

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Klafikasi Jalan

Permen PU No. 19 tahun 2011 pasal 1 ayat 1 menyatakan bahwa: "Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi Sebagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel."

Prasarana lalu lintas dan transportasi jalan mencakup semua infrastruktur yang berkaitan dengan pergerakan kendaraan dan orang di jalan, seperti area lalu lintas, terminal, serta perangkat jalan seperti marka jalan, rambu lalu lintas, lampu lalu lintas, alat pengatur dan pengaman lalu lintas, sistem pemantauan dan keamanan jalan, serta fasilitas pendukung lainnya.

Persyaratan teknis untuk jalan, sebagaimana tertuang dalam Pasal 1 Ayat (3) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19 Tahun 2011, menjelaskan berbagai standar teknis yang harus dipenuhi oleh suatu sebagian jalan agar dapat beroperasi secara baik dan memberikan layanan yang sesuai bagi kelancaran lalu lintas serta transportasi jalan. Detail dari persyaratan teknis tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. 1 di bawah ini.

Tabel 2. 1 Persyaratan Teknis Jalan Untuk Ruas Jalan Dalam Sistem Jaringan Jalan Primer

PERSYARATAN TEKNIS JALAN UNTUK RUAS JALAN DALAM SISTEM JARINGAN JALAN PRIMER										
SPESIFIKASI PENYEDIAAN PRASARANA JALAN		JALAN BEBAS HAMBATAN			JALAN RAYA			JALAN SEDANG	JALAN KECIL	
LHRT (SMP/Hari)	Medan Datar	≤ 156.000	≤ 117.000	≤ 78.000	≤ 110.000	≤ 82.000	≤ 61.000	≤ 22.000	≤ 17.000	
	Medan Bukit	≤ 153.000	≤ 115.000	≤ 77.000	≤ 106.600	≤ 79.900	≤ 59.800	≤ 21.500	≤ 16.300	
	Medan Gunung	≤ 146.000	≤ 110.000	≤ 73.000	≤ 103.400	≤ 77.700	≤ 58.100	≤ 20.800	≤ 15.800	
FUNGSI JALAN (PENGGUNAAN JALAN)		Arteri (Kelas I, II, III, Khusus) Kolektor (Kelas I, II, III)			Arteri (Kelas I, II, III, Khusus) Kolektor (Kelas I, II, III) Lokal (Kelas II, III)			Lokal, Lingkungan (Kelas III)		
TIPE JALAN PALING KECIL		4/2-T			4/2-T			2/2-TT		
PERKERASAN JALAN	Jenis Perkerasan	BERPENUTUP ASPAL/BETON			BERPENUTUP ASPAL/BETON			BERPENUTUP ASPAL/BETON	TANPA PENUTUP	
		4			6			8	KERIKIL/TANAH (Khusus untuk LHRT ≤ 500mp/hari)	
		BAIK			BAIK - SEDANG			SEDANG	SEDANG	
KECEPATAN RENCANA, V_R , (Km/J)	Medan Datar	80 - 120			60 - 120			60 - 80	30 - 60	
	Medan Bukit	70 - 110			50 - 100			50 - 80	25 - 50	
	Medan Gunung	60 - 100			40 - 80			30 - 80	20 - 40	
POTONGAN MELINTANG	RUMAJA paling kecil	Lebar	42,50	35,50	28,50	38,00	31,00	24,00	13,00	8,50
		Tinggi, m	5,00			5,00			5,00	5,00
		Dalam, m	1,50			1,50			1,50	1,50
	RUMAJA lebar paling kecil, m		30,00			25,00			15,00	11,00
	RUWASJA lebar paling kecil, m	Arteri	15			15			15	-
		Kolektor	10			10			10	-
		Lokal	-			7			7	7
		Jalan lingkungan	-			-			5	5
	Jembatan		100			100			100	100
	Badan Jalan, lebar paling kecil, m	Arteri	21,00			18,00			11,00	11,00
		Kolektor	21,00			18,00			9,00	9,00
		Lokal	-			-			-	7,50
		Lingkungan	-			-			-	6,5
	Lingkungan untuk roda dua		-			-			-	3,50
	Lebar jalur lalu-lintas, m	$V_R < 80$ Km/Jam	2x(4x3,50)	2x(3x3,50)	2x(2x3,50)	2x(4x3,50)	2x(3x3,50)	2x(2x3,50)	2x3,50	2x2,75
		$V_R \geq 80$ Km/Jam	2x(4x3,60)	2x(3x3,60)	2x(2x3,60)	2x(4x3,60)	2x(3x3,60)	2x(2x3,60)	-	-
	Lebar Bahu Jalan paling kecil, m.	Medan Datar	Bahu luar 3,50 dan bahu dalam 0,50			Bahu luar 2,00 dan bahu dalam 0,50			1,00	1,00
		Medan Bukit	Bahu luar 2,50 dan bahu dalam 0,50			Bahu luar 1,50 dan bahu dalam 0,50			1,00	1,00
		Medan Gunung	Bahu luar 2,00 dan bahu dalam 0,50			Bahu luar 1,00 dan bahu dalam 0,50			0,50	0,50
	Lebar Median paling kecil, m (lebar median termasuk lebar bahu dalam, lebar marka garis tepi termasuk bahu dalam)	Ditrendahkan	9,00			9,00			Tanpa Median	Tanpa Median
		Ditinggikan	2,80; ditinggikan setinggi kereb dan dilengkapi rel pengamanan, untuk kecepatan rencana < 80 Km/Jam; Konfigurasi lebar bahu dalam+bangunan pemisah setinggi kereb + bahu dalam: 1,00+0,80+1,00.			1,50; ditinggikan setinggi kereb untuk kecepatan rencana < 60 Km/Jam dan menjadi 1,80; jika median dipakai lapak penyeberang. Konfigurasi lebar bahu dalam+bangunan pemisah setinggi kereb+bahu dalam: 0,50+0,50+0,50 dan 0,50+0,80+0,50 jika dipakai lapak penyeberangan				
			3,80; ditinggikan setinggi 1,10m berupa penghalang beton, untuk kecepatan rencana ≥ 80 Km/Jam dengan konfigurasi lebar bahu dalam+bangunan pemisah setinggi 1,10m+bahu dalam: 1,50+0,80+1,50.			2,00; ditinggikan 1,10m berupa penghalang beton, untuk kecepatan rencana ≥ 60 Km/Jam. Konfigurasi lebar bahu dalam+bangunan pemisah setinggi kereb+bahu dalam: 0,75+0,50+0,75				
	Lebar Pemisah Lajur paling kecil, m.	Dengan Rambu	Jembatan			2,00			Tanpa jalur pemisah	Tanpa jalur pemisah
		Tanpa Rambu	Lebar paling kecil 2 m + pagar pemisah			1,00				
	Lebar Trotoar		1,0			1,0			1,0	1,0
	Lebar Saluran Tepi paling kecil		1,00			1,00			1,00	0,50

sumber: MPDJ - BINA MARGA

2.1.1 Berdasarkan Beban Muatan Sumbu

Kelas jalan, menurut Pasal 11 Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 1993 tentang Prasarana dan Lalulintas Jalan, dibagi menjadi lima kategori berikut:

- a. Jalan Kelas I: Jalan utama yang bisa dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan lebar maksimal 2,5 meter, panjang maksimal 18 meter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan lebih dari 10 ton.
- b. Jalan Kelas II: Jalan utama yang bisa dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan lebar maksimal 2,5 meter, panjang maksimal 18 meter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan kurang dari 10 ton. Jalan ini cocok untuk pengangkutan peti kemas.
- c. Kelas III A: Jalan utama atau jalan kolektor yang bisa dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan lebar maksimal 2,5 meter, panjang maksimal 18 meter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan kurang dari 8 ton.
- d. Jalan Kelas III B: Jalan kolektor yang bisa dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan lebar maksimal 2,5 meter, panjang maksimal 12 meter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan tidak melebihi 8 ton.
- e. Jalan Kelas III C: Termasuk jalan lokal dan jalan lingkungan yang bisa dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan lebar maksimal 2,1 meter, panjang maksimal 9 meter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan kurang dari 8 ton.

Pembagian kelas jalan berdasarkan beban muatan sumbu dijelaskan lebih lengkap dalam Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 1993. Rincian klasifikasi ini dapat dilihat 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

Klasifikasi kelas jalan, seperti dijelaskan dalam Pasal 19 ayat 2 dan Pasal 125 Undang-Undang No. 22 Tahun 2009, adalah sebagai berikut:

- a. Jalan Kelas I: Jalan arteri atau kolektor yang dapat dilewati oleh kendaraan bermotor dengan ukuran tertentu, termasuk lebar kurang dari 2,5 meter, panjang tidak lebih dari 12 meter, ketinggian maksimal 4,2 meter, dan muatan sumbu terberat 8 ton.
- b. Jalan Kelas II: Meliputi jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilewati oleh kendaraan bermotor dengan ukuran tertentu, seperti lebar tidak lebih dari 2,5 meter, panjang tidak lebih dari 12 meter, ketinggian maksimal 4,2 meter, dan muatan sumbu terberat 8 ton.
- c. Jalan Kelas III: Termasuk jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilewati oleh kendaraan bermotor dengan ukuran tertentu, termasuk lebar tidak lebih dari 2,5 meter, panjang tidak lebih dari 12 meter, ketinggian maksimal 4,2 meter, dan muatan sumbu terberat 8 ton.
- d. Jalan Kelas Khusus: Jalan arteri yang dapat dilewati oleh kendaraan bermotor dengan ukuran tertentu, seperti lebar lebih dari 2,5 meter, panjang lebih dari 18 meter, ketinggian maksimal kendaraan 4,2 meter, dan muatan sumbu terberat lebih dari 10 ton.

2.1.2 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

Klasifikasi medan jalan ditentukan berdasarkan tingkat kemiringan lahan yang diukur secara tegak lurus terhadap kontur tanah. Klasifikasi ini digunakan sebagai dasar dalam perencanaan geometri jalan, sehingga

kriteria desain dapat disesuaikan dengan tingkat kesulitan topografi yang terjadi. Berikut jenis-jenis medan beserta nilai kemiringannya seperti yang tercantum dalam Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Klasifikasi Medan Jalan

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

Sumber: BINA MARGA

2.2 Bagian-bagian Jalan

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang jalan, jalan memiliki bagian-bagian yang disebut sebagai ruang manfaat jalan (rumaja), ruang milik jalan (rumija), dan ruang pengawasan jalan (ruwasja).

1. Ruang manfaat jalan merupakan area sepanjang jalan yang memiliki batasan lebar, tinggi, dan kedalaman tertentu yang ditetapkan oleh pihak yang mengelola jalan, sesuai dengan pedoman yang ditetapkan oleh Menteri.
2. Ruang milik jalan adalah ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, kedalaman, dan ketinggian tertentu.
3. Ruang pengawasan jalan adalah area yang diperuntukkan bagi pandangan bebas pengemudi, perlindungan konstruksi jalan, serta pemastian fungsi jalan.

2.3 Parameter Perancangan Geometrik

Dalam perencanaan geometrik jalan, terdapat faktor-faktor yang menjadi parameter untuk menentukan tingkat kenyamanan dan keselamatan lalu lintas yang akan dihasilkan, seperti jenis kendaraan yang direncanakan, kecepatan yang diinginkan, volume dan kapasitas jalan, serta tingkat pelayanan yang akan diberikan oleh jalan tersebut.

2.3.1 Kendaraan Rencana

Kendaraan rencana merupakan kendaraan bermotor yang dipilih sebagai acuan dalam perancangan geometrik jalan, dengan pertimbangan aspek teknis dan ukuran dimensinya. Karakteristik dan ukuran kendaraan ini digunakan sebagai dasar untuk memastikan bahwa desain jalan dapat mengakomodasi pergerakan kendaraan dengan baik. Berbagai dimensi dan nilai radius putar dari kendaraan rencana ini dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Dimensi Kendaraan Rencana

Kategori Kendaraan	Dimensi Kendaraan (cm)			Tonjolan		Radius Putar		Radius Tonjolan
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang	Min	Max	
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: BINA MARGA

2.3.2 Kecepatan Rencana

Kecepatan Rencana (V_r) adalah kecepatan yang ditetapkan sebagai fondasi dalam desain geometri jalan, yang memastikan kendaraan dapat beroperasi dengan aman dan nyaman ketika cuaca baik, lalu lintas tidak padat, dan tidak ada gangguan berarti dari sisi jalan.

Untuk desain jalan antar kota, nilai kecepatan rencana (V_r) ditentukan berdasarkan klasifikasi atau fungsi jalan serta kondisi medan yang dilalui. Rincian nilai kecepatan rencana ini dapat dilihat pada Tabel 2.5.

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

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

Sumber: BINA MARGA

2.3.3 Volume Lalu Lintas

Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (VLHR) adalah total harian kendaraan yang melewati suatu titik pada akhir tahun rencana lalu lintas, dinyatakan dalam jumlah satuan mobil penumpang setiap hari (smp/hari).

2.4 Alinemen Horizontal

Alinemen adalah representasi sumbu jalan yang diproyeksikan pada bidang horizontal, terbagi menjadi segmen lurus dan lengkung, seringkali disebut sebagai tikungan. Dalam penentuan alinemen horizontal secara keseluruhan, sangat penting untuk memastikan kenyamanan dan keselamatan para pengguna jalan. Karenanya, beberapa aspek kritis perlu diperhatikan.

1. Menghindari adanya *broken back*, yaitu situasi dimana ada tikungan searah yang hanya dipisahkan oleh sebuah bagian lurus yang sangat pendek, karena hal ini dapat menurunkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan.
2. Hindari menempatkan tikungan tajam secara tiba-tiba di bagian jalan yang sebagian besar lurus dan panjang, karena ini bisa berisiko bagi pengemudi.
3. Kecuali dalam situasi darurat, sebaiknya tidak menggunakan radius terkecil karena hal ini dapat membuat jalan tersebut tidak fleksibel terhadap perkembangan masa depan.
4. Dalam kondisi harus merencanakan tikungan ganda, usahakan agar radius tikungan pertama (R_1) tidak lebih besar dari 1,5 kali radius

tikungan kedua (R2).

5. Sebisa mungkin, hindari pembuatan lengkungan yang mendadak dan terbalik.
6. Jauhi pembuatan tikungan tajam pada area dengan timbunan tinggi.

Walter Bronson (2001), tikungan dalam alinemen jalan adalah garis lengkung menghubungkan segmen-segmen lurus. Terdapat berbagai jenis tikungan diantaranya tikungan *Full Circle*, *Spiral-Circle-Spiral*, dan tikungan *Spiral-Spiral*.

➤ Tikungan *Full Circle*

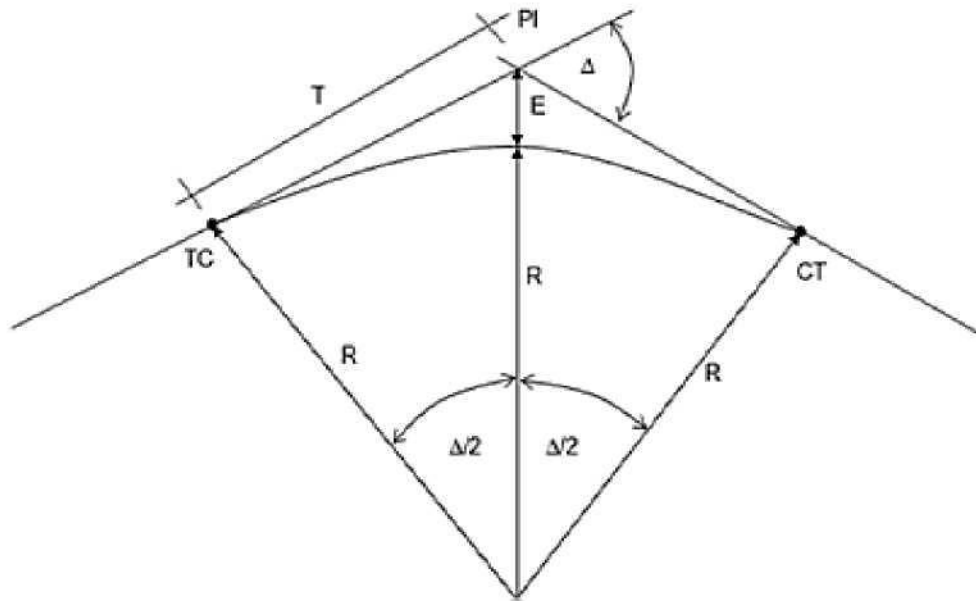
Tikungan *full circle* adalah jenis tikungan yang paling optimal dari sisi keamanan dan kenyamanan bagi pengendara serta kendaraannya. Meskipun demikian, dalam hal penggunaan lahan dan biaya pembangunan, tikungan ini cenderung lebih mahal.

Nilai jari-jari minimum untuk tikungan *full circle* dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut, sedangkan bentuk geometrinya dapat dilihat pada Gambar 2.1. Diagram superelevasi dari tikungan *full circle* juga disajikan pada Gambar 2.2.

Tabel 2. 6 Jari-jari Minimum yang Tidak Memerlukan Lengkung Peralihan

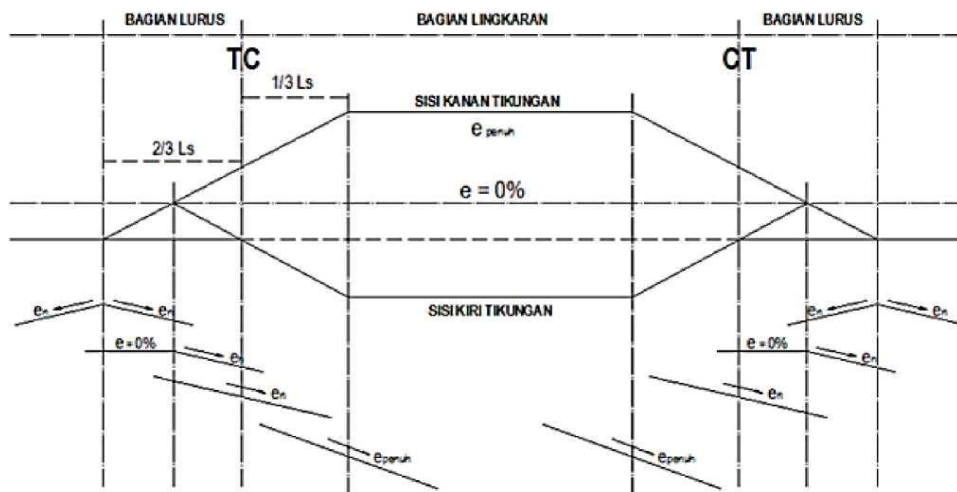
VR (Km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Rmin (m)	25000	1500	900	500	350	250	130	60

Sumber: BINA MARGA



Gambar 2. 1 Tikungan *Full Circle*

Sumber: Hendarsin (2000)



Gambar 2. 2 Diagram Superelevasi *Full Circle*.

Sumber: Hendarsin (2000)

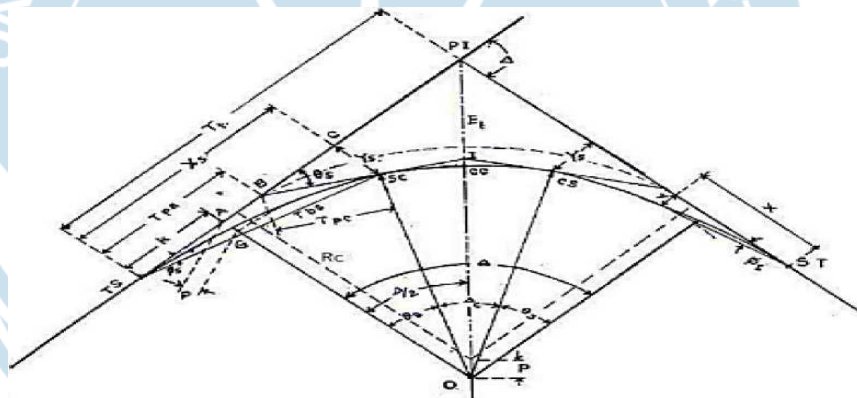
➤ Tikungan *Spiral-Circle-Spiral*

Tikungan ini sering ditempatkan di daerah berbukit dan pegunungan karena lengkungannya yang memungkinkan perubahan arah dengan lebih halus, sehingga meningkatkan keamanan.

Jari-jari pada tikungan *spiral-circle-spiral* harus disesuaikan dengan kecepatan kendaraan untuk memastikan kemiringan tikungan tidak melebihi batas maksimum yang telah ditetapkan, sebagai berikut:

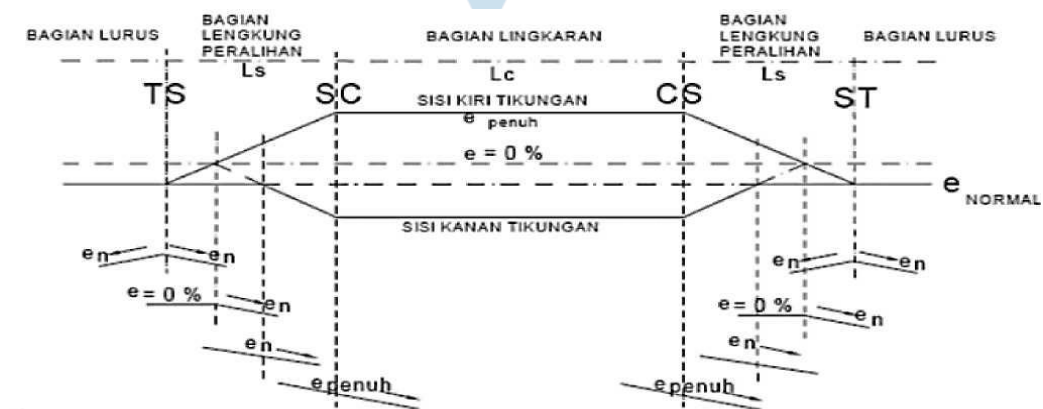
1. Kemiringan maksimum antar jalan kota adalah 0,10.
2. Kemiringan maksimum jalan di dalam kota adalah 0,08.

Bentuk geometrinya dapat dilihat pada Gambar 2.3. Diagram superelevasi dari tikungan *spiral-circle-spiral* juga disajikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Tikungan Superelevasi *Spiral-Circle-Spiral*

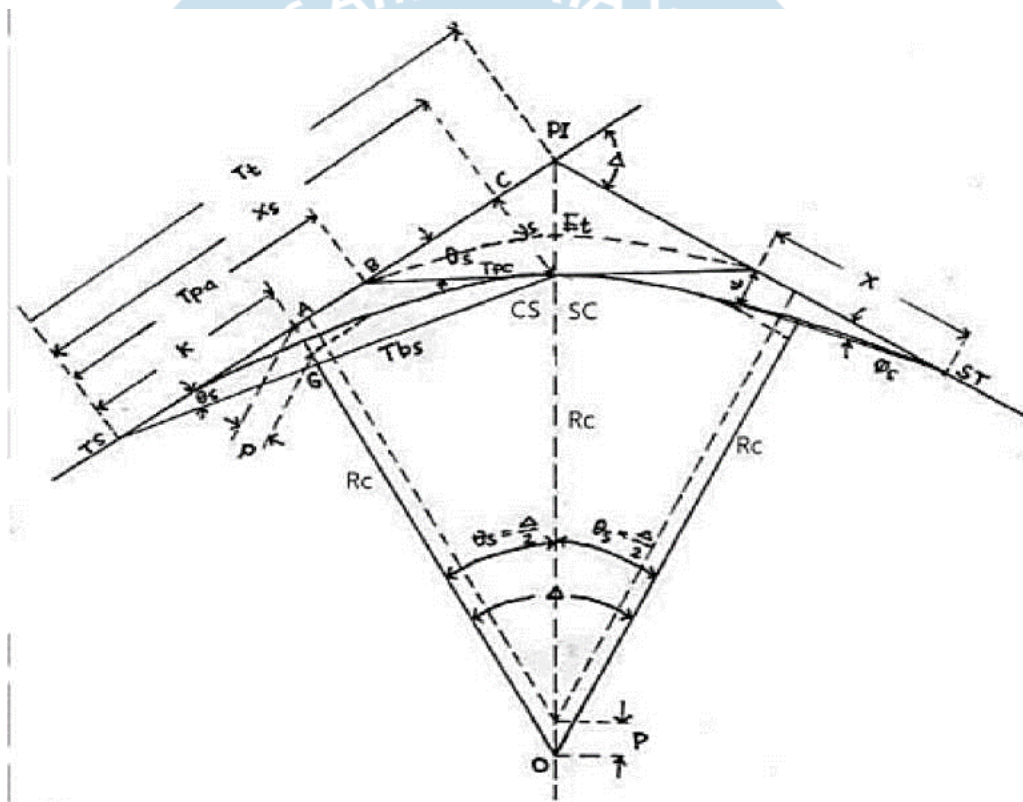
Sumber: Hendarsin (2000)



Gambar 2.4 Diagram Superelevasi *Spiral-Circle-Spiral*

➤ Tikungan *Spiral-Spiral*

Tikungan *spiral-spiral* merupakan bentuk lengkung horizontal yang tidak memiliki busur lingkaran di tengahnya, dan umumnya digunakan untuk tikungan dengan jari-jari yang sangat kecil atau sangat tajam. Bentuk geometrik dari tikungan *spiral-spiral* dapat dilihat pada Gambar 2.5, sedangkan pola superelevasi untuk tikungan ini dapat diamati pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 5 Tikungan *Spiral-Spiral*

Sumber: Hendarsin (2000)



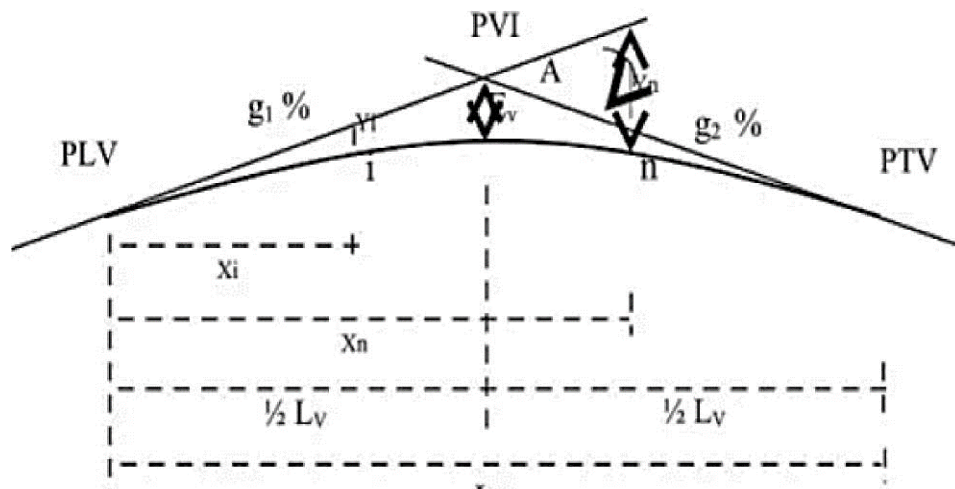
Gambar 2. 6 Diagram Superelevasi *Spiral-Spiral*

Sumber: Hendarsin (2000)

2.5 Alinemen Vertikal

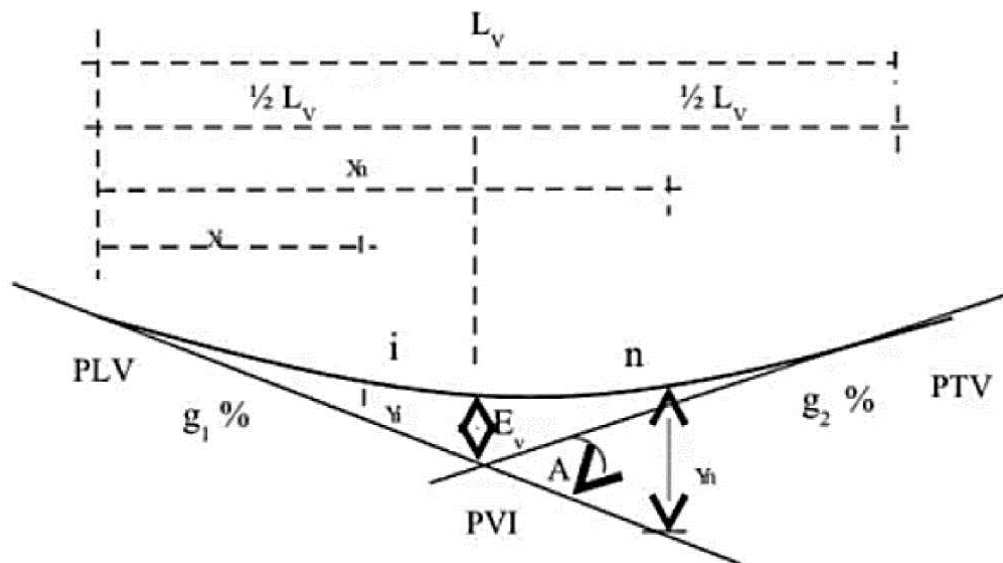
Alinemen vertikal adalah garis yang tercipta saat bidang vertikal memotong sumbu jalan (proyeksi tegak lurus terhadap bidang gambar). Alinemen ini juga dikenal sebagai profil jalan yang mencakup bagian landai (tanjakan/turunan) dan lengkungan. Tipe lengkung vertikal dapat ditentukan dari titik perpotongan antara dua bagian lurus (tangen), yakni:

1. Lengkung vertikal cembung terjadi ketika titik potong antara dua tangen berada di atas permukaan jalan. Terlihat pada gambar 2.7.
2. Lengkung vertikal cekung terbentuk ketika titik perpotongan antara dua tangen berada di bawah permukaan jalan. Terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 7 Lengkung Vertikal Cembung

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



Gambar 2. 8 Lengkung Vertikal Cekung

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

2.6 Pekerjaan Tanah

Pekerjaan tanah adalah bagian dari bidang Teknik Sipil yang melibatkan pengangkutan massa besar tanah dan batuan dari satu tempat ke tempat lain. Proses ini bisa meliputi pembuangan material atau pemindahan agar lahan tersebut dapat digunakan kembali untuk tujuan tertentu sesuai kebutuhan.

Dengan mengintegrasikan penyusunan alinemen horizontal dan alinemen vertikal, kita dapat melakukan perhitungan volume galian dan timbunan dengan akurat.

Berikut adalah beberapa langkah yang perlu diperhatikan dalam proses penghitungan volume galian dan timbunan:

1. Menentukan *stationing* (jarak penanda) untuk menentukan panjang horizontal jalan dari garis lintang horizontal (trase jalan).
2. Membuat profil longitudinal (alinemen vertikal) yang menunjukkan perbedaan elevasi antara permukaan tanah asli dan permukaan tanah yang direncanakan.
3. Membuat potongan lintang (*cross-section*) di setiap titik *stationing* untuk menentukan luas galian dan timbunan.

Menghitung volume galian dan timbunan dengan mengalikan luas penampang rata-rata dari galian atau timbunan dengan jarak penanda.

Selain pekerjaan galian dan timbunan, terdapat juga pekerjaan perkerasan jalan. Ini adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar yang berfungsi sebagai penahan beban lalu lintas. Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis.

1. Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), dimana pengikatnya adalah semen Portland.
2. Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), yang menggunakan aspal sebagai pengikat.

2.7 Aspek Geoteknik Dalam Pekerjaan Jalan

2.7.1 Teori Penurunan Tanah

Penurunan tanah (*settlement*) merupakan fenomena perubahan bentuk dan volume lapisan tanah akibat pembebanan dari struktur yang berdiri di atasnya. Secara umum, penurunan tanah terdiri dari tiga komponen, yaitu: penurunan segera (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi primer (*primary consolidation settlement*), dan penurunan konsolidasi sekunder (*secondary consolidation settlement*). Beberapa ahli telah mengembangkan metode perhitungan dan pendekatan terkait penurunan tanah, di antaranya:

a. Teori Steinbrenner

Teori Steinbrenner (1934) dikembangkan untuk menghitung penurunan elastis (*immediate settlement*) dari suatu fondasi yang bekerja di atas lapisan tanah dengan asumsi tanah bersifat elastis dan homogen. Metode ini memperhitungkan bentuk dan ukuran fondasi serta pola distribusi tegangan di bawah fondasi untuk mendapatkan nilai penurunan yang lebih realistis. Steinbrenner memperkenalkan faktor bentuk fondasi (*shape factor*), yaitu parameter yang digunakan untuk mengoreksi nilai penurunan sesuai dengan bentuk fondasi (lingkaran, persegi, maupun

persegi panjang).

Dalam penerapannya, metode ini banyak digunakan untuk estimasi awal nilai penurunan elastis dari fondasi dangkal sebelum dilakukan analisis lanjutan dengan metode yang lebih kompleks. Nilai penurunan elastis ini dihitung berdasarkan modulus elastisitas tanah (E), angka Poisson (ν), intensitas beban kerja (q), panjang dan lebar fondasi, serta faktor bentuk dari Steinbrenner. Dengan metode ini, dapat diketahui pola dan besar penurunan segera dari struktur yang berdiri di atas tanah dengan tingkat keakuratan yang memadai untuk kebutuhan desain awal.

b. Teori Janbu et al.

Janbu et al. (1956) mengembangkan metode untuk menghitung penurunan segera (*immediate settlement*) dari fondasi yang menerima beban terbagi merata dengan bentuk area tertentu, seperti persegi panjang, persegi, maupun lingkaran. Teori ini didasarkan pada asumsi nilai angka Poisson (ν) sebesar 0,5, yang mengindikasikan bahwa tanah bersifat mendekati tak-termampatkan dalam proses pembebanan awal.

Metode Janbu et al. memanfaatkan parameter-parameter geoteknik yang terdiri dari modulus elastisitas tanah (E), faktor bentuk fondasi (*shape factor*), dan tebal lapisan tanah, guna menghitung nilai penurunan segera dengan tingkat akurasi yang memadai. Salah satu keunggulan metode ini ialah pendekatan empiris yang dapat diaplikasikan untuk berbagai bentuk fondasi dan variasi lapisan tanah, membuatnya lebih praktis dan relevan untuk digunakan dalam analisis penurunan awal struktur di lapangan.

Karena kesederhanaan dan daya adaptasinya, metode ini banyak digunakan dalam perancangan fondasi dangkal untuk berbagai proyek infrastruktur, termasuk pembangunan jalan raya dan bangunan di atas tanah dengan tingkat heterogenitas tinggi.

c. Teori Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses penurunan tanah yang terjadi akibat perubahan volume lapisan tanah jenuh air ketika menerima beban dari konstruksi di atasnya, seperti timbunan badan jalan atau perkerasan. Saat beban bekerja, air yang terdapat dalam pori-pori tanah jenuh mulai keluar secara bertahap, sehingga struktur tanah memadat dan mengalami penurunan elevasi.

Pada perancangan jalan raya, fenomena konsolidasi perlu diperhitungkan dengan cermat, terutama di daerah dengan lapisan tanah lempung lunak atau jenuh air. Hal ini karena penurunan tanah yang tidak seragam dapat mengakibatkan perubahan elevasi dan bentuk permukaan jalan, yang dapat memengaruhi kenyamanan, keamanan, dan umur pelayanan jalan.

Parameter yang digunakan untuk menghitung penurunan konsolidasi meliputi nilai indeks kompresi (C_c), angka pori awal (e_0), tinggi lapisan tanah (H), dan perubahan tegangan efektif ($\Delta\sigma'$). Selain itu, laju atau kecepatan penurunan juga dapat dianalisis dengan nilai koefisien konsolidasi (C_v), yang memungkinkan perencana memprediksi waktu yang diperlukan hingga penurunan konsolidasi primer selesai.

Dengan memahami dan memperhitungkan proses konsolidasi, perencana dapat menentukan metode perbaikan tanah, pemilihan struktur fondasi, atau rancangan perkerasan yang paling sesuai, sehingga dapat menjamin tingkat keamanan, kenyamanan, dan daya tahan jalan raya sesuai dengan kebutuhan dan standar yang berlaku.

2.7.2 Teori Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk menahan beban dari struktur atau fondasi yang berada di atasnya tanpa mengalami kegagalan geser maupun penurunan berlebih. Berbagai peneliti telah mengembangkan metode untuk menghitung daya dukung tanah, di antaranya Teori Terzaghi, Teori Meyerhof, dan Teori Bowles.

Berikut penjelasan masing-masing:

a. Teori Terzaghi (1943)

Teori ini dikembangkan oleh Karl Terzaghi dan merupakan dasar dari berbagai metode daya dukung tanah lainnya. Terzaghi mengasumsikan fondasi memanjang (fondasi lajur) dan tanah homogen dengan pola keruntuhan geser berbentuk segitiga dan radial di bawah fondasi.

Persamaan daya dukung ultimit Terzaghi yaitu:

$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q + 0,5\gamma B N_\gamma$$

Keterangan:

- c : Kohesi tanah (kN/m^2)
- N_c, N_q, N_γ : Faktor daya dukung, bergantung pada sudut geser internal tanah (ϕ)
- D_f : Kedalaman fondasi (m)
- γ : Berat volume tanah (kN/m^3)

b. Teori Meyerhof (1951)

Meyerhof mengembangkan dan memperluas metode Terzaghi dengan memperhitungkan efek bentuk fondasi, kemiringan beban, dan kedalaman fondasi sehingga dapat digunakan untuk berbagai bentuk fondasi (bujursangkar, persegi panjang, maupun lingkaran).

c. Teori Bowles (1996)

Joseph E. Bowles mengusulkan metode daya dukung yang lebih aplikatif dengan berbagai penyesuaian untuk berbagai bentuk fondasi, eksentrisitas beban, kemiringan tanah, hingga pengaruh tinggi muka air tanah.

2.7.3 Metode Perbaikan Tanah: Penggunaan Geosintetik (Geotekstil)

Seiring dengan perkembangan teknologi konstruksi, kebutuhan untuk memperbaiki atau meningkatkan daya dukung tanah menjadi semakin signifikan, khususnya pada tanah lunak atau daerah dengan daya dukung rendah. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah penerapan geosintetik, khususnya geotekstil, yang berfungsi sebagai bahan perkuatan dan pemisahan lapisan tanah.

a. Penggunaan Geosintetik (Geotekstil)

Geotekstil adalah material sintetik berbentuk lembaran dari polimer (seperti *polypropylene* atau *polyester*) yang digunakan untuk memperbaiki kualitas dan daya dukung tanah. Geotekstil dapat berupa anyaman (*woven*), tidak anyaman (*non-woven*), atau rajutan (*knitted*), dan masing-masing digunakan sesuai kebutuhan teknis di lapangan.

1. Fungsi Geotekstil

Menurut Koerner (2005), geotekstil digunakan untuk berbagai kebutuhan teknis terkait perbaikan tanah, di antaranya:

- **Separasi (Pemisahan):** Mencegah bercampurnya lapisan tanah dengan material timbunan sehingga dapat menjaga integritas struktur dan daya dukung lapisan.
- **Stabilisasi:** Meningkatkan daya dukung dan mengurangi deformasi dengan memberikan efek *tensile* (gaya tarik) pada tanah.
- **Filtrasi:** Memungkinkan air dapat keluar dari tanah tetapi tetap menahan partikel tanah agar tidak hanyut.
- **Reinforcing (Perkuatan):** Memberikan kekuatan tarik (*tensile strength*) yang dapat digunakan untuk memperbaiki daya dukung tanah atau struktur timbunan.

2. Aplikasi Geotekstil dalam Konstruksi

- **Stabilisasi *Subgrade* Jalan:** Digunakan sebagai lapisan pemisah dan perkuatan di bawah lapisan agregat untuk mencegah

penurunan berlebih.

- Konstruksi Timbunan di Atas Tanah Lunak: Digunakan untuk memberikan daya dukung tambahan dan mencegah kegagalan geser.
- Dinding Penahan Tanah (*Reinforced Soil*): Digunakan untuk memperkuat timbunan atau struktur tanah bertingkat.
- Pengendalian Erosi: Digunakan sebagai lapisan pelindung permukaan tanah dari aliran air.

3. Keuntungan Penggunaan Geotekstil

- Meningkatkan daya dukung dan stabilitas tanah.
- Memperpanjang usia struktur perkerasan atau timbunan.
- Mempermudah pelaksanaan konstruksi dan mengurangi kebutuhan material timbunan.
- Efektif dan efisien dari segi biaya dibanding metode perbaikan tanah lainnya.

4. Standar dan Kriteria Pemilihan

Pemilihan jenis dan spesifikasi geotekstil harus disesuaikan dengan kebutuhan proyek, dengan mengacu pada standar seperti ASTM D4595 (*Tensile Properties*), ASTM D4751 (*Apparent Opening Size*), atau spesifikasi dari badan terkait (SNI atau AASHTO). Parameter yang diperhatikan meliputi:

- Kekuatan tarik dan elongasi
- Ukuran pori dan permeabilitas
- Ketahanan terhadap sinar UV, bahan kimia, dan abrasi
- Durabilitas sesuai masa guna yang direncanakan

2.7.4 Teori Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng merupakan kemampuan suatu lereng tanah atau batuan untuk tetap berada dalam keadaan seimbang, yaitu tidak mengalami

pergerakan atau keruntuhan. Berbagai metode analisis digunakan untuk mengevaluasi tingkat kestabilan lereng, dua di antaranya yang banyak digunakan dalam praktik teknik sipil dan geoteknik adalah Teori Morgenstern–Price (sering disebut Teori Morgen) dan Teori Spencer.

a. Teori Morgenstern–Price (Morgen)

Metode Morgenstern–Price merupakan salah satu pendekatan *Limit Equilibrium Method* (LEM) yang banyak digunakan dalam analisis stabilitas lereng karena kemampuannya memperhitungkan ketiga kondisi kesetimbangan statika secara lengkap, yaitu kesetimbangan gaya vertikal, kesetimbangan gaya horizontal, dan kesetimbangan momen. Dalam metode ini, massa tanah yang berpotensi longsor dibagi menjadi beberapa irisan vertikal. Masing-masing irisan dianalisis dengan mempertimbangkan berbagai parameter, seperti: berat sendiri irisan, tekanan air pori, gaya normal dan gaya geser pada bidang gelincir, gaya antar irisan yang dapat bervariasi sesuai bentuk lereng.

Berbeda dengan metode Spencer yang mengasumsikan gaya antar irisan bersifat sejajar, metode Morgenstern–Price menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi dengan memungkinkan berbagai bentuk fungsi distribusi gaya antar irisan, seperti pola linier, parabolik, eksponensial, atau lainnya. Hal ini membuat metode ini dapat digunakan untuk menganalisis lereng dengan bentuk dan pola kelongsoran yang kompleks.

Perhitungan nilai Faktor Keamanan (SF) dilakukan secara numerik dengan metode iterasi (misalnya Newton–Raphson) untuk menyelesaikan sistem persamaan yang kompleks tanpa memerlukan bentuk rumus eksplisit. Nilai SF sendiri diperoleh sebagai rasio total gaya tahan geser maksimum tanah terhadap total gaya geser yang bekerja.

Karena akurasi dan fleksibilitas penerapannya, metode Morgenstern–Price sangat sesuai digunakan untuk analisis stabilitas lereng dengan geometri tidak beraturan, tekanan air tanah tinggi, atau

lapisan tanah yang heterogen. Metode ini juga telah banyak diimplementasikan dalam perangkat lunak geoteknik modern, seperti GeoStudio (Slope/W), Slide (Rocscience), dan PLAXIS, sehingga menjadi acuan utama dalam validasi dan perancangan stabilitas lereng yang konservatif dan realistis.

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

Dengan :

P = Gaya Normal

c' = Kohesi

Wn = Gaya akibat beban tanah

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

θ = Sudut geser tanah

u = Tekanan air pori

b. Teori Spencer

Teori Spencer merupakan salah satu metode analisis stabilitas lereng dalam kategori *Limit Equilibrium Method* (LEM) yang memperhitungkan kesetimbangan gaya dan momen secara menyeluruh. Dalam metode ini, massa tanah yang berpotensi longsor dibagi menjadi beberapa irisan (*slice method*), dengan asumsi bahwa gaya antar irisan (*inter-slice forces*) memiliki arah yang sejajar dan distribusi yang konstan. Keunggulan dari metode ini adalah kemampuannya untuk memenuhi tiga kondisi kesetimbangan statika secara simultan, yaitu: kesetimbangan gaya horizontal, kesetimbangan gaya vertikal, dan kesetimbangan momen.

Analisis dilakukan secara iteratif untuk menghitung nilai Faktor Keamanan (F) dari suatu lereng berdasarkan parameter tanah dan geometri lereng yang digunakan. Jika nilai Faktor Keamanan telah diketahui, metode ini juga memungkinkan penentuan sudut kemiringan

lereng yang diperlukan, dengan mempertimbangkan efek variasi tekanan air pori (ru) dan kedalaman lapisan tanah keras.

Dalam pendekatan ini, sudut geser mobilisasi (ϕ_d) digunakan untuk memperkirakan kondisi batas dari lereng, dengan hubungan sebagai berikut:

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

Dimana:

- ϕ' = sudut geser efektif tanah
- F = faktor keamanan

Untuk menentukan nilai Faktor Keamanan, dapat digunakan persamaan:

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

Keterangan:

- P : Gaya normal pada irisan
- c' : Kohesi efektif tanah
- W : Gaya akibat beban tanah
- α : Sudut bidang irisan dengan titik pusat busur longsor
- θ : Sudut geser tanah
- u : Tekanan air pori
- l : Panjang bidang irisan

Teori Spencer banyak digunakan dalam berbagai perangkat lunak analisis geoteknik (seperti GeoStudio, Slide/Rocscience, dan PLAXIS) karena memberikan hasil yang stabil dan dapat diandalkan. Metode ini juga digunakan sebagai acuan untuk memvalidasi metode lain, khususnya untuk analisis lereng dengan lapisan tanah keras yang berada dekat dengan permukaan.