

2 LANDASAN TEORI

2.1 Autodesk Civil 3D

AutoCAD Civil 3D adalah produk yang dikembangkan oleh *Autodesk*. Produk ini dikembangkan oleh perusahaan multinasional yang berlokasi di *California* yang didirikan oleh *Jhon Walker* dan *Drake*. Autocad Civil 3D termasuk perangkat lunak yang dinamis, aplikatif, dan inovatif sebagai salah satu perangkat yang digunakan untuk mendesain bangunan, jalan raya, dan produk industry lainnya. Civil 3D sudah banyak digunakan sebagai alat dokumentasi yang dikembangkan oleh Autodesk di era globalisasi saat ini. AutoCAD Civil 3D digunakan untuk menganalisa, memodelkan, dan mendesain berbagai jenis proyek infrastruktur sipil, termasuk jalan raya. (Kadugede et al., 2022).

Pada penelitian ini Autodesk Civil 3D yang digunakan adalah Autodesk Civil 3D *Student Version 2022*. Kemampuan Autodesk Civil 3D Antara lain sebagai berikut:

1. Desain pekerjaan sipil seperti koridor jalan, jaringan pipa bertekanan, jaringan pipagravitasi, grading, modelling jembatan, modelling geoteknik, *layout* jalan rel.
2. Sipil *drafting* seperti *drafting* standar, dokumentasi kontruksi, produksi peta, laporan dan tabel (volume).
3. GPS survey dan koreksi data seperti pemodelan *surface*, pembuatan peta dasar, *reality capture*.

2.2 Klasifikasi Jalan

Jalan dibagi menjadi beberapa klasifikasi berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021 yang mengacu pada peraturan pemerintah nomor 34 tahun 2006 tentang jalan dan Undang-Undang Republik Indonesia No. 22 tahun 2009 tentang lalu lintas dan angkutan kota jalan dibedakan menjadi beberapa klasifikasi yaitu:

2.2.1 Klasifikasi jalan menurut fungsi

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 24 tahun 2006 pada pasal 9 pada sifat dan pergerakannya, fungsi jalan dibedakan atas arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan. Klasifikasi ini membantu dalam perencanaan, pengembangan, dan pengelolaan jaringan jalan sehingga setiap jenis jalan dapat digunakan sesuai dengan tujuan dan kebutuhannya.

1. Jalan arteri ini umumnya berfungsi untuk melayani angkutan utama yang memiliki jarak tempuh yang jauh dengan memiliki kecepatan rata-rata tinggi. Jalan arteri harus memenuhi syarat sebagai berikut:
 - a. Kecepatan rencana atau kendaraan harus diatas 60 km/jam.
 - b. Lebar badan jalan melebihi 8 meter.
 - c. Kapasitas jalan lebih besar dari volume lalu lintas.
 - d. Kegiatan lokal tidak boleh mengganggu lalu lintas jalan.
 - e. Tidak boleh terputus meskipun memasuki kota.
2. Jalan kolektor merupakan jalan umum yang berfungsi untuk angkutan pengumpul atau pembagi. Jalan ini mempunyai ciri kendaraan yang melintas biasanya menempuh jarak sedang. Jalan kolektor harus memiliki syarat sebagai berikut:
 - a. Kecepatan rencana atau kendaraan harus diatas 40 km/jam.
 - b. Lebar badan jalan harus melebihi 7 meter.
 - c. Volume lalu lintas maksimal sama dengan rata-rata tidak boleh lebih dari kapasitas jalan.
 - d. Kecepatan rencana dan kapasitas jalan tidak boleh terganggu.
 - e. Jalan kolektor tidak boleh terputus meskipun memasuki kota.
3. Jalan lokal merupakan jalan umum yang berfungsi untuk melayani angkutan lokal atau setempat. Kendaraan yang ditempuh jarak dekat, kecepatan rendah, dengan jumlah jalan masuk tidak dibatasi. Jalan ini harus memiliki syarat sebagai berikut:
 - a. Kecepatan rencana atau kendaraan harus diatas 20 km/jam.
 - b. Lebar badan jalan lebih dari 6 meter.
 - c. Tidak boleh terputus apabila memasuki wilayah desa.

4. Jalan lingkungan merupakan jalan umum yang berfungsi untuk melayani angkutan setempat atau lingkungan dengan perjalanan yang sangat dekat dan kecepatan rendah.

2.2.2 Klasifikasi jalan menurut status

Berdasarkan status jalan, jalan dikelompokkan menjadi beberapa bagian berdasarkan kepastian hukum penyelenggaraan jalan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa sebagai berikut:

1. Jalan nasional merupakan pergabungan antara jalan arteri dan jalan kolektor dalam system jaringan primer. Jalan nasional berfungsi sebagai penghubung antara ibu kota provinsi, jalan tol maupun jalan strategis berskala nasional.
2. Jalan provinsi merupakan jalan kolektor yang berada dalam sistem jalan primer. Berfungsi sebagai penghubung antara ibu kota provinsi dengan kota/kabupaten, antar kabupaten/kota, hingga jalan strategis provinsi.
3. Jalan kabupaten merupakan jalan lokal yang tergabung pada sistem jalan primer. Berfungsi penghubung antara kabupaten dengan kecamatan, antar kecamatan, kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan lokal, hingga jalan umum dan strategis tingkat kabupaten.
4. Jalan kota merupakan jalan umum dalam sistem jaringan sekunder. Berfungsi untuk penghubung antar pusat pelayanan dalam kota, hingga antar pusat pemukiman jalan kota.
5. Jalan desa merupakan jalan umum yang berfungsi sebagai penghubung kawasan dan antar pemukiman, hingga jalan lingkungan.

2.2.3 Klasifikasi jalan menurut kelas jalan

Berdasarkan kelasnya, jalan dikelompokkan berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan dan penggunaan jalan dan kelancaran lalu lintas dan angkutan jalan (LLAJ).

1. Klasifikasi kelas jalan berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan dikelompokkan atas jalan bebas hambatan, jalan raya, jalan sedang, dan

jalan kecil, yang meliputi pengendalian jalan masuk, persimpangan sebidang, jumlah dan lebar lajur, ketersediaan median, serta pagar.

- a. Spesifikasi jalan bebas hambatan (JBH) meliputi pengendalian jalan masuk secara penuh, tidak ada persimpangan sebidang, dilengkapi pagar ruang milik jalan, dilengkapi dengan median, paling sedikit mempunyai 2 lajur setiap arah, dan lebar lajur paling sedikit 3,5 meter.
 - b. Spesifikasi jalan raya (JRY) adalah jalan umum untuk lalu lintas secara menerus dengan pengendalian jalan masuk secara terbatas dan dilengkapi dengan median, paling sedikit 2 lajur setiap arah, lebar lajur paling sedikit 3,5 meter.
 - c. Spesifikasi jalan sedang (JSD) adalah jalan umum dengan lalu lintas jarak sedang dengan pengendalian jalan masuk tidak dibatasi, paling sedikit 2 lajur untuk 2 arah dengan lebar jalur paling sedikit 7 meter.
 - d. Spesifikasi jalan kecil (JKC) adalah jalan umum untuk melayani lalu lintas setempat, paling sedikit 2 lajur untuk 2 arah dengan lebar jalur paling sedikit 5,5 meter.
2. Klasifikasi kelas jalan berdasarkan penggunaan jalan dan kelancaran lalu lintas dan angkutan jalan dikelompokkan atas jalan kelas I, jalan kelas II, jalan kelas III dan jalan kelas khusus, yang dibedakan berdasarkan fungsi jalannya, dimensi panjang dan lebar kendaraan, serta muatan sumbu terberat yang diizinkan. Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021, Tabel 2.1 merupakan klasifikasi jalan menurut kelas jalannya:

Tabel 2.1 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi kendaraan, m			Muatan Sumbu Terberat (MTS) ton
		Lebar	Panjang	Tinggi	
Kelas I	Arteri, Kolektor	$\leq 2,55$	≤ 18	$\leq 4,2$	10
Kelas II	Arteri Kolektor,	$\leq 2,55$	≤ 12	$\leq 4,2$	8
Kelas III	Lokal, dan Lingkungan	$\leq 2,2$	≤ 9	$\leq 3,5$	8
Kelas Khusus	Arteri	$> 2,55$	> 18	$\leq 4,2$	> 10

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.2.4 Klasifikasi menurut medan jalan

Berdasarkan kondisi sebagian besar jalan, medan jalan diklasifikasikan dalam besar kemiringan medan yang diukur tegak lurus pada garis kontur. Medan jalan yang di proyeksikan harus mempertimbangkan dalam keseragaman kondisi medan menurut rencana trase jalan dengan mengabaikan perubahan-perubahan pada bagian kecil segmen rencana jalan. (Rahmanto, 2016).

Berikut tabel 2.2 merupakan klasifikasi medan jalan dalam Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021 dengan catatan medan rata-rata per 50 m dalam satuan kilometer.

Tabel 2.2 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

No	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan (%)
1	Datar	D	< 10
2	Perbukitan	B	10 – 25
3	Pegunungan	G	>25

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.3 Kecepatan Desain (V_D)

Kecepatan Desain merupakan kecepatan kendaraan yang mendasari perencanaan teknis. Kecepatan Desain harus memenuhi perencanaan teknis jalan dengan mempertimbangkan minimal dari fungsi jalan, kelas jalan, dan kapasitas rencana. Ditentukan berdasarkan persyaratan teknis jalan jika tidak terpenuhi kecepatan rencana dapat diturunkan atas dasar pertimbangan keselamatan. Berikut merupakan penentuan V_D yang harus mempertimbangkan sebagai berikut:

1. Memungkinkan kendaraan desain melintas dengan aman dan nyaman terhadap batas – batas kecepatan operasional yang telah ditentukan, dalam cuaca cerah, arus lalu lintas dengan kepadatan sedang, dan gangguan yang masuk dari jalan dapat diabaikan.
2. Mempertimbangkan terhadap fungsi jalan dan dipilih V_D tertinggi dari rentang nilai V_D yang diijinkan (lihat tabel 2.3), kecuali dipilih yang terendah karena pertimbangan keselamatan, ekonomi, lingkungan, dan kemudahan konstruksi.
3. Mempertimbangkan medan jalan.
4. Mempertimbangkan karakter pengemudi.

5. Pada ruas jalan yang akan ditingkatkan pada masa yang akan datang atau pada pelaksanaan konstruksi bertahap, maka pada V_D yang dipilih hendaknya yang sesuai dengan V_D di masa yang akan datang.

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021, Tabel 2.3 digunakan untuk pemilihan rentang kecepatan desain (V_D) dengan mengacu pada Permen PU No 19/PET/M/2011, Peraturan Pemerintah RI No 34 2006 pasal 12 s.d. pasal 18 serta Peraturan Pemerintah RI No 79 Tahun 2013 Pasal 23.

Tabel 2.3 Korelasi Antar Pengelompokan Jalan Berdasarkan SJJ, Fungsi, Status, Kelas, dan SPPJ serta Tipe Jalan dan Rentang V_D

SJJ	Peran Meng- Hubungkan	Pengelompokan Fungsi Jalan	Status dan Penyelenggaraan Jalan	Kelas			SPPJ	Tipe Jalan (paling kecil)	Rentan V_D (Km/jam)			Keterangan
				I	II	III			Datar	Bukit	Gunung	
SJJ Primer (Jalan Antar Kota)	Jalan Tol	Jalan Arteri Primer	Jalan Nasional (Pemerintah Pusat) (Jalan Perintis dan Ex jalan daerah) Jalan Nasional (Jalan perintis dan Ex jalan daerah)	x	-	-	JBH	4/2-T	80-120	70-110	60-100	• IKN = Ibu Kota Negara • IKP = Ibu Kota Provinsi • IKK = Ibu Kota Kabupaten • KT = Kota • IKC = Ibu Kota Kecamatan • PD = Pusat Desa (di pulau Jawa seperti kelurahan) • DS = Desa (di pulau Jawa seperti Dukuh) • KP = Kawasan Primer • KS1 = Kawasan Sekunder1 • KS2 = Kawasan Sekunder2 • KS3 = Kawasan Sekunder3 • KSn = Kawasan Sekunder ke-n; • Prm = Perumahan/Persil • Semua jalan Antarkota yang
	IKP-IKN			x	x	x	JRY	4/2-T	60-100	50-90	40-80	
	IKP-IKP			x	x	x	JRY	4/2-T	15-60	15-50	15-40	
	IKP-IKP			-	-	x	JLR	2/2-TT				
	IKP-IKP			x	x	x	JRY	4/2-T	40-80	30-70	20-60	
	IKP-IKP	Jalan Kolektor Primer		-	-	x	JLR	2/2-TT	15-40	15-40	15-40	
	IKP-IKK/KT	Jalan Lokal Primer	Jalan Provinsi (Pemerintah Provinsi)	x	x	x	JSD	2/2-TT				
	IKK-IKK			x	x	x	JSD	2/2-TT	40-80	30-70	20-60	
	KT-KT			x	x	x	JSD	2/2-TT				
	IKK-IKC		Jalan Kabupaten (Pemerintahan Kabupaten)	-	x	x	JSD	2/2-TT	20-60	20-50	20-40	
	IKK-PD			-	x	x	JSD	2/2-TT				
	IKC-IKC			-	-	x	JKC	2/2-TT				
	IKC-PD			-	-	x	JKC	2/2-TT				
	PD-PD		Jalan Lingkungan Primer	-	-	x	JLR	2/2-TT	15-30	15-30	15-30	
	PD-DS	-		-	x	JLR	1/2					
	DS-DS	-		-	x	JLR	1/2					

SJJ	Peran Meng- Hubungkan	Pengelompokan Fungsi Jalan	Status dan Penyelenggaraan Jalan	Kelas			SPPJ	Tipe Jalan (paling kecil)	Rentan V_D (Km/jam)			Keterangan
				I	II	III			Datar	Bukit	Gunung	
												masuk ke dalam kota, pengelompokannya dari SJJ primer berubah menjadi SJJ sekunder, adapun jalan-jalan
SJJ	Peran Meng- Hubungkan	Pengelompokan Fungsi Jalan	Status dan Penyelenggaraan Jalan	Kelas			SPPJ	Tipe Jalan (paling kecil)	Rentan V_D (Km/jam)			Keterangan
				I	II	III			Datar	Bukit	Gunung	
SJJ Sekunder (Jalan Perkotaan)	Jalan Tol	Jalan Arteri Sekunder	Jalan Nasional (Pemerintah Pusat)	x	-	-	JBH	4/2-T	60-100			lainnya yang sudah ada di dalam kota masuk ke dalam SJJ sekunder dan klasifikasi fungsinya ditetapkan sesuai perannya. • Khusus untuk keluarga Jalan Nasional, Jalan Provinsi, dan Jalan Kabupaten yang dipersiapkan sebagai calon Jalan Nasional, calon Jalan Provinsi, dan calon Jalan Kabupaten dikategorikan
	KP-KS1		Jalan Kota (Pemerintah Kota)	x	x	x	JSD	2/2-TT	30-60			
	KS1-KS1			x	x	x	JSD	2/2-TT				
	KS1-KS2			-	x	x	JSD	2/2-TT				
	KS2-KS2	Jalan Kolektor Sekunder		-	x	x	JSD	2/2-TT	20-40			
	KS2-KS3			-	x	x	JSD	2/2-TT				
	KS1-Prm			-	-	x	JKC	2/2-TT	10-30			
	KS2-Prm	Jalan Lokal Sekunder		-	-	x	JKC	2/2-TT				
	KS3-Prm			-	-	x	JKC	2/2-TT				
	KSm-Prm			-	-	x	JLR	2/2-TT				
		Jalan Lingkungan Sekunder							10-20			
	Prm-Prm			-	-	x	JLR	2/2-TT				

SJJ	Peran Meng- Hubungkan	Pengelompokan Fungsi Jalan	Status dan Penyelenggaraan Jalan	Kelas			SPPJ	Tipe Jalan (paling kecil)	Rentan V_D (Km/jam)			Keterangan
				I	II	III			Datar	Bukit	Gunung	
												masingmasing dengan sebutan Jalan Strategis Nasional, Jalan Strategis Provinsi, dan Jalan Strategis Kabupaten.

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Kecepatan desain (V_D) ditetapkan secara langsung dari rentannya sesuai dengan Tabel 2.3, nilai-nilai kriteria desain utama yang lain yang dapat ditetapkan berdasarkan Tabel 2.4 ini berlaku untuk jalan bebas hambatan (JBH), jalan Antarkota dan jalan Perkotaan (Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021).

Tabel 2.4 Kriteria Desain Utama

Elemen Kriteria Desain Utama		JBH	Jalan Antar Kota					Jalan Perkotaan
Rentang V_D (Km/jam)	Datar	80-120	15-100					10-60
	Bukit	70-110	15-90					
	Gunung	60-100	15-80					
Kelas pengguna jalan		I	I	II	III	JLR	I, II, III	
Kelandaian memanjang, G , paling tinggi, %	Datar	4	6	6	6	6	5	
	Bukit	5	8	8	8	10		
	Gunung	6	6	8	10	15		
Superelevasi (e), %, paling tinggi		8						
Kekesatan melintang, paling tinggi, (f_{maks})		Lihat diagram faktor kekesatan melintang sebagai fungsi dari kecepatan (Gambar 2.6)						
Kekesatan memanjang		0,35 untuk MP dan 0,29 untuk Truk (lihat sub-bab 2.6.1)						
R_{min} lengkung Horizontal		$R_{min} = \frac{V_D^2}{127 (f_{max} + e_{max})}$						
R_{min} lengkung Vertikal Cembung		$R_{min} = f \{ V_D; K \}$; nilai K dapat dilihat dari Tabel 2.15, Tabel 2.16 dan Tabel 2.17						
R_{min} lengkung vertikal cekung								

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.4 Kendaraan Rencana

Kendaraan Rencana merupakan kendaraan dengan dimensi dan radius putarnya dipakai sebagai acuan dalam perencanaan geometrik. Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan Nomor 13/P/BM /2021 terdapat dua karakteristik utama kendaraan desain dengan perbedaan utamanya antara lain:

1. Kendaraan penumpang (sedan, minibus, truk kecil) memiliki tinggi mata pengemudi yang lebih rendah, kecepatannya relatif kurang terpengaruh oleh kelandaian jalan, dan dapat berakselerasi lebih cepat sehingga jarak pengeremannya lebih pendek.

2. Kendaraan besar (bus dan truk) jika dibandingkan dengan kendaraan penumpang, memiliki tinggi mata pengemudi yang lebih tinggi, kecepatannya langsung dipengaruhi oleh kelandaian jalan, dan kemampuan berakselerasinya lebih rendah sehingga jarak pengeremannya lebih panjang; memerlukan lajur yang lebih lebar, radius tikungan yang lebih besar, pelebaran lajur di tikungan yang lebih besar untuk mengakomodasi jalur lapak roda dan jalur ruang bebas vertikal badan kendaraan.

Sifat dan karakteristik dari semua jenis kendaraan ini, akan diwakili oleh kendaraan rencana pada waktu desainer menetapkan bagian-bagian jalan, lebar ajur kendaraan, jari tikungan, kelandaian geometrik serta lebar median apabila diperlukan tempat untuk memutar (U-Turn). Tabel 2.5 berikut ini merupakan jenis-jenis kendaraan yang dapat beroperasi pada kelas jalan I, II dan III (Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021).

Tabel 2.5 Dimensi dan Radius Putar Kendaraan Desain Sesuai Kelas Penggunaan Jalan

No	Jenis – jenis Kendaraan	Dimensi Kendaraan			Jarak Antar Sumbu	Jalur		RPM	RPK	R _{max}	R _{min} pada sudut belok kendaraan					
		Panjang	Lebar	Tinggi		Depan	Belakang				25°	45°	90°	135°	180°	
		m	m	m		m	m				m	m	m	m	m	m
Jenis – jenis Kendaraan Berdasarkan Dimensi yang Dapat Beroperasi pada Jalan Kelas 1,2 dan 3																
1	Toyota Avanza	4,19	1,66	1,69	2,65	0,75	0,79	5,49	4,72	5,82	3,58	3,40	3,28	3,19	3,10	
2	Toyota Hiance	5,38	1,88	2,29	3,11	1,07	1,20	6,44	5,61	6,95	4,30	4,90	3,91	3,91	3,70	
3	Isuzu ELF NLR 55 BLX	6,17	1,84	2,17	3,36	1,11	1,70	7,41	6,72	7,92	5,44	5,26	5,07	5,07	4,94	
4	Truk Pemadam Kebakaran	7,73	2,40	-	4,28	1,25	2,20	7,77	6,66	8,31	4,90	4,60	4,32	4,19	3,95	
5	Bus Angkutan Masal Sedang	7,30	2,15	3,15	3,74	1,24	2,33	6,80	5,81	7,35	4,28	3,98	3,65	3,55	3,41	
6	Bus Mitsubishi Kecil	7,05	2,10	3,30	3,78	1,48	2	6,86	5,88	7,52	4,37	4,07	3,76	3,64	3,50	
7	Bus Sedang Mitsubishi FE84GBC(4x2)	7,68	2,10	3,05	3,85	1,48	2,35	7,00	5,99	7,73	4,44	4,16	3,82	3,71	3,59	
8	Truk Hino 500 Cargo FG 260 JM (T1.2)	8,85	2,49	2,75	5,08	1,28	2,49	9,08	7,90	9,60	5,99	5,62	5,23	5,06	4,86	

No	Jenis – jenis Kendaraan	Dimensi Kendaraan			Jarak Antar Sumbu	Jalur		RPM	RPK	R _{max}	R _{min} pada sudut belok kendaraan				
		Panjang	Lebar	Tinggi		Depan	Belakang				25°	45°	90°	135°	180°
		m	m	m		m	m				m	m	m	m	m
9	Truck Isuzu Giga FVR 34 U (T1.2)	7,60	2,49	2,97	4,30	1,25	2,05	7,69	6,69	8,38	4,89	4,59	4,25	4,10	3,92
Jenis - jenis Kendaraan Berdasarkan Dimensi yang Dapat Beroperasi pada Jalan Kelas 1 dan 2															
10	Truk Pemadam Kebakaran 1	9,93	2,49	-	4,60	1,40	2,48	93,31	8,17	9,93	6,24	5,89	5,46	5,36	5,08
11	Bus Angkutan Masal Ukuran Besar	11,95	2,50	3,50	6	2,46	3,48	10,53	9,33	11,65	7,36	6,89	6,30	6,20	5,99
12	Truck Hino 500 Cargo Fl 245 JW (T1.22)	11,95	2,49	2,78	5,83-1,35	1,28	3,49	11,11	10,06	11,83	8,03	7,60	7,08	6,83	6,59
13	Truk Isuzu Giga FVR 34 U (T1.2)	11,95	2,49	2,93	6,60	1,25	4,10	11,49	10,27	11,95	8,16	7,75	7,17	6,97	6,69
Jenis - jenis Kendaraan Berdasarkan Dimensi yang Dapat Beroperasi pada Jalan Kelas 1															
14	Bus Besar	12,10	2,50	3,40	5,80	2,90	3,40	10,23	9,03	11,57	7,05	6,61	6,13	5,95	5,74
15	Truk Gandeng Hino 5 Sumbu (T1.22+2.2)	16,80	2,50	2,50	3,20-7,50-1,40-1,40	1,70	3,70	11,37	10,13	11,75	7,53	6,70	5,79	4,54	3,89

No	Jenis – jenis Kendaraan	Dimensi Kendaraan			Jarak Antar Sumbu	Jalur		RPM	RPK	R _{max}	R _{min} pada sudut belok kendaraan				
		Panjang	Lebar	Tinggi		Depan	Belakang				25°	45°	90°	135°	180°
		m	m	m		m	m				m	m	m	m	m
16	Truk Gandeng Hino 4 Sumbu (T1.2+2.2)	16,20	2,51	3,10	4,30-5,20-1,30	1,20	2,40	11,04	9,81	11,64	7,52	6,94	6,48	5,84	5,37
17	Truk Tempelan Hino 6 Sumbu (T1.22+222)	16,40	2,50	3,20	3,40-1,20-6,70-1,30-1,30	1,20	1,40	11,47	10,24	11,84	7,64	6,86	6,02	4,70	4,01

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.5 Jarak Pandang

Jarak pandang merupakan suatu jarak yang diperlukan oleh pengemudi pada saat mengemudi sehingga jika pengemudi melihat suatu halangan yang membahayakan. Pengemudi dapat melakukan sesuatu untuk menghindari bahaya tersebut dengan aman. Jarak pandang dibedakan menjadi dua yaitu jarak pandang henti (J_h) dan jarak pandang mendahului (J_d). (Widianty et al., 2017)

2.5.1 Jarak Pandang Henti (J_{PH})

Jarak pandang henti merupakan jarak minimum yang diperlukan oleh pengemudi untuk menghentikan kendaraan dengan aman ketika melihat adanya halangan yang membahayakan di depan. Setiap titik di sepanjang jalan harus memenuhi jarak pandang henti. Jarak pandang henti dapat diukur dengan anggapan tinggi mata pengemudi 105 cm serta tinggi halangan 15 cm. (Prayudyanto et al., 2024)

1. Jarak pandang henti mobil penumpang

Bagian-bagian J_{PH} yang terdiri dari jarak waktu reaksi (J_{HT}) pengemudi dan jarak pengereman (J_{HF}) menunjukkan nilai J_{PH} untuk desain berdasarkan pada waktu reaksi 2,5 detik, pelambatan longitudinal 3,4 m/detik², dan koreksi tambahan jarak pandang pada kelandaian menurun atau penggunaan jarak pandang pada kelandaian menaik.

Tabel 2.6 Mobil Penumpang pada Kelandaian Datar, Menurun, dan Menanjak

V_D (Km/Jam)	J_{ht} (m)	J_{hf} (m)	JPH (dibulatkan), m						
			Datar	Menurun			Menanjak		
			Grade: 0%	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	13,9	4,6	20	20	20	21	9	18	18
30	20,9	10,3	35	33	34	36	31	30	30
40	27,8	18,4	50	49	52	54	46	44	43
50	34,8	28,7	65	68	72	76	63	60	59
60	41,7	41,3	85	89	95	101	81	78	76
70	48,7	56,2	105	113	120	129	103	99	95
80	55,6	73,4	130	140	149	161	126	121	116
90	62,6	92,9	160	169	181	196	151	145	139
100	69,5	114,7	185	201	216	234	179	171	164
110	76,5	138,8	220	236	253	275	209	199	190
120	83,4	83,4	250	273	294	275	241	229	219

Sumber: (Laia et al., 2022)

Nilai-nilai dalam tabel dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$J_{PH} = \frac{V_D \times t}{3,6} + \frac{V_D^2}{2 \times 3,6^2 \times 9,81 \left(\frac{a}{9,81 \pm G} \right)} \quad (2.1)$$

Keterangan:

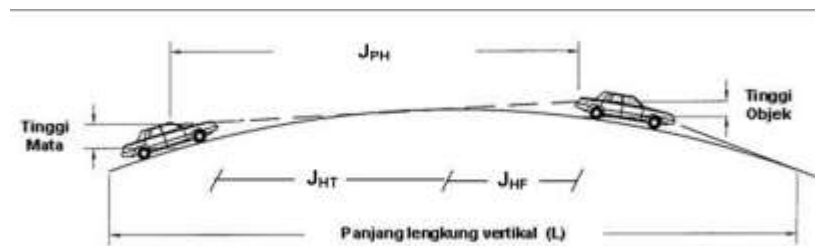
J_{PH} = Jarak pandang henti, m.

t = Waktu reaksi, 2,5 detik.

V_D = Kecepatan desain, km/jam.

a = Perlambatan longitudinal, m/det²

G = Kelandaian memanjang jalan, 0,05 (=5%), tanda positif untuk nanjak.



Gambar 2.1 Jarak Pandang Henti Mobil Penumpang

Sumber: (Laia et al., 2022)

2. Jarak pandang henti truk

J_{PH} untuk truk pada jalan baru harus mempertimbangkan sebagai berikut:

- Menjelang daerah yang memerlukan perubahan kecepatan seperti pada titik-titik lengkung – lurus – lengkung ada tikungan gabungan dan lajur perlambatan.
- Menjelang daerah perlunya penyatuan (*marging*), seperti lajur yang terputus (*drop-off*).
- Menjelang zona kontruksi, khususnya dimana permukaan berubah dari yang terdapat lapis penutup (*sealed*) ke permukaan tanpa lapis penutup (*unsealed*).
- Jarak pandang melalui *underpass*.
- Menjelang perlintasan kereta api.

- f. Persimpangan dengan jarak pandang samping terbatas, seperti pada persimpangan di wilayah perkotaan, sekitar pertokoan atau banyak bangunan-bangunan pada medan berbukit, di dekat tiang jembatan.
- g. Persimpangan pada atau dekat lengkung vertikal cembung.
- h. Menjelang persimpangan dimana kecepatan truk mendekati atau hampir sama dengan kecepatan mobil.
- i. Pada lokasi-lokasi lengkung vertikal cembung dan cekung.

Jika J_{PH} tidak mencukupi untuk truk dan tidak memungkinkan untuk memperbaiki desain geometrik atau keadaan ekisting, maka perlu dipertimbangkan untuk memasang rambu-rambu lalu lintas dan garis marka jalan tambahan untuk meningkatkan keselamatan.

Tabel 2.7 J_{PH} Truk pada Kelandaian Normal dan Koreksi Kelandaian

V_D (Km/Jam)	Jarak Reaksi (m)	Jarak Rem (m)	J_{PH} (normal)	J_{PH} (dibulatkan), m					
				Pada Turunan			Pada Tanjakan		
				3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	13,9	5,4	19	20	21	22	19	19	19
30	20,8	12,2	33	35	37	39	32	31	31
40	27,8	21,7	49	53	56	60	48	46	45
50	34,7	33,9	69	73	78	84	66	63	61
60	41,7	48,9	91	97	104	113	86	83	79
70	48,6	66,5	115	123	133	145	109	104	100
80	55,6	86,9	142	153	166	182	135	128	122
90	62,5	110	172	186	202	222	163	154	147
100	69,4	135,8	205	221	241	241	193	182	173
110	76,4	164,3	241	260	284	315	226	213	202
120	83,3	195,5	279	302	330	367	261	246	233

Sumber: (Laia et al., 2022)



Gambar 2.2 J_{PH} untuk Truk

Sumber: (Laia et al., 2022)

2.5.2 Jarak Pandang Mendahului (J_{PM})

Jarak pandang mendahului merupakan jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain di depannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke jalur semula. (Laia et al., 2022)

Jarak pandang mendahului dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$J_{PM} = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad (2.2)$$

$$d_1 = 0,278 \cdot T_1 \cdot (V_R - m + \frac{a \cdot T_1}{2}) \quad (2.3)$$

$$d_2 = 0,278 \cdot V_R \cdot T_2 \quad (2.4)$$

$$d_3 = \text{Dapat menggunakan ketentuan jarak kendaraan menyiap di akhir gerakan dengan kendaraan di arah lawan, diambil } 100 - 300 \text{ ft (1m = 3,28 ft)} \quad (2.5)$$

$$d_4 = 2/3 \cdot d_2 \quad (2.6)$$

Keterangan:

J_{PM} = Jarak pandang mendahului, m.

d_1 = Jarak yang ditempuh selama waktu tanggap, m.

d_2 = Jarak yang ditempuh selama mendahului sampai dengan kembali ke lajur semula (m).

d_3 = Jarak antara kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai (m).

d_4 = Jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang datang dari arah berlawanan, yang besarnya ditetapkan sama dengan $2/3 d_2$ (m).

T_1 = Waktu penyesuaian awal = $2,12 + 0,026 V_R (\pm 3,7 - 4,3 \text{ detik})$.

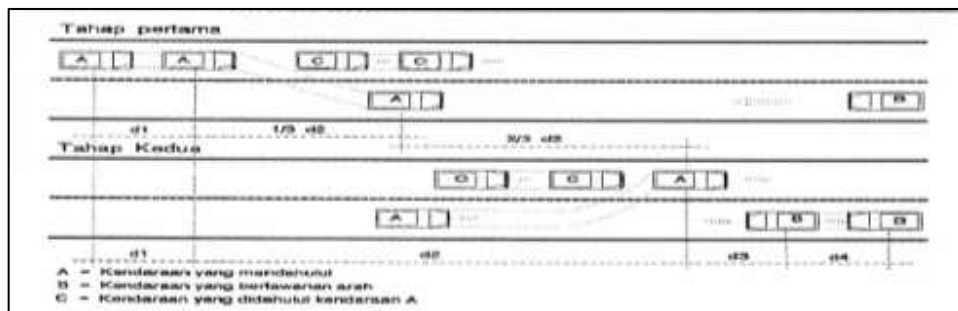
A = Percepatan rata-rata kendaraan yang menyiap (km/jam/detik) = $2,052 + 0,0036 V_R$.

V_R = Kecepatan kendaraan yang menyiap.

M = selisih kecepatan kendaraan yang menyiap dan disiap (biasanya diambil 10-15 km/jam).

T_2 = waktu kendaraan menyiap di jalur lawan (dtk) = $(6,56 + 0,048 VR)$.

Sering terjadinya pergerakan mendahului pada jalan yang bertipe 2 lajur 2 arah tak terbagi (2/2-TT) seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.3 Jarak Pandang Mendahului

Sumber: (Laia et al., 2022)

Jarak pandang yang dipakai dalam desain Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021 ditunjukkan dalam Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 berikut ini:

Tabel 2.8 Elemen J_{PM} untuk Jalan 2/2-TT

Komponen dari Manuver Mendahului	Rentang Kecepatan Arus (Km/jam)			
	50-65	66-80	82-95	96-110
	Kecepatan Rata-rata Mendahului (Km/jam)			
	56,2	70	84,5	99,8
Awal manuver:				
a = percepatan rata-rata	2,25	2,30	2,37	2,41
T_1 = waktu (detik)	3,6	4	4,3	4,5
d_1 = jarak yang ditempuh	45	66	89	113
Keberadaan pada lajur kanan:				
t_2 = waktu (detik)	9,3	10	10,7	11,3
d_2 = jarak yang ditempuh	145	195	251	314
Panjang yang diizinkan:				
d_3 = jarak yang ditempuh	30	55	75	90
Kendaraan arah berlawanan:				
d_4 = jarak yang ditempuh	97	130	168	209
$JPM = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$	317	446	583	726

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Tabel 2.9 Jarak pandang mendahului(J_{PM})

V_D (Km/jam)	Asumsi Kecepatan Kendaraan dalam Arus (Km/jam)		J_{PM} (Pembulatan) (m)
	Kendaraan Didahului	Kendaraan Mendahului	
30	29	44	200
40	36	51	270
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	74	485
80	65	80	540
90	73	88	615
100	79	94	670
110	85	100	730
120	90	105	775

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.5.3 Daerah Bebas Samping Tikungan

Daerah bebas samping di tikungan adalah ruang untuk menjamin kebebasan pandang di tikungan sehingga jarak pandang henti (J_{PH}) dipenuhi. Daerah bebas samping dimaksud untuk memberikan kemudahan pandangan di tikungan dengan membebaskan objek-objek penghalang sejauh E (m) diukur dengan garis tengah lajur dalam sampai objek penghalang pandangan sehingga persyaratan J_h dipenuhi. (Batubara, 2014)

Dalam mengemudi di kecepatan tertentu, ketersediaan jarak pandang yang baik sangat dibutuhkan apalagi sewaktu kendaraan menikung atau berbelok. Keadaan seperti ini sering terganggu oleh gedung-gedung (perumahan penduduk), pepohonan, hutan-hutan kayu maupun perkebunan, tebing galian dan lain sebagainya. Oleh karena itu perlu adanya daerah bebas samping di tikungan untuk menjaga keamanan pemakai jalan. Besarnya ruang yang harus dijaga bebas dari halangan tersebut tergantung pada radius tikungan dan kecepatan desain. M dan JP dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini, jika $J_{PH} \leq L_{tot}$:

$$M = R \left\{ 1 - \cos\left(\frac{28,65 J_{PH}}{R}\right) \right\} \quad (2.7)$$

$$M = R \left\{ 1 - \cos\left(\frac{28,65 J_{PH}}{R}\right) \right\} + \frac{1}{2} (J_{PH} - L_{tot}) \sin\left(\frac{28,65 J_{PH}}{R}\right) \quad (2.8)$$

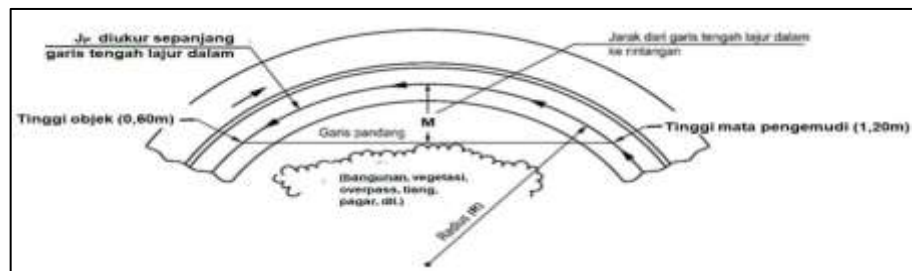
Keterangan:

M = Jarak Bebas Samping di Tikungan (m).

R = Radius di Pusat Lajur Sebelah Dalam (m).

J_{PH} = Jarak Pandang Henti (m).

L_{tot} = Panjang Lengkung (m).



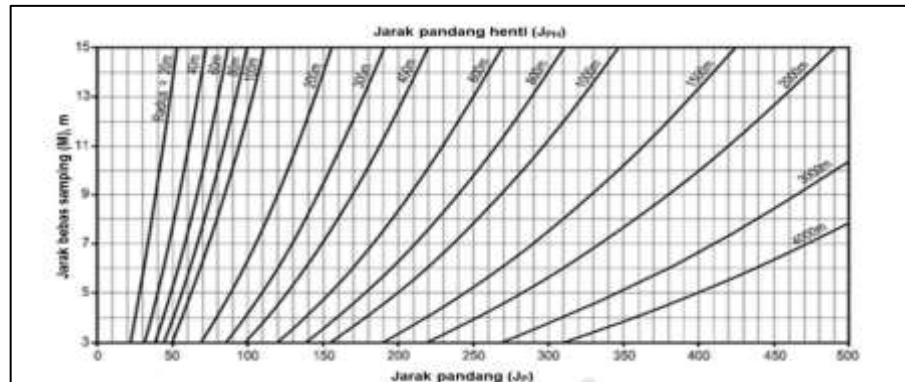
Gambar 2.4 Ruang Bebas Samping Tikungan

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Tabel 2.10 Jarak Ruang Bebas Samping (m) di Tikungan untuk Pemenuhan J_{PH}

V_D (Km/jam)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
J_{PH} (m)	19	32	48	65	86	108	133	161	190	223	257
Radius (m)	5000									1,24	2,75
	3000								1,50	2,07	2,75
	2000							1,62	2,26	3,11	4,13
	1500						1,47	2,16	3,01	4,14	5,50
	1200						1,84	2,70	3,76	5,18	6,84
	1000					1,46	2,21	3,24	4,51	6,21	8,25
	800					1,82	2,76	4,05	5,63	7,76	10,30
	600				1,54	2,43	2,68	5,39	7,51	10,33	13,71
	500				1,85	2,91	4,42	6,47	9,00	12,38	
	400				2,31	3,64	5,52	8,07	11,23		
	300			1,76	3,08	4,85	7,34				
	250			2,11	3,69	5,81	8,79				
	200		1,44	2,64	4,61	7,25					
	175		1,64	3,01	5,26	8,27					
	150		1,92	3,51	6,12						
	140		2,05	3,76	6,55						
	130		2,21	4,04	7,05						
	120		2,39	4,37	7,62						
	110		2,61	4,77	8,30						
	100	1,28	2,87	5,24							
	90	1,42	3,18	5,81							
	80	1,59	3,57	6,51							
	70	1,82	4,07	7,41							
	60	2,12	4,74								
	50	2,54	5,65								
	40	1,12	2,16								
	30	1,49	4,27								
	20	2,21									

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021



Gambar 2.5 Jarak Ruang Bebas Samping di Tikungan (m)

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Gambar 2.5 merepresentasikan dalam bentuk kurva yang bisa digunakan untuk mengekstrapolasi nilai M yang diperlukan bagi suatu kecepatan desain dan radius tikungan tertentu. Angka M digunakan untuk mengontrol desain lengkungan terhadap pemenuhan JPH (Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021).

2.6 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal merupakan bentuk horizontal jalan pada bidang tertentu yang dapat memberikan kenyamanan dan keamanan. Alinyemen horizontal dapat juga disebut dengan nama “trase jalan” atau “situasi jalan”, yang terbentuk dari garis-garis lurus yang dihubungkan dengan garis lengkung. Garis-garis lengkung tersebut terdiri dari sebuah busur lingkaran disertai busur peralihan, dan busur pelarihan atau busur lingkaran. Pada umumnya suatu perencanaan alinyemen horizontal, terdapat dua jenis bagian jalan yaitu : bagian lurus dan bagian lengkung atau sering disebut tikungan. Pada perencanaan alinyemen horizontal, terdapat beberapa komponen utama yang harus masuk dalam proses perhitungan perencanaan. (Rochmanto et al., 2019)

2.6.1 Jari-jari Minimum

Pada saat melalui tikungan kendaraan dengan kecepatan (V) akan menerima gaya sentrifugal yang menyebabkan tidak stabil. Untuk mengimbangi gaya sentrifugal tersebut, perlu dibuat suatu kemiringan melintang jalan pada tikungan yang disebut *superelevasi* (e).

Kecelakaan dapat dihindari dengan menghitung jari-jari minimum, untuk superelevasi maksimum dan koefisien gesekan maksimum dari rumus:

$$R_{\min} = \frac{V_D^2}{127 (e_{\max} + f)} \quad (2.9)$$

Keterangan :

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

V_D = Kecepatan kendaraan rencana, (km/jam).

$e_{\max}$ = Superelevasi maksimum, (%).

f = Koefisien gesekan, untuk perkerasan aspal $f=0,14 - 0,24$.

Panjang jari-jari minimum ($R_{\min}$) dapat menggunakan ketentuan pada Tabel 2.12 dibawah ini:

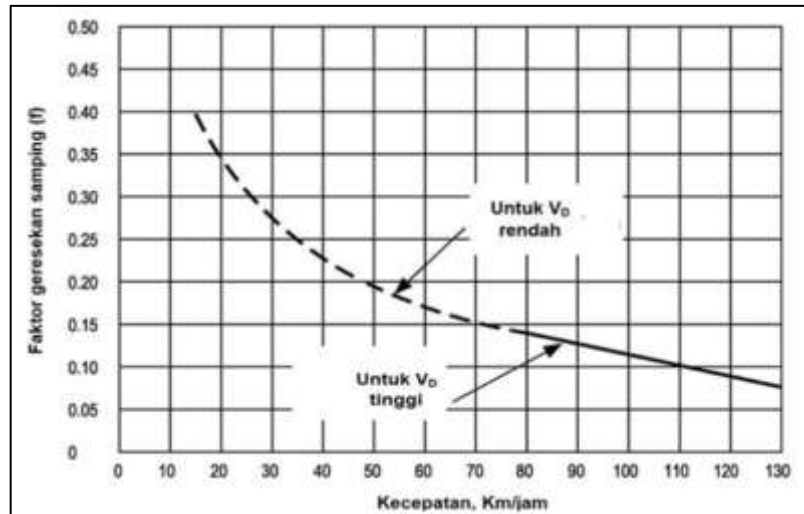
Tabel 2.11 Panjang Jari - jari Minimum

V_D (Km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
$R_{\min}$ (m)	600	370	210	110	80	50	30	15

Sumber: (Putri et al., 2021)

2.6.2 Kekesatan Melintang (f)

Faktor kekesatan ke arah samping (kekesatan melintang) bervariasi terhadap kecepatan desain yaitu 0,22 untuk kecepatan 40 Km/Jam, 0,17 untuk kecepatan 60 Km/Jam, 0,15 untuk kecepatan 70 Km/Jam, 0,14 untuk kecepatan 80 Km/Jam, 0,12 untuk kecepatan 100 Km/Jam, dan 0,08 untuk kecepatan 120 Km/Jam. Catatan, bahwa $V_D < 80$ Km/Jam dikategorikan sebagai kecepatan desain rendah dan $V_D \geq 80$ Km/Jam dikategorikan sebagai kecepatan desain tinggi. Nilai koefisien gesek melintang dapat berbeda tergantung dengan kecepatan rencana, dan dapat dicari nilainya dengan menggunakan grafik pada Gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.6 Faktor Kekesatan Melintang

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.6.3 Panjang Bagian Lurus

Elemen geometrik berupa alinyemen horizontal, bila topografi berupa daerah datar, dapat terjadi bagian lurus (tangen) menjadi sangat panjang.

Dengan mempertimbangkan faktor keselamatan pemakaian jalan, ditinjau dari segi kelelahan pengemudi, maka panjang maksimum bagian jalan yang lurus harus di tempuh dalam waktu tidak lebih dari 2,50 menit sesuai dengan (V_R) atau kecepatan rencana.(Putri et al., 2021)

Tabel 2.12 Panjang Bagian Lurus Maksimum

Fungsi	Panjang Bagian Lurus Maximum		
	Datar	Perbukitan	Pegunungan
Arteri	3.000	2.500	2.000
Kolektor	2.000	1.750	1.500

Sumber: (Putri et al., 2021)

Untuk menentukan panjang bagian lurus dapat menggunakan persamaan rumus berikut ini:

$$L_L \leq 2,5 \text{ menit} \times V_D \quad (2.10)$$

Keterangan:

L_L = Panjang bagian lurus (km).

V_D = Kecepatan desain (km/jam).

2.6.4 Lengkung Peralihan (L_s)

Lengkung peralihan adalah lengkung yang disisipkan di antara bagian lurus jalan dan bagian lengkung jalan berjari-jari tetap R , berfungsi mengantisipasi perubahan alinyemen jalan dari bentuk lurus (R tak terhingga) sampai bagian lengkung jalan berjari-jari tetap R sehingga gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan saat berjalan di tikungan berubah secara berangsur-angsur, baik ketika kendaraan mendekati tikungan maupun meninggalkan tikungan. Lengkung peralihan diperlukan agar para pengemudi dapat melakukan dan menyesuaikan saat melakukan manuver kendaraan pada bagian geometrik jalan yang bertransisi seperti dari alinyemen lurus ke lingkaran, dari lurus ke lurus ataupun dari alinyemen lingkaran ke lingkaran. Bentuk spiral atau clothoid menjadi bentuk lengkung peralihan yang aman dan nyaman. Lengkung peralihan berbentuk spiral atau clothoid yaitu lengkung dengan radius di setiap titik berbanding terbalik dengan panjang lengkungnya. Adapun fungsi dari lengkung peralihan pada alinyemen horizontal, adalah sebagai berikut:

1. Membuat gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan dapat berubah secara berangsur-angsur.
2. Tempat berubahnya kemiringan perkerasan untuk mengimbangi gaya sentrifugal.
3. Tempat dimana dimulainya perubahan lebar perkerasan untuk mengakomodasi radius putar kendaraan.
4. Memudahkan pengemudi agar tetap pada lajunya saat menikung. Bentuk lengkung peralihan dapat berupa parabola atau spiral (clothoid).

Cara ini digunakan bentuk spiral. Panjang lengkung peralihan (L_s) ditetapkan atas pertimbangan bahwa:

1. Lama waktu perjalanan di lengkung peralihan perlu dibatasi untuk menghindari kesan perubahan alinyemen yang mendadak, ditetapkan 3 detik (pada kecepatan V_D).
2. Gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan dapat diantisipasi berangsur-angsur pada lengkung peralihan dengan aman.

3. Tingkat perubahan kelandaian melintang jalan (e) dari bentuk kelandaian normal ke kelandaian superelevasi penuh tidak boleh melampaui e_{max} yang ditetapkan sebagai berikut:

- untuk $V_D \leq 70$ km/jam, $e_{max} = 0.035$ m/m/detik.
- untuk $V_D \geq 80$ km/jam, $e_{max} = 0.025$ m/m/detik.

Lengkung Peralihan (L_s) ditentukan dari nilai yang terbesar yang dihasilkan dari rumus sebagai berikut:

- Berdasarkan superelevasi *runoff*

$$L_s = \frac{w \cdot n_1 \cdot e_d}{\Delta} (b_w) \quad (2.11)$$

Keterangan:

w = Lebar satu jalur lalu lintas (m).

n_1 = Jumlah lajur yang diputar.

e_d = Tingkat superelevasi desain (%).

Δ = Kelandaian relatif maksimum (%).

b_w = Faktor penyesuaian untuk jumlah jalur yang diputar

Penentuan nilai kelandaian relatif maksimum (Δ), jumlah lajur yang diputar (n_1) dan nilai faktor penyesuaian untuk jumlah jalur yang diputar (b_w) dapat dilihat berdasarkan Tabel 2.13 dan Tabel 2.14 berikut ini:

Tabel 2.13 Kelandaian Relatif Maksimum (Δ)

VD (Km/Jam)	Δ (%)	Kemiringan Relatif Ekivalen Maksimum
20	0,80	1:125
30	0,75	1:133
40	0,70	1:143
50	0,65	1:154
60	0,60	1:167
70	0,55	1:182
80	0,50	1:200
90	0,47	1:213
100	0,44	1:227
110	0,41	1:244
120	0,38	1:263
130	0,35	1:286

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Tabel 2.14 Faktor Penyesuaian untuk Jumlah Lajur Rotasi

Jumlah Lajur Rotasi (n_1)	Faktor Penyesuaian (b_w)	Kenaikan panjang relatif terhadap rotasi satu lajur ($n_1 b_w$)
1,0	1,0	1,00
1,5	0,83	1,25
2,0	0,75	1,50
2,5	0,70	1,75
3,0	0,67	2,00
3,5	0,64	2,25

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

b. Berdasarkan rumus *short*

$$L_S = \frac{0,0214 \cdot V_D^3}{R_D \cdot C} \quad (2.12)$$

Keterangan:

V_D = Kecepatan desain (km/jam).

R_D = Radius busur lingkaran (m).

C = Laju maksimum perubahan akselerasi lateral (1,20 m/detik³).

c. Berdasarkan kenyamanan kendaraan

$$L_S = \sqrt[2]{24 \cdot (P_{\min}) \cdot R_D} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$P_{\min}$ = Jarak *offset* lateral minimum antara bagian lurus dan busur lingkaran (0,20 m).

R_D = Radius busur lingkaran (m).

Diambil nilai L_S terbesar, kemudian perlu dikontrol bahwa panjang lengkung peralihan yang digunakan dalam desain harus lebih besar dari persyaratan perhitungan rumus berikut ini:

$$L_S \leq \frac{1}{2} (6 \text{ detik} \times V_D) \quad (2.14)$$

Keterangan:

L_S = Panjang lengkung peralihan (m).

V_D = Kecepatan desain (km/jam).

2.6.5 Penentuan Tipe Tikungan

Tipe lengkung ditentukan dari nilai p dengan rumus:

$$p = \frac{L_s^2}{24 \cdot R_c} \geq 0,25 \quad (2.15)$$

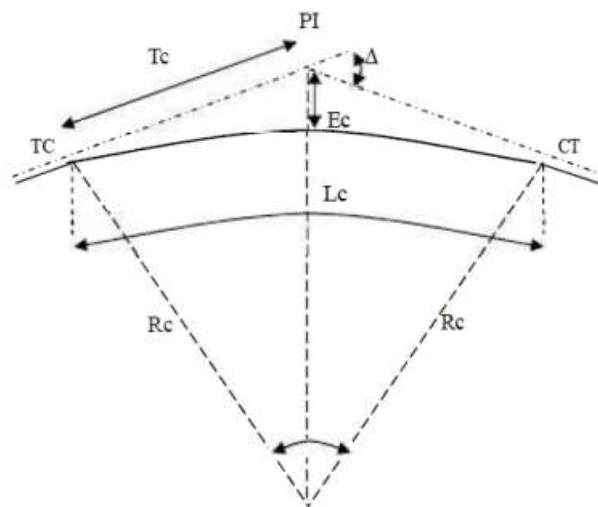
Jika nilai $p < 0,25$ ditentukan sebagai Full Circle.

Jika nilai $p > 0,25$ ditentukan sebagai Spiral-Circle-Spiral.

Dari hasil yang sudah didapatkan dari penentuan tipe lengkung dapat dihitung komponen pada setiap tipe lengkung yang dapat dilihat dibawah ini:

2.6.5.1 Bentuk Busur Lingkaran / *Full Circle* (FC)

Tikungan *Full Circle* (FC), merupakan lengkung busur lingkaran sederhana dipilih berdasarkan keamanan dan kenyamanan serta radius tikungan yang besar dengan penggunaannya sesuai dengan ketersediaan lahan.



Gambar 2.7 Komponen Bentuk Full Circle (FC)

Sumber: (Lubis et al., n.d.)

Keterangan Gambar:

Δ = Sudur tikungan ($^{\circ}$).

PI = *Point of intersection* (titik potong 2 garis lurus).

R = Jari-jari lingkaran (m).

CT = *Tangen circle* (titik pertemuan garis lurus dengan lingkaran).

TC = *Circle* tangen (titik pertemuan lingkaran dengan garis lurus).

Tc = Panjang tangen jarak dari TC ke PI ke CT.

LC = JPanjang busur lingkaran.

EC = jarak luar dari PI ke busur lingkaran.

Persamaan rumus yang digunakan dalam perhitungan komponen tingkungan FC adalah:

$$Tc = Rc \tan \frac{1}{2} \Delta \quad (2.16)$$

$$Ec = Tc \tan \frac{1}{4} \Delta \quad (2.17)$$

$$Lc = \frac{\pi}{180} \cdot \Delta \cdot Rc \quad (2.18)$$

Keterangan:

Tc = Panjang Tangen TC ke PI.

Rc = Jari-jari Lengkung Rencana (m).

Ec = Pergeseran horizontal (m).

Lc = Panjang busur lingkaran (m).

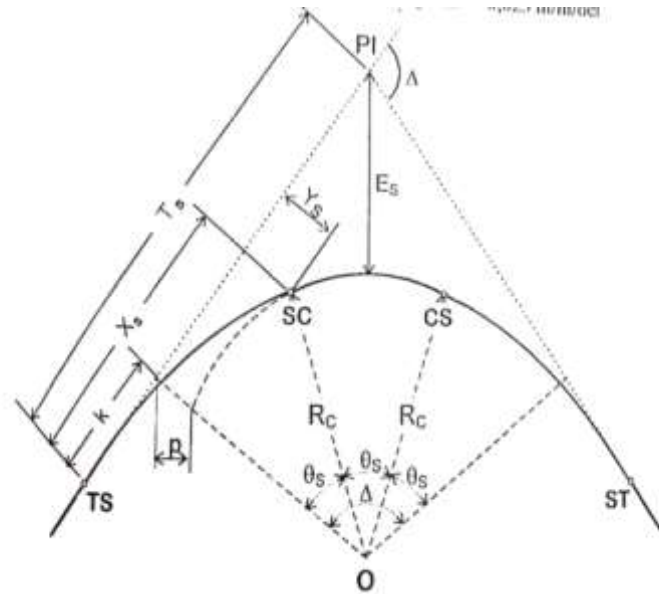
Δ = Sudut defleksi (derajat).

2.6.5.2 Lengkung Peralihan / *Spiral – Circle – Spiral* (SCS)

Lengkung peralihan digunakan untuk menghubungkan bagian lurus jalan dengan busur lingkaran agar lintasan kendaraan dapat berubah mulus di dalam lajur lalu lintas. Kegunaan utama lengkung peralihan adalah:

1. Memberikan jalur belok alami kendaraan yang mudah dilalui dan menyebabkan haya *lateral* meningkat dan menurun secara gradual seiring gerakan kendaraan memasuki dan keluar tikungan. Lengkungan peralihan meminimalkan kemungkinan kendaraan berpindah lajur ke lajur yang berdampingan dan cenderung mendukung kecepatan lintasan yang konstan.
2. Sepanjang lengkung peralihan merupakan lokasi yang cocok bagi pembentukan superelevasi dari kemiringan melintang normal pada bagian lurus ke bagian dengan superelevasi penuh pada tikungan, dan dapat

didesain sesuai dengan perbandingan kecepatan dan radius bagi kendaraan yang melintasnya.



Gambar 2.8 Lengkung *Spiral – Circle – Spiral* (SCS)

Sumber: (Lubis et al., n.d.)

Persamaan rumus yang digunakan dalam perhitungan komponen tingkungan FC adalah:

$$X_s = L_s \left[1 - \frac{L_s^2}{40 \cdot R_c^2} \right] \quad (2.19)$$

$$e_s = \frac{L_s}{2 \cdot R_c} \times \frac{360}{22\pi} \quad (2.20)$$

$$\Delta_c = \Delta - (2\theta_s) \quad (2.21)$$

$$\theta_s = \frac{L_s^2}{6 \cdot R_c} \quad (2.22)$$

$$p = Y_s - R_c(1 - \cos \theta_s) \quad (2.23)$$

$$k = X_s - R_c \cdot \sin \theta_s \quad (2.24)$$

$$T_s = (R_c + p) \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \Delta\right) + K \quad (2.25)$$

$$Es = \frac{Rc + p}{\cos \frac{1}{2}\Delta} - Rc \quad (2.26)$$

$$Lc = \frac{(\Delta - 2\theta_s)}{180} \times \pi \times Rc \quad (2.27)$$

$$L_{tot} = Lc + 2Ls \quad (2.28)$$

Keterangan:

X_s = Jarak dari titik TS ke SC.

Y_c = Jarak tegak lurus ke titik SC pada lengkung, (m) .

L_s = Panjang lengkung peralihan dari titik TS ke SC atau CS ke ST, (m).

L_c = Panjang busur lingkaran (panjang dari titik SC ke CS), (m) .

T_s = Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST, (m).

TS = Titik dari tangen ke *spiral* .

SC = Titik dari *spiral* ke *circle*.

E_s = Pergeseran *Horizontal*, (m).

θ_s = Sudut lengkung *spiral*, (°) .

R_c = Jari-jari lengkung rencana, (m).

p = Pergeseran tangen terhadap *spiral*, (m).

k = Absis dari p pada garis tangen *spiral*, (m).

2.6.6 Pencapaian Superelevasi

Metode pencapaian superlevasi didasarkan hubungan *curvilinear* antara superelevasi dan kekesatan samping jalan dengan kebalikan radius lengkung. Metode ini memiliki bentuk parabola simetris dan mewakili sebaran praktis superelevasi terhadap suatu rentang kelengkungan. Kecepatan tempuh rata-rata yang lebih rendah dari kecepatan desain untuk mencapai superelevasi melebihi nilai untuk lengkung pertengahan pada metode hubungan garis lurus. Metode ini berasumsi bahwa tidak semua pengendara berkendara dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan desain.

Menurut Permen PU No.19/PRT/M/2011 Superelevasi maksimum yang diterapkan adalah 8% untuk jalan Antarkota, jalan perkotaan, dan jalan bebas hambatan. Nilai superelevasi minimum pada kecepatan menengah dan rendah,

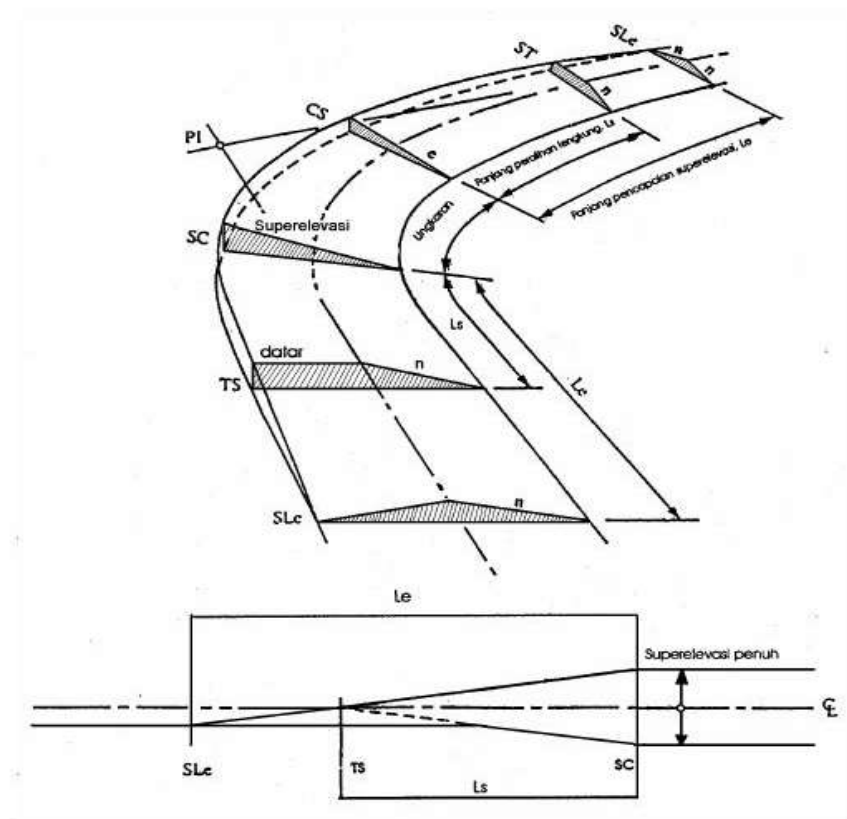
lebih dikehendaki agar semua tikungan memiliki nilai superelevasi setidaknya sama dengan kemiringan melintang normal jalan pada bagian lurus (3% pada daerah curah hujan yang tinggi). Pada tikungan besar, kemiringan melintang jalan yang normal (*adverse*).

Pada penerapan superelevasi bagian jalan lurus, perkerasan jalur lalu lintas mempunyai kemiringan melintang jalan normal untuk mengalirkan air. Kemiringan melintang ini diterapkan pada kedua arah dari sumbu tengah jalan antarkota yang tanpa median. Perubahan dari kemiringan melintang normal ke superelevasi penuh terjadi ketika jalan berubah dari lurus ke alinyemen melengkung, kecuali jika kemiringan melintang jalan *adverse* (tikungan dengan kemiringan normal) diterapkan, atau dari radius lengkung sangat besar dengan kemiringan melintang *adverse* ke lengkung radius lebih kecil. Sumbu rotasi berputar untuk membentuk superelevasi, tergantung pada jenis fasilitas jalan, potongan melintang jalan yang digunakan, medan dan lokasi jalan. Pada jalan dua lajur dua arah, superelevasi dibentuk dengan dengan rotasi setiap setengah melintang (termasuk bahu jalan) pada garis tengah atau sumbu rotasi. (Mentor, n.d.)

Pada jalan yang dilengkapi median sempit (kurang dari 5 m), kedua badan jalan bisa dirotasikan di garis tengah median. Jika median jalan lebar, sumbu rotasi biasanya sepanjang tepi median dari setiap beban jalan (terutama pada daerah datar).

Panjang pencapaian superelevasi merupakan transisi kemiringan melintang jalan dari kemiringan badan jalan normal pada bagian jalan lurus hingga kemiringan melintang jalan superelevasi penuh pada busur lingkaran. Panjang total yang diperlukan untuk pencapaian superelevasi disebut panjang pencapaian superelevasi (L_s). Panjang ini terdiri dari dua elemen utama:

1. Panjang *superelevation runoff* (S_{ro}) merupakan panjang jalan yang diperlukan untuk mencapai perubahan kemiringan melintang jalan dari yang datar (dalam gambar disebut level) menjadi superelevasi penuh.
2. Panjang *tangent runout* (T_{ro}) merupakan panjang jalan yang diperlukan untuk mencapai perubahan kemiringan melintang jalan dari kemiringan normal menjadi datar.



Gambar 2.9 Profil Tipikal Pencapaian Superelevasi pada Jalan Dua Lajur

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Keterangan:

PI = Titik perpotongan sumbu jalan.

TS = Titik tangen spiral.

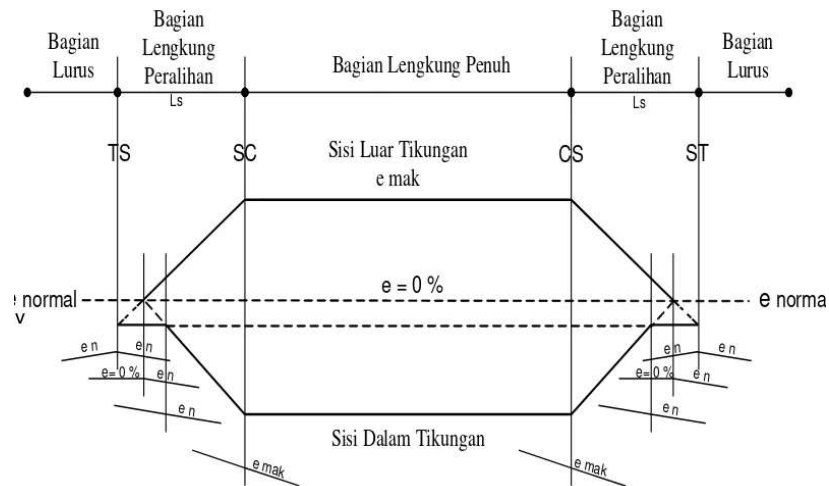
Sle = Titik permulaan pencapaian superelevasi.

SC = Titik peralihan spiral ke lengkungan lingkaran.

L_s = Panjang spiral, TS ke SC (m).

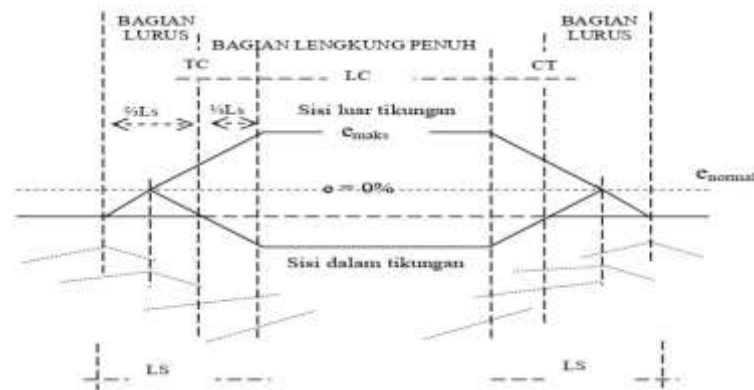
n = Superelevasi manual (%).

e = Superelevasi.



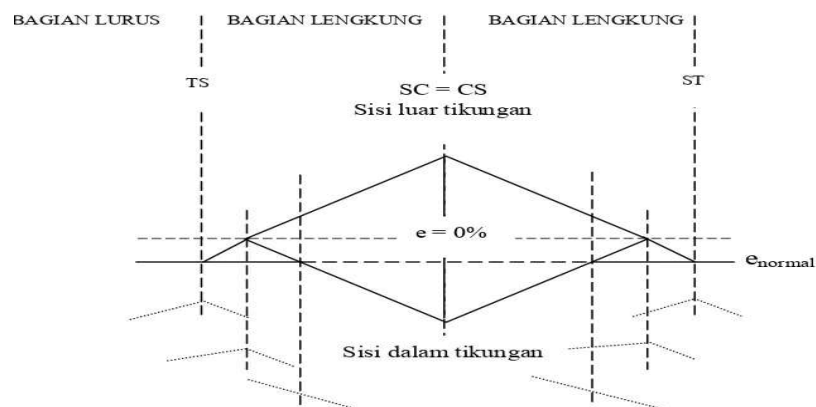
Gambar 2.10 Metoda Pencapaian Superelevasi pada Tikungan Tipe SCS

Sumber: <https://123dok.com/>



Gambar 2.11 Metoda Pencapaian Superelevasi pada Tikungan Tipe FC

Sumber: <https://123dok.com/>



Gambar 2.12 Metoda Pencapaian Superelevasi pada Tikungan Tipe SS

Sumber: <https://123dok.com/>

[illegible]

2.6.7 Landai Relatif

Landai relatif ($1/m$) merupakan suatu besaran kelandaian akibat perbedaan elevasi tepi kelandaian akibat perbedaan elevasi tepi perkerasan sebelah luar sepanjang lengkung peralihan. Perbedaan elevasi didasarkan pada tinjauan perubahan bentuk penampang melintang jalan, belum merupakan gabungan dari perbedaan elevasi akibat kelandaian vertikal jalan. (Pau & Bisararua, 2016).

Menurut Bina Marga, landai relatif :

$$1/m = \frac{(e + e_n)B}{L_s} \quad (2.29)$$

Keterangan:

$1/m$ = Landai relative.

L_s = Panjang lengkung peralihan.

B = Lebar jalur 1 arah, m.

e = Superelevasi, m/m.

e_n = Kemiringan normal, m/m.

2.6.8 Pelebaran di Tikungan

Pada beberapa kasus terdapat tikungan yang mempunyai lebar terbatas sehingga menyulitkan kendaraan terutama pada kendaraan berat untuk melewati tikungan tersebut. Karena hal tersebut, lebar lintasan pada tikungan dipertahankan dan diperhitungkan pelebaran pada tikungan (Dzulhijjah et al., 2022). Perhitungan pelebaran pada tikungan dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$B = (n(b' + C)) + ((n - 1)Td + Z) \quad (2.30)$$

Keterangan:

B = Lebar perkerasan pada tikungan (m).

n = Jumlah lajur lintasan.

b' = Lebar lintasan truk pada tikungan (m).

Td = Lebar melintang akibat tonjolan depan (m).

Z = Lebar tambahan akibat kelainan dalam mengemudi (m).

C = Kebebasan samping (0,8) m.

$$b' = 2,4 + Rc - \sqrt{R^2c - p^2} \quad (2.31)$$

Keterangan:

P = Jarak antar gandar (m).

$$Td = \sqrt{R_c^2 + A(2P + A) - Rc} \quad (2.32)$$

Keterangan:

A = Tonjolan depan kendaraan (m).

$$z = \frac{(0,105 \times V_D)}{\sqrt{Rc}} \quad (2.33)$$

$$W = B - L \quad (2.34)$$

Keterangan:

B = Lebar jalan.

L = Lebar badan jalan.

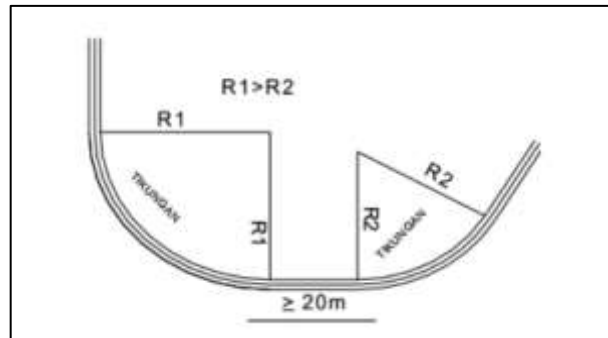
Syarat:

Bila $B \leq L$ tidak perlu pelebaran.

Bila $B \geq L$ perlu pelebaran.

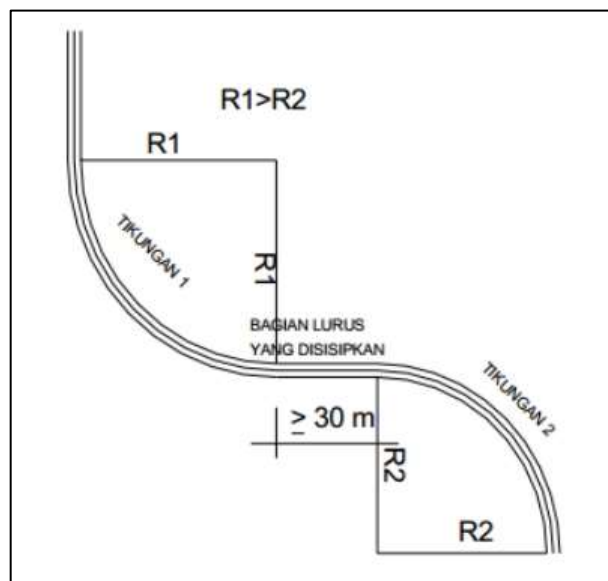
2.6.9 Tikungan Gabungan

Perencanaan alinyemen horizontal dikenal dua macam tikungan gabungan, yaitu tikungan gabungan searah dan tikungan gabungan berbalik. Tikungan gabungan searah merupakan gabungan dua atau lebih tikungan dengan arah putaran sama tetapi dengan jari-jari yang berbeda, sedangkan tikungan gabungan berbalik merupakan gabungan dari dua tikungan atau lebih arah putaran yang berbeda. (Romadhona, 2016).



Gambar 2.13 Tikungan Gabungan Searah

Sumber: (Romadhona, 2016)



Gambar 2.14 Tikungan Gabungan Berbalik

Sumber: (Romadhona, 2016)

2.7 Alinyemen Vertikal

Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021, alinyemen vertikal adalah profil memanjang sepanjang garis tengah jalan, yang terbentuk dari serangkaian segmen dengan kelandaian memanjang dan lengkung vertikal. Profilnya bergantung pada topografi, desain alinyemen horizontal, kriteria desain, dan aspek ekonomi lainnya. Perbedaan topografi medan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: datar, bukit, dan gunung.

Lengkung vertikal dalam jalan raya merupakan lengkung yang digunakan untuk mengadakan peralihan dari satu landai ke landai berikutnya secara berangsur-angsur. Terdapat 2 jenis lengkung vertikal, antara lain:

1. Lengkung Vertikal Cembung: PVI diatas permukaan tanah.
2. Lengkung Vertikal Cekung: PVI dibawah permukaan jalan.

Perencanaan alinyemen vertikal harus mengikuti medan alami, mempertimbangkan keseimbangan pekerjaan tanah, penampilan, keselamatan, drainase, dan kelengkungan vertikal maksimum dan minimum yang diizinkan; dinyatakan sebagai nilai K. Nilai lengkung vertikal minimum hendaknya dipilih berdasarkan tiga faktor pengendali, yaitu:

1. Jarak pandang: persyaratan dalam semua situasi untuk keselamatan pengemudi.
2. Penampilan: biasanya diperlukan pada situasi timbunan rendah dan tofografi datar.
3. Kenyamanan berkendara.

2.7.1 Kelandaian

Untuk menghitung dan merencanakan lengkung vertikal, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu Karakteristik kendaraan pada kelandaian, Kelandaian maksimum, dan Kelandaian minimum. (Martono Abing et al., 2020).

2.7.1.1 Karakteristik Kendaraan Pada Kelandaian

Kendaraan penumpang dapat berjalan baik ketika kelandaian 7 – 8% tanpa ada perbedaan dibandingkan pada bagian datar. Pengamatan menunjukan bahwa untuk mobil penumpang pada kelandaian 3% hanya sedikit sekali berpengaruh dibandingkan dengan jalan datar, sedangkan untuk truk kelandaian akan lebih besar pengaruhnya.

2.7.1.2 Kelandaian Maksimum

Kendaraan penumpang (kategori kendaraan kecil) umumnya dapat mengatasi kelandaian antara 4-5% tetapi, tidak pada truk. Umumnya kecepatan pada truk pada turunan akan bertambah sampai dengan 5% dan pada tanjakan akan menurun 7% atau bahkan lebih dibandingkan kecepatan daerah datar.

Mengacu pada Permen PU No.19/PRT/M/2011, kelandaian maksimum yang ditetapkan menurut spesifik penyediaan prasarana jalan dengan jenis medan yang berbeda berada pada tabel 2.16 berikut ini:

Tabel 2.16 Kelandaian Maksimum

SPPJ	Kelandaian Maksimum (%)		
	Medan Datar	Medan Bukit	Medan Gunung
JBH	4	5	6
JRY	5	6	10
JSD	6	7	10
JKC	6	8	12

Sumber: Permen PU No.19/PRT/M/2011

2.7.1.3 Kelandaian Minimum

Kelandaian minimum pada jalan yang menggunakan kerb pada tepi perkerasannya, perlu kelandaian minimum 0,5% untuk keperluan kemiringan saluran samping, karena kemiringan melintang jalan dengan kerb hanya cukup untuk mengakiri air ke samping.

2.7.1.4 Kelandaian Memanjang

Alinyemen vertikal jalan terdiri dari serangkaian kelandaian memanjang dengan lengkung vertikal, dimanfaatkan untuk menerapkan perubahan gradual diantara profil memanjang.

$$g = \frac{\text{elevasiawal} - \text{elevasiakhir}}{\text{stasionawal} - \text{stasionakhir}} \times 100\% \quad (2.35)$$

Keterangan:

g = Kelandaian memanjang (%).

Nilai perbedaan aljabar digunakan untuk menentukan jenis lengkung vertikal, jika bernilai (-) dikategorikan ke dalam lengkung vertikal cembung dan jika bernilai (+) dikategorikan ke dalam lengkung vertikal cekung.

$$A = (g_2 - g_1) \quad (2.36)$$

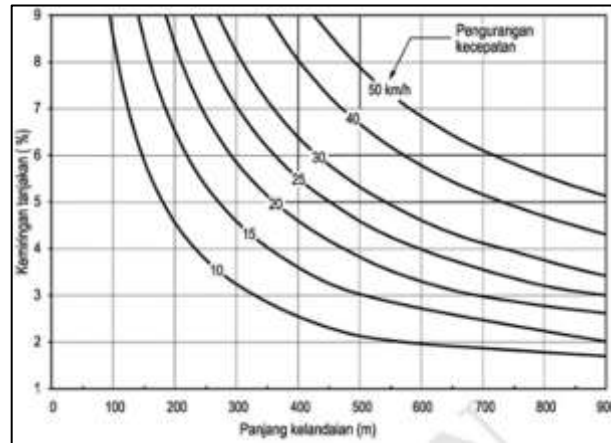
Keterangan:

A = Perbedaan Aljabar.

2.7.1.5 Panjang Kelandaian Kritis

Panjang kelandaian kritis merupakan istilah yang digunakan untuk mengetahui panjang maksimum tanjakan dimana truk yang melewati sebuah ruas

jalan dapat beroperasi dengan pengurangan kecepatan yang tidak berlebihan. Pengurangan kecepatan yang direkomendasikan berkisar antara 15 – 25 Km/jam. Panjang kelaiaian ditentukan dari Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Panjang Kelaiaian Kritis Tipikal Truk dengan WPR 120 kg/kw, Vawal = 110 Km/Jam

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Berdasarkan Gambar 2.15, pada Tabel 2.17 merupakan menyajikan ringkasan panjang kelaiaian kritis berdasakan penurunan kecepatan 25 Km/Jam.

Tabel 2.17 Panjang Kelaiaian Kritis

Kelaiaian Melintang (%)	Panjang Kelaiaian Kritis (m)
4	600
5	450
6	350
7	300
8	250
9	230
≥ 10	200

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Pada umumnya lengkung vertikal didesain menggunakan persamaan:

$$K = K \cdot A \quad (2.37)$$

$$K = \frac{S^2}{200(\sqrt{h_1 - h_2})}, \text{ Untuk } S \leq L \quad (2.38)$$

$$K = \frac{2S}{A} \frac{200(\sqrt{h_1 - h_2})}{A^2}, \text{ Untuk } S \geq L \quad (2.39)$$

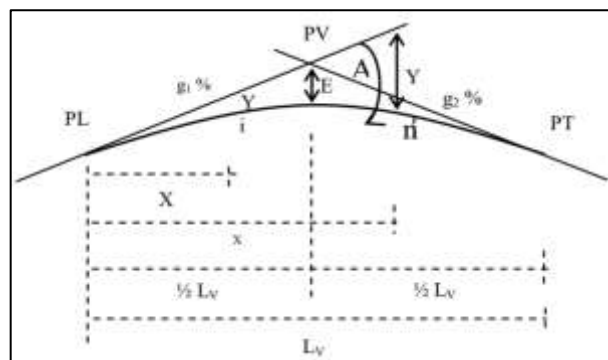
Keterangan:

- L = Panjang lengkung vertikal (m).
 K = Panjang lengkung vertikal dalam meter untuk setiap perubahan kelandaian 1%.
 A = Perubahan kelandaian aljabar (%).
 S = Jarak pandang (m).
 h1 = Tinggi mata pengemudi, digunakan untuk menetapkan jarak pandang (m).
 h2 = Tinggi objek, digunakan untuk menetapkan jarak pandang (m).

2.7.2 Lengkung Vertikal Cembung

Merupakan lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada diatas permukaan jalan yang bersangkutan. Pada lengkung vertikal cembung, pembatasan berdasarkan jarak pandang dapat dibedakan atas 2 keadaan, yaitu:

- Jarak pandang berada seluruhnya dalam daerah lengkung ($S < L$).
- Jarak pandang berada di luar dan di dalam daerah lengkung ($S > L$).



Gambar 2.16 Lengkung Vertikal Cembung

Sumber: (Putri et al., 2021)

Keterangan:

Titik PLV = titik awal lengkung parabola.

Titik PVI = titik perpotongan kelandaian g_1 dan g_2 .

Titik PTV = titik akhir lengkung parabola.

Titik PLV-PVI dan PVI-PTV adalah kelandaian g_1 dan g_2 .

- g_1 = Turun, jadi harganya - %.
 g_2 = Naik, jadi harganya + %.
 A = Perbedaan Aljabar Landai = $g_1 - g_2$ dalam %.
 E_v = Pergeseran vertical titik tengah busur lingkaran.
 L_v = Panjang lengkung vertikal dihitung secara horizontal.
 X_i = Jarak horizontal titik i, dihitung dari PLV ke titik I pada lengkung secara horizontal.
 Y_i = Pergesekan vertical titik i, dihitung dari titik pada tangen/kelandaian ke titik I pada lengkung secara vertikal.
 Titik i = Titik lengkung.

Perencanaan lengkung vertikal cembung harus dihitung juga berdasarkan jarak pandangnya, baik itu jarak pandang henti maupun jarak pandang mendahuluinya. Pada jarak pandang henti (JPH) terdapat pengendalian yang penting terhadap lengkung vertikalnya yaitu penyediaan jarak pandang yang cukup untuk mendapatkan kenyamanan dan keamanan. Cara penentuan Panjang lengkung vertikal (L_v) cembung dihitung berdasarkan dua hal, yaitu berdasarkan Jarak Pandang Henti (JPH) dan Jarak Pandang Mendahului (JPM). Perhitungannya menggunakan rumus berikut:

$$L_v = K \cdot A \quad (2.40)$$

Nilai K dapat ditentukan oleh Tabel 2.18 dan Tabel 2.19 berikut ini:

Tabel 2.18 Nilai Jarak Pandang Henti pada lengkung Vertikal Cembung

VD (Km/jam)	JPH (m)	K ¹⁾
20	20	1
30	35	2
40	50	4
50	65	7
60	85	11
70	105	17
80	130	26
90	160	39
100	185	52
110	220	74
120	250	95

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

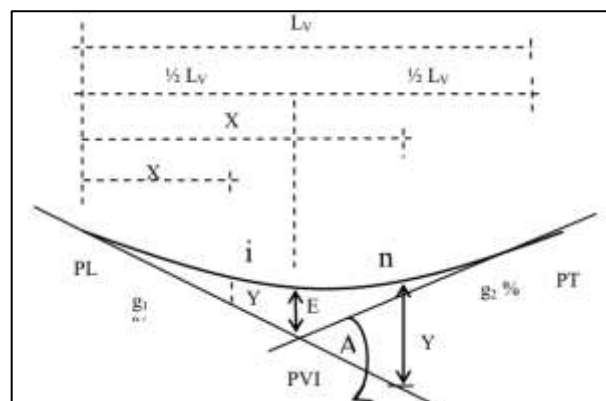
Tabel 2.19 Nilai Jarak Pandang Mendahului pada lengkung Vertikal Cembung

VD (Km/jam)	JPM (m)	K ¹
30	120	17
40	140	23
50	160	30
60	180	38
70	210	52
80	245	70
90	280	91
100	320	119
110	355	146
120	395	181

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.7.3 Lengkung Vertikal Cekung

Kriteria penentuan panjang lengkung vertikal cekung adalah Kenyamanan pengemudi, silau sorotan lampu, pengendalian drainase dan penampilan. Agar dapat memaksimalkan kenyamanan untuk pengendara saat melintasi lengkung, maka dilakukan pembatasan akselerasi vertikal kurang dari 0,05g (g adalah gravitasi yang nilainya 9,81 m/detik²).



Gambar 2.17 Lengkung Vertikal Cekung

Sumber : (Putri et al., 2021)

Keterangan:

g_1 = Turun, jadi harganya - %.

g_2 = Naik, jadi harganya + %.

A = Perbedaan Aljabar Landai = $g_1 - g_2$ dalam %.

E_v = Pergeseran vertikal titik tengah busur lingkaran.

- L_v = Panjang lengkung vertikal dihitung secara horizontal.
- X_i = Jarak horizontal titik i, dihitung dari PLV ke titik I pada lengkung secara horizontal.
- Y_i = Pergesekan vertikal titik i, dihitung dari titik pada tangen/kelandaian ke titik I pada lengkung secara vertical.
- Titik i = Titik lengkung

Nilai K minimum bisa dihitung dengan persamaan berikut:

1. L_v terhadap Kenyamanan Penumpang:

$$K = \frac{V_D^2}{1296 \cdot a} \quad (2.41)$$

Keterangan:

- K = Panjang lengkung vertikal cekung dalam meter untuk perubahan kelandaian 1%.
- a = Akselerasi.
- V_D = Kecepatan kendaraan rencana, Km/Jam.

2. L_v terhadap faktor penampilan:

$$L_v = 30 \cdot A \quad (2.42)$$

3. L_v terhadap faktor Drainase:

$$L_v = 51 \cdot A \quad (2.43)$$

4. Panjang lengkung vertikal cekung berdasarkan jarak pandang henti dapat ditentukan dengan rumus $L_v = K \times A$, dimana nilai K dapat ditentukan oleh Tabel 2.20 berikut ini:

Tabel 2.20 Kontrol Desain (K) untuk Lengkung Vertikal Cekung

VD (Km/jam)	JPH (m)	k
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18

VD (Km/jam)	JPH (m)	k
70	105	23
80	130	30
90	160	38
100	185	45
110	220	55
120	250	65

Sumber: Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Nilai L_v harus memenuhi persyaratan nilai $K_{\text{Cekung}} \geq K_{\text{ref}}$, dimana nilai K_{ref} di dapatkan pada Tabel 2.20.

2.8 Galian dan Timbunan

Perhitungan perencanaan galian timbunan dilakukan untuk mengetahui berapa banyak volume yang akan dikerjakan di lapangan dalam membuat jalan yang sesuai desain terhadap bentuk fisik pada perencanaan alinyemen. Pada tinggi galian atau timbunan diperoleh dari selisih antara elevasi tanah asli dan elevasi tanah rencana. Perhitungannya volume tanah galian dan timbunan dihitung dengan cara mengambil rata rata luas kedua ujung penampang kemudian di kalikan dengan jarak STA. (Kaharu et al., 2020)

Tabel 2.21 Contoh Perhitungan Galian Timbunan

Titik	Station	Luas Penampang Melintang (m2)				Jarak (m)	Volume (m3)	
		Galian	Timbunan	Rata-rata			Galian	Timbunan
				Galian	Timbunan			
1	STA + jarak awal	AG1	AT1					
				(AG1 + AG2)/2	(AT1 + AT2)/2	J1	((AG1+AG2)/2)*J1	((AT1+AT2)/2)*J
2	STA + jarak	AG2	AT2					
Total (Σ)						(Σ) Jarak	(Σ) Galian	(Σ) Timbunan

Sumber: MPJ No 04/SE/Db/2017