari lengkung minimum untuk setiap kecepatan rencana ditentukan berdasarkan:

- a) Kemiringan maksimum
- b) Koefisien gesekan melintang maksimum

$$\Delta c = \Delta - 2\theta_s(^{\circ}) \dots\dots\dots (7)$$

$$p = \frac{L_s^2}{6R} - R(1 - \cos \theta_s) \text{ (m)} \dots\dots\dots (8)$$

$$k = L_s - \frac{L_s^3}{40.R^2} - R \cdot \sin \theta_s \text{ (m)} \dots\dots\dots (9)$$

$$L_c = \frac{\Delta_c}{180} \cdot \pi \cdot R \text{ (m)} \dots\dots\dots (10)$$

$$T_s = (R + p) \tan \Delta/2 + k \text{ (m)} \dots\dots\dots (11)$$

$$E_s = (R + p) \sec \Delta/2 - R \text{ (m)} \dots\dots\dots (12)$$

$$L = L_c + 2 \cdot L_s \text{ (m)} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

PI = Titik perpotongan dua tangent

TS = Awal pertemuan tangent dengan spiral

SC = Awal pertemuan spiral dengan circle

CS = Akhir pertemuan circle dengan spiral

ST = Akhir pertemuan spiral dengan tangent

Ts = Jarak dari PI ke TS atau ST

p = Penggeseran tangent terhadap lingkaran

k = Absis dari p pada garis tangent spiral

Xs = Absis dari SC pada garis tangent

Ys = Ordinat titik SC pada garis tangent

Δ = Sudut lentur spiral

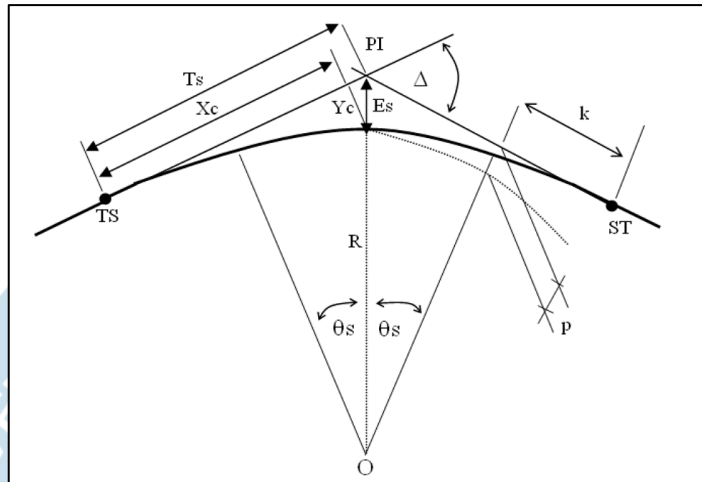
Es = Jarak luar dari PI ke lingkaran

Rc = Jari – jari lingkaran

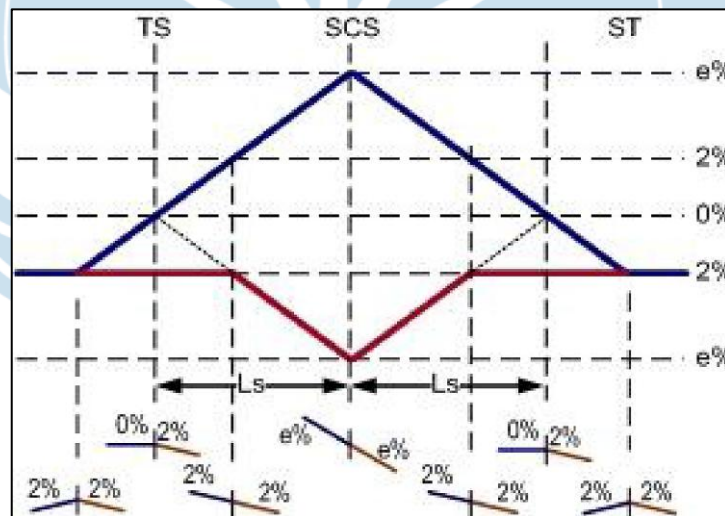
Lc = Panjang Busur lingkaran

C. Spiral-Spiral (SS)

Tikungan dengan bentuk ini umumnya digunakan pada tikungan yang memiliki sudut tajam.



Gambar 2. 12 Komponen Spiral – Spiral



Gambar 2. 13 Diagram Superelevasi pada Tikungan SS

Sumber: RSNI T-14-2004

Adapun rumusnya yang sama dengan bentuk tikungan *Spiral-Circle-Spiral*, adalah sebagai berikut:

$$Es = R + P \cdot \tan \frac{\Delta}{2} + k \text{ (m)} \dots \dots \dots (14)$$

$$Ts = (R + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k \text{ (m)} \dots\dots\dots (15)$$

$$Ls = \frac{2\pi R}{360} \cdot 2 \theta_s \text{ (m)} \dots\dots\dots (16)$$

$$L = 2 \times L_s \text{ (m)} \dots\dots\dots (17)$$

$$p = p' \times L_s \text{ (m)} \dots\dots\dots (18)$$

$$k = k' \times L_s \text{ (m)} \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan:

PI = Titik perpotongan dua tangen

TS = Awal pertemuan tangen dengan spiral

SC = Awal pertemuan spiral dengan circle

CS = Akhir pertemuan circle dengan spiral

ST = Akhir pertemuan spiral dengan tangen

Ts = Jarak dari PI ke TS atau ST

p = Penggeseran tangen terhadap lingkaran

k = Absis dari p pada garis tangen spiral

Δ = Sudut lentur spiral

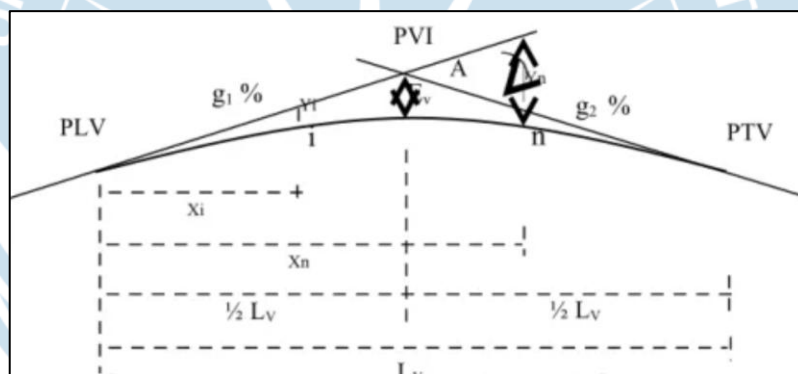
Es = Jarak luar dari PI ke lingkaran

Rc = Jari – jari lingkaran

2.3.7 Alinemen Vertikal

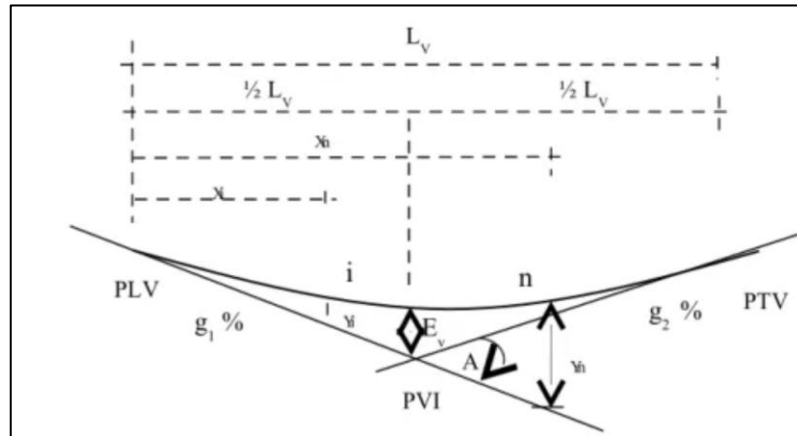
Alinemen vertikal adalah garis interseksi yang terbentuk oleh bidang vertikal yang melewati sumbu jalan (proyeksi vertikal pada bidang gambar). Alinemen vertikal terdiri dari bagian landau vertikal dan bagian lengkung vertikal. Dari perspektif titik awal perencanaan, bagian landau vertikal bisa berupa landau positif (naik), landau negatif (turun), atau landau nol (datar). Bagian lengkung vertikal bisa berbentuk lengkung cekung atau cembung.

- Lengkung vertikal cembung terjadi saat dua tangen berpotongan di atas permukaan jalan.
- Lengkung vertikal cekung terjadi saat titik pertemuan dua garis lurus berada di bawah jalan.



Gambar 2. 14 Lengkung Vertikal Cembung

sumber: <https://123dok.com/document/yr04rnoy-alinyemen-vertikal.html>



Gambar 2. 15 Lengkung Vertikal Cekung

sumber: <https://123dok.com/document/yr04rnoy-alinyemen-vertikal.html>

2.3.8 Lengkung Vertikal

- 1) Setiap lokasi yang mengalami perubahan kemiringan harus dilengkapi dengan lengkung vertikal. Ini dilakukan dengan dua tujuan utama, yaitu:
 - a. Mengurangi goncangan akibat perubahan kelandaian; dan
 - b. Menyediakan jarak pandang henti.
- 2) Dalam prosedur ini, lengkung vertikal ditentukan sebagai parabola sederhana.
 - a. Apabila jarak pandang berhenti kurang dari panjang lengkung vertikal yang cembung, maka panjangnya ditentukan dengan formula

$$L = \frac{AS^2}{405}$$

- b. Apabila jarak pandang berhenti melebihi panjang lengkung vertikal yang cekung, maka panjangnya ditentukan dengan suatu rumus

$$L = 2S - \frac{405}{A}$$

- c. Panjang minimum vertical ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$L = A.Y$$

$$L = \frac{s^2}{405}$$

Keterangan:

L = panjang lengkung vertikal (m)

A = perbedaan *grade* (m)

J_h = jarak pandang henti (m)

- d. Y dipengaruhi oleh jarak pandang di malam hari, kenyamanan, dan penampilan. Y ditentukan oleh Tabel

Tabel 2. 9 Panjang Minimum Lengkung Vertikal

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

2.3.9 Koordinasi Alinemen

- 1) Alinemen vertikal, alinemen horizontal, dan potongan melintang merupakan elemen-elemen jalan yang dihasilkan dari perencanaan. Ketiga elemen ini harus dikoordinasikan dengan baik untuk menciptakan desain jalan yang memudahkan

pengemudi dalam mengendalikan kendaraannya secara aman dan nyaman. Kesatuan dari ketiga elemen jalan ini diharapkan dapat memberikan petunjuk visual kepada pengemudi tentang bentuk jalan yang akan mereka lalui, sehingga mereka dapat melakukan antisipasi lebih awal

- 2) Koordinasi alinemen vertikal dan alinemen horizontal harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
 - (a) Alinemen horizontal idealnya bersebelahan dengan alinemen vertikal, dan dalam kondisi ideal, alinemen horizontal sedikit lebih panjang sehingga melingkupi alinemen vertikal
 - (b) Pada bagian bawah lengkung vertikal cekung atau bagian atas lengkung vertikal cembung, tikungan yang tajam harus dihindari
 - (c) Pada jalan yang lurus dan panjang, penggunaan lengkung vertikal cekung sebaiknya dihindari
 - (d) Dua atau lebih lengkung vertikal dalam satu lengkung horizontal harus dihindarkan; dan
 - (e) Pada dua bagian jalan yang lurus dan panjang, tikungan yang tajam sebaiknya dihindari

2.3.10 Jalur Lalu Lintas

- a) Jalur lalu lintas adalah bagian jalan yang dipergunakan untuk lalu lintas kendaraan yang secara fisik berupa perkerasan jalan. Batas jalur lalu lintas dapat berupa:
 - (1) Median
 - (2) Bahu
 - (3) Trotoar
 - (4) Pulau Jalan
 - (5) Separator
- b) Jalur lalu lintas dapat terdiri atas beberapa lajur

- c) Jalur lalu lintas dapat terdiri atas beberapa tipe, yaitu:
- (1) 1 jalur-2 lajur-2 arah (2/2 TB)
 - (2) 1 jalur-2 lajur-1 arah (2/1 TB)
 - (3) 2 jalur-4 lajur-2 arah (4/2 B)
 - (4) 2 jalur-n lajur-2 arah (n/2 B), di mana n = jumlah lajur.

Keterangan:

TB = tidak terbagi; B= terbagi

- d) Lebar Jalur

Lebar jalur sangat ditentukan oleh jumlah dan lebar lajur peruntukannya. Tabel 1.7 menunjukkan lebar jalur dan bahu jalan sesuai VLHR-nya. Lebar jalur minimum adalah 4,5 meter, memungkinkan 2 kendaraan kecil saling berpapasan. Papasan dua kendaraan besar yang terjadi sewaktu-waktu dapat menggunakan bahu jalan.

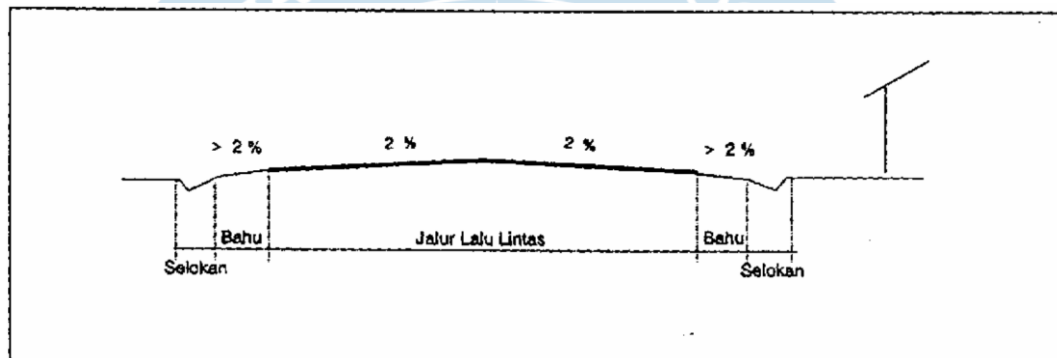
2.3.11 Lajur

- a. Lajur adalah bagian jalur lalu lintas yang memanjang, dibatasi oleh marka lajur jalan, memiliki lebar yang cukup untuk dilewati suatu kendaraan bermotor sesuai kendaraan rencana
- b. Lebar lajur tergantung pada kecepatan dan kendaraan rencana, yang dalam hal ini dinyatakan dengan fungsi dan kelas jalan seperti ditetapkan dalam.
- c. Jumlah lajur ditetapkan dengan mengacu kepada MKJI berdasarkan tingkat kinerja yang direncanakan, di mana untuk suatu ruas jalan dinyatakan oleh nilai rasio antara volume terhadap kapasitas yang nilainya tidak lebih dari 0.80
- d. Untuk kelancaran drainase permukaan, lajur lalu lintas pada alinemen lurus memerlukan kemiringan melintang normal sebagai berikut:
 - (1) 2-3% untuk perkerasan aspal dan perkerasan beton;

(2) 4-5% untuk perkerasan kerikil

Tabel 2. 10 Lebar Lajur Jalan Ideal

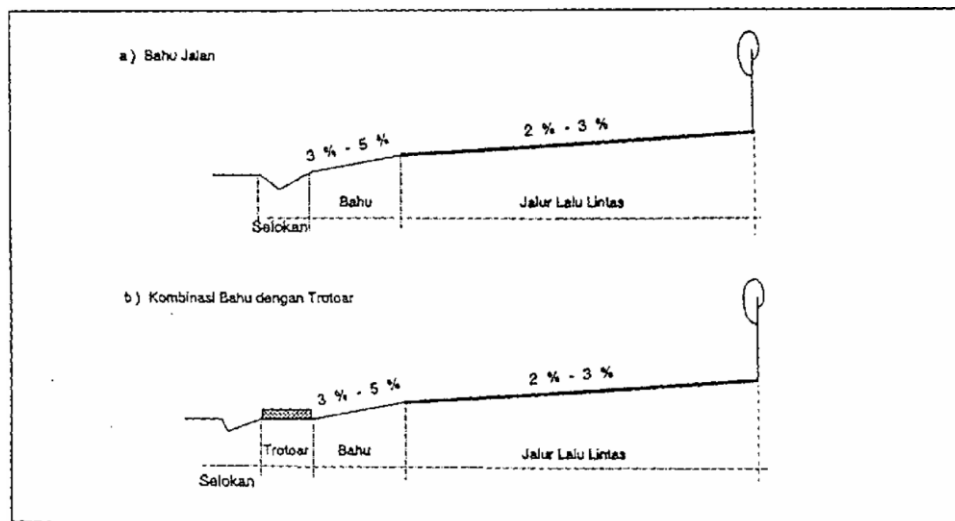
Fungsi	Kelas	Lebar Lajur Ideal (m)
Arteri	I	3,75
	II, III A	3,50
Kolektor	III A, III B	3,00
Lokal	III C	3,00



Gambar 2. 16 Kemiringan Melintang Jalan Normal

2.3.12 Bahu Jalan

- a) Bahu jalan adalah bagian jalan yang terletak di tepi jalur lalu lintas dan harus diperkeras
- b) Fungsi bahu jalan adalah sebagai berikut:
 - (1) Lajur lalu lintas darurat, tempat berhenti sementara, dan atau tempat parkir darurat
 - (2) Ruang bebas samping bagi lalu lintas; dan
 - (3) Penyangga sampai untuk kestabilan perkerasan jalur lalu lintas
- c) Kemiringan bahu jalan normal antara 3 – 5%



Gambar 2. 17 Bahu Jalan

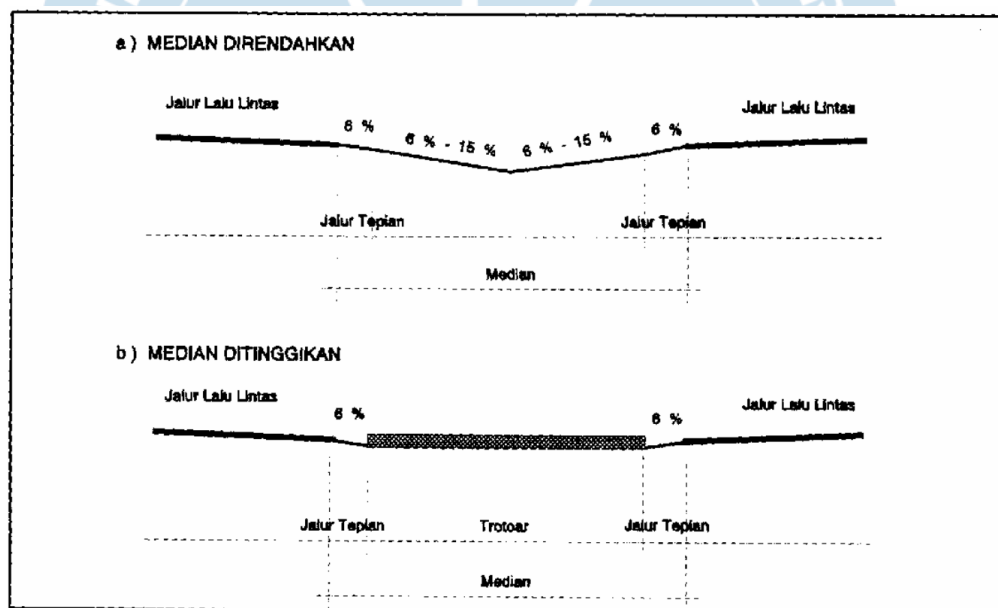
2.3.13 Median

- a) Median adalah bagian bangunan jalan yang secara fisik memisahkan dua jalur lalu lintas yang berlawanan arah
- b) Fungsi median adalah untuk:
 - (1) Memisahkan dua aliran lalu lintas yang berlawanan arah
 - (2) Ruang lapak tunggu penyeberang jalan
 - (3) Penempatan fasilitas jalan
 - (4) Tempat prasarana kerja sementara
 - (5) Penghijauan
 - (6) Tempat berhenti darurat
 - (7) Cadangan lajur
 - (8) Mengurangi silau dari sinar lampu kendaraan dari arah yang berlawanan
- c) Jalan 2 arah dengan 4 lajur atau lebih perlu dilengkapi median
- d) Median dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:
 - (1) Median direndahkan, terdiri atas jalur tepian dan bangunan pemisah jalur yang direndahkan
 - (2) Median ditinggikan, terdiri atas jalur tepian dan bangunan pemisah jalur yang ditinggikan

- e) Lebar minimum median terdiri atas jalur tepian selebar 0,25 – 0,50-meter dan bangunan pemisah jalur, ditetapkan dapat dilihat dalam Tabel 2.11
- f) Perencanaan median yang lebih rinci mengacu pada Standar Perencanaan Geometrik untuk jalan perkotaan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Maret 1992.

Tabel 2. 11 Lebar Minimum Median

Bentuk Median	Lebar Minimum
Median ditinggikan	2,0
Median direndahkan	7,0



Gambar 2. 18 Median direndahkan & ditinggikan

2.3.14 Fasilitas Pejalan Kaki

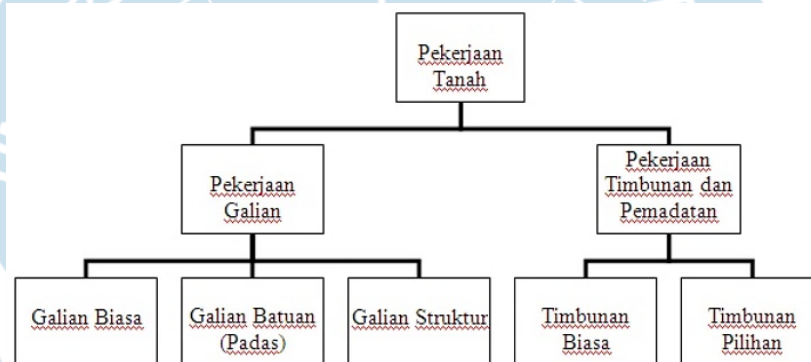
- a) Fasilitas untuk pejalan kaki berperan dalam memisahkan pejalan kaki dari jalur lalu lintas kendaraan untuk menjamin keamanan pejalan kaki dan memastikan kelancaran lalu lintas
- b) Jika diperlukan fasilitas untuk pejalan kaki, maka perencanaannya harus merujuk pada Standar Perencanaan

Geometrik untuk Jalan Kota, yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga pada Maret 1992

2.4 Pekerjaan Tanah

2.4.1 Pekerjaan Galian dan Timbunan

Ruang lingkup pekerjaan tanah mencakup; penggalian, penimbunan, dan pemadatan. Dalam penggalian, ada tiga jenis penggalian yang dibagi menjadi; penggalian biasa, batuan, dan struktur. Sementara itu, pekerjaan penimbunan dan pemadatan terdiri dari; penimbunan biasa dan pilihan.



Gambar 2. 19 Struktur pekerjaan tanah

A. Pekerjaan Galian

Pekerjaan penggalian biasanya diperlukan untuk pembuatan jalur air dan parit, untuk formasi penggalian atau fondasi pipa, saluran air, pembuangan atau struktur lainnya, untuk pembuangan material yang tidak digunakan dan tanah humus, untuk pekerjaan stabilitas lereng, dan pembuangan material longsor. Sedangkan untuk penggalian material konstruksi dan pembuangan sisa material penggalian, untuk pengupasan dan pembuangan material perkerasan aspal pada perkerasan lama, dan umumnya untuk pembentukan profil dan penampang jalan. Pekerjaan penggalian dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian:

1. Galian Biasa (*common excavation*)

Dalam pekerjaan ini, proses penggalian dilakukan untuk menghapus atau membuang material yang tidak layak digunakan sebagai struktur jalan. Penggalian ini dilakukan dengan menggunakan *excavator* untuk memotong bagian dari jalan sesuai dengan gambar rencana, sementara pengangkutan dilakukan dengan menggunakan truk dump.

2. Galian Batuan/Padas

Pekerjaan penggalian batu melibatkan penggalian batu yang dibongkar dengan volume 1 m³ atau lebih. Dalam pekerjaan penggalian batu ini, biasanya dilakukan dengan menggunakan alat bertekanan udara dan peledakan.

3. Galian Struktur

Pekerjaan penggalian struktur ini mencakup penggalian pada semua jenis tanah dalam batas pekerjaan yang ditentukan atau ditunjukkan dalam gambar untuk struktur. Penggalian ini hanya dibatasi untuk penggalian lantai fondasi jembatan. Berikut adalah prosedur kerja untuk pekerjaan penggalian:

- a) Sebelum melakukan pemotongan (*cutting*) pada lokasi, perlu dilakukan pekerjaan pembersihan dan penggalian (*clearing* dan *grubbing*) terlebih dahulu. Tujuannya adalah untuk membersihkan lokasi dari akar-akar pohon dan batu-batuan
- b) Untuk menentukan elevasi jalan yang direncanakan, seorang surveyor harus melakukan pengukuran menggunakan alat pengukur (*theodolit*). Jika elevasi tanah tidak sesuai, maka tanah akan dipotong lagi menggunakan alat berat seperti motor *grader*, hingga mencapai elevasi yang diharapkan
- c) Memadatkan tanah yang telah dipotong dengan menggunakan *vibrator roller*.
- d) Melakukan tes kepadatan tanah dengan uji kepadatan (*Sand Cone Density Test*) di lokasi proyek.

B. Pekerjaan Timbunan dan Pemadatan

Pekerjaan ini melibatkan pengadaan, pengangkutan, penyebaran, dan pemadatan tanah atau material berbutir yang disetujui untuk pembuatan timbunan. Sementara itu, penimbunan kembali galian pipa atau struktur untuk timbunan umum diperlukan untuk membentuk dimensi timbunan sesuai dengan garis, kemiringan, dan hubungan penampang melintang yang telah ditunjukkan atau disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Proses penimbunan dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu:

- a) Timbunan biasa, pada umumnya, material atau tanah yang digunakan biasanya berasal dari hasil penggalian badan jalan yang telah memenuhi kriteria yang ditentukan
- b) Timbunan pilihan, dalam pekerjaan ini, tanah yang digunakan biasanya berasal dari luar, yang sering disebut borrowpitt. Tanah ini digunakan jika nilai CBR tanah dari timbunan kurang dari 6%.

Tabel 2. 12 Data Galian dan Timbunan

<u>Station</u>	<u>Cut Area (Sq.m.)</u>	<u>Cut Volume (Cu.m.)</u>	<u>Reusable Volume (Cu.m.)</u>	<u>Fill Area (Sq.m.)</u>	<u>Fill Volume (Cu.m.)</u>	<u>Cum, Cut Vol, (Cu.m.)</u>	<u>Cum, Reusable Vol, (Cu.m.)</u>	<u>Cum, Fill Vol, (Cu.m.)</u>	<u>Cum, Net Vol, (Cu.m.)</u>	<u>Selisih Cut&Fill</u>
0+000,000	13,86	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0+100,000	122,15	6800,72	6800,72	0	0	6800,72	6800,72	0	6800,72	6800,72
0+200,000	225,56	17385,47	17385,47	0	0	24186,19	24186,19	0	24186,19	17385,47
0+300,000	200,15	21285,19	21285,19	0	0	45471,38	45471,38	0	45471,38	21285,19
0+400,000	0	10007,29	10007,29	159,58	7978,94	55478,68	55478,68	7978,94	47499,74	2028,35
0+500,000	0	0	0	47,45	10351,6	55478,68	55478,68	18330,54	37148,14	-10351,6
0+600,000	475,55	23777,39	23777,39	0	2372,66	79256,06	79256,06	20703,2	58552,87	21404,73
0+700,000	265,01	37027,71	37027,71	0	0	116283,77	116283,77	20703,2	95580,57	37027,71
0+800,000	0	13250,32	13250,32	77,91	3895,5	129534,09	129534,09	24598,69	104935,39	9354,82
0+900,000	0	0	0	249,54	16372,56	129534,09	129534,09	40971,25	88562,84	-16372,6
1+000,000	12,78	638,84	638,84	0	12477,06	130172,93	130172,93	53448,31	76724,61	-11838,2
1+100,000	377,47	19512,51	19512,51	0	0	149685,44	149685,44	53448,31	96237,13	19512,51
1+200,000	91,23	23435,38	23435,38	0	0	173120,83	173120,83	53448,31	119672,51	23435,38
1+300,000	0	4561,71	4561,71	143,02	7151,15	177682,53	177682,53	60599,46	117083,07	-2589,44
1+400,000	0	0	0	54,93	9897,47	177682,53	177682,53	70496,93	107185,6	-9897,47
1+500,000	186,17	9308,49	9308,49	0	2746,32	186991,02	186991,02	73243,26	113747,77	6562,17

<u>Station</u>	<u>Cut Area (Sq.m.)</u>	<u>Cut Volume (Cu,m.)</u>	<u>Reusable Volume (Cu,m.)</u>	<u>Fill Area (Sq.m.)</u>	<u>Fill Volume (Cu,m.)</u>	<u>Cum, Cut Vol, (Cu,m.)</u>	<u>Cum, Reusable Vol, (Cu,m.)</u>	<u>Cum, Fill Vol, (Cu,m.)</u>	<u>Cum, Net Vol, (Cu,m.)</u>	<u>Selisih Cut&Fill</u>
1+600,000	32,7	10943,28	10943,28	0	0	197934,3	197934,3	73243,26	124691,05	10943,28
1+700,000	266,63	14966,5	14966,5	0	0	212900,8	212900,8	73243,26	139657,54	14966,5
1+800,000	395,51	33107,2	33107,2	0	0	246007,99	246007,99	73243,26	172764,74	33107,2
1+900,000	530,65	46334,3	46334,3	0	0	292342,29	292342,29	73243,26	219099,04	46334,3
2+000,000	611,9	57121,12	57121,12	0	0	349463,41	349463,41	73243,26	276220,16	57121,12
2+100,000	350,48	48354,54	48354,54	0	0	397817,96	397817,96	73243,26	324574,7	48354,54
2+200,000	0	17768,84	17768,84	103,29	5084,6	415586,8	415586,8	78327,85	337258,95	12684,24
2+300,000	0	0	0	590,86	34529,94	415586,8	415586,8	112857,79	302729	-34529,9
2+400,000	0	0	0	383,51	48628,32	415586,8	415586,8	161486,12	254100,68	-48628,3
2+500,000	0	0	0	341,71	36069,25	415586,8	415586,8	197555,36	218031,44	-36069,3
2+600,000	0	0	0	425,18	38219,21	415586,8	415586,8	235774,57	179812,22	-38219,2
2+700,000	0	0	0	106,08	26562,8	415586,8	415586,8	262337,37	153249,43	-26562,8
2+800,000	187,27	9363,37	9363,37	0	5303,76	424950,16	424950,16	267641,13	157309,03	4059,61
2+816,385	197,36	3151	3151	0	0	428101,16	428101,16	267641,13	160460,03	3151

2.5 Penerapan Geoteknik Dalam Pekerjaan Tanah

2.5.1 Pengertian Penurunan Tanah

Penurunan tanah (*settlement*) adalah proses turunnya permukaan tanah akibat beban, baik secara alami maupun karena aktivitas konstruksi, yang terjadi karena perubahan volume tanah akibat pemadatan partikel, konsolidasi air pori, atau pergeseran butiran tanah. Penurunan ini diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu penurunan segera (*immediate settlement*) yang terjadi langsung setelah beban diberikan, terutama pada tanah granular; penurunan konsolidasi (*primary consolidation*) yang berlangsung secara bertahap pada tanah lempung jenuh akibat keluarnya air dari pori-pori; serta penurunan sekunder (*secondary settlement*) yang terjadi setelah proses konsolidasi selesai, disebabkan oleh pergeseran struktur butiran tanah. Jika penurunan terjadi secara berlebihan atau tidak merata (*differential settlement*), hal ini dapat menimbulkan keretakan, deformasi, bahkan kegagalan struktur bangunan di atasnya. Oleh karena itu, analisis dan pengendalian penurunan merupakan aspek krusial dalam perencanaan fondasi dan rekayasa geoteknik untuk menjamin stabilitas serta keamanan struktur.

A. Teori Janbu et al

Teori Janbu merupakan salah satu metode analisis dalam pendekatan keseimbangan batas (*limit equilibrium method*) yang digunakan untuk mengevaluasi stabilitas lereng melalui perhitungan nilai faktor keamanan terhadap potensi kelongsoran. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh N. Janbu pada tahun 1954 dan didasarkan pada pembagian massa tanah yang berpotensi longsor ke dalam sejumlah irisan vertikal. Setiap irisan kemudian dianalisis dengan mempertimbangkan keseimbangan gaya-gaya horizontal, vertikal, dan momen. Terdapat dua varian metode ini, yaitu Janbu sederhana, yang hanya mempertimbangkan keseimbangan gaya horizontal dan digunakan sebagai pendekatan awal dengan

perhitungan yang relatif sederhana, serta Janbu umum (*generalized Janbu*) yang melibatkan keseimbangan gaya dan momen secara simultan, sehingga menghasilkan tingkat akurasi yang lebih tinggi, khususnya pada kondisi lereng yang tidak seragam atau mengandung lapisan tanah dengan karakteristik berbeda. Metode ini bersifat fleksibel karena dapat diterapkan pada bidang gelincir non-sirkular dan telah banyak diimplementasikan dalam perangkat lunak geoteknik seperti GeoStudio (SLOPE/W) maupun Slide, sehingga menjadi salah satu alat analisis kestabilan yang andal dalam praktik rekayasa geoteknik.

Dalam konteks permodelan perilaku tanah, parameter mekanik seperti modulus elastisitas (E) dan rasio *Poisson* (ν) memegang peran penting dalam memperkirakan deformasi dan respons tanah terhadap beban. Modulus elastisitas tanah menunjukkan kekakuan material tanah terhadap tegangan aksial dan digunakan untuk menghitung besar deformasi akibat beban luar, sedangkan rasio Poisson, khususnya dengan nilai $\nu = 0,5$, mengindikasikan kondisi tanah jenuh dalam keadaan tidak terdrainase, di mana volume tanah tetap konstan meskipun terjadi deformasi lateral, sebagaimana umum ditemukan pada tanah lempung lunak jenuh air. Selain itu, dalam perancangan fondasi, perlu diperhitungkan faktor bentuk fondasi (*shape factor*), yaitu koefisien koreksi terhadap daya dukung tanah yang bergantung pada geometri fondasi (misalnya bentuk persegi, persegi panjang, atau lingkaran). Faktor bentuk ini memengaruhi distribusi tegangan pada bidang kontak fondasi dan berperan dalam penyesuaian nilai daya dukung ultimit sesuai teori klasik seperti yang dikembangkan oleh Terzaghi dan Meyerhof. Oleh karena itu, integrasi antara analisis stabilitas lereng menggunakan metode Janbu, parameter elastis tanah, dan koreksi bentuk fondasi merupakan aspek penting dalam

mencapai desain geoteknik yang aman, efisien, dan sesuai dengan kondisi lapangan

B. Teori Konsolidasi

Teori konsolidasi tanah merupakan kajian geoteknik yang menggambarkan proses pengurangan volume tanah jenuh akibat keluarnya air dari rongga pori sebagai respons terhadap beban luar yang diterapkan. Proses ini terjadi secara bertahap, khususnya pada tanah lempung dengan permeabilitas rendah, sehingga penurunan tanah (*settlement*) berlangsung dalam jangka waktu tertentu. Teori ini pertama kali diformulasikan secara matematis oleh Karl Terzaghi pada tahun 1925 dalam bentuk model konsolidasi satu dimensi, dengan asumsi tanah bersifat jenuh sempurna, homogen, dan aliran air hanya terjadi secara vertikal. Selain itu, terdapat beberapa parameter penting dalam analisis konsolidasi, seperti modulus elastisitas tanah (E) yang menunjukkan kekakuan tanah terhadap beban, angka pori awal (e^0), tinggi lapisan tanah (H), Perubahan tegangan efektif ($\Delta\sigma'$), koefisien kompresibilitas langsung (a_v) yang menyatakan perubahan volume terhadap perubahan tegangan vertikal, indeks kompresi (C_c) untuk konsolidasi primer, dan indeks kompresi sekunder (C_α) untuk konsolidasi lanjutan setelah tekanan air pori hilang. Proses konsolidasi dibagi menjadi tiga tahap, yakni penurunan segera (*immediate settlement*), konsolidasi primer, dan konsolidasi sekunder. Pemahaman terhadap parameter-parameter tersebut sangat penting dalam memperkirakan besarnya penurunan dan durasi konsolidasi, serta dalam merancang solusi teknik seperti pra-pembebanan, pemasangan drainase vertikal, atau aplikasi geosintetik guna mempercepat stabilisasi tanah jenuh.

2.5.2 Teori Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk menahan beban dari struktur bangunan di atasnya tanpa mengalami keruntuhan geser atau penurunan berlebih. Konsep ini sangat penting dalam perencanaan dan perancangan fondasi, karena kekuatan dan kestabilan suatu bangunan sangat bergantung pada kondisi tanah dasar tempat fondasi diletakkan. Teori daya dukung tanah dikembangkan untuk menentukan daya dukung ultimit (*q_{ult}*), yaitu beban maksimum per satuan luas yang dapat ditopang oleh tanah sebelum terjadi kegagalan, serta daya dukung izin (*q_{all}*) yang merupakan nilai aman yang digunakan dalam perencanaan struktur dengan mempertimbangkan faktor keamanan. Beberapa metode daya dukung tanah diantaranya, Teori Terzaghi, Teori Meyerhof, dan Teori Bowles.

A. Teori Terzaghi (1943)

Teori Terzaghi merupakan pendekatan klasik yang mendasari analisis daya dukung tanah untuk fondasi dangkal, berdasarkan asumsi bahwa keruntuhan tanah terjadi akibat mekanisme keruntuhan plastis. Diperkenalkan oleh Karl Terzaghi pada tahun 1943, teori ini memberikan rumus empiris-analitik untuk menghitung daya dukung ultimit (*q_{ult}*) berdasarkan parameter-parameter tanah seperti kohesi (*c*), sudut geser dalam (*φ*), berat volume tanah (*γ*), dan dimensi fondasi. Persamaan dasar Terzaghi untuk fondasi dangkal berbentuk persegi panjang adalah:

$$q_u = cN_c + D_f\gamma_1N_q + 0,5\gamma_2BN_\gamma$$

q_u = kapasitas dukung ultimit untuk fondasi memanjang
(kN/m²)

c = kohesi tanah di bawah dasar fondasi (kN/m²)

D_f = kedalaman fondasi (m)

γ₁ = berat volume tanah di atas dasar fondasi (kN/m²)

$P_0 = D_f \gamma = \text{tekanan } overburden \text{ pada dasar fondasi (kN/m}^2\text{)}$

$N_\gamma, N_c, N_q = \text{faktor kapasitas dukung Terzaghi (sudut geser tanah} = \phi\text{)}$

B. Teori Vesic (1973)

Teori Vesic merupakan pengembangan dari teori daya dukung tanah yang sebelumnya dikemukakan oleh Terzaghi dan Meyerhof. Teori ini diperkenalkan oleh A. S. Vesic pada tahun 1973 dan bertujuan untuk meningkatkan akurasi perhitungan daya dukung tanah dengan mempertimbangkan lebih banyak variabel dan kondisi lapangan yang realistis. Vesic memperkenalkan modifikasi terhadap faktor-faktor daya dukung, khususnya dalam penentuan nilai N_c , N_q , dan N_γ , yang bergantung pada sudut geser dalam tanah (ϕ) serta kondisi beban dan geometri fondasi.

C. Teori Meyerhof (1951)

Teori Meyerhof merupakan salah satu pengembangan penting dalam perhitungan daya dukung tanah untuk fondasi dangkal. Teori ini dikemukakan oleh G. G. Meyerhof pada tahun 1951 sebagai penyempurnaan dari teori Terzaghi, dengan mempertimbangkan pengaruh faktor bentuk fondasi, kedalaman pondasi, serta kemiringan beban terhadap kapasitas dukung tanah. Meyerhof berpendapat bahwa daya dukung ultimit tanah tidak hanya bergantung pada parameter tanah seperti kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan berat volume tanah (γ), tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi geometri dan pembebanan aktual fondasi di lapangan.

D. Teori Bowles

Teori Bowles merujuk pada pendekatan dan formulasi daya dukung tanah serta penurunan (*settlement*) fondasi yang dikembangkan dan dirangkum secara komprehensif oleh Joseph E. Bowles dalam berbagai karya literatur geoteknik, khususnya buku "*Foundation Analysis and Design*". Bowles tidak hanya menyempurnakan pendekatan-pendekatan klasik yang

dikembangkan oleh Terzaghi, Meyerhof, dan Vesic, tetapi juga mengintegrasikan aspek-aspek praktis dan teoritis dalam perencanaan fondasi berdasarkan karakteristik tanah.

2.5.3 Metode Perbaikan dengan Geosintetik (Geotextile)

Geosintetik, khususnya geotekstil, merupakan material sintetis berbasis polimer seperti *polypropylene* (PP) atau *polyester* (PET) yang digunakan dalam teknik sipil untuk memperbaiki karakteristik tanah, terutama pada kondisi tanah lunak atau kurang stabil. Geotekstil tersedia dalam bentuk tenun (*woven*) dan tidak ditenun (*non-woven*), serta memiliki berbagai fungsi teknis, antara lain sebagai perkuatan (*reinforcement*) untuk meningkatkan kekuatan geser tanah, pemisah (*separation*) antara lapisan tanah dan agregat agar tidak bercampur, penyaring (*filtration*) yang memungkinkan aliran air tanpa membawa partikel halus, drainase (*drainage*) untuk mempercepat konsolidasi, dan penahan (*containment*) dalam aplikasi seperti geobag atau geotube. Dalam perbaikan tanah lunak, geotekstil biasanya dipasang secara horizontal di antara tanah dasar dan timbunan untuk menahan regangan horizontal dan meningkatkan stabilitas. Penggunaannya sering dikombinasikan dengan *prefabricated vertical drain* (PVD) guna mempercepat proses konsolidasi dan mengurangi waktu penurunan. Secara umum, metode perbaikan tanah dengan geotekstil terbukti efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah, memperbaiki performa fondasi dangkal, mengurangi penurunan diferensial, dan meningkatkan faktor keamanan lereng, sehingga banyak diterapkan dalam pembangunan infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan timbunan.

A. Fungsi Geotextile

Geotekstil memiliki beberapa fungsi utama dalam rekayasa geoteknik yang menjadikannya material penting dalam perbaikan dan stabilisasi tanah. Fungsi-fungsi tersebut antara lain:

1. Perkuatan (*Reinforcement*): Geotekstil berfungsi memberikan kekuatan tarik tambahan pada tanah yang lemah, sehingga meningkatkan kapasitas dukung dan stabilitas lereng atau timbunan. Ini penting untuk mencegah keruntuhan geser dan mengurangi deformasi berlebih.
2. Pemisahan (*Separation*): Geotekstil bertindak sebagai lapisan pemisah antara dua jenis material tanah atau antara tanah dan agregat, sehingga mencegah terjadinya pencampuran material yang dapat mengurangi kinerja struktural lapisan timbunan atau perkerasan.
3. Penyaringan (*Filtration*): Geotekstil memungkinkan air mengalir melalui material tanah sambil menahan partikel halus, sehingga mencegah penyumbatan sistem drainase dan menjaga stabilitas hidrolik tanah.
4. Drainase (*Drainage*): Geotekstil dapat mengalirkan air di dalam bidangnya (*in-plane flow*), terutama pada aplikasi seperti drainase bawah jalan, dinding penahan tanah, atau sistem PVD (*prefabricated vertical drain*), yang berperan dalam mempercepat proses konsolidasi tanah lunak.
5. Penahanan (*Containment*): Dalam aplikasi seperti geobag atau geotube, geotekstil berfungsi menahan material granular atau lumpur dalam suatu sistem pembatas, yang digunakan untuk konstruksi tanggul, reklamasi, atau pengendalian erosi.

B. Pengaplikasian Geotextile dalam Konstruksi

Pengaplikasian geotekstil dalam konstruksi sangat luas dan berperan penting dalam meningkatkan kinerja serta keamanan struktur yang dibangun di atas tanah yang kurang stabil. Berikut beberapa bentuk penerapan geotekstil dalam bidang konstruksi:

1. Stabilisasi Jalan dan Timbunan: Geotekstil digunakan untuk memisahkan tanah lunak dengan material agregat,

memperkuat lapisan dasar, dan meningkatkan stabilitas timbunan.

2. Perkuatan Lereng dan Dinding Penahan: Diterapkan sebagai elemen tarik yang memperkuat lereng dan dinding penahan agar tahan terhadap gaya geser dan tekanan lateral tanah.
3. Drainase dan Konsolidasi: Digunakan bersama sistem PVD untuk mempercepat proses konsolidasi tanah lempung jenuh dan mengurangi waktu penurunan.
4. Pelindung Erosi: Berfungsi mencegah erosi pada tanggul, saluran, dan daerah pesisir dengan menstabilkan permukaan tanah dan melindungi terhadap aliran air.
5. Landfill dan Kolam Penampungan: Berperan sebagai lapisan filtrasi dan pelindung terhadap pencemaran, terutama pada sistem pengelolaan limbah dan air lindi.
6. Reklamasi dan Konstruksi di Tanah Lunak: Membantu distribusi beban secara merata, mengurangi penurunan diferensial, dan memperkuat dasar timbunan di area rawa atau reklamasi.

C. Efektivitas Penggunaan Geotextile

Penggunaan geotekstil terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas konstruksi di atas tanah lunak, mempercepat proses konsolidasi, serta mengurangi penurunan dan risiko keruntuhan. Geotekstil juga berperan penting dalam mencegah pencampuran material, memperkuat lereng dan dinding penahan, serta melindungi terhadap erosi dan pencemaran, sehingga menjadikannya solusi teknis yang efisien dan ekonomis pada berbagai proyek infrastruktur.

D. Standart dan Kriteria Pemilihan Geotextile

Pemilihan geotekstil dalam pekerjaan perbaikan tanah dan konstruksi geoteknik harus mengacu pada fungsi yang diinginkan serta memenuhi standar teknis dari lembaga pengujian seperti ASTM, SNI, dan AASHTO. Kriteria utama pemilihan meliputi:

1. Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*): Geotekstil harus memiliki kekuatan tarik yang cukup, terutama untuk fungsi perkuatan, dengan pengujian sesuai ASTM D4595 (lembaran lebar) atau ASTM D4632 (*grab test*).
2. Ukuran Pori Efektif (*Apparent Opening Size – AOS*): Ukuran pori menentukan kemampuan filtrasi dan pencegahan partikel tanah halus masuk ke dalam sistem drainase. Uji AOS dilakukan berdasarkan ASTM D4751.
3. Permeabilitas atau Debit Aliran Air: Digunakan untuk menilai kemampuan geotekstil dalam mengalirkan air secara vertikal atau horisontal. Pengujian ini dilakukan mengacu pada ASTM D4491.
4. Ketahanan Terhadap Tusukan dan Sobekan: Geotekstil harus mampu menahan gaya tusukan dari agregat kasar atau tekanan selama konstruksi, diuji dengan ASTM D6241 (*puncture test*) atau ASTM D4533 (*tear resistance*).
5. Standar dan Spesifikasi Lembaga Terkait:
 - SNI 08-2461-1991 dan SNI 7974:2013 memberikan panduan teknis penggunaan dan pengujian geotekstil di Indonesia.
 - AASHTO M288-17 menyediakan klasifikasi dan persyaratan minimum geotekstil untuk penggunaan dalam jalan dan struktur pendukung.

2.5.4 Teori Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng adalah kemampuan massa tanah atau batuan pada suatu kemiringan untuk tetap seimbang dan tidak mengalami longsor. Keseimbangan ini ditentukan oleh interaksi antara gaya penahan (kohesi, gesekan dalam, dan tekanan efektif) dan gaya penggerak (berat tanah, tekanan air pori, dan beban luar). Lereng dianggap aman jika nilai faktor keamanan (*Safety Factor/SF*) lebih dari 1,5. Stabilitas lereng dipengaruhi oleh sifat tanah, geometri lereng, kondisi air tanah, curah hujan, serta beban di atasnya. Analisis dapat dilakukan dengan metode keseimbangan batas (seperti Fellenius, Bishop, Janbu) atau metode numerik. Jika tidak stabil, perbaikan dapat dilakukan melalui penggunaan geosintetik, penguatan struktur, sistem drainase, atau perubahan geometri lereng. Pada teori ini diambil Teori Morgenstern-Price dan Teori Spencer.

A. Teori Morgenstern – Price

Metode Morgenstern-Price adalah metode keseimbangan batas yang membagi lereng menjadi irisan vertikal dan menganalisis keseimbangan gaya serta momen, termasuk interaksi antaririsan. Metode ini memungkinkan penyesuaian distribusi gaya melalui fungsi λ dan menghasilkan perhitungan faktor keamanan (F_s) yang akurat. Karena fleksibel dan dapat diterapkan pada geometri kompleks, metode ini banyak digunakan dalam analisis lereng melalui perangkat lunak geoteknik.

$$Fm = \frac{\sum (c'l + (P - ul) \tan \theta)}{\sum W \sin \alpha}$$

Keterangan:

P = gaya normal

c' = kohesi

W_n = gaya akibat beban tanah

α = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat

busur bidang longsor

ϕ' = sudut geser tanah

u = tekanan air pori

B. Teori Spencer

Metode Spencer adalah metode keseimbangan batas yang menganalisis stabilitas lereng dengan memenuhi keseimbangan gaya horizontal dan momen secara simultan. Lereng dibagi menjadi irisan vertikal dengan asumsi arah gaya antar irisan konstan. Metode ini mampu menganalisis bidang longsor non-lingkaran dan geometri kompleks secara akurat, sehingga banyak digunakan melalui perangkat lunak geoteknik seperti Slide2 atau GeoStudio. Pendekatannya menggunakan sudut geser mobilisasi (ϕ_d) yang disesuaikan terhadap faktor keamanan.

$$\tan \phi_d = \frac{\tan \phi'}{F} \text{ atau } \phi_d = \arctan \left(\frac{\tan \phi'}{F} \right)$$

Keterangan:

ϕ' = sudut geser efektif tanah

F = faktor keamanan

Untuk menentukan nilai *safety factor* dapat digunakan persamaan berikut:

$$Fm = \frac{\sum (c'l + (P - ul) \tan \theta)}{\sum W \sin \alpha}$$

Keterangan:

P = gaya normal

c' = kohesi

W = gaya akibat beban tanah

α = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang longsor

ϕ' = sudut geser tanah

u = tekanan air pori

l = panjang bidang irisan

Teori Spencer umum diterapkan dalam berbagai perangkat lunak geoteknik seperti GeoStudio, Slide/Rocscience, dan PLAXIS karena menghasilkan analisis yang konsisten dan terpercaya. Selain itu, metode ini sering dijadikan standar pembandingan dalam memverifikasi keakuratan metode lain, terutama dalam studi lereng dengan kondisi tanah keras yang terletak dekat permukaan.

