

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Jalan

Menurut UU No. 2 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua atas UU No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan, jalan adalah sarana transportasi darat yang mencakup semua bagian jalan, termasuk bangunan penghubung, bangunan pelengkap, dan perlengkapannya yang ditujukan untuk lalu lintas. Jalan dapat berada di permukaan tanah, di atas atau di bawah permukaan tanah, di atas permukaan air, kecuali jalan rel, jalan lori, dan jalan kabel.

Perencanaan Geometrik jalan merupakan salah satu aspek dari perencanaan konstruksi jalan. Perencanaan ini melibatkan perancangan pola arah dan visualisasi dimensi nyata dari trase jalan beserta komponen-komponennya. Perencanaan ini juga harus memenuhi persyaratan yang berkaitan dengan pengendara, kendaraan, dan lalu lintas.

2.2 *AutoCAD Civil 3D 2021 Student Version*

AutoCAD Civil 3D 2021 Student Version merupakan pengembangan *software* dari *Land Desktop companion* 2009 yang dikembangkan oleh *AutoDesk.Inc.* Dalam pengembangan *software AutoCAD Civil 3D 2021 Student Version* sudah menggunakan konsep *Dynamic Modeling*, yaitu suatu konsep *integrated process design*, yang bekerja saat melakukan perubahan desain maka secara otomatis akan meng-*update* seluruh proses desain yang berkaitan, sehingga akan menghemat waktu dalam bekerja. Sedangkan apabila menggunakan *Autocad Land Desktop*, kita perlu melakukan perubahan dalam setiap tahapan-tahapan desain. *AutoCAD Civil 3D 2021 Student Version* sudah berbasis *BIM (Building Information Modeling)* yang merupakan sistem atau teknologi yang memuat informasi penting dalam proses desain, konstruksi, dan pemeliharaan serta terintegrasi dengan pemodelan *3D*.

(Triyono dkk. (2019; 1)) mengemukakan “*AutoCAD Civil 3D 2021 Student Version* adalah salah satu *software* atau program komputer yang memiliki banyak kegunaan dibidang teknik sipil, di antaranya adalah untuk membuat skema

perencanaan Geometrik jalan”. Dengan demikian aplikasi *AutoCAD Civil 3D 2021 Student Version* sangat membantu dalam perencanaan Geometrik jalan raya.

2.3 Pengelompokan Jalan

Jalan dibagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan Peraturan Pemerintah No.34 tahun 2006 tentang jalan dan UU No.22 tahun 2009 tentang lalu lintas dan angkutan jalan. Pengelompokan ini dibedakan berdasarkan peruntukan, sistem jaringan jalan (SJJ), status jalan, fungsi jalan dan klasifikasi jalan.

2.3.1 Pengelompokan Jalan Berdasarkan Peruntukan Jalan

Berdasarkan peruntukannya, jalan dibedakan menjadi jalan umum dan jalan khusus. Jalan umum adalah jalan yang digunakan untuk lalu lintas umum seperti jalan bebas hambatan (JBH) dan jalan tol. Sedangkan Jalan khusus adalah lalu lintas yang dimanfaatkan untuk kegiatan tertentu saja, seperti untuk kegiatan perorangan, kelompok, masyarakat tertentu, badan usaha tertentu atau instansi tertentu sesuai dengan yang merencanakan dan yang memelihara.

2.3.2 Pengelompokan Jalan Berdasarkan Status Jalan

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021 (2021; 24), status jalan dibedakan menjadi 5 kelompok, diantara-Nya.

- a. Jalan nasional adalah jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah pusat, terdiri atas: arteri primer, jalan arteri kolektor primer, jalan tol dan jalan strategis nasional.
- b. Jalan provinsi adalah jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah provinsi, terdiri atas: jalan kolektor primer (antar ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/kota atau antar ibukota kabupaten/kota), jalan strategis provinsi dan jalan di Daerah Khusus Ibu kota Jakarta.
- c. Jalan kabupaten adalah jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah kabupaten, terdiri atas: jalan kolektor primer (yang tidak masuk ke jalan nasional dan provinsi), jalan lokal primer (antar ibukota kabupaten /kota dengan ibukota kecamatan, antar ibukota kabupaten/kota dengan pusat desa dan antar desa), jalan sekunder dan jalan strategis kabupaten.

- d. Jalan kota adalah jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah kota dan berada dalam jaringan jalan di dalam kota.
- e. Jalan desa adalah jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah kabupaten, terdiri dari jalan lingkungan primer dan jalan lokal primer yang tidak termasuk jalan kabupaten, berada di dalam kawasan perdesaan, dan menghubungkan kawasan dan/atau antar permukiman di dalam desa.

2.3.3 Pengelompokan Jalan Berdasarkan Sistem Jaringan Jalan

Jalan memiliki sistem jaringan yang terhubung dengan hierarki fungsi jalan. Sistem jaringan jalan (SJJ) terdiri dari SJJ primer dan SJJ sekunder.

- a. Sistem jaringan jalan primer disusun berdasarkan rencana tata ruang dan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional.
- b. Sistem jaringan jalan sekunder disusun berdasarkan rencana tata ruang wilayah kabupaten atau kota dan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk masyarakat di dalam kawasan perkotaan.

2.3.4 Pengelompokan Jalan Berdasarkan Fungsi Jalan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.34/2006 jalan berdasarkan fungsinya dibedakan menjadi dua yaitu:

2.3.4.1 Pengelompokan Jalan Berdasarkan Fungsinya Dalam SJJ Primer

- a. Jalan arteri primer, menghubungkan antar Pusat Kegiatan Nasional (PKN), atau antara Pusat Kegiatan Nasional (PKN) dengan Pusat Kegiatan Wilayah (PKW).
- b. Jalan kolektor primer, menghubungkan pusat kegiatan nasional (PKN) dengan pusat kegiatan lokal (PKL), antar pusat kegiatan wilayah (PKW), maupun antara PKW dengan PKL, yang berfungsi untuk melayani angkutan pengumpul atau pembagi.
- c. Jalan lokal primer, menghubungkan PKN dengan PKL, PKW dengan pusat kegiatan lingkungan (PKling), menghubungkan antar PKL, maupun PKL dengan PKLing, serta antar PKLing, yang melayani angkutan 17 setempat.

- d. Jalan lingkungan primer, menghubungkan antara pusat kegiatan di pedesaan, yang berfungsi untuk melayani angkutan lingkungan.

2.3.4.2 Pengelompokan jalan berdasarkan fungsinya dalam SJJ primer

Pembagian jalan berdasarkan fungsinya dalam sistem jaringan jalan primer dibedakan ke dalam 4 macam, yaitu:

- a. Jalan arteri sekunder, menghubungkan kawasan primer (KP) dengan kawasan sekunder kesatu (KS1), antar-KS1, atau KS1 dengan kawasan sekunder kedua (KS2).
- b. Jalan kolektor sekunder, menghubungkan antar- kawasan sekunder 2 (KS2) atau KS2 dengan kawasan sekunder ketiga (KS3).
- c. Jalan lokal sekunder, menghubungkan kawasan sekunder 1 (KS1) dengan perumahan, KS2 dengan perumahan, KS3 dan seterusnya sampai ke perumahan/persil.
- d. Jalan lingkungan sekunder (jalan permukiman) adalah jalan yang berada di lingkungan perkotaan yang berfungsi menghubungkan antar persil dalam kawasan perkotaan.

2.3.5 Kelas jalan

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021 (2021; 29), kelas jalan dibedakan menjadi dua yaitu jalan berdasarkan penggunaan jalan dan kelancaran lalu lintas dan angkutan jalan (LLAJ) serta berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan (SPJJ).

2.3.5.1 Klasifikasi jalan berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan

Kelas jalan berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan dibedakan menjadi empat jenis jalan, yaitu:

- a. Jalan Bebas Hambatan (JBH), yaitu jalan yang memenuhi spesifikasi berikut:
 1. Jalan masuk dikendalikan secara penuh,
 2. Simpang sebidang tidak ada,
 3. Jumlah minimal 2 lajur untuk setiap arah,
 4. Lebar lajur paling sedikit 3,5m,
 5. Median jalan dilengkapi,
 6. Pagar ruang milik jalan dilengkapi.

- b. Jalan raya (JRY) yaitu jalan umum yang berfungsi untuk lalu lintas secara menerus yang memenuhi spesifikasi jalan sebagai berikut:
 - 1. Jalan masuk dikendalikan terbatas,
 - 2. Adanya simpang sebidang,
 - 3. Jumlah minimal 2 lajur untuk setiap arah,
 - 4. Lebar lajur paling sedikit 3,5m,
 - 5. Median jalan dilengkapi,
 - 6. Pagar ruang milik jalan tidak dilengkapi.
- c. Jalan sedang (JSD) adalah jalan umum yang memiliki fungsi untuk melayani lalu lintas jarak sedang dengan spesifikasi jalan sebagai berikut:
 - 1. Jalan masuk tidak dibatasi,
 - 2. Adanya simpang sebidang,
 - 3. Jumlah minimal 2 lajur untuk 2 arah,
 - 4. Lebar jalur paling sedikit 7,0 m,
 - 5. Median tidak dilengkapi,
 - 6. Pagar ruang milik jalan tidak dilengkapi.
- d. Jalan Kecil (JKC), adalah jalan umum yang berfungsi untuk melayani lalu lintas setempat dengan spesifikasi jalan sebagai berikut:
 - 1. Jalan masuk tidak dibatasi,
 - 2. Simpang sebidang ada,
 - 3. Jumlah minimal 2 lajur untuk 2 arah,
 - 4. Lebar lajur paling sedikit 5,5 m,
 - 5. Median jalan tidak dilengkapi,
 - 6. Pagar ruang milik jalan tidak dilengkapi.

2.4 Klasifikasi Jalan

Sebagai sebuah penghubung, jalan merupakan lintasan yang digunakan sebagai media lalu lintas baik untuk kendaraan maupun untuk pejalan kaki. Jalan dibagi ke dalam beberapa jenis, yaitu:

- a. Berdasarkan Peruntukannya

Klasifikasi jalan berdasarkan peruntukannya dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Jalan umum, yang diperuntukkan untuk lalu lintas umum;
 2. Jalan khusus, yang diperuntukkan sebagai media lalu lintas khusus untuk distribusi barang dan jasa.
- b. Berdasarkan Fungsinya

Klasifikasi jalan berdasarkan fungsinya dikelompokkan menjadi empat bagian, di antaranya:

1. Jalan Arteri, jalan yang difungsikan untuk angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
 2. Jalan Kolektor, jalan yang difungsikan untuk angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.
 3. Jalan Lokal, jalan yang difungsikan untuk angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
 4. Jalan Lingkungan, merupakan jalan umum yang memiliki fungsi untuk melayani angkutan lingkungan dengan ciri jarak perjalanan dekat dan kecepatan rendah.
- c. Klasifikasi Jalan Berdasarkan Penggunaan Jalan

Jalan juga diklasifikasikan untuk kepentingan penggunaan jalan, pengklasifikasian ini dibagi menjadi 4 bagian. Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021, Tabel 2.1 berikut ini merupakan klasifikasi jalan sesuai penggunaannya:

Tabel 2. 1 Klasifikasi jalan sesuai penggunaannya

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan, m			Muatan Sumbu Terberat (MST) ton
		Lebar	Panjang	Tinggi	
Kelas I	Arteri, kolektor	$\leq 2,55$	$\leq 18,0$	$\leq 4,2$	10
Kelas II	Arteri, kolektor,	$\leq 2,56$	$\leq 12,0$	$\leq 4,3$	8
Kelas III	Lokal, dan Lingkungan	$\leq 2,2$	$\leq 9,0$	$\leq 3,5$	8
Kelas Khusus	Arteri	$\geq 2,55$	$\geq 18,0$	$\leq 4,2$	> 10

2.4.1 Klasifikasi Medan Jalan

Klasifikasi berdasarkan medan jalan memiliki ciri-ciri yang terkait baik dari segi bentuk fisik unsur Geometrik maupun dari segi penggunaan operasional jalan, dan kedua aspek ini saling berhubungan. Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021, Tabel 2.2 berikut ini merupakan klasifikasi medan jalan:

Tabel 2. 2 Klasifikasi Medan Jalan

No.	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan*) %
1.	Datar	D	<10
2.	Perbukitan	B	10-25
3.	Gunung	G	>25

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Catatan: *) nilai kemiringan medan rata-rata per 50 m dalam satu kilometer

Dimana cara mantukan medan yaitu dengan rumus:

$$i = \frac{h \text{ titik kanan} - h \text{ titik kiri}}{L} \times 100\% \quad (2. 1)$$

Keterangan:

i = Kelandaian melintang

$h \text{ titik kanan}$ = Elevasi Pada titik kanan

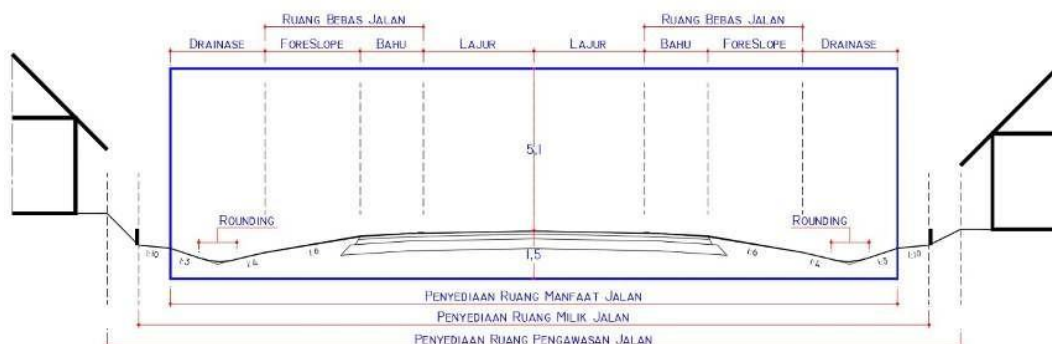
$h \text{ titik kiri}$ = Elevasi Pada titik kiri

2.5 Bagian-bagian Jalan

- a. Ruang manfaat jalan (rumaja), adalah bagian jalan yang dibatasi lebar ruang bebas diukur diantara dua garis vertikal pada batas terluar ambang pengaman, tinggi ruang bebas minimal 5,1 m dan kedalaman ruang bebas minimal 1,5 m yang dilengkapi badan jalan, ambang pengaman dan saluran drainase jalan.
- b. Ruang milik jalan (rumija), adalah jalan yang dibatasi oleh lebar dan tinggi tertentu, meliputi ruang tertentu di luar Rumija. Dalam hal Rumija tidak cukup luas, maka lebar rumija ditentukan dari tepi badan jalan paling sedikit:
 1. JBH (Jalan Bebas Hambatan) 30 m,
 2. JRY (Jalan Raya) 25 m,
 3. JSD (Jalan Sedang) 15 m, dan
 4. JKC (Jalan Kecil) 11 m.

- c. Ruang pengawas jalan (ruwasja), merupakan ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar dan tinggi tertentu, meliputi ruang tertentu di luar Rumija. Dalam hal Rumija tidak cukup luas, maka lebar Ruwasja ditentukan dari tepi badan jalan paling sedikit:
1. Jalan arteri primer 15 m,
 2. Jalan kolektor primer 10 m,
 3. Jalan lokal primer 7 m,
 4. Jalan lingkungan primer 5 m,
 5. Jalan arteri sekunder 15 m,
 6. Jalan kolektor sekunder 5 m,
 7. Jalan lokal sekunder 3 m,
 8. Jalan lingkungan sekunder 2 m, dan
 9. Jembatan 100 m kearah hilir dan hulu.

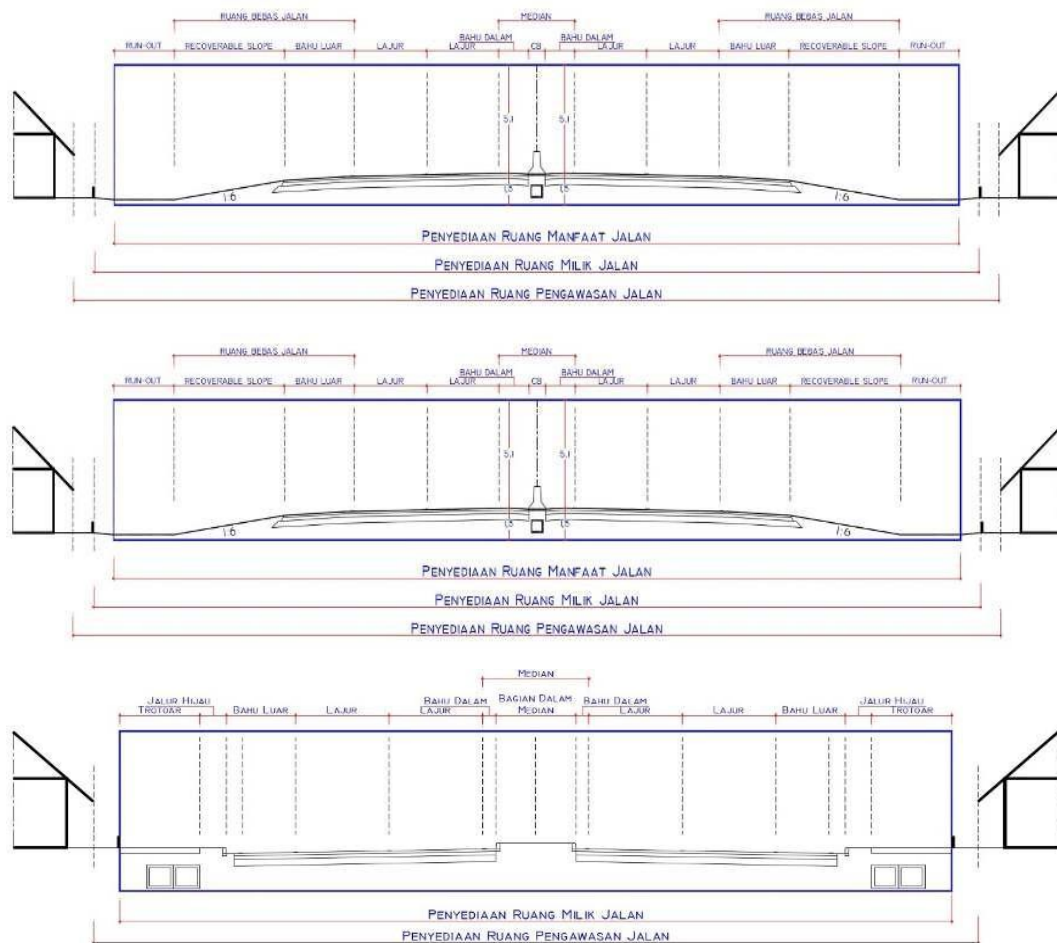
Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021, gambar berikut merupakan bagian-bagian jalan terbagi menjadi beberapa bagian diantaranya:



Gambar 2. 1 Rumaja, Rumija, dan Ruwasja pada jalan tipikal 2/2-TT

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021





Gambar 2. 2 Rumaja, Rumija, dan Ruawasja pada jalan tipikal 4/2-TT

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.6 Ketentuan Teknis

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021 (2021: 38), ketentuan teknis untuk suatu jalan meliputi:

- Kriteria desain,
- Penentuan koridor,
- Jarak pandang,
- Alinyemen horizontal, termasuk di dalamnya jarak pandang dan daerah bebas samping di tikungan,
- Alinyemen vertikal dan koordinasi alinyemen horizontal dan vertikal
- Penampang melintang jalan, dan
- Koordinasi alinyemen.

2.7 Kriteria Desain

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021 (2021: 38), Kriteria desain Geometrik jalan adalah parameter-parameter Geometrik yang nilainya ditetapkan pada awal desain dan menjadi dasar untuk menetapkan desain elemen-elemen Geometrik lainnya. Kriteria ini dibedakan menjadi dua, yaitu kriteria desain utama, dan kriteria desain lainnya yang elemen-elemennya yang ditetapkan berdasarkan kriteria desain utama.

Elemen kriteria desain meliputi:

- a. Kecepatan Desain V_D
- b. Kelas penggunaan jalan

Kriteria desain teknis lainnya adalah:

- a. Tipe jalan, ukuran jalan, dan SPPJ
- b. Jenis perkerasan
- c. Ruang jalan
- d. Geometrik pada Bangkapja dan Perlengkapan jalan.

Dalam desain Geometrik jalan tentu harus berprinsip bahwa alinyemen didesain sedemikian hingga bagian-bagian Geometrik harus dapat optimal secara efektif dan efisien. Berdasarkan Permen Pekerjaan Umum No.19/2011, desain teknis jalan harus memiliki persyaratan teknis sebagai berikut:

- a. Penggolongan jalan sesuai dengan peruntukan jalan, sistem jaringan jalan (SJJ), status, fungsi jalan, kelas jalan berdasarkan penggunaannya, dan kelas jalan berdasarkan SPPJ.
- b. Persyaratan Geometrik jalan,
- c. MST (Muatan sumbu terberat), volume lalu lintas, dan kapasitas jalan,
- d. Dimensi jalan,
- e. Ruang jalan,
- f. Bangunan pelengkap jalan (Bangkapja) dan perlengkapan jalan.

2.7.1 Kecepatan Desain

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021 (2021: 43), Penetapan V_D akan menjadi dasar pemilihan parameter Geometrik yang lain sehingga V_D disebut sebagai kriteria utama desain Geometrik jalan. Pertimbangan utama dalam memilih V_D adalah:

- a. Memungkinkan kendaraan desain melintas dengan aman dan nyaman pada batas-batas kecepatan operasional yang ditentukan, dalam cuaca yang cerah, arus lalu lintas yang kepadatannya sedang, dan gangguan dari jalan masuk yang dapat diabaikan.
- b. Mempertimbangkan fungsi jalan dan dipilih V_D tertinggi dari rentang nilai V_D yang diizinkan (lihat Tabel 2.3), kecuali dipilih yang lebih rendah karena pertimbangan keselamatan, ekonomi (termasuk ketersediaan dana), lingkungan, dan kemudahan konstruksi.
- c. Mempertimbangkan medan jalan (datar, bukit, dan gunung).
- d. Mempertimbangkan karakter pengemudi.
- e. Pada ruas jalan yang akan ditingkatkan di masa yang akan datang atau pelaksanaan konstruksi bertahap, maka V_D yang dipilih hendaknya yang sesuai dengan V_D di masa yang akan datang (akhir usia desain final)

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No.13/P/BM/2021, Tabel 2.3 dapat 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 padanan antar pengelompokan jalan berdasarkan SJJ, Fungsi, Status, Kelas, dan SPPJ serta tipe jalan dan rentang V_D

SJJ	Peran menghubungkan	Pengelompokan fungsi Jalan	Status dan Penyelenggara jalan	Kelas jalan			SPPJ	Tipe jalan (paling kecil)	Rentang V_D , Km/Jam			Keterangan	
				I	II	III			Datar	Bukit	Gunung		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	
	Jalan Tol		Jalan Nasional	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	
	IKP - IKN	Jalan Arteri Primer	(Pemerintah Pusat)	x	x	x	JRY	4/2-T	60 - 100	50 - 90	40 - 80		
	IKP - IKP		(Jalan Perintis dan Ex jalan daerah)	x	x	x	JRY	4/2-T					
	IKP - IKP		(Jalan perintis dan Ex jalan daerah)	-	-	x	JLR	2/2-TT	15 - 60	15 - 50	15 - 40		
	IKP -IKP	Jalan Kolektor Primer	Jalan Nasional	x	x	x	JRY	4/2-T	40 - 80	30 - 70	20 - 60		
	IKP - IKP		(Jalan perintis dan Ex jalan daerah)	-	-	x	JLR	2/2-TT	15 - 40	15 - 40	15 - 40		
	IKP - IKK/KT	Jalan Lokal Primer	Jalan Provinsi	x	x	x	JSD	2/2-TT					
	IKK -IKK		(Pemerintah Provinsi)	x	x	x	JSD	2/2-TT	40 - 80	30 - 70	20 - 60		
	KT - KT				-	x	x	JSD	2/2-TT				
	IKK - IKC				-	x	x	JSD	2/2-TT				
	IKK - PD				-	-	x	JSD	2/2-TT				

SJJ	Peran menghubungkan	Pengelompokan fungsi Jalan	Status dan Penyelenggara jalan	Kelas jalan			SPPJ	Tipe jalan (paling kecil)	Rentang V_D , Km/Jam			Keterangan	
				I	II	III			Datar	Bukit	Gunung		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	
	IKC - IKC			-	-	x	JKC	2/2-TT	20 - 60	20 - 50	20 - 40	<ul style="list-style-type: none"> - KS3 = Kawasan Sekunder3 -KS_n = Kawasan Sekunder ke-n; - Prm = Perumahan/Persil - Semua jalan Antar kota yang masuk ke dalam kota, pengelompokannya dari SJJ primer berubah menjadi SJJ sekunder, adapun jalan-jalan lainnya yang sudah ada di dalam kota masuk ke dalam SJJ sekunder dan klasifikasi fungsinya ditetapkan sesuai perannya - Khusus untuk keluarga Jalan Nasional, Jalan 	
	IKC - PD			-	-	x	JKC	2/2-TT					
	PD - PD			-	-	x	JLR	2/2-TT					
	PD - DS	Jalan Lingkungan Primer	Jalan Kabupaten (Pemerintah Kabupaten)	-	-	x	JLR	1/2	15 - 30	15 - 30	15 - 30		
	DS - DS			-	-	x	JLR	1/2					
	Jalan Tol	Jalan Arteri Sekunder	Jalan Nasional (Pemerintah Pusat)	x	-	-	JBH	4/2-T	60 - 100				
	KP - KS1	Jalan Arteri Sekunder	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				
	KS _n - Prm				-	-	x	JLR	2/2-TT	10 - 20			

SJJ	Peran menghubungkan	Pengelompokan fungsi Jalan	Status dan Penyelenggara jalan	Kelas jalan			SPPJ	Tipe jalan (paling kecil)	Rentang V_D , Km/Jam			Keterangan
				I	II	III			Datar	Bukit	Gunung	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	Prm - Prm	Jalan Lingkungan Sekunder		-	-	x	JLR	2/2-TT				Provinsi, dan Jalan Kabupaten yang dipersiapkan sebagai calon Jalan Nasional, calon Jalan Provinsi, dan calon Jalan Kabupaten dikategorikan masing-masing dengan sebutan Jalan Strategis Nasional, Jalan Strategis Provinsi, dan Jalan Strategis Kabupaten.

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Berdasarkan Tabel 2. 3, pemilihan V_D yang definitif tergantung kepada visi atau kebutuhan membangun jalan, pilihan terbaik adalah V_D tertinggi dalam rentang penggolongannya, tetapi konsekuensinya yaitu akan membutuhkan biaya yang besar.

2.7.2 Kriteria Desain Utama

Berdasarkan pedoman, V_D ditetapkan langsung dari rentangnya sesuai dengan Tabel 2.4. Jika tidak ada pertimbangan lain di awal desain, pilih v_D tertinggi lalu evaluasi biaya konstruksinya (atau hal lainnya) setelah seluruh desain Geometriknnya selesai. Jika hasil evaluasi dapat diterima, maka desain Geometrik dengan V_D yang dipilih dapat ditetapkan. Tetapi jika tidak, pilih nilai V_D lain yang lebih rendah lalu proses desain diulang dan diakhiri dengan evaluasi. Demikian proses seterusnya sampai ditemui desain yang dapat diterima. Untuk Menentukan kriteria desain utama dapat dilihat pada Tabel 2.4 (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 , lihat Tabel 2.3, Km/Jam	Datar	80 - 120	15 - 100				10 – 60
	Bukit	70 - 110	15 - 90				
	Gunung	60 - 100	15 - 80				
Kelas penggunaan jalan		I	I	II	III	JLR	I, II, III
Kelandaian	Datar	4	6	6	6	6	5
Memanjang, G,	Bukit	5	8	8	8	10	
Paling tinggi, %	Gunung	6	8	10	12	15	
Superelevasi (e), %, paling tinggi		8					
Kekesatan melintang, paling tinggi, (fmaks)		Lihat diagram faktor kekesatan melintang sebagai fungsi dari kecepatan Gambar 3.10					
Kekesatan memanjang		0,35 untuk MP dan 0,29 untuk Truk (lihat sub-bab 2.9)					
Rmin lengkung Horizontal		$R_{min} = \frac{V_D^2}{127(f_{max} + e_{max})}$					
Rmin lengkung Vertikal		$R_{min} = f\{V_D; K\}$					
Rmin lengkung Vertikal cekung							

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Keterangan :

K = nilai kontrol untuk lengkung vertikal cekung atau lengkung vertikal cembung

2.7.3 Kriteria Desain Teknis

Kriteria desain teknis jalan merupakan turunan dari desain utama yang bertujuan untuk menetapkan dimensi penampang melintang jalan, meliputi jalur lalu lintas, bahu, median (jika ada), pilihan perkerasan jalan, dan ruang jalan. Masukan utama dalam menetapkan dimensi ini yaitu volume lalu lintas desain yang ditetapkan melalui suatu kajian transportasi atau dari analisis terhadap data lalu lintas yang tersedia.

2.7.3.1 Arus Lalu Lintas Jam Desain

Arus lalu lintas jam desain (q_{JD}) merepresentasikan jalur lalu lintas yang didesain agar mampu melayani arus lalu lintas selama umur desainnya. Manfaat dari hasil survei lalu lintas yaitu didapatnya nilai jumlah kumulatif ekuivalen beban standar (*CESA*) sebagai dasar mendesain perkerasan jalan. Perhitungan LHRT (Laju harian rata tahunan) tahun berjalan ke akhir tahun pelayanan, dapat dilakukan dengan Persamaan (2.2) sebagai berikut :

$$LHRT_D = LHRT_{TB} \times (1 + i)^n \quad (2.2)$$

Keterangan :

LHRTD = Volume lalu lintas harian rata-rata tahunan desain

LHRTTB = Volume lalu lintas harian rata-rata pada tahun berjalan

i = Faktor pertumbuhan lalu lintas, gunakan nilai yang disepakati, nilai tipikal yang sering digunakan berkisar antara 5,5% s.d. 10%

n = Umur desain, tahun

q_{JD} ditetapkan dari persamaan sebagai berikut.

$$q_{JD} = LHRTD \times K \quad (2.3)$$

Keterangan :

K = Faktor jam desain, nilai tipikalnya adalah 8% - 11% untuk jalan yang padat dan 7% s.d. 15% untuk jalan yang kurang padat seperti jalur pariwisata, jalur luar kota.

Untuk menetapkan kriteria desain teknis lainnya, seperti dimensi jalan (lebar jalur dan kemiringan melintang, bahu dan kemiringan melintang, median jika ada, saluran tepi jalan, ambang pengaman) dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Pilihan kriteria desain teknis dalam menetapkan tipe jalan sesuai dengan qJD dan pilihan tipe perkerasan untuk jalan Antar kota.

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
qJD, SMP/Jam	Datar	300SM	600	1.190	1.190	2.240	2.240	2.640	2.850	3.030	3.190	4.900	5.490	5.880	6.200	6.460	9.700	
	Bukit	240SM	480	1.150	1.860	2.170	2.320	2.500	2.750	2.930	3.090	4.800	5.350	5.720	6.040	6.290	9.400	
	Gunung	180SM	360	1.110	1.800	2.100	2.240	2.400	2.660	2.830	2.980	4600	5.200	5.570	5.880	5.760	9.200	
Tipe Jalan		2/2-TT	2/2-TT									4/2-TT	4/2-TT				6/2-T	
Lebar jalur LL, m		3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	2x5,5	2x5,5	2x6,0	2x6,5	2x7,0	2x10,5	
	Lebar bahu luar (LBL), pada jalan baru, m	0,5	2,0									2,0						
	LBL pada rekonstruksi jalan lama, m	0,5	1,5									1,5						
	Kemiringan melintang, %	6	6									6						
Saluran tepi jalan		0,5	1,5									1,5						
Ambang pengaman		0,5	1,0									1,0						
Lebar Median (LM) dan Bahu Dalam (LBD), m	Median direndahkan	Tanpa median	Tanpa median									- LM = 9,0m & LBD = 1,0m (untuk VD≤60Km/jam) - LM = 9,0m & LBD = 1,5m (untuk VD>60Km/jam)						
	Median ditinggikan											- LM = 1,5 & LBD = 0,5m (untuk VD≤60Km/jam, tinggi = kerb, lebar = 0,5m) - LM = 1,8m & , LBD = 0,5m (utk VD≤60Km/jam dan dipakai lapak penyeberangan selebar 0,8m)						

(1)		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	
qJD, SMP/Jam	Datar	300SM	600	1.190	1.190	2.240	2.240	2.640	2.850	3.030	3.190	4.900	5.490	5.880	6.200	6.460	9.700	
	Bukit	240SM	480	1.150	1.860	2.170	2.320	2.500	2.750	2.930	3.090	4.800	5.350	5.720	6.040	6.290	9.400	
	Gunung	180SM	360	1.110	1.800	2.100	2.240	2.400	2.660	2.830	2.980	4600	5.200	5.570	5.880	5.760	9.200	
Tipe Jalan		2/2-TT	2/2-TT									4/2-TT	4/2-TT				6/2-T	
														- LM = 2,0m & LBD = 0,75m (untuk VD>60Km/jam, ditinggikan setinggi 1,1m selebar 0,5m)				
teknis (contoh): (Detail desain perkerasan mengacu pada Memual Desain Perkerasan jalan, DJBM, 2017)	Sirtu; Urpil; Awcas; Kerikil; Nacas; Burtu; Burda	Single Penmac; Double Penmac; Butas	HRS; HRSSA; SS; MS; AC		AC; MA; DOGEM; SMA		AC; HSWC Super-Pave Rigid					AC; HSWC Super-Pave Rigid						
	Umur desain	5	10	15	20			20					20					
	Kemiringan melintang normal, %	4	3						2					2				
	Kemiringan melintang normal, %	12	8 (VD≤20Km/Jam); 6 (VD≤40Km/Jam); 4 (VD = 60Km/Jam); 2,5 (VD = 80Km/Jam); 1,5 (VD = 100Km/Jam); 1,0 (VD = 120Km/Jam)															
	RCI *)	Sedang	Sedang					Sedang s.d. Baik					Baik					
Rumaja, m		6,5	10	10,5	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	28,0	
Rumija, m	JSD	6,5	15,0								16,0	17,0	25,0	25,0	25,0	25,0	30,0	
	JKC		11,0			11,5	12,0	15,0	15,0	15,0	16,0	17,0						
Ruwasja **), m		-	Arteri primer = 15m; Kolektor primer = 5,0m; Lokal primer = 3,0m; Lingkungan primer = 2,0m; Jembatan = 100,0m															

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Keterangan:

*) Harus dipenuhi pada konstruksi jalan baru atau pada rekonstruksi jalan lama.

**) Ruwasja diadakan apabila Rumija tidak cukup luas untuk memenuhi jarak pandang, pengamanan konstruksi, pemenuhan fungsi jalan, dan rubeja dihitung dari batas terluar badan jalan ke sebelah luar

2.7.4 Kendaraan Desain

Setelah kelas penggunaan jalan telah ditetapkan, maka selanjutnya menetapkan kendaraan desainnya. Setiap elemen Geometrik jalan harus dapat melayani pergerakan kendaraan yang diwakili oleh kendaraan desain yang dipilih, untuk menentukan kendaraan desain yang akan dipilih dan data teknis kendaraan terdapat dalam Tabel berikut Tabel 2.6

Tabel 2. 6 Dimensi dan Radius putar kendaraan desain sesuai Kelas Penggunaan Jalan

NO	Jenis – jenis Kendaraan	Dimensi Kendaraan			Jarak Antar Sumbu m	Jalur		RPM m	RPK m	R _{maks} m	R _{mim} pada sudut balok kendaraan				
		Panjang	Lebar	Tinggi		Depan	Belakang				25°	45°	90°	135°	180°
		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	2.00	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
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															

NO	Jenis – jenis Kendaraan	Dimensi Kendaraan			Jarak Antar Sumbu	Jalur		RPM	RPK	R _{maks}	R _{mim} pada sudut balok kendaraan				
		Panjang	Lebar	Tinggi		Depan	Belakang				25°	45°	90°	135°	180°
		m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
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	6.00	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
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+2.2)	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

Catatan : RPM = Radius minimum ban kendaraan pada sumbu depan terluar

R_{mim} = Radius putar minimum ban kendaraan pada sumbu paling belakang sebelah dalam

RPK = Radius putar pusat sumbu depan kendaraan

R_{maks} = Radius putar badan kendaraan depan terluar

2.8 Penentuan Koridor

2.8.1 Kajian Koridor

Setelah mendapatkan hasil proses evaluasi medan yang berupa laporan yang mencakup pengidentifikasian kelebihan dan kekurangan alinyemen dalam koridor yang telah dipilih, dengan syarat laporan tersebut harus memenuhi tiga kriteria berikut:

- Daerah yang dipertimbangkan mempengaruhi desain jalan tersebut,
- Sekurang-kurangnya kajian meliputi 3 alinyemen alternatif,
- Mengidentifikasi semua jenis guna lahan dalam koridor.

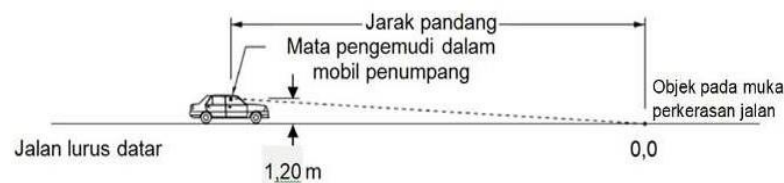
2.8.2 Pertimbangan dalam merancang laporan evaluasi medan

Dalam Menyusun laporan evaluasi medan harus mempertimbangkan beberapa hal diantara-Nya daerah rawan gempa bumi, sungai dan daerah aliran sungai, kondisi geologi, topografi, kondisi iklim dan vegetasi.

2.9 Jarak Pandang dan Jarak Ruang Bebas Samping di Tikungan

2.9.1 Jenis-jenis jarak pandang

Jarak pandang yang harus ada di jalan harus mencukupi kemampuan kendaraan yang berjalan pada kecepatan desainnya dan berhenti sesaat sebelum mencapai objek atau halangan yang ada pada lajur jalannya. Berikut ilustrasi konsep jarak pandang yang didasarkan pada V_D , disajikan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Jarak Pandang

(Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*)

a. Jarak Pandang Henti (JPH)

Klasifikasi pertama dalam jarak pandang yaitu jarak pandang henti (JPH). Menurut Sukirman (1999: 51) “Jarak pandang henti adalah jarak yang ditempuh pengemudi untuk dapat menghentikan kendaraannya. Guna memberikan keamanan pada pengemudi kendaraan”. Ketentuan teknis untuk JPH adalah setiap jalan antar kota, jalan perkotaan, dan

JBH, pada seluruh panjang alinyemen jalannya baik pada bagian lurus maupun tikungan harus memenuhi JPH.

1. Jarak pandang henti mobil penumpang

Gambar 2.4 mengilustrasikan bagian-bagian JPH yang terdiri dari jarak waktu reaksi pengemudi (JPH) dan jarak pengereman (JHF). Tabel 2.7 dan tabel 2.8 menunjukkan nilai JPH untuk desain yang berdasarkan pada waktu reaksi 2,5 detik, perlambatan longitudinal 3,4 m/detik², dan koreksi tambahan jarak pandang pada kelandaian menurun atau pengurangan jarak pandang pada kelandaian menaik. Nilai-nilai dalam tabel tersebut dihitung berdasarkan Persamaan (2.4).

$$J_{PH} = \frac{V_D t}{3.6} + \frac{V_D^2}{2 \times 3.6^2 \times 9.81 \left(\frac{a}{9.81} \pm G \right)} = 0.278 V_D t + 0.039 \frac{V_D^2}{254 \left(\frac{a}{9.81} \pm G \right)} \quad (2.4)$$

Keterangan:

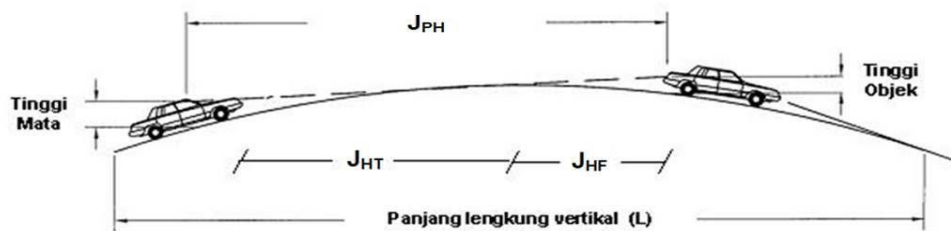
JPH = Jarak pandangan henti, m.

T = Waktu reaksi, 2.5 detik;

VD = Kecepatan desain, Km/Jam;

a = Perlambatan longitudinal, m/det²

G = Kelandaian memanjak jalan, 0.05 (= 5%), tanda positif untuk menanjak.



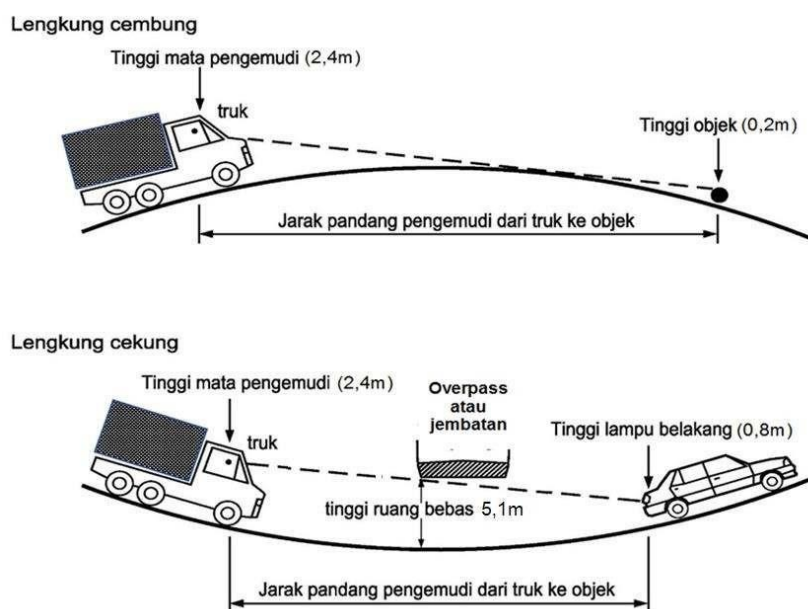
Gambar 2.4 Konsep JPH

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*

2. Jarak pandang henti truk

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021 (2021: 76), ada beberapa lokasi pada jalan baru yang harus dipertimbangkan untuk memenuhi JPH truk karena berbahaya, diantara-Nya:

- a) Menjelang daerah yang memerlukan perubahan kecepatan seperti pada titik-titik lengkung-lurus-lengkung pada tikungan gabungan dan lajur perlambatan.
- b) Menjelang daerah perlunya penyatuan (*merging*), seperti lajur yang terputus (*drop-off*).
- c) Menjelang zona konstruksi, khususnya dimana permukaan berubah dari yang terdapat lapis penutup (*sealed*) ke permukaan tanpa lapis penutup (*unsealed*).
- d) Jarak pandang melalui underpass.
- e) Menjelang pelintasan Kereta Api.
- f) Persimpangan dengan jarak pandang samping terbatas, seperti pada persimpangan di wilayah perkotaan, sekitar pertokoan atau yang 38 banyak bangunan-bangunan, pada medan berbukit, didekati tiang jembatan, dan lain-lain.
- 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.



Gambar 2. 5 JPH untuk Truk

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Tabel 2. 7 JPH Mobil penumpang pada kelandaian Datar, Menurun dan Menanjak.

V_D (Km/Jam)	Jht (m)	Jhf (m)	JPH (dibulatkan), m						
			Datar	Menurun			Menanjak		
			Grade: 0%	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	13.9	4.6	20	20	20	21	19	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	43a
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 : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Tabel 2. 8 JPH Truk pada kelandaian normal dan koreksi kelandaian.

V_D (Km/Jam)	Jarak reaksi*)	Jarak rem*) (m)	JPH (normal)	JPH (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	1100	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

Catatan : *) Berdasarkan waktu reaksi 2,5 detik dan perlambatan 2,84 m/detik²

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

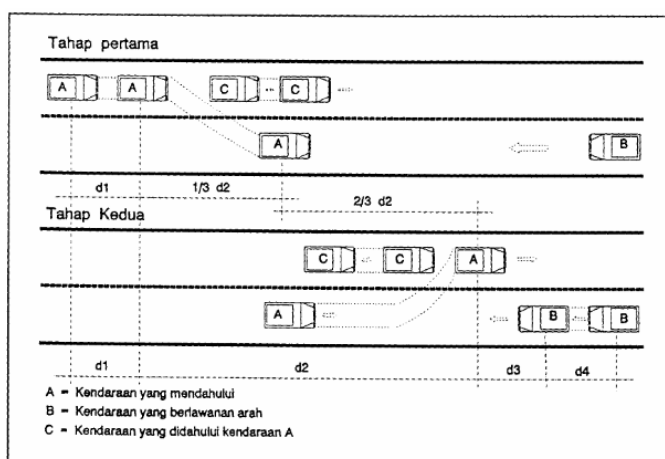
b. Jarak Pandang Mendahului (JPM)

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021 (2021: 78), JPM diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi 120cm dan tinggi halangan (objek) di muka jalan 120cm.

$$J_{PM} = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad (2.5)$$

Keterangan:

- d1 = Jarak yang ditempuh selama waktu tangkap (m)
- d2 = Jarak yang di tempuh selama mendahului sampai dengan kembali ke lajur semula (m)
- d3 = Jarak kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai (m)
- d4 = Jarak yang di tempuh oleh kendaraan yang datang dari arah berlawanan, yang besarnya ditetapkan sama dengan $\frac{2}{3} d_2$ (m)



Gambar 2. 6 Proses gerakan mendahului (2/2 TB)

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Tabel 2. 9 Elemen JPM untuk jalan 2/2-TT.

Komponen dari manuver mendahului	Rentang kecepatan arus (Km/Jam)			
	50-65	66-80	81-95	96-110
	Kecepatan rata-rata mendahului (Km/Jam)			
	56.2	70.0	84.5	99,8
Awal manuver:				
a = percepatan rata-rata	2.25	2.30	2.37	2.41
t1 = waktu (detik)	3.6	4,0	4.3	4.5
d1 = jarak yang ditempuh	45	66	89	113
Keberadaan pada lajur kanan:				
t2 = waktu (detik)	9.3	10.0	10.7	11.3

Komponen dari manuver mendahului	Rentang kecepatan arus (Km/Jam)			
	50-65	66-80	81-95	96-110
	Kecepatan rata-rata mendahului (Km/Jam)			
	56.2	70.0	84.5	99,8
d2 = jarak yang ditempuh	145	195	251	314
Panjang yang diizinkan: d3 = jarak yang ditempuh	30	55	75	90
Kendaraan arah berlawanan: d4 = jarak yang ditempuh	97	130	168	209
JPM = d1+d2+d3+d4	317	317	583	726

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Tabel 2. 10 Jarak Pandang Henti (JPM)

V_D (Km/h)	Asumsi kecepatan kendaraan dalam arus (Km/Jam)		JPM (pembulatan) (m)
	Kendaraan didahului	Kendaraan didahului	
30	29	44	200
40	36	51	270
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	66	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

c. Ruang bebas samping di tikungan

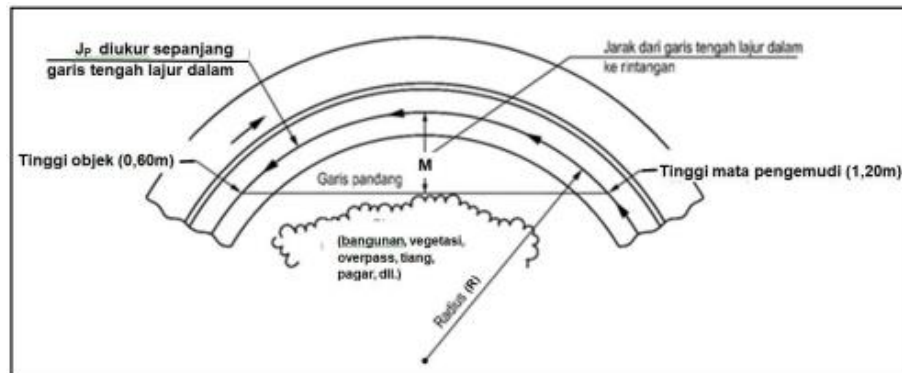
Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021 (2021: 83), ruang bebas samping di tikungan merupakan jarak yang perlu dijaga bebas pandang sehingga pengemudi dapat melihat objek di jalan atau mobil di seberang tikungan dengan jelas. Besarnya ruang yang harus dijaga bebas dari halangan tersebut tergantung pada radius tikungan dan kecepatan desain. Tabel 2.11 menunjukkan hubungan antara radius lengkung horizontal, jarak pandang henti (JPH), dan jarak ruang bebas samping di tikungan (M) yang diperlukan bagi pengemudi agar bisa melihat objek pada

jarak pandang hentinya dengan aman. Gambar 2.6 mempresentasikan tabel 2.11 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.

Tabel 2. 11 Jarak ruang Bebas Samping (M) di tikungan untuk pemenuhan JPH

VD (Km/Jam)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
JPH (m)	19	32	48	65	86	108	133	161	190	223	257
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	6.87
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	3.68	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	3.16									
30	1.49	4.17									
20	2.21										

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021



Gambar 2. 7 Ruang Bebas Samping di Tikungan

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*

Catatan: Posisi mata pengemudi:

1. Mobil penumpang: di tengah lajur
2. Truk yang membelok ke kiri : 1,15 m dari tepi kanan lajur
3. Truk yang membelok ke kanan: 2,85 m dari tepi lajur

Untuk menentukan jarak bebas bagi truk (M):

1. Gunakan JPH truk dan radius garis tengah lajur
2. Untuk truk membelok ke kiri kurangi, 0,30 m dari perhitungan Langkah 1
3. Untuk truk membelok ke kanan, tambahkan 0,55 m dari perhitungan Langkah 1

M dan JP dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.6) dan (2.7) (gunakan formula ini jika $JP \leq$ panjang lengkung)

$$M = R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28.65 J_P}{R} \right) \right\} \quad (2.6)$$

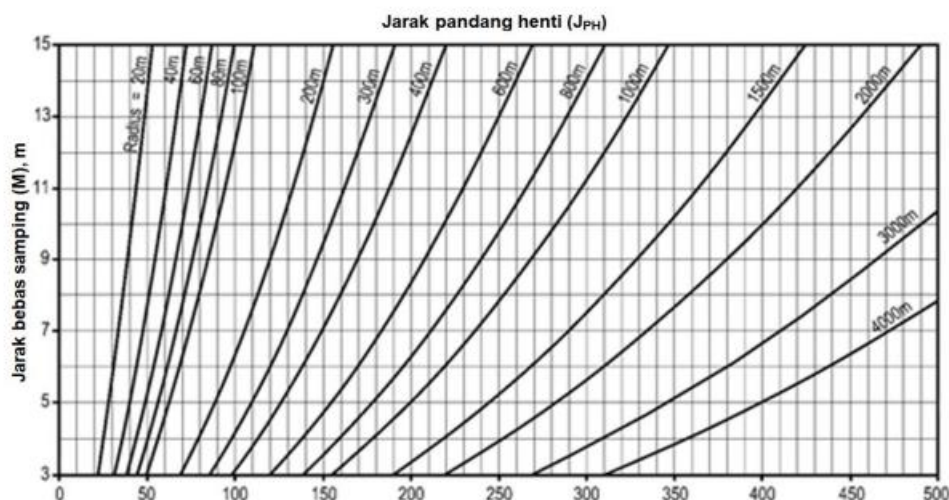
$$J_P = \frac{R}{28.65} \left\{ \cos^{-1} \left(\frac{R - J_P}{R} \right) \right\} \quad (2.7)$$

Keterangan:

M = Jarak bebas samping di tikungan, m

R = Radius di pusat lajur sebelah dalam, m

JP = Jarak pandang (JPH atau JPM), m



Gambar 2. 8 Jarak ruang bebas samping di tikungan

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.10 Alinyemen Horizontal

Dalam perencanaan alinyemen horizontal, umumnya terdapat dua bagian jalan yang harus dipertimbangkan, yaitu bagian lurus dan bagian lengkung atau yang sering disebut sebagai tikungan. Saodang. (2010; 57) mengungkapkan bahwa alinyemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal, terdiri dari bagian lurus dan lengkung, dikenal juga dengan nama situasi jalan atau trase jalan. Alinyemen horizontal terdiri dari garis-garis lurus yang dihubungkan dengan garis-garis lengkung. Garis lengkung tersebut dapat terdiri dari busur lingkaran ditambah busur peralihan, busur peralihan saja ataupun busur lingkaran saja.

2.10.1 Tahapan Desain

2.10.2 Lengkung Horizontal

Jenis-jenis lengkung horizontal dikelompokkan ke dalam beberapa jenis sebagai berikut:

2.10.2.1 Tikungan Dengan Kurva Lingkaran

Desain kurva jalan harus didasarkan pada hubungan antara kecepatan desain, kelengkungan tikungan, Superelevasi, dan gesekan melintang jalan antara ban kendaraan dengan perkerasan jalan. Hubungan ini berasal dari hukum mekanika yang nilai-nilai variabelnya tergantung pada nilai praktis dan faktor-faktor empiris pada rentang variabel yang digunakan.

Dari hukum mekanika, Persamaan (2.8) adalah rumus dasar pengoperasian kendaraan pada kurva.

$$\frac{v^2}{R}(e+f)g \quad (2.8)$$

Persamaan (2.7) diubah susunannya dan disesuaikan satuannya menjadi persamaan (3.8).

$$R = \frac{v^2}{(e+f)g} = \frac{V^2}{127(e+f)} \quad (2.9)$$

Keterangan:

- v = Kecepatan kendaraan, dalam satuan m/detik
- V = Kecepatan kendaraan, dalam satuan Km/jam
- R = Radius tikungan, m
- E = Superelevasi perkerasan, m/m
- f = Kekesatan melintang antara ban dan perkerasan
- g = Percepatan konstan gravitasi, 9,81 m/detik.

2.10.2.2 Tikungan Gabungan Balik (kurva S)

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021 (2021: 92), tikungan gabungan balik adalah alinyemen horizontal berbentuk huruf S yang dibentuk dari gabungan dua tikungan sederhana yang berlawanan arah dan dihubungkan pada titik singgung baik di akhir maupun di awal busur lingkaran atau lengkung peralihan. Tikungan tersebut juga bisa disambung oleh bagian lurus yang pendek. Di bawah ini beberapa ketentuan untuk diikuti dalam mendesain tikungan gabungan balik:

- a. Tikungan-tikungan yang membentuk tikungan gabungan hendaknya dihindari sebisa mungkin. Namun jika tidak bisa dihindari, maka jarak antar tikungan (bagian lurus) sebaiknya tidak kurang dari $0,7 V_D$, karena pada jalan dua lajur dua arah hal ini akan menghasilkan/mencapai kemiringan melintang normal.
- b. Jika antar tikungan dihubungkan dengan lengkung peralihan, maka penggunaan lengkung peralihan akan memberikan peralihan yang halus dan stabil saat perubahan arah Superelevasi.
- c. Jika antar tikungan tidak dihubungkan dengan lengkung peralihan,

maka antar tikungan dipisahkan oleh bagian lurus yang panjangnya tidak kurang dari $0,3 V_D$ bagi setiap tikungan tanpa peralihan.

- d. Radius tikungan pada tikungan yang digabungkan, hendaknya lebih besar dari radius minimum untuk Superelevasi datar ($e = 0$), sesuai dengan Persamaan (2.10).

$$R = \frac{V_D}{127} f_{max} \quad (2.10)$$

- e. Keterangan: f_{max} adalah kekesatan melintang paling besar
- f. Jika suatu tikungan gabungan balik harus mengakomodasi pergerakan truk, maka hendaknya disambungkan oleh bagian lurus yang panjangnya paling sedikit $0,6 V_D$, (akan lebih besar baik jika $> 0,7 V_D$), atau dilengkapi oleh lengkung peralihan. Pada saat truk menghadapi kurva beradius lebih kecil, maka diperlukan jarak yang memadai bagi pengemudi untuk bereaksi dan memperlambat kendaraannya.

2.10.2.3 Panjang bagian alinyemen yang lurus

Dalam membuat desain alinyemen jalan yang lurus perlu mempertimbangkan beberapa faktor karena jalan lurus dan panjang dalam waktu berkendara yang lama dengan kecepatan tinggi dan tingkat konsentrasi yang tinggi, cenderung menyebabkan kelelahan dan mengantuk. Pertimbangan tersebut diantara-Nya:

- Silau sorotan lampu di malam hari dari kendaraan yang berlawanan arah menjadi mengganggu pada jarak lebih dekat dari 3.000 m.
- Pada jarak lebih dari 2.500 m, pengemudi akan sulit memperkirakan kecepatan kendaraan yang datang dari arah berlawanan, tanpa komponen visual dari samping seperti saat kendaraan berada ditikungan, dan
- Silai sinar matahari pagi dan sore pada jalan dengan sumbu alinyemen arah timur-barat yang bisa menyilaukan mata pengemudi.

2.10.2.4 Radius maksimum yang memerlukan lengkung peralihan (spiral)

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021 (2021: 94), Pada busur lingkaran dengan radius lebih besar dari nilai-nilai yang ditunjukkan dalam Tabel 2.12 tidak diperlukan lengkung peralihan. Nilai-nilai

dalam tabel tersebut didasari atas kombinasi kecepatan operasi, radius lengkungan, panjang minimal lengkung peralihan, panjang lengkung peralihan yang dikehendaki untuk runoff Superelevasi, dan kebutuhan akan lengkung peralihan jika pergeseran lengkung peralihan lebih besar dari 0,25-0,30 m.

Tabel 2. 12 Radius Maksimum yang memerlukan Lengkung Peralihan

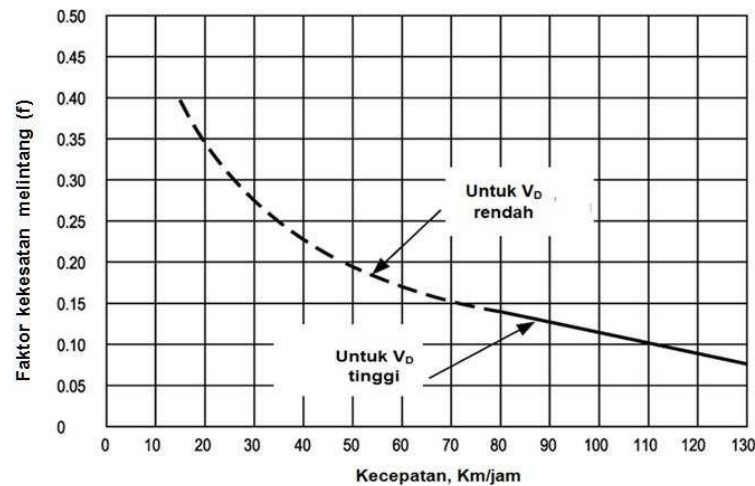
Kecepatan Operasi (Km/Jam)	Radius Maksimum yang memerlukan Lengkung Peralihan (m)
20	24
30	54
40	95
50	148
60	213
70	213
80	379
90	480
100	480
110	716
120	852

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.10.2.5 Kekesatan melintang

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021 (2021: 95), Faktor kekesatan kearah samping (kekesatan melintang) bervariasi terhadap kecepatan desain yaitu dari 0,18 untuk kecepatan 20 Km/jam, hingga sekitar 0,15 untuk kecepatan 70 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.

Faktor kekesatan menyamping dapat bervariasi tergantung pada jenis dan kondisi permukaan jalan, perilaku pengemudi dan jenis serta kondisi ban. Nilai-nilai faktor gesekan samping pada Gambar 2.9. Direkomendasikan untuk digunakan dalam mendesain kurva horizontal.



Gambar 2. 9 Faktor Kekesatan Melintang

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.10.2.6 Radius minimum untuk Nilai Superelevasi Desain

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021: 96), R_{min} lengkung horizontal untuk kecepatan desain yang ditetapkan dan emax untuk rentang tipikal Superelevasi emax 4%, 6%, dan 8% ditunjukkan dalam tabel 2.13.

2.10.2.7 Turunan curam

pada kondisi turunan sebagian besar pengendara diperkirakan akan melaju lebih cepat dari kecepatan desain sehingga R_{min} hendaknya diperpanjang 10% untuk setiap turun 1% pada kelandaian memanjang jalan yang melebihi 3%.

Tabel 2. 13 R_{min} Lengkung Horizontal berdasarkan emax dan f yang ditentukan

V_D (Km/jam)	Kekesatan samping (f)	emax = 4%	emax = 6%	emax = 8%
		R_{min} (m)	R_{min} (m)	R_{min} (m)
20	0,18	15	15	10
30	0,17	35	30	30
40	0,17	60	55	50
50	0,16	100	90	80
60	0,15	150	150	125
70	0,14	215	215	215
80	0,14	280	250	230
90	0,13	375	335	305
100	0,12	490	435	395
110	0,11	-	560	500
120	0,09	-	560	665

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Catatan: pemakaian $e_{max} = 4\%$, hanya terbatas untuk jalan pada kondisi perkotaan

2.10.2.8 Superelevasi

a. Metode pencapaian superelevasi

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021: 97), metode pencapaian Superelevasi didasarkan kepada hubungan curvilinear antara superelevasi dan kekesatan samping jalan dengan kebalikan radius lengkung. Metode ini berasumsi bahwa tidak semua pengendara berkendara berjalan dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan desain. Tabel 2.14 menunjukkan hubungan antara V_D dengan kecepatan tempuh rata-rata kendaraan ($V_{Tempuh\ rata-rata}$).

Tabel 2. 14 Hubungan V_D dengan $V_{Kecepatan\ tempuh\ rata-rata}$

VD (Km/Jam)	Tempuh Rata- rata 1) (Km/Jam)
20	20
30	30
40	40
50	47
60	55
70	63
80	70
90	77
100	85
110	91
120	98

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Catatan:¹⁾ merujuk pada Metode Distribusi Superelevasi dan Kekesatan Samping

b. Nilai Superelevasi Maksimum

Superelevasi maksimum yang diterapkan dalam perencanaan jalan adalah 8% untuk jalan Antar kota, Jalan Perkotaan, dan JBH (Permen PU No.19/PRT/ M/2011).

c. Nilai Superelevasi Minimum

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021: 98), 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 dengan curah hujan yang tinggi). Pada tikungan besar, kemiringan melintang jalan yang normal (*adverse*) hendaknya dipertimbangkan.

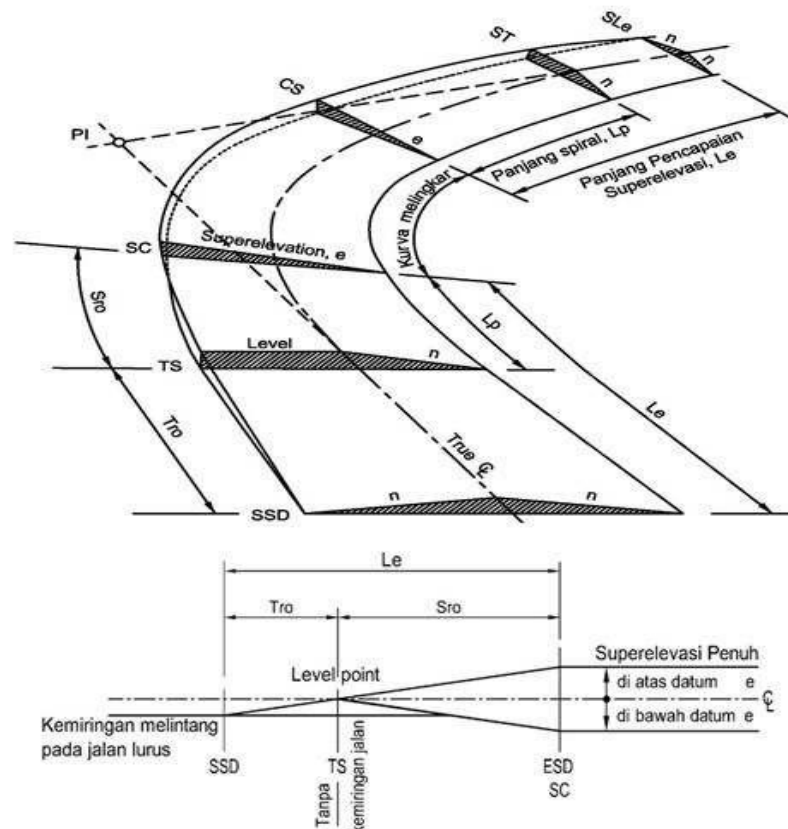
d. Penerapan Superelevasi

Untuk mengalirkan air diperlukan perkerasan jalur lalu lintas yang mempunyai kemiringan melintang. Perubahan ini terjadi karena 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 atau titik kemiringan melintang jalan 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 rotasi setiap setengah potongan melintang (termasuk bahu jalan) pada garis tengah atau sumbu rotasi.

e. Panjang Pencapaian Superelevasi

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021: 99), Panjang pencapaian superelevasi adalah transisi kemiringan melintang jalan dari kemiringan badan jalan normal pada bagian jalan lurus hingga kemiringan melintang jalan superelevasi penuh ada busur lingkaran. Panjang total yang diperlukan untuk pencapaian superelevasi disebut panjang pencapaian superelevasi (L_s).



Catatan: Kemiringan jalan diputar terhadap as jalan (centreline).

Keterangan:

- PI adalah *Point Intersection*, titik persimpangan *tangent* utama
- TS adalah *Tangent to Spiral*, titik pertemuan *tangent* dengan spiral
- SSD adalah *Start of Superelevation Development*, awal pencapaian superelevasi
- ESD adalah *End of Superelevation Development*, akhir pencapaian superelevasi
- SC adalah *Spiral to curve*, titik pertemuan spiral dengan *tangent*
- Lp adalah panjang *Spiral*
- Le adalah panjang pencapaian superelevasi
- n adalah kemiringan melintang normal
- e superelevasi muka perkerasan jalan
- Tro adalah *Tangent Runoff*
- Sro adalah *Superelevation Runoff*

Gambar 2. 10 Profil tipikal pencapaian superelevasi pada jalan dua lajur

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*

f. Laju Rotasi

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021: 100), laju rotasi perkerasan dibatasi tidak melampaui 2,5% per detik waktu tempuh pada kecepatan operasi. Panjang minimum pencapaian superelevasi untuk memenuhi kriteria laju rotasi yang sesuai bisa diturunkan dari Persamaan (2.11) berikut:

Laju rotasi 3,5% (0,035) radian/detik adalah sesuai untuk $VD < 80$ Km/jam.

Laju rotasi 2,5% (0,025) radian/detik adalah sesuai untuk $V_D \geq 80$ Km/jam.

$$L_{rr} = \frac{0.278(e_1 - e_2)V}{r} \quad (2.11)$$

Keterangan:

L_{rr} = Panjang pencapaian superelevasi berdasarkan kriteria laju rotasi

e_1 = Kemiringan melintang normal (%)

e_2 = Superelevasi penuh (%)

V = Kecepatan operasi (Km/jam) r adalah laju rotasi (%).

g. Kelandaian Relatif

Panjang *runoff* superelevasi hendaknya didasarkan atas perbedaan maksimum yang dapat diterima antara kelandaian memanjang sumbu rotasi dan tepi perkerasan. Sumbu rotasi biasanya menunjukkan garis tengah jalan tanpa pemisah jalan, bisa tepi dalam atau tepi luar perkerasan pada jalan yang dilengkapi median. Kelandaian ini bervariasi dengan kecepatan desain untuk memberikan panjang *runoff* pada kecepatan lebih tinggi dan lebih pendek pada kecepatan lebih rendah. Interpolasi kelandaian relatif yang diterima antara 0,80% dan 0,35% masing-masing untuk kecepatan desain 20 dan 130 Km/Jam memberikan kelandaian relatif maksimum untuk rentang kecepatan desain (Tabel 2.15).

Tabel 2. 15 Kelandaian Relatif Maksimum

V_D (Km/jam)	Kelandaian Relatif Maksimum (%)	Kemiringan Relatif Ekuivalen 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

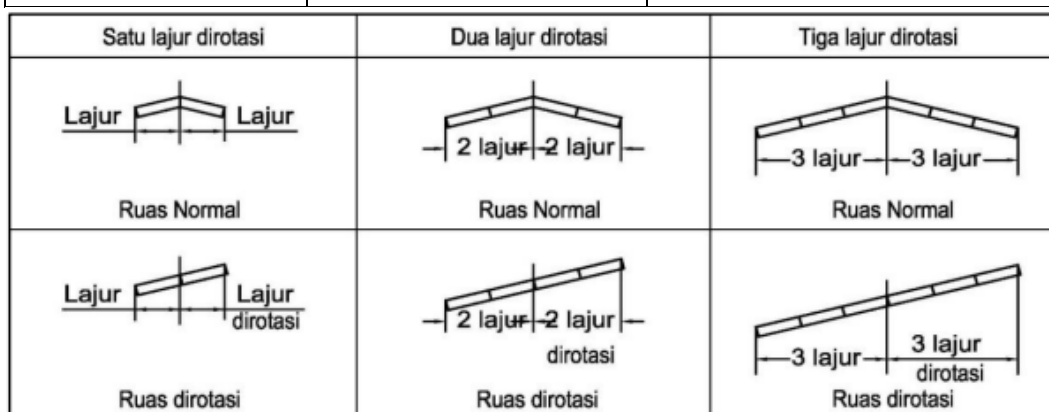
V_D (Km/jam)	Kelandaian Relatif Maksimum (%)	Kemiringan Relatif Ekuivalen Maksimum
120	0,38	1:263
130	0,35	1:286

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Jika ada beberapa lajur yang akan dirotasi, faktor-faktor penyesuaian berikut ini hendaknya diterapkan pada lajur-lajur yang akan dirotasi. Lihat Tabel 2.16.

Tabel 2. 16 Faktor Penyesuaian untuk Jumlah Lajur Rotasi

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



Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Gambar 2. 11 Faktor penyesuaian jumlah lajur dirotasi

Catatan: *) $bw = (1 + 0.5(n_1-1))/n_1$

h. Panjang pencapaian superelevasi

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021: 104), Panjang runoff superelevasi L_s dibawah ini berdasarkan lebar lajur yang bervariasi 3,5 m, 3,0 m dan 2,75 m. Untuk lebar lajur lainnya, panjang runoff yang sesuai bervariasi secara proporsional. Akan tetapi panjang runoff hendaknya digunakan untuk semua kasus

agar konsisten dan praktis.

Untuk mendapatkan panjang lengkung peralihan (*runoff*) dapat digunakan Persamaan (2.12)

$$L_s = \frac{wn_1 e_d}{\Delta} (b_w) \quad (2.12)$$

Keterangan:

L_s = panjang minimum lengkung peralihan (*runoff*), m

Δ = kelandaian relatif maksimum, %

n_1 = jumlah jalur yang diputar

b_w = faktor penyesuaian untuk jumlah jalur yang diputar

w = lebar satu jalur lalu lintas, m

e_d = tingkat superelevasi desain, %

Sehubungan dengan kondisi permukaan jalan yang mempunyai kemiringan normal berbeda maka disediakan tabel 2.17 panjang lengkung peralihan dengan 2 kategori:

1. Kemiringan melintang normal 2%
2. Kemiringan melintang normal 3%

Tabel 2. 17 Hubungan Ls (run-off) dengan VD (= Vr), untuk en = 3%, emax = 8%, pada jalan dengan lebar lajur = 3.5 m

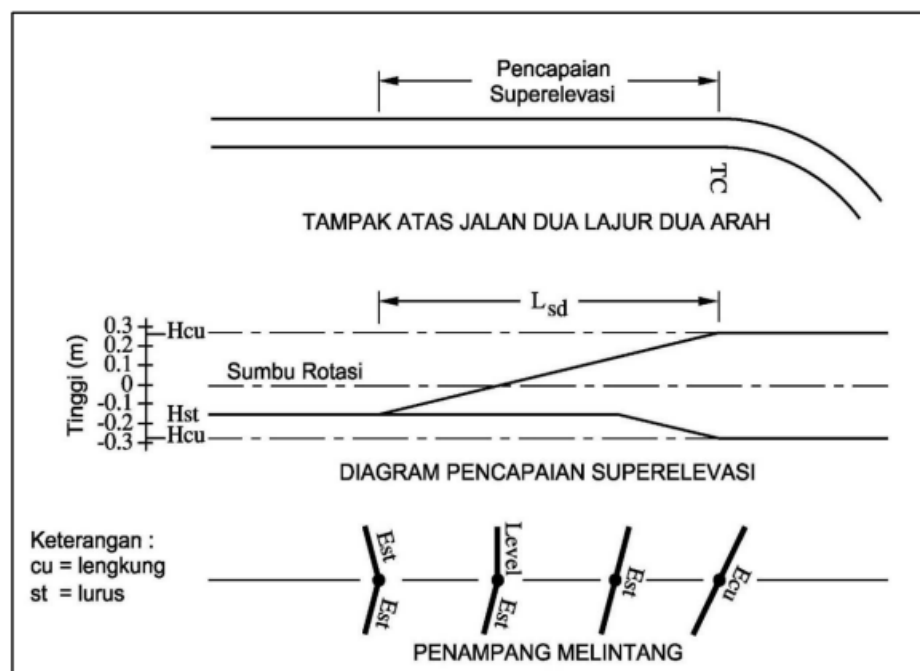
R (m)	Vr = 20 km/j		Vr = 30 km/j		Vr = 40 km/j		Vr = 50 km/j		Vr = 60 km/j		Vr = 70 km/j		Vr = 80km/j		Vr = 90 km/j		Vr = 100 km/j			Vr = 110 km/j			Vr = 120 km/j												
	e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)									
		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4	2	4	2	4				
		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	
7000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN										
5000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN										
3000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			RC	16	24	2.0	18	26	2.3	22	32								
2500	LN			LN			LN			LN			LN			RC	15	23	2.0	17	25	2.3	20	30	2.7	26	38								
2000	LN			LN			LN			LN			RC	14	21	2.1	16	24	2.5	20	30	2.8	25	37	3.3	31	46								
1500	LN			LN			LN			LN			RC	13	20	2.2	16	24	2.7	20	30	3.1	26	36	3.6	31	46	4.2	39	58					
1400	LN			LN			LN			RC	12	18	2.0	13	20	2.4	17	25	2.8	21	32	3.3	27	40	3.8	33	49	4.4	41	62					
1300	LN			LN			LN			RC	12	18	2.1	14	21	2.5	18	27	3.0	23	34	3.5	28	42	4.0	35	52	4.7	44	65					
1200	LN			LN			LN			RC	12	18	2.2	15	22	2.7	19	29	3.2	24	36	3.7	30	45	4.2	37	55	5.0	46	69					
1000	LN			LN			LN			RC	11	17	2.1	13	19	2.6	17	25	3.1	22	33	3.6	28	41	4.2	34	51	3.8	41	62	5.6	52	77		
900	LN			LN			LN			RC	11	17	2.3	14	20	2.8	19	28	3.4	24	36	3.9	30	44	4.5	37	55	5.1	44	66	5.8	54	81		
800	LN			LN			LN			RC	11	17	2.5	15	22	3.1	20	30	3.6	26	39	4.2	32	48	4.9	39	58	5.4	47	70	6.0	56	83		
700	LN			LN			RC	10	15	2.1	12	18	2.8	17	25	3.4	22	33	4.0	28	42	4.6	35	52	5.2	42	63	5.8	50	74					
600	LN			LN			RC	10	15	2.4	13	20	3.1	19	28	3.8	25	37	4.3	31	46	5.0	38	56	5.6	45	67	6.0	51	77					
500	LN			LN			2.1	11	16	2.8	15	23	3.5	21	31	4.2	25	41	4.8	34	51	5.4	41	61	5.9	48	71								
400	LN			RC	10	14	2.5	13	20	3.3	18	27	4.0	24	36	4.7	31	46	5.3	38	56	5.9	44	66											
300	LN			2.0	10	15	3.1	16	24	3.9	21	32	4.6	27	41	5.4	35	52	5.9	42	62														
250	LN			2.3	11	17	3.5	18	27	4.2	23	34	5.0	30	45	5.8	37	55																	
200	LN			2.8	13	20	3.9	20	29	4.7	26	38	5.5	33	49	6.0	35	53																	
175	RC	9	14	3.0	15	22	4.1	21	31	5.0	27	41	5.8	34	51																				
150	RC	9	14	3.4	16	24	4.4	22	33	5.3	29	43	6.0	35	53																				
140	RC	9	14	3.5	17	25	4.5	23	34	5.4	30	44	6.0	35	53																				

R (m)	Vr = 20 km/j			Vr = 30 km/j			Vr = 40 km/j			Vr = 50 km/j			Vr = 60 km/j			Vr = 70 km/j			Vr = 80km/j			Vr = 90 km/j			Vr = 100 km/j			Vr = 110 km/j			Vr = 120 km/j								
	e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)							
		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4	2	4	2	4	2	4
		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls		Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls
130	2.0	9	14	3.6	17	26	4.6	24	35	5.6	30	45																											
120	2.2	10	15	3.8	18	27	4.8	25	37	5.7	33	47																											
110	2.3	11	16	3.9	19	28	5.0	25	38	5.8	34	48																											
100	2.5	11	17	4.1	19	29	5.2	26	39	5.9	35	49																											
90	2.7	12	18	4.3	20	30	5.4	27	41	6.0	35	49																											
80	2.9	13	19	4.5	2	32	5.6	29	43																														
70	3.2	15	20	4.7	23	34	5.8	30	44																														
60	3.5	16	22	5.0	24	36	6.0	30	45																														
50	3.8	17	26	5.4	26	38																																	
40	4.2	19	28	5.8	28	41																																	
30	4.7	21	31																																				
20	5.5	25	37																																				

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

- i. Penempatan *runoff* superelevasi tanpa lengkung peralihan
 1. Lengkung busur lingkaran (tangen-lingkaran-tangen) pada lengkung F-C

Sekitar 70% *runoff* superelevasi direkomendasikan pada bagian jalan lurus dengan kecepatan desain lebih dari 80 Km/Jam. Namun, *runoff* superelevasi hendaknya tidak lebih dari 1 detik waktu tempuh (dengan nilai maksimum 30m) ke dalam busur lingkaran, seperti dalam gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Profil Tipikal Pencapaian Superelevasi (Tangen ke Busur Lingkaran)

Sumber: Austroads, 2016

2. Tikungan Gabungan Balik

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021: 123), Tikungan gabungan balik adalah lengkung horizontal yang berputar berlawanan arah. Jika panjang ini tidak bisa tercapai, pencapaian superelevasi bisa diperpanjang hingga 1 detik waktu tempuh (maksimum 30 m) ke dalam busur lingkaran. Kecepatan operasi harus diatur agar sesuai Geometrik tikungan.

3. Tikungan Gabungan Searah

Tikungan gabungan searah merupakan lengkung berbentuk horizontal yang berputar searah pada titik gabung dengan radius berbeda. Dalam tikungan gabungan, superelevasi penuh pada tikungan lebih kecil harus dicapai pada tikungan radius lebih besar sebelum titik gabung.

j. Penempatan *runoff* Superelevasi dengan lengkung peralihan

Pada tikungan dengan lengkung peralihan (*Spiral-Circle-Spiral*) dalam penempatan *runoff* superelevasi secara umum diuraikan sebagai berikut.

1. Tangen-peralihan-lingkar-an-peralihan-tangen (S-C-S)

Pada umumnya untuk busur lingkaran dengan lengkung peralihan, panjang *runoff* superelevasi sama dengan panjang lengkung peralihan. Kemudian *runoff* superelevasi ditempatkan hanya dalam sepanjang lengkung peralihan. Penempatan ini dimulai pada titik antara bagian lurus dan lengkung peralihan dan berakhir pada titik antara lengkung peralihan ke busur lingkaran.

2. Lengkung peralihan baik

Dalam lengkung peralihan baik, pembalikan superelevasi dilakukan secara linier dan seragam. Dalam kasus lengkung peralihan yang panjang dan superelevasi kecil, perlu menaikkan laju rotasi di sekitar titik superelevasi nol agar meningkatkan drainase permukaan perkerasan dan meminimalkan panjang jalur aliran air.

3. Panjang Lengkung Peralihan Spiral yang dikehendaki

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021: 124), panjang lengkung peralihan yang dikehendaki ditunjukkan dalam Tabel 2.18. Jika lengkung peralihan yang diinginkan ternyata kurang dari panjang minimum yang ditentukan dari Persamaan (2.13) atau (2.14), maka panjang lengkung peralihan

minimum yang digunakan dalam desain sebagai berikut:

$$Ls, min = \sqrt[2]{24(P_{min})R} \quad (2.13)$$

atau

$$Ls, min = \frac{0.0214V^3}{RC} \quad (2.14)$$

Keterangan:

$Lsmin$ = Panjang minimum lengkung peralihan

$Pmin$ = Jarak offset lateral minimum antara bagian lurus dan busur lingkaran (0,20m)

R = Radius busur lingkaran, m

V = Kecepatan desain, Km/Jam

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

Tabel 2. 18 Panjang Lengkung Peralihan yang Dikehendaki

VD (Km/Jam)	Panjang Spiral (m)
20	11
30	17
40	22
50	28
60	33
70	39
80	44
90	50
100	56
110	61
120	67

Sumber: Aashto, 2001

2.10.2.9 Radius Minimum Tikungan Dengan Kemiringan Melintang Jalan Normal

Kemiringan melintang yang berlawanan (*adverse*) merupakan penggunaan normal pada tikungan, karena bentuk penampang ini melintang normal dan memiliki kemiringan normal (biasanya +2% dan -2%) yang salah satu kemiringannya berlawanan dengan arah tikungan, dan biasanya dihindari, kecuali pada tikungan dengan radius besar yang bisa dianggap sebagai jalan lurus. Tabel

2.19 memberikan radius minimum tikungan untuk berbagai kecepatan operasi dengan kemiringan melintang normal dan yang *adverse*.

Tabel 2. 19 Radius minimum tikungan dengan kemiringan melintang jalan normal

VD (Km/Jam)	Lereng Normal (F-C)			Kemiringan
	e Maksimum = 4 %	e Maksimum = 6 %	e Maksimum = 8 %	
	R Minimum (m)	R Minimum (m)	R Minimum (m)	R Minimum (m)
20	163	194	184	-
30	371	421	443	-
40	679	738	784	80
50	951	1050	1090	130
60	1310	1440	1490	200
70	1740	1910	1970	300
80	2170	2360	2440	500
90	2640	2880	2970	900
100	3250	3510	3630	1600
110	-	4060	4180	2400
120	-	4770	4900	2800

Sumber: Aashto, 2011

2.10.3 Desain Tikungan

Terdapat dua bentuk tikungan yang biasa dijumpai di lapangan, yaitu *Full Circle (F-C)*; dan *Spiral- Circle-Spiral (S-C-S)*. Tipe tikungan ditentukan dari nilai p dengan rumus :

$$p = \frac{LS^2}{24 R_c} \geq 0.25 \quad (2. 15)$$

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

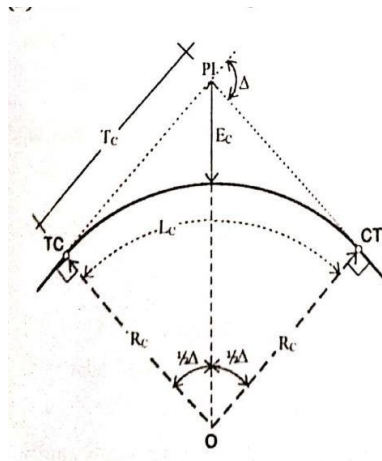
Jika nilai $p > 0,25$ ditentukan sebagai *Spiral-Circle-Spiral*

Dari hasil yang sudah didapatkan dari penentuan tipe lengkung dapat dihitung komponen pada setiap tipe lengkung untuk FC dan S-C-S.

2.10.3.1 Bentuk Tikungan

a. *Full Circle (FC)*

Bentuk tikungan *Full Circle (FC)* merupakan sebuah tikungan yang membentuk lengkungan penuh atau sempurna dengan sudut 360 derajat. Sukirman. (1999; 120) mengemukakan bahwa “Lengkung busur lingkaran sederhana hanya dapat dipilih untuk radius lingkaran yang besar, dimana superelevasi yang dibutuhkan kurang atau sama dengan 3%”.



Gambar 2. 13 Lengkung *Full Circle* (FC)

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

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

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

$$Lc = \frac{\Delta \cdot 2\pi \cdot Rc}{360^\circ} \quad (2.18)$$

Keterangan:

Δ = Sudut Tikungan, ($^\circ$)

O = Titik pusat lingkaran

TC = *Tangent to Circle*

CT = *Circle to Tangen*

Rc = Jari-jari Busur Lingkaran, (m)

Tc = Panjang Tangen (jarak dari TC ke PI atau PI ke TC), (m)

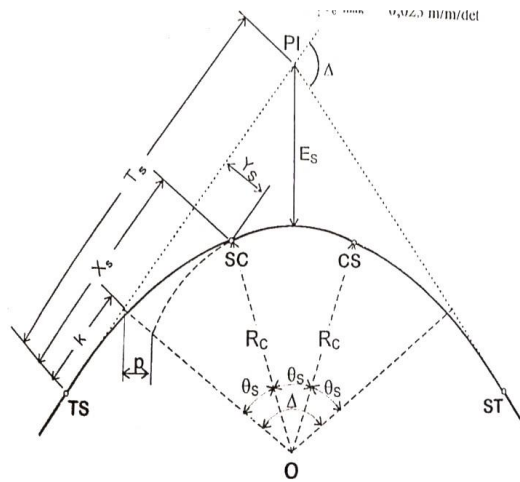
Lc = Panjang Busur Lingkaran, (m)

Ec = Jarak Luar dari PI ke busur lingkaran, (m)

b. *Spiral Circle Spiral* (SCS)

Bentuk tikungan *Spiral Circle Spiral* (SCS) merupakan jenis tikungan yang terdiri dari dua bagian *Spiral* yang terhubung oleh suatu garis lurus. Sukirman. (1999; 127) mengemukakan bahwa “Lengkung *Spiral Circle Spiral* (SCS) adalah lengkung peralihan berbentuk *Spiral* yang menghubungkan bagian lurus dengan radius tak berhingga di awal *Spiral* (kiri TS) dan bagian berbentuk lingkaran dengan radius = Rc diakhiri *Spiral* (kanan SC). Titik TS adalah titik peralihan bagian lurus

kebagian berbentuk *Spiral* dan titik SC adalah titik peralihan bagian *Spiral* kebagian lingkaran”.



Gambar 2. 14 Lengkung *Circle Spiral* (SCS)

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

$$e_s = \frac{L_s}{2.R_c} \times \frac{360}{22\pi} \quad (2.19)$$

$$\Delta c = \Delta - (2\theta_s) \quad (2.20)$$

$$X_s = L_s - \left(\frac{L_s^2}{40 \times R_c^2} \right) \quad (2.21)$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6.R_c} \quad (2.22)$$

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

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

$$E_s = \frac{R_c + p}{\cos \frac{1}{2} \Delta} - R_c \quad (2.25)$$

$$T_s = (R_c + p) \times \tan \left(\frac{1}{2} \Delta \right) + K \quad (2.26)$$

$$L_c = \frac{\Delta \cdot 2\pi \cdot R_c}{360^\circ} \quad (2.27)$$

$$L_{tot} = L_c + (2L_s) \quad (2.28)$$

Keterangan:

X_s = Absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik ST ke SC, (m)

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

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

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

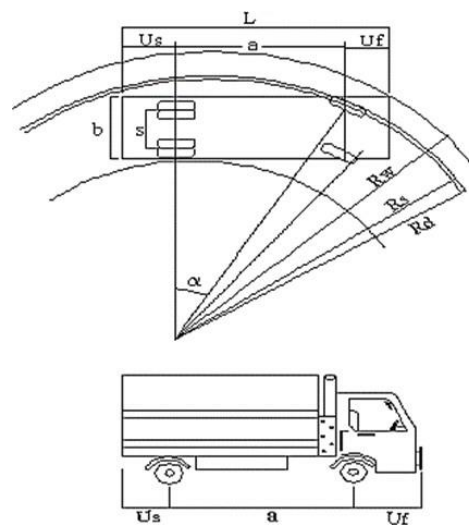
T_s = Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik TS, (m)

TS = Titik dari tangen ke *Spiral*

- SC = Titik dari *Spiral* ke lingkaran
 Es = Jarak dari PI ke busur lingkaran, (m)
 es = Sudut lengkung *Spiral*, ($^{\circ}$)
 Rc = Jari-jari rencana, (m)
 P = Pergeseran tangen terhadap *Spiral*, (m)
 k = Absis dari p pada garis tangen *Spiral*, (m)

2.10.3.2 Pelebaran Perkerasan pada Tikungan

Pelebaran pada tikungan dimaksudkan untuk mempertahankan lintasannya agar tetap pada lajur jalannya terutama pada tikungan.



Gambar 2. 15 Pelebaran Perkerasan Pada Tikungan

Sumber : Silvia Sukirman, 1999

$$B = (b' + c) + (n - 1) \cdot Z \quad (2.29)$$

$$b' = B + b'' \quad (2.30)$$

$$b'' = Rc^2 - \sqrt{Rc^2 - P^2} \quad (2.31)$$

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

$$Z = 0,105 \frac{Vr}{R} \quad (2.33)$$

Keterangan:

- B = Lebar perkerasan pada tikungan, (m)
 n = Jumlah jalur lalu lintas
 b' = Lebar lintasan truk pada tikungan / off tracking, (m)
 c = Kebebasan samping, (m)

- T_d = Lebar melintang akibat tonjolan depan, (m)
 Z = Lebar tambahan akibat kelelahan pengemudi, (m)
 b = Lebar lintasan truk pada jalur lurus, (m)
 P = Jarak As roda depan dengan roda belakang truk, (m)
 A = Tonjolan depan sampai bumper, (m)
 V = Kecepatan rencana (km/jam)
 R = Jari-jari tikungan, (m)

Jika hasil perhitungan pelebaran jalan kurang dari 0,6 m, maka pelebaran dapat diabaikan.

2.10.3.3 Diagram Superelevasi

Superelevasi adalah kemiringan jalan ke arah dalam tikungan yang bertujuan untuk mengurangi gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan. Dengan memberikan kemiringan melintang pada tikungan, gaya sentrifugal yang terjadi saat kendaraan melintas akan diimbangi oleh gaya gravitasi, sehingga kendaraan dapat tetap stabil dan aman dalam melintasi tikungan.

Diagram superelevasi digunakan untuk memvisualisasikan perubahan kemiringan melintang pada jalan dari keadaan normal tanpa kemiringan hingga mencapai kemiringan penuh pada tikungan. Dengan menggunakan diagram superelevasi, kita dapat menentukan bentuk penampang melintang jalan pada setiap titik di suatu lengkung horizontal yang direncanakan.

a. Full Circle

Terdapat 3 kondisi pada tikungan F-C, sebagaimana dijelaskan dalam Gambar 2.16 s/d 2.18



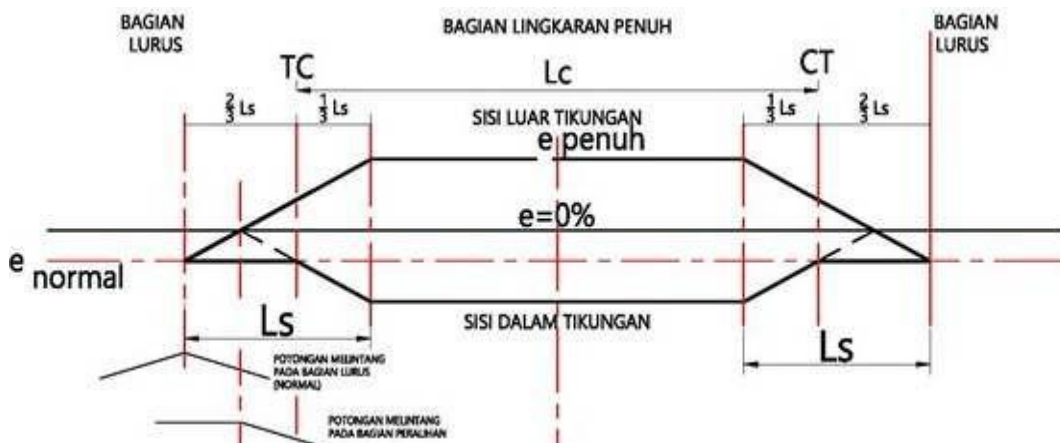
Gambar 2. 16 Diagram superelevasi *Full-Circle* jika $e < 1\%$ dan $< +2\%$ atau $+3\%$ (RC) nilai e dibulatkan menjadi $+2\%$ atau $+3\%$

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*



Gambar 2. 17 Diagram superelevasi *Full-Circle* jika $e < 1\%$ dan $> -2\%$ atau -3% (NC) nilai e dibulatkan menjadi -2% atau -3%

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*

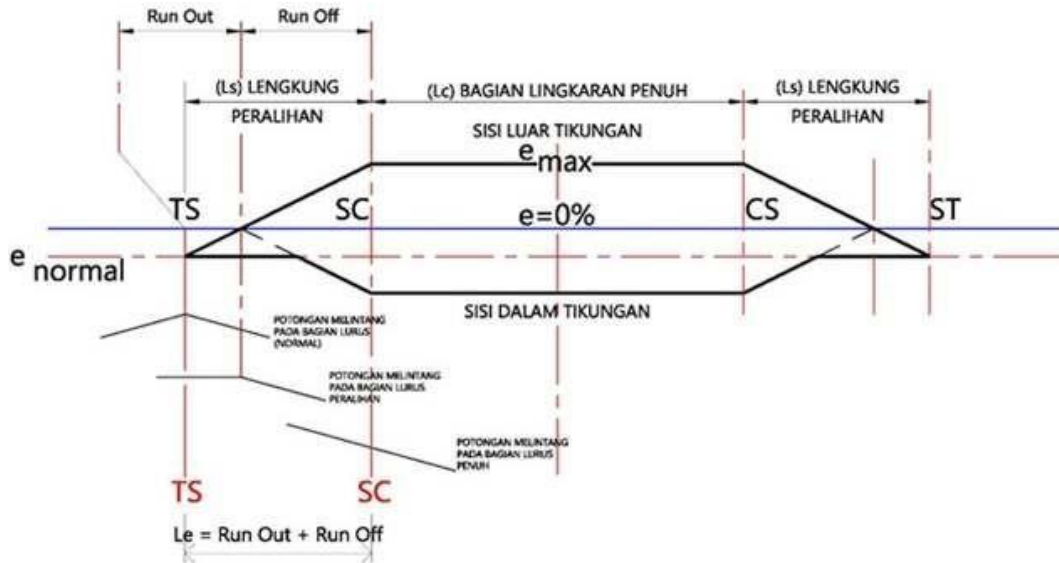


Gambar 2. 18 Diagram superelevasi *Full-Circle* jika $e < e_{\text{normal}}$ dan $< e_{\text{max}}$. nilai e menjadi e_{penuh} .

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*

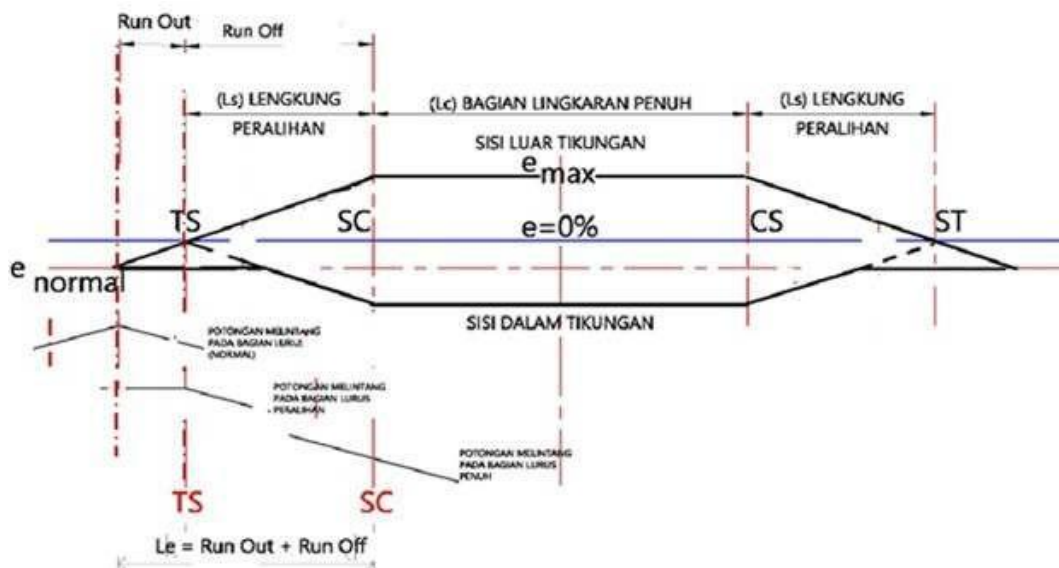
b. *Spiral-Circle-Spiral*

Ada dua tipe yang dapat digunakan, pertama S-C-S dengan perubahan kemiringan melintang ke superelevasi penuh seluruhnya berada sepanjang peralihan (Gambar 2.16 s/d 2.18) dan kedua S-C-S yang perubahan kemiringan melintang normal ke superelevasi penuh diawali pada bagian lurus (Gambar 2.19 s/d 2.20).



Gambar 2. 19 Diagram superelevasi *Spiral-Circle-Spiral* tipe perubahan superelevasi berada seluruhnya dalam lengkung peralihan

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*



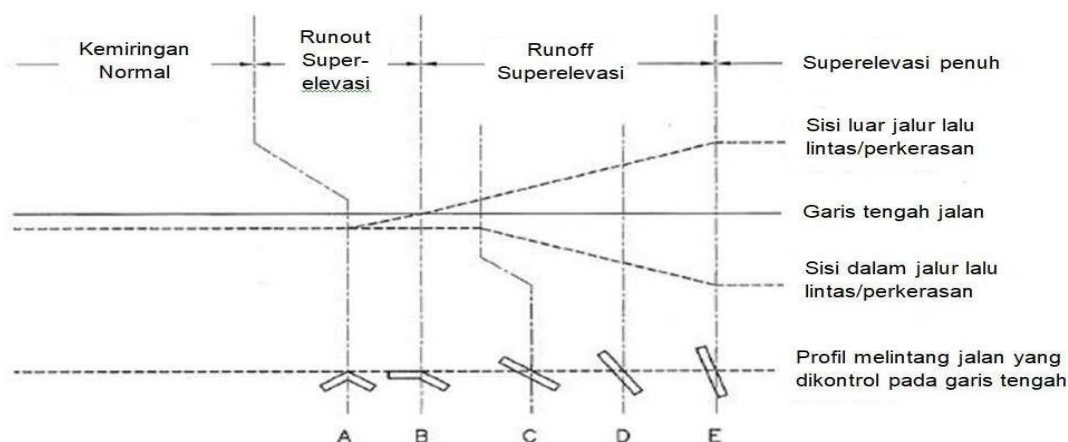
Gambar 2. 20 Diagram superelevasi *Spiral-Circle-Spiral* tipe perubahan superelevasi yang diawali di bagian lurus

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*

2.10.3.4 Kriteria pemilihan penggunaan bentuk tikungan

Prioritas utama dalam pemakaian tikungan yaitu *F-C* dan kemudian *S-C-S*. Kecepatan desain untuk desain harus berkurang jika kondisi panjang minimum spiral tidak bisa diperoleh. Pada umumnya jalan dua lajur dua arah pada kondisi

jalan datar memiliki metode yang direkomendasikan untuk pencapaian superelevasi adalah dengan memutar garis tengah jalan seperti Gambar 2.21.



Gambar 2. 21 Metode pencapaian superelevasi

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

2.10.3.5 Stationing

Dalam perencanaan sumbu jalan, penting untuk melakukan penomoran atau pengkodean pada patok-patok yang ada. Penomoran ini dikenal sebagai "stationing" yang menunjukkan jarak atau lokasi titik tersebut terhadap titik acuan. Format umum untuk penomoran stationing adalah X+YYY, di mana X mewakili nilai kilometer dan Y mewakili nilai meter.

Dengan menggunakan format stationing, setiap titik pada sumbu jalan diberi kode yang mencerminkan jaraknya dari titik acuan. Misalnya, jika suatu titik berjarak 2 kilometer dan 500 meter dari titik acuan, maka kode stationing-nya akan menjadi 2+500.

Penomoran stationing ini membantu dalam mengidentifikasi dan menyusun urutan titik-titik penting pada sumbu jalan, seperti titik perubahan alinyemen, tikungan, persimpangan, dan lain sebagainya. Hal ini memudahkan dalam komunikasi, pemetaan, dan pemahaman terhadap lokasi dan jarak antara titik-titik pada sumbu jalan yang direncanakan.

2.11 Alinyemen Vertikal

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021: 135), alinyemen vertikal merupakan profil memanjang sepanjang garis tengah jalan, yang terbentuk dari serangkaian segmen dengan kelandaian memanjang dan lengkung vertikal. Profilnya tergantung topografi, desain alinyemen horizontal,

kriteria desain, geologi, pekerjaan tanah, dan aspek ekonomi lainnya. Untuk membedakan topografi, medan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: datar, bukit, dan gunung.

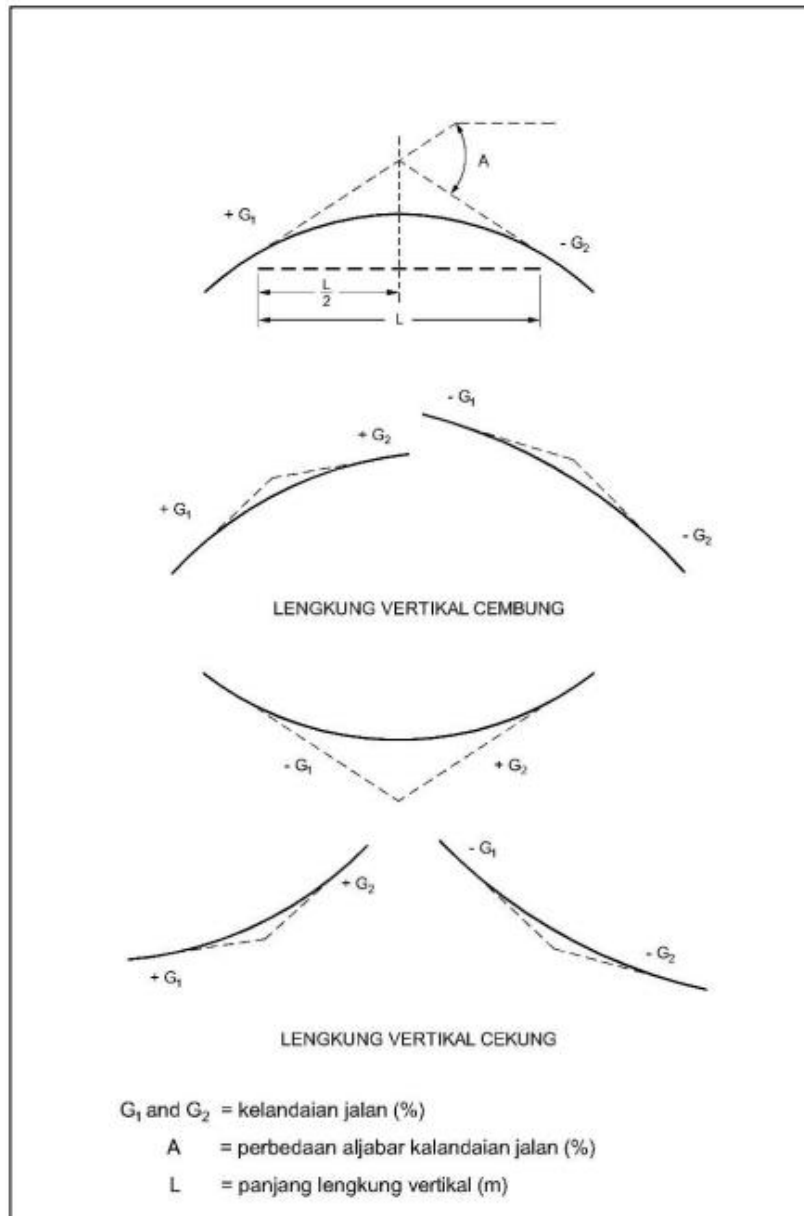
Lengkungan vertikal pada jalan raya merupakan lengkungan yang dipakai untuk mengadakan peralihan secara berangsur-angsur dari suatu landai ke landai berikutnya. Terdapat 2 jenis lengkung vertikal, antara lain:

- a. Lengkung Vertikal cembung: PVI diatas permukaan jalan
- b. Lengkung Vertikal cekung: PVI di bawah permukaan jalan

Dalam membentuk 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 K minimum, hendaknya dipilih berdasarkan tiga faktor pengendali, yakni:

- a. Jarak pandang: persyaratan dalam semua situasi untuk keselamatan pengemudi.
- b. Penampilan: biasanya diperlukan pada situasi timbunan rendah dan topografi datar
- c. Kenyamanan berkendara.



Gambar 2. 22 Jenis-jenis lengkung vertikal

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*

2.11.1 Kelandaian

a. Karakteristik Kendaraan pada Kelandaian

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

b. Kelandaian Maksimum

Kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti. Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh yang mampu bergerak dengan penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah. Landai maksimum untuk berbagai V_R ditetapkan. Kelandaian maksimum yang diijinkan dapat dilihat pada Tabel 2.20

Tabel 2. 20 Kelandaian maksimum yang diijinkan

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

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*

Keterangan:

SPPJ = Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan

JBH = Jalan Bebas Hambatan

JRY = Jalan Raya

JSD = Jalan Sedang

JKC = Jalan Kecil

c. Kelandaian Minimum

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

2.11.1.1 Kelandaian Memanjang

Dalam kelandaian memanjang, alinyemen vertikal jalan terdiri dari serangkaian kelandaian memanjang dengan lengkung vertikal, dimanfaatkan untuk menerapkan perubahan gradual di antara profil memanjang.

$$g = \frac{\Delta h}{\Delta L} \times 100\% \quad (2.34)$$

Keterangan :

g = Kelandaian memanjang (%)

Δh = Beda tinggi (m)

ΔL = Beda panjang (m)

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.

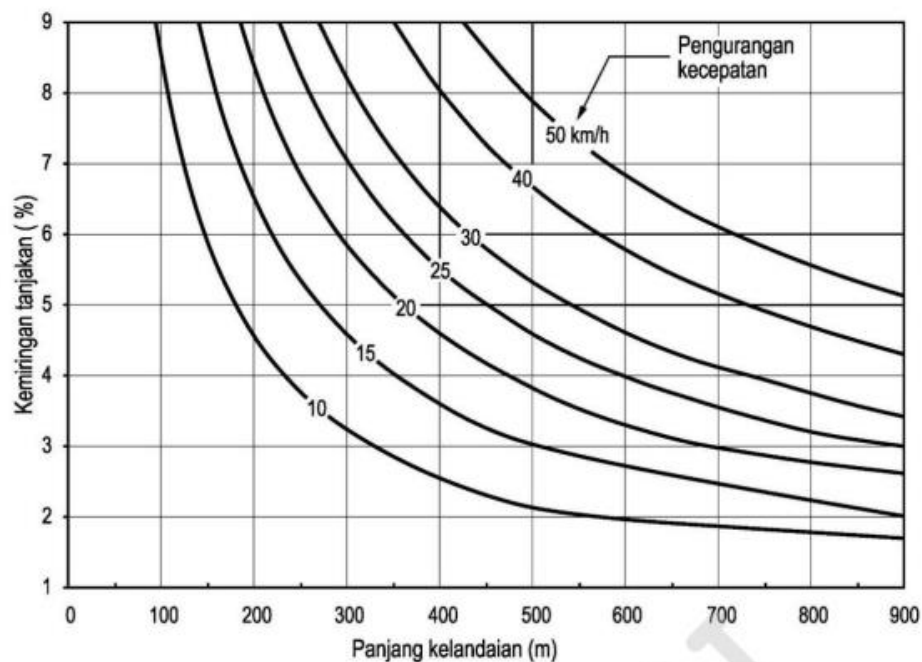
$$A = g_1 - g_2 \quad (2.35)$$

Keterangan :

A = Perbedaan Aljabar

2.11.1.2 Panjang Kelandaian Kritis

Istilah ‘Panjang Kelandaian Kritis’ digunakan untuk mengindikasikan panjang maksimum tanjakan apabila truk bermuatan beroperasi tanpa adanya pengurangan kecepatan berlebihan. Panjang kelandaian ditentukan dari Gambar 2.23.



Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Gambar 2. 23 Panjang kelandaian kritis tipikal truk dengan WPR 120 kg/kw,

Vawal = 110Km/Jam

Berdasarkan Gambar 2.23, Tabel 2.21 menyajikan ringkasan panjang kelandaian kritis berdasarkan penurunan kecepatan 25Km/Jam

Tabel 2. 21 Panjang Kelandaian Kritis

Kelandaian memanjang (%)	Panjang kelandaian kritis (m)
4	600
5	450
6	350
7	300
8	250
9	230
≥ 10	200

Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Alinyemen vertikal hendaknya mengikuti medan alami, mempertimbangkan keseimbangan pekerjaan tanah, penampilan, keselamatan, drainase, dan kelengkungan vertikal maksimum dan minimum yang diizinkan; dinyatakan sebagai nilai K. Untuk tujuan praktis, panjang minimal lengkung vertikal dapat dinyatakan sekitar 0,6 kali VD (Km/Jam), $L_{\min} = 0,6 V D$, di mana VD dalam satuan Km/Jam dan L adalah dalam m. Secara praktis, jarak pandang lebih panjang mungkin lebih dikehendaki, dimana lebih sesuai dengan kondisi medan dan tidak berbenturan dengan pengendali desain lainnya. Lengkung vertikal yang terlalu besar hendaknya dihindari untuk mencegah genangan air. Lengkungan vertikal besar juga meningkatkan panjang jarak pandang yang terbatas. Pada umumnya lengkung vertikal didesain menggunakan persamaan :

$$K = K.A \quad (2.36)$$

$$K = \frac{S^2}{200(\sqrt{h_1} - h_2)}, \text{ Untuk } S \leq L \quad (2.37)$$

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

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

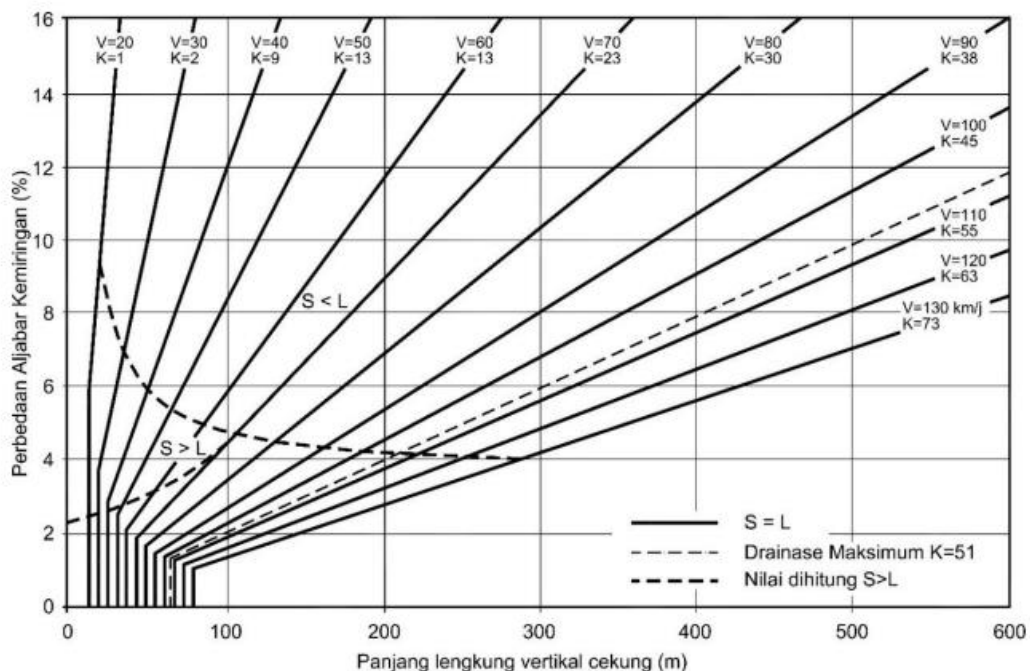
h1 = Tinggi mata pengemudi, digunakan untuk menetapkan jarak pandang, m

h_2 = Tinggi objek, digunakan untuk menetapkan jarak pandang, m

2.11.2 Lengkung Vertikal Cembung

Untuk menentukan lengkung vertikal cembung harus memerhatikan penyediaan jarak pandang yang cukup, untuk mendapatkan sudut pandang yang aman, kenyamanan, dan penampilan. Panjang lengkung vertikal cembung minimum untuk nilai-nilai per perubahan A yang menyediakan JPH minimum untuk setiap V_D ditunjukkan pada gambar 2.24 lengkung garis putus-putus di kiri bawah yang melintasi garis-garis ini, menunjukkan $S = L$. Perhatikan bahwa di sebelah kanan garis $S = L$, nilai K, atau panjang lengkung vertikal per perubahan persen A, adalah bentuk sederhana dan mudah untuk melakukan kontrol desain. Pemilihan lengkung desain difasilitasi dengan panjang minimum lengkung dalam meter adalah sama dengan K dikali perbedaan aljabar kemiringan jalan A dalam persen, $L = KA$. Kontrol Desain (K) untuk lengkung vertikal dapat dilihat dalam tabel 2.22.

Untuk tujuan praktis, panjang minimal lengkung vertikal dapat dinyatakan sekitar 0,6 kali V_D (Km/Jam), $L_{min} = 0,6 V_D$, di mana V_D Km/Jam dan L adalah dalam m.



Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Gambar 2. 24 Kontrol desain (K) untuk lengkung vertikal cekung

Tabel 2. 22 Kontrol desain (K) untuk lengkung vertikal cekung

V_D (Km/Jam)	JPH (m)	K
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

Catatan: 1) Besaran kelengkungan vertikal, K, adalah panjang lengkung (L)/persentase perbedaan kelandaian aljabar pada kelandaian yang saling bersinggungan (A), $K = L/A$

2.11.3 Lengkung Vertikal Cekung

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021: 161), Terdapat empat kriteria untuk menentukan panjang lengkung vertikal cekung, yakni:

- a. Kenyamanan pengemudi
- b. Silau sorotan lampu
- c. Pengendalian drainase, dan
- d. Penampilan

Pada jalan dua lajur, panjang lengkung cekung lebih dari 750m hendaknya dihindari atas dasar alasan drainase. Untuk jalan dengan kerb, panjang maksimum lengkung cekung dengan kelandaian kurang dari 0,5% hendaknya dibatasi hingga 50m.

Untuk meminimalkan ketidak-nyamanan pengemudi dan penumpang ketika melintasi suatu kelandaian ke lainnya, biasanya dilakukan pembatasan akselerasi vertikal yang dibangkitkan pada lengkung vertikal hingga nilai kurang dari 0,05g dimana g adalah percepatan gravitasi yang nilainya adalah 9,81 m/detik². Nilai lengkung vertikal cekung K minimum untuk kriteria kenyamanan bisa dihitung dengan persamaan berikut.

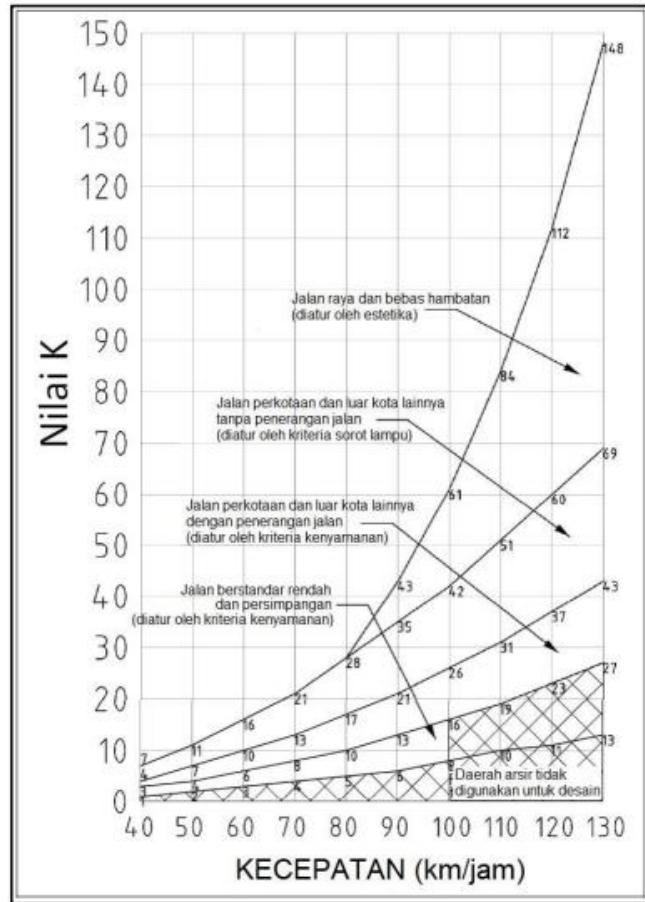
$$K = \frac{V_D^2}{1296 a} \quad (2.39)$$

Keterangan:

- K = Panjang lengkung vertikal cekung dalam meter untuk perubahan kelandaian 1%
- a = Akselerasi vertikal yang nilai terbesarnya 0,05g, m/detik²
- V_D = Kecepatan kendaraan rencana, Km/Jam

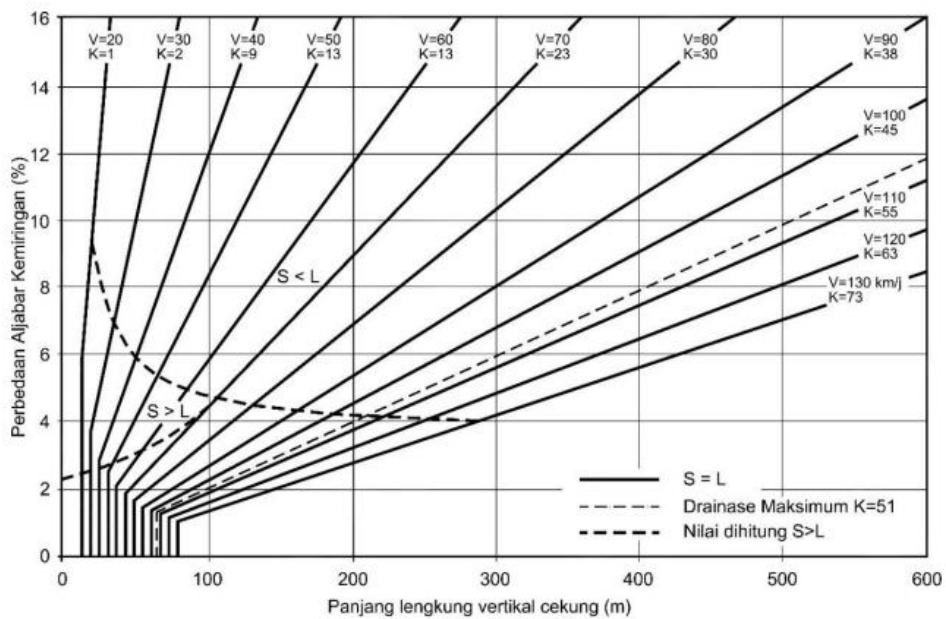
Panjang minimum lengkung cekung untuk berbagai kategori jalan, menggunakan ke dua kriteria kenyamanan dan jarak pandang sorotan lampu. Grafik tersebut dikembangkan menggunakan kriteria berikut ini untuk menentukan batasan bawah:

- a. Jalan berstandar rendah, kriteria kenyamanannya adalah $a = 0,1 \text{ g}$
- b. Jalan Antar kota dan Perkotaan lainnya dengan penerangan jalan, kriteria kenyamanannya adalah $a = 0,05 \text{ g}$
- c. Jalan Antar kota dan Perkotaan lainnya tanpa penerangan jalan, kriterianya adalah jarak pandang sorot lampu dengan waktu reaksi 2,0 detik dan koefisien perlambatan 0,61.
- d. JRY dan JBH:
 1. Kriteria minimum adalah jarak pandang sorot lampu dengan waktu reaksi 2,5 detik dan koefisien perlambatan 0,36
 2. Kriteria yang dikehendaki adalah jarak pandang henti lengkung cekung dengan waktu reaksi 2,0 detik dan koefisien perlambatan 0,36.



Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Gambar 2. 25 Rentang nilai K untuk lengkung cekung



Sumber : Pedoman Geometrik Jalan, 2021

Gambar 2. 26 Panjang Lengkung Vertikal Cekung (m)

Tabel 2. 23 Kontrol desain (K) untuk lengkung vertikal cekung

V_D (Km/Jam)	JPH (m)	K
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18
70	105	23
80	130	30
90	160	38
100	185	45
110	220	55
120	250	63

Sumber : *Pedoman Geometrik Jalan, 2021*

2.11.4 Galian dan Timbunan

Untuk menghitung volume galian dan timbunan dari gambar-gambar potongan melintang dapat dihitung luas galian dan timbunannya, sedangkan masing-masing jarak antar profil dapat dilihat dari potongan memanjang.

Tabel 2. 24 Contoh perhitungan galian dan timbunan

Titik	Stationing	Luas Penampang Melintang (m ²)				Jarak (m)	Volume (m ³)	
		Galian	Timbunan	Rata-rata			Galian	Timbunan
				Galian	Timbunan			
1	STA + jarak awal	AG1	AT1			J1		
				$(AG1+AG2)/2$	$(AT1+AT2)/2$		$((AG1+AG2)/2)*J1$	$((AT1+AT2)/2)*J1$
2	STA + jarak	AG2	AT2					
Total (Σ)					(Σ) Jarak	(Σ) Galian	(Σ) Timbunan	

2.12 Perencanaan Tebal Perkerasan

Perencanaan tebal perkerasan adalah proses menentukan ketebalan yang optimal untuk lapisan perkerasan jalan agar mampu menahan beban lalu lintas dan memberikan ketahanan struktural yang memadai. Hendarsin. (2000; 208) mengemukakan bahwa “perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*), yang berfungsi untuk menopang beban lalu-lintas”.

Bagian perkerasan meliputi beberapa elemen penting yang membentuk struktur jalan yang kokoh dan tahan terhadap beban lalu lintas. Beberapa bagian perkerasan yang umumnya terdiri dalam konstruksi jalan sebagai berikut:

a. *Subgrade*

Bagian dasar perkerasan yang terletak di bawah lapisan perkerasan. *Subgrade* dapat terdiri dari tanah alami atau material dasar yang diperkuat, dan harus memiliki kekuatan dan stabilitas yang memadai untuk menahan beban jalan.

b. *Subbase*

Lapisan di atas *subgrade* yang berfungsi sebagai penyebar beban dan meningkatkan kestabilan. *Subbase* umumnya terdiri dari agregat kasar yang telah dipadatkan dan dapat menahan deformasi akibat beban.

c. *Base Course*

Lapisan yang ditempatkan di atas *subbase* dan bertindak sebagai lapisan penahan yang lebih kuat. *Base course* biasanya terbuat dari agregat halus dan kasar yang dicampur dengan bahan pengikat seperti aspal atau semen.

d. *Surface Course*

Lapisan paling atas dari perkerasan jalan yang langsung terkena lalu lintas kendaraan. *Surface course* bertujuan untuk memberikan permukaan yang halus, tahan aus, dan tahan terhadap beban. Material yang umum digunakan untuk *surface course* adalah aspal atau beton.



Gambar 2. 27 Susunan Lapisan Perkerasan Lentur

Sumber : *Manual Perkerasan, 2017*

2.12.1 Jenis Konstruksi Perkerasan

Jenis konstruksi perkerasan jalan berdasarkan bahan pengikatnya dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

- a. Perkerasan aspal (*flexible pavement*), yaitu perkerasan aspal menggunakan bahan pengikat berupa aspal (bitumen) sebagai lapisan penutup jalan. Lapisan ini terdiri dari agregat halus dan kasar yang dicampur dengan aspal untuk membentuk campuran aspal. Perkerasan aspal memiliki fleksibilitas yang baik, sehingga dapat menahan deformasi akibat perubahan suhu dan beban lalu lintas. Jenis perkerasan aspal umumnya digunakan pada jalan raya, jalan perkotaan, dan jalan dengan lalu lintas yang cukup tinggi.
- b. Perkerasan beton (*rigid pavement*), yaitu perkerasan beton menggunakan bahan pengikat berupa campuran semen, air, dan agregat sebagai lapisan penutup jalan. Campuran ini kemudian dipadatkan dan dipermadatkan untuk membentuk permukaan jalan yang keras dan kuat. Perkerasan beton memiliki kekuatan dan ketahanan yang baik terhadap deformasi dan beban lalu lintas yang berat. Jenis perkerasan beton sering digunakan pada jalan tol, landasan pacu bandara, dan jalan dengan beban berat seperti pelabuhan atau industri.
- c. Perkerasan kombinasi (*composite pavement*), yaitu perkerasan aspal dan beton yang digunakan secara bersamaan. Biasanya, perkerasan beton digunakan sebagai lapisan yang lebih dalam untuk memberikan kekuatan struktural, sedangkan perkerasan aspal digunakan sebagai lapisan permukaan yang memberikan kenyamanan berkendara dan

daya tahan terhadap deformasi. Perkerasan kombinasi digunakan pada jalan dengan kondisi khusus yang memerlukan kekuatan struktural tambahan, seperti jalan dengan lalu lintas berat atau kondisi tanah yang lemah.

2.12.2 Umur rencana

Umur rencana adalah periode waktu dalam tahun yang dihitung mulai dari pembukaan jalan hingga diperlukan perbaikan berat atau lapisan permukaan yang baru. Dalam pemilihan umur rencana dapat dilihat pada tabel 2.25.

Tabel 2. 25 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Pondasi Jalan	40
	Semua Perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
Perkerasan Kaku	Lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen, dan pondasi jalan	
Jalan Tanpa Penutup	Semua elemen (termasuk pondasi jalan)	Minimum 10

Sumber : *Manual Perkerasan, 2017*

2.12.3 Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi tergantung pada beberapa faktor seperti volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan. Meskipun ada batasan umum, perencanaan perkerasan juga harus mempertimbangkan faktor biaya selama umur rencana, keterbatasan pelaksanaan, dan kepraktisan konstruksi. Pemilihan jenis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 2.26.

Tabel 2. 26 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 - 10	>10 – 30	>30 - 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan $CBR \geq 2,5\%$)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1, 2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1, 2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1, 2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : *Manual Perkerasan, 2017*

Catatan:

Tingkat kesulitan:

- a. kontraktor kecil - medium
- b. Kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai
- c. Membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus-kontraktor spesialis Burtu / Burda

2.12.4 Lalu Lintas

Perencanaan perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh faktor lalu lintas. Faktor-faktor ini memengaruhi pemilihan ketebalan perkerasan jalan dan jenis material yang digunakan.








a. Analisis Volume Lalu Lintas














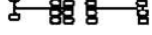






Volume lalu lintas yang diperkirakan merupakan faktor penting dalam menentukan tebal perkerasan jalan. Semakin tinggi volume lalu lintas, semakin berat beban yang diterima oleh perkerasan. Hal ini mengindikasikan bahwa diperlukan ketebalan perkerasan yang lebih besar.

b. Jenis Kendaraan

Karakteristik jenis kendaraan yang dominan dalam lalu lintas jalan juga harus dipertimbangkan. Beban sumbu kendaraan seperti truk atau kendaraan berat dapat menyebabkan beban aksial yang lebih tinggi pada perkerasan dan mempengaruhi kebutuhan tebal perkerasan. Sistem klasifikasi kendaraan ditentukan dalam Manual Survei Kuantitas Lalu Lintas (Pedoman Survei Lalu Lintas, 2004).

Tabel 2. 27 Golongan dan Kelompok Kendaraan

Golongan	Kelompok Kendaraan	Jenis Kendaraan	Konfigurasi	Kode
1	Sepeda motor, kendaraan roda-3			
2	Sedan, jeep, station wagon			1.1
3	Angkutan penumpang sedang			1.1
4	Pick-up, micro truk dan mobil hantaran			1.1

Golongan	Kelompok Kendaraan	Jenis Kendaraan	Konfigurasi	Kode
5a	Bus kecil			1.1
5b	Bus besar			1.2
6a	Truk ringan 2 sumbu	 		1.1
6b	Truk sedang 2 sumbu	 		1.2
7a	Truk 3 sumbu			1.2.2
7b	Truk gandeng			1.2.2-2.2
7c	Truk semi trailer	 		1.2.2-2.2
8	Kendaraan tidak bermotor	  		

Sumber: Pedoman Survei Lalu Lintas, 2004

c. Pola Lalu Lintas

Pola lalu lintas, termasuk kecepatan rata-rata, distribusi waktu lalu lintas, dan konsentrasi kendaraan di jalur tertentu, juga mempengaruhi pemilihan dan perencanaan perkerasan. Pola lalu lintas yang intens atau dengan perubahan arah yang tajam dapat menyebabkan keausan yang lebih cepat pada permukaan perkerasan.

d. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data–data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia maka dapat menggunakan faktor pertumbuhan lalu lintas pada Tabel 2.28.

Tabel 2. 28 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (%)

Jenis	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan Perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor Rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan Desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

Faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*) dengan rumus:

$$R = \frac{(1+0,1 i)^{UR}-1}{0,01 i} \quad (2.40)$$

Keterangan:

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i1 = Laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 1(%)

i2 = Laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 2 (%)

UR = Total umur rencana (tahun)

UR1 = Umur rencana periode 1 (tahun)

Rumus diatas digunakan pada periode rasio volume kapasitas (RVK) yang belum mencapai tingkat kejenuhan ($RVK \leq 0,85$)

Jika kapasitas lalu-lintas diperkirakan mencapai pada tahun ke (Q) dari umur rencana (UR), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung sebagai berikut:

$$R = \frac{(1+0,1 i)^Q}{0,01 i} + (UR - Q)(1 + 0,01i)^{(Q-1)} \quad (2.41)$$

e. Lalu Lintas Pada Lajur Rencana

Lajur rencana merupakan salah satu jalur lalu lintas ruas yang paling banyak dilalui kendaraan niaga (truk dan bus). Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan mempertimbangkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL).

Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam suatu arah. Faktor distribusi lajur dapat dilihat pada Tabel 2.29

Tabel 2. 29 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap Arah	Kendaraan Niaga pada Lajur Desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

f. Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana.

Untuk mendapatkan desain yang akurat, diperlukan perhitungan beban lalu lintas yang tepat. Studi atau survei beban gandar yang dirancang dan dilakukan dengan baik menjadi dasar yang dapat diandalkan untuk perhitungan beban struktural yang efektif. Karena itu, penting untuk melakukan survei beban gandar ketika memungkinkan. Ketentuan pengumpulan data beban gandar ditunjukkan pada tabel 2.30.

Tabel 2. 30 Pengumpulan Data Gandar

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar*
Jalan Bebas Hambatan	1 atau 2
Jalan Raya	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

Data beban gandar dapat diperoleh dari:

1. Jembatan timbang, timbangan statis atau WIM (survei langsung).
2. Survei beban gandar pada jembatan timbang atau WIM yang pernah dilakukan dan dianggap cukup representatif.
3. Data WIM regional yang dikeluarkan oleh Dirjen Bina Marga.

Tabel 2. 31 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan)	
			VDF 4 Pangkat 4	VDF 5 Pangkat 5
1	Sepeda motor	1.1		
2,3,4	sedan / angkot / pick up / station wagon	1.1		
5a	Bus kecil	1.2	0,3	0,2
5b	Bus besar	1.2	1,0	1,0
6a.1 / 6.1	Truk 2 sumbu – cargo ringan	1.1	0,3	0,2
6a.2 / 6.2	Truk 2 sumbu – ringan	1.2	0,8	0,8
6b1.1 / 7.1	Truk 2 sumbu – cargo sedang	1.2	0,7	0,7
6b1.2 / 7.2	Truk 2 sumbu – sedang	1.2	1,6	1,7
6b2.1 / 8.1	Truk 2 sumbu – berat	1.2	0,9	0,8
6b2.2 / 8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2	7,3	11,2
7a1 / 9.1	Truk 2 sumbu – berat	1.22	7,6	11,2
7a2 / 9.2	Truk 3 sumbu – sedang	1.22	28,1	64,4
7a3 / 9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.22	28,9	62,2
7b / 10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2	36,9	90,4
7c1 / 11	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-22	13,6	24,0
7c2.1 / 12	Truk 5 sumbu – trailer	1.2-22	19,0	33,2
7c2.2 / 13	Truk 5 sumbu – trailer	1.2-222	30,3	69,7
7c3 / 14	Truk 6 sumbu – trailer	1.2-222	41,6	93,7

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

g. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) adalah banyaknya kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana yang ditentukan sebagai berikut:

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (2.42)$$

Keterangan:

ESA_{TH-1} = Kumulatif lintasan sumbu standar Ekuivalen (*equivalent standard axle*) pada tahun pertama.

LHR_{JK} = lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari).

VDF_{JK} = Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga

DD = Faktor distribusi arah. DL : Faktor distribusi lajur .

$CESAL$ = Kumulatif beban sumbu standar Ekuivalen selama umur rencana.

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

2.12.5 Daya Dukung Tanah

Dalam perencanaan jalan, disarankan untuk mengelompokkan ruas jalan berdasarkan segmen yang memiliki kondisi tanah dasar yang seragam, tanpa perbedaan yang signifikan. Namun, sebaiknya dihindari memilih segmen seragam yang terlalu pendek. Jika nilai *California Bearing Ratio* (CBR) yang diperoleh sangat bervariasi, pendesain harus mempertimbangkan manfaat dan biaya antara opsi membuat segmen seragam yang pendek berdasarkan variasi nilai CBR tersebut.

2.12.5.1 Metode Distribusi Normal Standar

Jika tersedia cukup data yang valid (minimum 10 titik data uji per segmen yang seragam) rumus berikut ini dapat digunakan:

CBR karakteristik = CBR rata-rata-f x deviasi standar

a. $f = 1,645$ (probabilitas 95%) untuk jalan tol atau jalan bebas

hambatan.

- b. $f = 1,282$ (probabilitas 90%) untuk jalan kolektor dan arteri.
- c. $f = 0.842$ (probabilitas 80%) untuk jalan lokal dan jalan kecil.
- d. Koefisien variasi (CV) maksimum dari data CBR untuk suatu segmen tidak lebih besar dari 25%. Koefisien variasi sampai dengan 30% masih boleh digunakan.

Apabila jumlah data per segmen kurang dari 10 maka nilai CBR terkecil dapat mewakili sebagai CBR segmen.

2.12.5.2 Metode Persentil

Metode persentil menggunakan distribusi data nilai CBR pada segmen seragam yang dianggap terdistribusi secara normal. Nilai persentil ke “x” dari suatu kumpulan data membagi kumpulan data tersebut dalam dua bagian, yaitu bagian yang mengandung “x” persen data dan bagian yang mengandung (100-x) persen data. Prosedur perhitungan untuk persentil ke-10 adalah sebagai berikut:

- a. Susun data CBR secara berurutan dari nilai terkecil hingga terbesar.
- b. Hitung jumlah total data nilai CBR (n).
- c. Hitung 10% dari (n), nilai yang diperoleh disebut sebagai indeks. iv. Jika indeks yang diperoleh dari langkah (iii) merupakan bilangan pecahan, lakukan pembulatan ke bilangan terdekat dan lanjutkan ke langkah v(a).
- d. Jika indeks yang dihasilkan berupa bilangan bulat, lanjutkan ke langkah v(b).
- e. Dari kumpulan data yang sudah diurutkan (langkah 1), hitung mulai dari data terkecil hingga mencapai data di urutan yang diperoleh dari langkah 3. Nilai CBR pada urutan tersebut adalah nilai CBR persentil ke-10.
- f. Dari kumpulan data yang sudah diurutkan (langkah 1), hitung mulai dari data terkecil hingga mencapai data di urutan yang diperoleh dari langkah 3. Nilai CBR persentil ke-10 adalah nilai rata-rata dari dua nilai CBR yaitu CBR pada urutan tersebut dan urutan berikutnya.

2.12.6 Pondasi Perkerasan

Jenis pondasi perkerasan jalan ditentukan oleh karakteristik tanah yang ada di lokasi perencanaan jalan.

2.12.6.1 Tanah dasar normal

Tanah dasar normal adalah tanah dasar yang umumnya memiliki nilai CBR in-situ lebih dari 2,5%. Ini mencakup daerah seperti timbunan, galian, dan permukaan tanah asli.

2.12.6.2 Tanah lunak

Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah yang telah mengalami proses konsolidasi yang normal atau sedikit terkonsolidasi. Biasanya, tanah ini berupa lempung atau lempung berpasir dengan nilai CBR kurang dari 2,5% dan kekuatan geser (q_c) yang lebih kecil dari 7,5 kPa. Umumnya, indeks plastisitas (IP) pada tanah lunak lebih besar dari 25.

Dalam persiapan fondasi jalan di atas tanah terkonsolidasi normal, diperlukan metode khusus. Metode konvensional pemadatan permukaan dan pengujian CBR laboratorium tidak dapat digunakan karena tanah biasanya dalam kondisi jenuh dan sulit untuk dipadatkan secara konvensional. Meskipun dalam kondisi kering, hanya lapisan permukaan yang dapat dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat standar, sementara kepadatan dan kekuatan geser lapisan di bawahnya tetap rendah dalam kondisi jenuh.

Tanah terkonsolidasi normal yang mengalami pembebanan statis dan dinamis cenderung mengalami pergerakan yang lebih besar dibandingkan dengan tanah dasar normal yang dipadatkan secara mekanik. Hal ini terjadi karena proses konsolidasi sekunder atau rangkai yang terjadi pada tanah terkonsolidasi normal. Dampak dari pergerakan ini dapat menyebabkan kerusakan yang berbeda pada jalan yang dibangun di atas tanah lunak.

2.12.6.3 Tanah aluvial kering

Uji DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) merupakan metode termudah untuk mengidentifikasi kondisi tanah aluvial kering yang umumnya memiliki kekuatan sangat rendah, seperti CBR di bawah 2%, di bawah lapis permukaan yang kering dan relatif keras. Kedalaman lapis permukaan tersebut biasanya berkisar antara 400 hingga 600 mm. Dengan menggunakan uji DCP, dapat dilakukan penetrasikan konus dinamis ke dalam tanah untuk mengukur resistansi tanah, yang memberikan indikasi kekuatan tanah dan kondisi konsolidasinya.

Tabel 2. 32 Desain pondasi jalan minimum

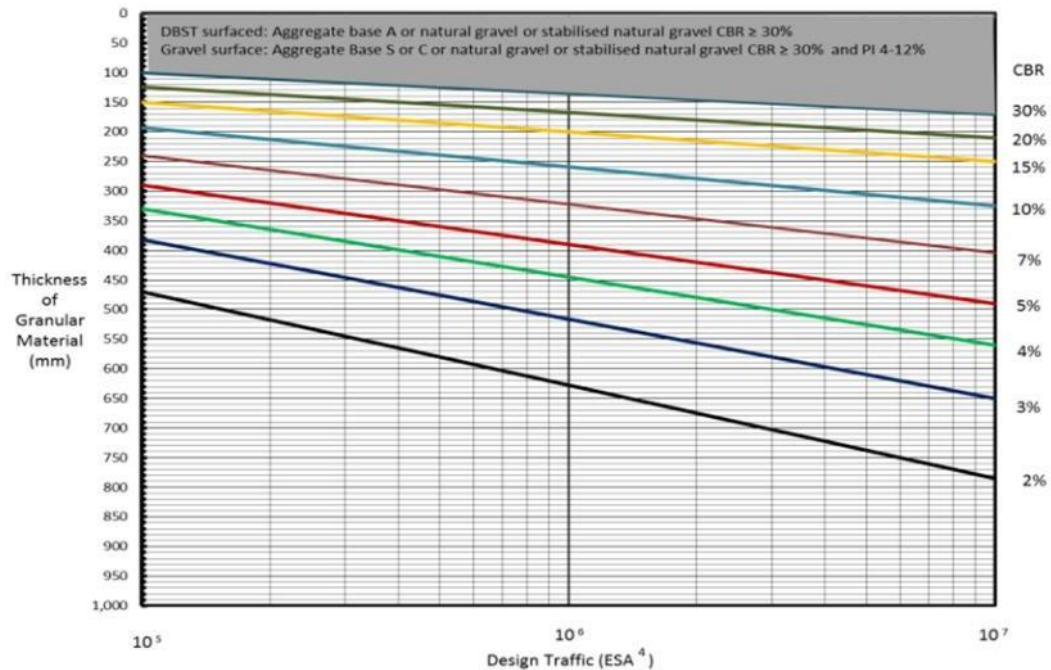
CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Pondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA5)			Stabilisasi Semen
			< 2	2-4	> 4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
> 6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan spesifikasi umum, divisi 3 - pekerjaan tanah) (pemadatan lapisan $\leq 200\text{mm}$ tebal gembur)	Tidak diperlukan perbaikan			300
5	SG5		-	-	100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2,5		175	250	350	
Tanah ekspansif (potensi pemuaian > 5%)			400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan pondasi jalan perkerasan lentur
Perkerasan diatas tanah lunak	SG1	Lapis penopang	1000	1100	1200	
		atau lapis penopang dan <i>geogrid</i>	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir	1000	1250	1500	

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

2.12.7

Desain Perkerasan

Desain perkerasan berdasarkan beban lalu lintas rencana dan pertimbangan biaya terendah ditunjukkan pada Tabel 2.33, 2.34, 2.35, 2.36, 2.37, dan 2.38. Kebutuhan pelapisan tanpa aspal jalan dapat dilihat pada Gambar 2.28.



Gambar 2. 28 Bagan desain-7 Perkerasan tanpa penutup beraspal dan lapis beraspal tipis

Sumber : *Manual Perkerasan, 2017*

2.12.8 Ketebalan Lapisan Perkerasan

Keterbatasan pelaksanaan pemadatan dan segregasi menentukan tebal struktur perkerasan. Perencana harus melihat batasan-batasan tersebut, termasuk ketebalan lapisan yang diizinkan. Jika pada bagan desain ditentukan bahwa suatu bahan dihamparkan lebih tebal dari yang diizinkan, maka bahan tersebut harus dihamparkan dan dipadatkan dalam beberapa lapisan. Ketebalan lapisan yang diizinkan terdapat pada Tabel 2.33.

Tabel 2. 33 Ketebalan lapisan yang diizinkan dan penghamparan

Bahan	Tebal minimum (mm)	Tebal Yang Diperlukan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
HRS WC	30	30-50	tidak
HRS Base	35	35-50	ya

Bahan	Tebal minimum (mm)	Tebal Yang Diperlukan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
AC WC	40	40-50	tidak
AC BC	60	60-80	ya
AC-Base	75	80-120	ya
Lapis Pondasi Agregat Kelas A (gradasi)			
Bahan	Tebal minimum (mm)	Tebal Yang Diperlukan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
dengan ukuran maksimum 37.5 mm)	120	150 -200	ya
Lapis Pondasi Agregat Kelas B (gradasi dengan ukuran maksimum 50 mm)	150	150-200	ya
Lapis Pondasi Agregat Kelas S (gradasi dengan ukuran maksimum 37,5 mm)	120	125-200	ya
CTB (gradasi dengan ukuran maksimum 30 mm) atau LMC	100	150-200	tidak
Stabilisasi tanah atau kerikil alam	100	150-200	tidak
Kerikil alam	100	100-200	ya

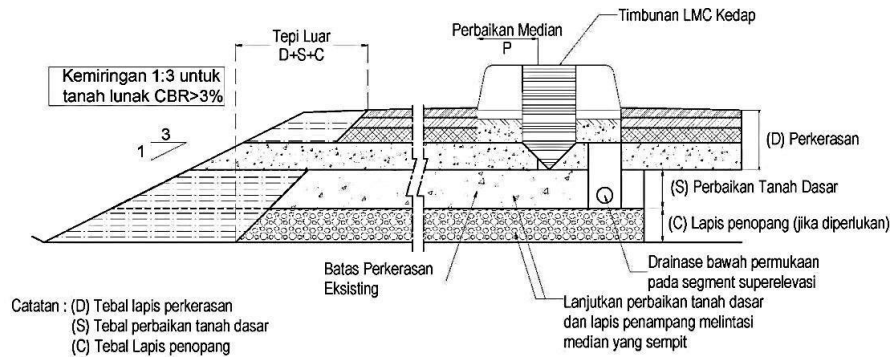
Sumber : Manual Perkerasan, 2017

2.12.9 Daya Dukung Tepi Perkerasan

Struktur perkerasan memerlukan daya dukung tepi yang cukup, terutama apabila terletak pada tanah lunak atau tanah gembut. Ketentuan minimum adalah sebagai berikut :

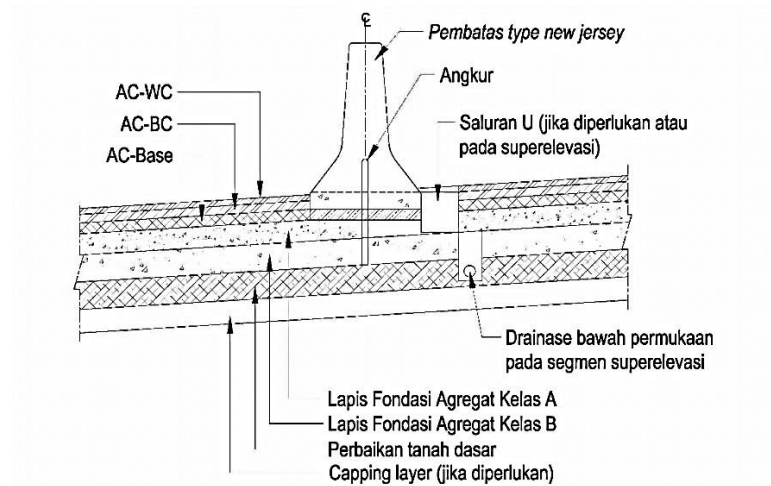
- a. Setiap lapis perkerasan harus dipasang sampai lebar yang sama atau lebih dari nilai minimum.

- b. Timbunan tanpa penahan pada tanah lunak ($\text{CBR} < 2,5\%$) atau tanah gambut harus dipasang pada kemiringan tidak boleh lebih curam dari $1V : 3H$.



Gambar 2. 29 Daya Dukung Tepi Perkerasan

Sumber : *Manual Perkerasan, 2017*



Gambar 2. 30 Perkerasan Untuk Jalan Dengan Median

Sumber : *Manual Perkerasan, 2017*

Tabel 2. 34 Bagan desain-3 Desain perkerasan lentur opsi biaya minimum dengan CTB

Kriteria	F1	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas dibawah 10 juta ESA5 lihat bagian desain 3A-3B dan 3C	Lihat bagan desain 4 untuk alternatif kaku			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur (10ESA)	> 10 - 30	> 30 -35	> 54 -100	> 100 - 200	> 200 -500
Jenis permukaan berpangkat	AC	AC			
Jenis lapis pondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC	60	60	60	60	60
AC BC ATAU AC Base	75	100	125	160	220
CTB	150	150	150	150	150
Pondasi agregat kelas A	150	150	150	150	150

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

Tabel 2. 35 Bagan desain-3A Desain perkerasan lentur dengan HRS

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 CESA)	FF1 < 0,5	0,5 ≤ FF2 ≤ 4,0
Jenis permukaan	HRS atau Penetrasi makadam	HRS
Struktur perkerasan	Tebal lapisan (mm)	
HRS WC	50	30
HRS Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas A atau LFA Kelas B atau kerikil alam atau laps distabilisasi dengan CBR > 10%	150	125

Sumber : *Manual Perkerasan, 2017*

Tabel 2. 36 Bagan desain-3B Desain perkerasan lentur-aspal dengan lapis pondasi berbutir

Kriteria	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusi yang dipilih					Lihat catatan 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ESA5)	> 2	> 2 - 4	> 4 - 7	> 7 - 10	>10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)									
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1		2		3				

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

Tabel 2. 37 Bagan desain-3C Penyesuaian tebal lapis pondasi agregat A untuk tanah dasar $CBR \geq 7\%$ (hanya untuk bagan desain-3B)

Kriteria	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ESA5)	> 2	> 2 - 4	> 4 - 7	> 7 - 10	>10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LFA A (mm) PENYESUAIAN TERHADAP BAGAN DESAIN 3B									
<i>Subgrade</i> $CBR \geq 5,5 - 7$	400	300	300	300	300	300	300	300	300
<i>Subgrade</i> $CBR \geq 7 - 10$	330	220	215	210	205	200	200	200	200
<i>Subgrade</i> $CBR \geq 10$	260	150	150	150	150	150	150	150	150
<i>Subgrade</i> $CBR \geq 15$	200	150	150	150	150	150	150	150	150

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

Tabel 2. 38 Bagan desain-5 Perkerasan berbutir dengan taburan

Jenis Lapisan Perkerasan	STRUKTUR PERKERASAN				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
	Beban sumbu 20 tahun pada lajur desain (ESA4x10)				
	< 0,1	0,1 - 0,5	> 0,5 - 4	> 4 - 10	> 10 - 30
	Ketebalan lapis perkerasan (mm)				
Burda	Ukuran agregat nominal 20 mm				
Lapis Pondasi Agregat Kelas A	200	250	300	320	340
Lapis Pondasi Agregat Kelas A, atau kelas B, atau kerikil alam, atau stabilisasi dengan CBR > 10%, pada subgrade dengan CBR \geq 5%	100	101	102	103	104

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

2.12.10 Pelapisan Bahu Jalan

Pelapisan bahu jalan terkadang diperlukan dalam beberapa kondisi agar mendapatkan hasil perencanaan yang baik.

2.12.10.1 Tebal lapis berbutir

Elevasi tanah dasar untuk bahu harus sama dengan elevasi tanah dasar perkerasan atau setidaknya pelaksanaan tanah dasar badan jalan harus dapat mengalirkan air dengan baik. Untuk memudahkan pelaksanaan, pada umumnya tebal lapis berbutir bahu dibuat sama dengan tebal lapis berbutir perkerasan.

2.12.10.2 Bahu tanpa pengikat

Lapis permukaan harus berupa lapis fondasi agregat kelas S, atau kerikil alam yang memenuhi ketentuan dengan Indeks Plastisitas (IP) antara 4% - 12%. Tebal lapis permukaan bahu LFA kelas S sama dengan tebal lapis beraspal tapi tidak lebih tebal dari 200 mm. Jika tebal lapis beraspal kurang dari 125 mm maka tebal minimum LFA kelas S 125 mm.

2.12.10.3 Bahu diperkeras

Bahu diperkeras untuk kebutuhan berikut:

- a. Jika terdapat kerb (bahu harus ditutup sampai dengan garis kerb)
- b. Gradien jalan lebih dari 4%
- c. Sisi yang lebih tinggi dari kurva superelevasi (superelevasi $\geq 0\%$).
Dalam kasus ini, bahu pada sisi superelevasi yang lebih tinggi harus sama dengan superelevasi badan jalan.
- d. Jalan dengan LHRT lebih dari 10.000 kendaraan
- e. Jalan tol dan jalan bebas hambatan
- f. Material bahu diperkeras dapat berupa penetrasi makadam, burtu/burda, beton aspal (AC), beton semen, dan kombinasi bahu beton 500 mm-600 mm atau pelat beton dengan tied shoulder, atau bahu dengan aspal.

2.12.10.4 Lalu lintas untuk desain bahu

Beban lalu lintas desain pada bahu jalan tidak boleh kurang dari 10% lalu lintas lajur rencana, atau sama dengan lalu lintas yang diperkirakan dengan lapis penutup. Pada umumnya, hal ini dapat dipenuhi dengan burda atau penetrasi makadam yang dilaksanakan dengan baik.

Penentuan kapasitas jalan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C = C_0 \times F_{CW} \times F_{CSP} \times F_{CSF} \quad (2.43)$$

Keterangan:

C = Kapasitas

C0 = Kapasitas dasar (Tabel 2.39)

FCW = Faktor penyesuaian lajur lalu lintas (Tabel 2.40)

FCSP = Faktor penyesuaian arah lalu lintas (Tabel 2.41)

FCSF = Faktor penyesuaian gesekan samping (Tabel 2.42)

Tabel 2. 39 Kapasitas Dasar untuk Jalan antar Kota Dengan 2 Lajur 2 Arah (2/2 UD)

Jenis dan alinyemen jalan (empat lajur terbagi)	Kapasitas dasar total dua arah (SMP/Jam/Lajur)
Datar	3100
Bukit	3000
Gunung	2900

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

Tabel 2. 40 Faktor Penyesuaian Pengaruh Lebar Lajur Lalu Lintas (F_{CW})

Jenis jalan	Lebar efektif lajur lalu lintas (W_c) (m)	FCW
Empat lajur terbagi Enam lajur terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Dua lajur tak terbagi	Total dua arah	
	5,00	0,69
	6,00	0,91
	7,00	1,00
	8,00	1,08
	9,00	1,15
	10,00	1,21
11,00	1,27	

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

Tabel 2. 41 Faktor Penyesuaian Kapasitas Karena Pemisahan Arah (FC_{SP})

Pemisahan arah SP %--%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC_{SP}	Dua lajur 2/2	1,000	0,970	0,940	0,910	0,880
	Empat lajur 4/2	1,000	0,975	0,950	0,925	0,900

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

Tabel 2. 42 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pengaruh Hambatan Samping (FC_{SF})

Jenis jalan	Kelas hambatan	Faktor Penyesuaian Akibat Pengaruh Gesekan Samping (FC_{SF})			
		$\leq 0,5$	1	1,5	≥ 2
4/2 D	VL	0,99	1,00	1,01	1,03
	L	0,96	0,97	0,99	1,01
	M	0,93	0,95	0,96	0,99
	H	0,90	0,92	0,95	0,97
	VH	0,88	0,90	0,95	1,01
2/2 D 4/2 D	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,88	0,91	0,64	0,98
	H	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH	0,80	0,83	0,88	0,93

Sumber : Manual Perkerasan, 2017

2.13 Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Dengan Menggunakan Metode Analisa Komponen

2.13.1 Lalu Lintas

- a. Jumlah Jalur dan koefisien distribusi kendaraan (C)

Jalan yang tidak memiliki tanda batas jalur, maka jumlah jalur ditentukan dari lebar perkerasan menurut daftar seperti pada Tabel 2.43.

Tabel 2. 43 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Lajur (n)
$L < 5,50$ m	1 jalur
$5,50 \text{ m} \leq L < 8,25$ m	2 jalur
$8,25 \leq L < 11,25$ m	3 jalur
$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00$ m	4 jalur
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75$ m	5 jalur
$18,75 \text{ m} \leq L < 22,00$ m	6 jalur

Sumber: Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada jalur rencana ditentukan tabel 2. 44 dibawah ini:

Tabel 2. 44 Koefisien Distribusi Kendaraan

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan *)		Kendaraan Berat **)	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 jalur	1,00	1,00	1,00	1,000
2 jalur	0,60	0,50	0,70	0,500
3 jalur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 jalur	-	0,30	-	0,450
5 jalur	-	0,25	-	0,425
6 jalur	-	0,20	-	0,400

Sumber: Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

*) berat total < 5 ton, misalnya mobil penumpang, pick up, mobil hantaran.

***) berat total > 5 ton, misalnya bus, truk, traktor, semi trailer, trailer.

Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Angka Ekuivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus daftar dibawah ini:

Tabel 2. 45 Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Beban Sumbu		Angka Ekuivalen	
Kg	Lb	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
1000	2205	0,0002	-
2000	4409	0,0036	0,0003
3000	6614	0,0183	0,0016
4000	8818	0,0577	0,0050
5000	11023	0,1410	0,0121
6000	13228	0,2923	0,0251
7000	15432	0,5415	0,0466
8000	17637	0,9238	0,0794
8160	18000	1,0000	0,0860
9000	19841	1,4798	0,1273
10000	22046	2,2555	0,1940
11000	24251	3,3022	0,2840
12000	26455	4,6770	0,4022
13000	28660	6,4419	0,5540
14000	30864	8,6647	0,7452
15000	33069	11,4184	0,9820
16000	35276	14,7815	1,2712

Sumber: Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

b. Lalu lintas harian rata-rata dan rumus-rumus lintas Ekuivalen

Lalu lintas harian rata-rata (LHR)

Pada awal perencanaan, lalu lintas harian rata-rata (LHR) untuk setiap jenis kendaraan ditentukan. Perhitungan ini dilakukan untuk dua arah pada jalan tanpa median, atau masing-masing arah pada jalan dengan median.

Lalu lintas harian rata-rata permulaan (LHR):

$$LHR_p = LHR_s \times (1 + i)^{n1} \quad (2.44)$$

Lalu lintas harian rata-rata akhir (LHRA)

$$LHR_A = LHR_p \times (1 + i)^{n2} \quad (2.45)$$

Rumus-rumus lintas Ekuivalen:

Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP)

$$LEP = \sum_j^n = mp (LHR_{PJ}) \times C \times E \quad (2.46)$$

Lintas Ekuivalen Akhir (LEA)

$$LEA = \sum_j^n = mp (LHR_{PJ}) \times C \times E \quad (2.47)$$

Lintas Ekuivalen Tengah (LET)

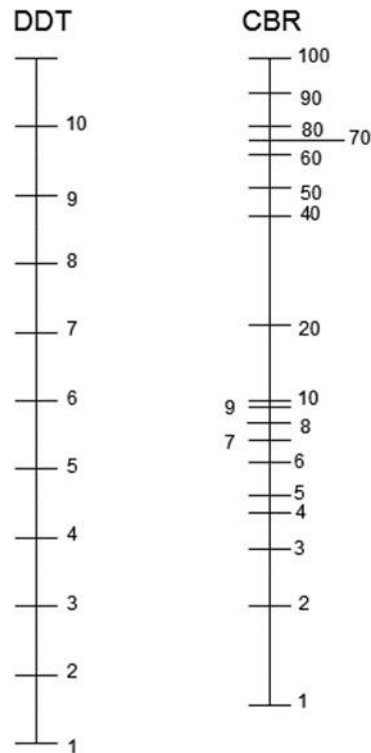
$$LET = \frac{LEP + LEA}{2} \quad (2.48)$$

Lintas Ekuivalen Rencana (LER)

$$LER = LET \times Fp \quad (2.49)$$

2.13.2 Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) Dan (CBR)

Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) merupakan parameter yang penting dalam perencanaan dan desain struktur perkerasan jalan. Penetapan DDT umumnya didasarkan pada grafik korelasi antara DDT dan *California Bearing Ratio* (CBR). CBR adalah parameter yang menggambarkan kemampuan tanah untuk menahan beban pembebanan relatif terhadap kemampuan tanah dasar standar.



Gambar 2. 31 Korelasi DDT dan CBR

Sumber : Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

Catatan: Hubungan nilai CBR dengan garis mendatar ke sebelah kiri diperoleh nilai DDT.

Hubungan antara Daya Dukung Tanah (DDT) dan *California Bearing Ratio* (CBR) dapat dinyatakan dalam bentuk nomogram atau melalui persamaan berikut:

$$DDT = 4,9 \log(CBR) + 1,7 \quad (2. 50)$$

2.13.3 Faktor Regional

Faktor regional bisa juga disebut faktor koreksi sehubungan dengan perbedaan kondisi tertentu. Kondisi tertentu yang dimaksud adalah keadaan lapangan dan keadaan iklim. Keadaan lapangan mencakup permeabilitas tanah, perlengkapan drainase, bentuk alinyemen serta persentase kendaraan dengan berat 13 ton. Sedangkan keadaan iklim mencakup curah hujan rata-rata per tahun. Berikut merupakan tabel dari faktor regional.

Tabel 2. 46 Faktor Regional (FR)

Curah Hujan	Kelandaian I (< 6 %)		Kelandaian I (6-10 %)		Kelandaian II (> 10%)	
	% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat	
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
Iklim I < 900 mm/tahun	0,5	1,0-1,5	1	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
Iklim II ≥ 900 mm/tahun	1,5	2,0-2,5	2	2,0-3,0	2,5	3,0-3,5

Sumber : Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

2.13.4 Indeks Permukaan (IP)

Pada Indeks Permukaan menyatakan nilai dari pada kerataan / kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu-lintas yang lewat.

Adapun beberapa nilai IP beserta artinya adalah sebagai berikut:

IP = 1,5 : adalah tingkat pelayanan rendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus).

IP = 2,0 : adalah tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang mantap.

IP = 2,5 : adalah menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik.

Tabel 2. 47 Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana (IP)

LER = Lintas Ekuivalen Rencana *)	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Ateri	Tol
< 10	1,0-1,5	1,5	1,5-2,0	-
10-100	1,5	1,5-2,0	2	-
100-1000	1,5-2,0	2	2,0-2,5	-
> 1000	-	2,0-2,5	2,5	2,5

Sumber : Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

*) LER dalam satuan angka Ekuivalen 8,16 ton beban sumbu tunggal

Untuk menentukan indeks permukaan pada awal umur rencana (IPo) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan (kerataan / kehalusan serta kekokohan) pada awal umur rencana menurut daftar di bawah ini

Tabel 2. 48 Indeks Permukaan pada Awal Umur Rencana (Ip0)

Jenis Permukaan	IPo	Roughness *) (mm/km)
LASTON	≥ 4	≤ 1000
	3,9-3,5	> 1000
LASBUTAG	3,9-3,5	≤ 2000
	3,4-3,0	> 2000
HRA	3,9-3,5	≤ 2000
	3,4-3,0	> 2000
BURDA	3,9-3,5	< 2000
BURTU	3,4-3,0	< 2000
LAPEN	3,4-3,0	≤ 3000
	2,9-2,5	> 3000
LATASBUM	2,9-2,5	
BURAS	2,9-2,5	
LATASIR	2,9-2,5	
JALAN TANAH	$\leq 2,4$	
JALAN KERIKIL	$\leq 2,4$	

Sumber : Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

2.13.5 Koefisien Kekuatan Relatif

Masing-masing bahan dan kegunaan sebagai lapis permukaan pondasi bawah memiliki koefisien kekuatan relatif (a), yang ditentukan secara korelasi sesuai nilai *Marshall Test* (untuk bahan dengan aspal), kuat tekan untuk (bahan yang distabilisasikan dengan semen atau kapur) atau CBR (untuk bahan lapis pondasi atau pondasi bawah).

Tabel 2. 49 Koefisien Kekuatan Relatif

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
A1	A2	A3	MS (Kg)	Kt (Kg/cm)	CBR (%)	
0,40	-	-	744	-	-	laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,35	-	-	454	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	HRA

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
A1	A2	A3	MS (Kg)	Kt (Kg/cm)	CBR (%)	
0,26	-	-	340	-	-	Aspal macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
0,20	-	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,28	-	590	-	-	
-	0,26	-	454	-	-	Laston atas
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan kapur
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan kapur
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Batu pecah (Kelas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu pecah (Kelas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu pecah (Kelas C)
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu/pitrun (kelas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu/pitrun (kelas B)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu/pitrun (kelas C)
-	-	0,10	-	-	20	Tanah/lempung kepasiran

Sumber : Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

2.13.6 Batas-batas Minimum Tebal Perkerasan

a. Lapis Permukaan

Pada permukaan memiliki batas minimum permukaan, yang dinyatakan pada tabel 2. 50 berikut:

Tabel 2. 50 Lapis Permukaan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	5	Lapis pelindung: (Buras / Burtu, Burda)
ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
3,00-6,70	5	Lapan/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
6,71-7,49	7,5	Lapan/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
7,50-9,99	7,5	Lasbutag, Laston
≥ 10,00	10	Laston

Sumber : Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

b. Lapis Pondasi Atas

Pada atas memiliki batas minimum permukaan, yang dinyatakan pada tabel 2. 51 berikut:

Tabel 2. 51 Lapis Pondasi Atas

ITP	Tebal Minimum	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
3,00-7,49	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
	10	Laston atas
7,50-9,99	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam
	15	Laston atas
10-12,14	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapan, Laston atas
≥ 12,25	25	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapan, Laston atas

Sumber : Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

*) batas 20 cm tersebut dapat diturunkan menjadi 15 cm bila untuk pondasi bawah digunakan material berbutir kasar.

c. Lapis Pondasi Bawah

Untuk setiap nilai ITP bila digunakan pondasi bawah, tebal minimum adalah 10 cm.

2.13.7 Analisis Komponen Perkerasan

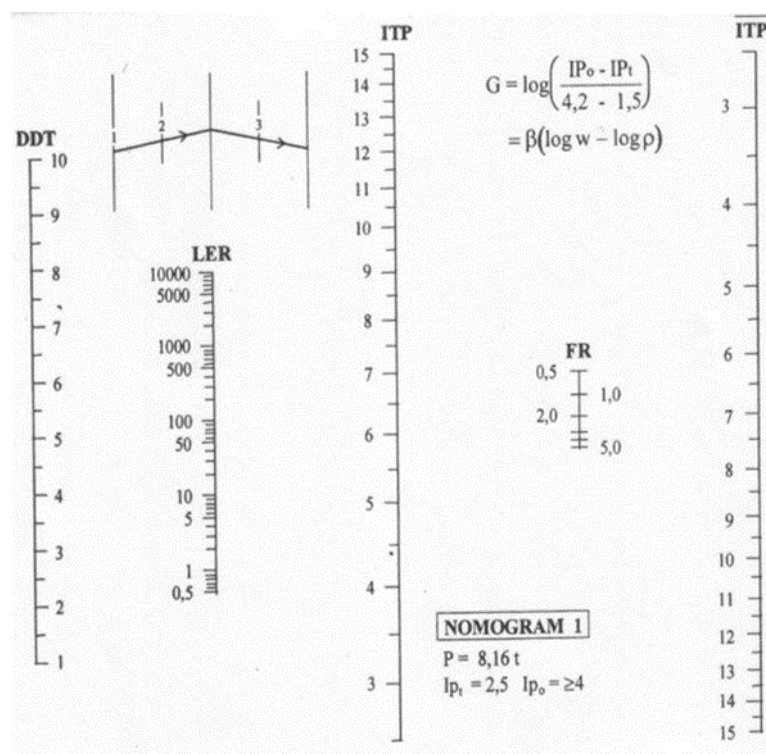
Indeks Tebal Perkerasan (ITP) merupakan penentu untuk tebal perkerasan. Dimana perhitungan perkerasan ini didasarkan pada kekuatan relatif masing-masing. ITP memiliki rumus sebagai berikut:

$$ITP = \alpha 1D1 + \alpha 2D2 + \alpha 3D3 \quad (2.51)$$

Keterangan :

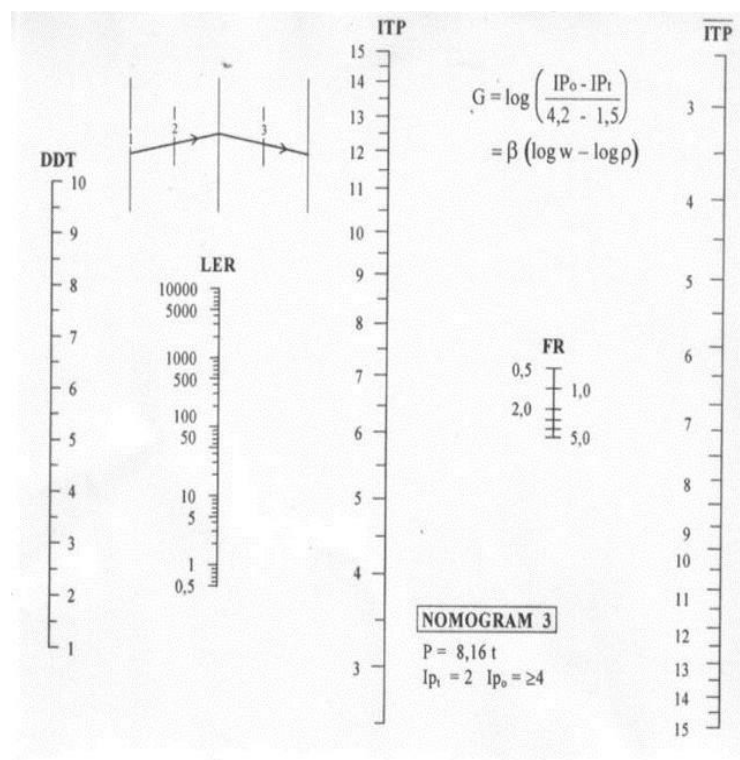
D1,D2,D3 = Tebal masing-masing lapis perkerasan (cm)

Angka 1,2,3 masing-masing lapis permukaan, lapis pondasi atas dan pondasi bawah.



Gambar 2. 32 Nomogram 1 untuk $I_{pt} = 2,5$ dan $I_{po} = > 4$

Sumber : Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987



Gambar 2. 33 Nomogram 3 untuk $I_{pt} = 2$ dan $I_{po} = > 4$

Sumber : Standar Konstruksi Bangunan Indonesia 2.3.26, 1987

2.14 Perencanaan Drainase

Perencanaan sistem drainase merupakan bagian penting dalam konstruksi bangunan yang bertujuan untuk mengalirkan dan menampung air hujan yang mengalir dari permukaan jalan atau dari bawah jalan. Jika tidak ada sistem drainase yang memadai, air hujan tersebut akan menggenangi di permukaan jalan dan dapat mengganggu keamanan dan kenyamanan pengguna jalan.

Nurisandira, dkk. (2020; 1) mengungkapkan bahwa “adanya saluran drainase di sepanjang jalan merupakan salah satu faktor penting untuk menunjang kualitas dan kenyamanan bagi masyarakat sekitar. Tanpa adanya sistem drainase yang baik di sepanjang jalan tersebut, saat musim hujan akan terjadi kelebihan air yang tidak terbuang kemudian menjadi genangan di sepanjang ruas jalan dan merusak konstruksi jalan yang ada”. Dengan demikian sistem drainase yang baik sangatlah penting untuk perencanaan jalan agar dapat menunjang kualitas dan keawetan konstruksi jalan.

2.14.1 Analisis Hidrologi

Dalam perhitungan analisis hidrologi, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, diantara-Nya:

a. Metode Rata-rata Aljabar

Metode rata-rata aljabar merupakan pendekatan yang menggunakan perhitungan rata-rata aljabar dari data curah hujan yang tercatat di dalam dan di sekitar daerah yang sedang dianalisis. Metode ini digunakan untuk mengestimasi curah hujan di suatu daerah dengan mengambil rata-rata dari data curah hujan yang tersedia dalam jangka waktu tertentu. Dalam metode ini, digunakan rumus berikut:

$$R = \frac{1}{n}(R_1 + R_2 + \dots, R_n) \quad (2. 52)$$

Keterangan:

R = Curah hujan daerah

n = Jumlah titik atau pos pengamatan

$R_1 + R_2 + \dots, R_n$ = Curah hujan di setiap titik pengamatan

b. Metode *Polygon Thiessen*

Metode *Thiessen Polygon* adalah metode perhitungan curah hujan yang mempertimbangkan daerah yang memengaruhi setiap titik pengamatan. Metode ini berguna terutama ketika titik-titik pengamatan curah hujan tidak terdistribusi secara merata di dalam daerah pengamatan. Berikut adalah rumus yang digunakan dalam metode ini.

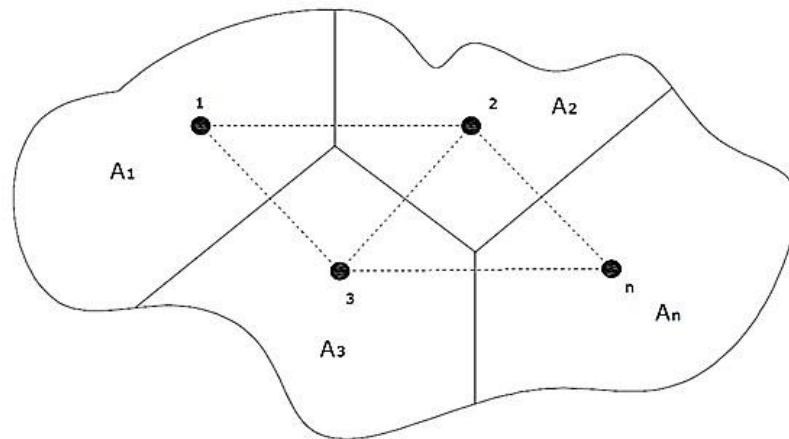
$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + P_3A_3 + \dots, P_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots, A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_iA_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2. 53)$$

Keterangan:

P = Curah hujan kawasan, (mm)

P_1, P_2, \dots, P_n = Curah hujan masing-masing stasiun, (mm)

$A_1 + A_2 + \dots, A_n$ = Luasan area *polygon*, (km²)



Gambar 2. 34 Metode *Polygon Thiessen*

Sumber: Suripin, 2004

c. Metode *Isohyet*

Metode *Isohyet* adalah metode yang sangat efektif dalam perhitungan curah hujan, terutama jika garis-garis *isohyet* dapat digambarkan secara akurat. Berikut ini adalah rumus yang digunakan dalam metode *Isohyet*.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1}}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.54)$$

atau

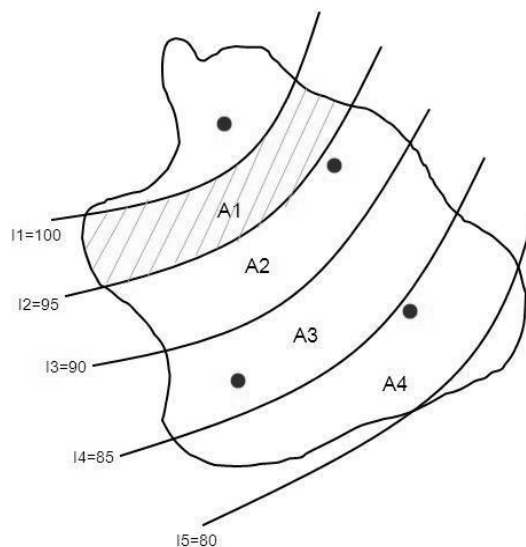
$$\bar{R} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.55)$$

Keterangan:

\bar{R} = Hujan rata-rata suatu DAS

I = garis isohyet

A = Luas area dibatasi poligon, (km²)



Gambar 2. 35 Metode *Ishoyet*

Sumber: Suripin, 2004

2.14.2 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk mempelajari frekuensi atau pengulangan suatu kejadian. Dalam konteks perencanaan hidrologi, analisis frekuensi berfungsi sebagai dasar untuk menghitung probabilitas kemungkinan kejadian-kejadian yang akan terjadi. Hal ini penting untuk mengantisipasi risiko dan merencanakan infrastruktur dan tindakan yang sesuai untuk menghadapi kejadian-kejadian tersebut.

Dalam perhitungan analisis frekuensi, dapat digunakan distribusi yang sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Pemilihan parameter jenis distribusi dapat dilihat pada tabel 2.52.

Tabel 2. 52 Parameter Pemilihan Jenis Distribusi

Jenis Sebaran	Kriteria
Log Normal	$C_s = 3 C_v + C_v^2$
	$C_v = 0,06$
Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0$
	$C_v = 0,3$
Gumbel	$C_s \leq 1,1396$
	$C_k \leq 5,4002$
Normal	$C_s = 0$
	$C_k = 3$

Sumber: Suripin, 2004

a. Distribusi Normal

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S_X \quad (2.56)$$

Keterangan:

X_T = CH/intensitas hujan pada periode Tr

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung varian

S_X = Deviasi standar nilai varian

K_T = Variabel reduksi gauss. Nilai KT dapat dilihat pada lampiran

b. Distribusi Log Pearson Tipe III

Tiga parameter penting dalam LP.III ini adalah (1) harga rata-rata; (2) simpangan baku; dan (3) koefisien kumencengang. Jika koefisien kumencengang sama dengan nol, maka distribusi kembali ke distribusi Log Normal.

Mencari harga rata-rata:

$$\text{Log } \bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{\log x}{n} \quad (2.57)$$

$$\text{Log}(X_T) = \text{Log}(\bar{X}) + K \cdot S_X \quad (2.58)$$

$$X_T = 10^{\text{Log}(\bar{X}) + K \cdot S_X} \quad (2.59)$$

Keterangan:

X_T = CH/intensitas hujan pada Tr

K = Variabel standar bergantung Cs dan G, terdapat pada lampiran

S_X = Deviasi standar nilai varian

T_r = Tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun, dst)

c. Distribusi Gumbel

$$X_T = \bar{X} + \left[\frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \right] S_X \quad (2.60)$$

$$X_T = \bar{X} + K \cdot S_X \quad (2.61)$$

$$Y_T = -\ln + \left[-\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right] \quad (2.62)$$

Keterangan:

X_T = CH/intensitas hujan pada periode Tr

Y_{Tr} = Faktor ln dari Tr

Y_n = Reduce mean factor. Nilai Yn dapat dilihat pada lampiran

S_n = Reduce standard deviation. Nilai S_n dapat dilihat pada lampiran

T_r = Tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun, dst) X = Nilai rata-rata hitung varian

S_x = Deviasi standar nilai varian

K = Faktor probabilitas, nilai $K = Y_{Tr} - Y_n / S_n$

d. Distribusi Log Normal

$$\text{Log}(X_T) = \text{Log}(\bar{X}) + K \cdot S_x \quad (2.63)$$

$$X_T = 10^{\text{Log}(\bar{X}) + K \cdot S_x} \quad (2.64)$$

Keterangan:

X_T = CH/intensitas hujan pada TR

K = Variabel reduksi gauss

Tabel 2. 53 variabel reduksi Gauss

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	KT
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,01	0,990	-2,33
4	1,05	0,952	-1,64
5	1,11	0,901	-1,28
6	1,25	0,800	-0,84
7	1,33	0,752	-0,67
8	1,43	0,699	-0,52
9	1,67	0,599	-0,25
10	2,0	0,500	0
11	2,5	0,400	0,25
12	3,33	0,300	0,52
13	4,0	0,250	0,67
14	5,0	0,200	0,84
15	10,0	0,100	1,28
16	20,0	0,050	1,64
17	50,0	0,020	2,05
18	100,0	0,010	2,33
19	200,0	0,005	2,58
20	500,0	0,002	2,88
21	1.000,0	0,001	3,09

Sumber: Suripin, 2004

2.14.3 Pengujian Kecocokan Fungsi Distribusi

a. Uji *Chi-Square*

Uji *Chi-Square* adalah metode statistik yang digunakan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel yang dianalisis, berdasarkan jumlah pengamatan yang diharapkan pada setiap kelas. Uji ini biasanya digunakan untuk menguji kecocokan antara distribusi yang diharapkan (teoritis) dengan distribusi yang diamati pada data pengamatan.

$$Chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \quad (2.65)$$

$$K = 1 + 2,332 \cdot \log(n) \quad (2.66)$$

$$D_k = K - (p + 1) \quad (2.67)$$

Keterangan:

Chi^2 = Parameter *chi*-kuadrat terhitung

E_f = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

O_f = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama

n = Jumlah sub-kelompok

D_k = Derajat kebebasan

p = Banyaknya parameter, untuk uji *Chi-Kuadrat* adalah 2

K = Jumlah kelas distribusi

Jika Chi^2 terhitung < Chi^2 kritis, maka metode distribusi dapat diterima. Harga kritis *Chi-square* terdapat pada lampiran.

b. *Smirnov-Kolmogorov*

Uji *Smirnov-Kolmogorov* digunakan untuk membandingkan probabilitas antara distribusi empiris dan distribusi teoritis dari suatu variabel (D). Perbedaan maksimum yang dihitung (D_{maks}) kemudian dibandingkan dengan perbedaan kritis (D_{cr}) yang tergantung pada tingkat signifikansi dan jumlah sampel yang digunakan.

$$P = \frac{m}{n+1} 100\% \quad (2.68)$$

Keterangan:

P = Probabilitas, (%)

m = Nomor urut data dari seri data yang telah disusun

n = banyaknya data

Jika $(D_{maks}) < (D_{cr})$ maka sebaran sesuai dan dapat diterima. Harga kritis Smirnov-Kolmogorov terdapat pada lampiran.

Tabel 2. 54 Harga kritis Kolmogorov Smirnov

n	α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
> 50	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Sumber : SNI 2015: 2016

2.14.4 Intensitas hujan

Intensitas curah hujan mengacu pada tingkat keparahan curah hujan yang terjadi dalam suatu periode waktu tertentu, di mana air hujan berkonsentrasi. Umumnya, hujan memiliki karakteristik bahwa semakin singkat durasi hujan, intensitasnya akan semakin tinggi. Selain itu, jika periode ulang curah hujan semakin lama, intensitas curah hujan juga cenderung meningkat.

Dalam hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan, sering digunakan lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi ($IDF = Intensity-Duration-Frequency Curve$). Untuk membentuk lengkung IDF, diperlukan data hujan jangka pendek dengan durasi yang berbeda-beda. Beberapa durasi umum yang digunakan adalah 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit, dan beberapa interval durasi lainnya seperti jam-jam tertentu.

Dalam menentukan intensitas hujan, dapat menggunakan metode Mononobe. Metode ini digunakan ketika data hujan pendek tidak tersedia, dan yang ada hanya data hujan harian. Dalam hal ini, intensitas hujan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2. 69)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan, (mm/jam)

t = Lamanya hujan, (jam)

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

2.14.5 Menentukan Debit Aliran

Metode rasional praktis adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghitung debit puncak aliran. Metode ini memberikan cara praktis untuk menggambarkan hubungan antara debit limpasan dan curah hujan yang terjadi secara praktis. Metode ini umumnya berlaku untuk luas Daerah Aliran Sungai (DAS) yang relatif kecil, yaitu kurang dari 300 hektar.

$$Q = \frac{1}{3,6} C \times I \times A \quad (2. 70)$$

Keterangan:

Q = Debit rencana, (m³/det)

C = Koefisien pengaliran rata-rata dari C1, C2, C3

I = Intensitas hujan, (mm/jam)

A = Luas daerah layanan (km²), terdiri atas A1, A2, A3

2.14.6 Menentukan Waktu Konsentrasi (Tc)

Waktu konsentrasi (Tc) dihitung ketika air hujan jatuh di suatu daerah aliran dan mencapai permukaan daerah aliran (DAS) yang terjauh dari muara. Berikut adalah rumus yang dapat digunakan.

$$Tc = t_1 + t_2 \quad (2. 71)$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L_0 \frac{nd}{\sqrt{S}} \right)^{0,167} \quad (2. 72)$$

$$t_2 = \frac{L}{60V} \quad (2. 73)$$

Keterangan:

T_c = Waktu konsentrasi, (menit)

t_1 = Waktu untuk mencapai awal saluran dari titik terjauh, (menit)

t_2 = Waktu aliran dalam saluran sepanjang L dari ujung saluran, (menit)

L_o = Jarak dari titik terjauh ke fasilitas drainase, (m)

S = Kemiringan daerah pengaliran, dapat dilihat pada lampiran

L = Panjang saluran, (m)

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

nd = Koefisien hambatan, dapat dilihat pada lampiran

Tabel 2. 55 Kemiringan Satuan Memanjang (i_s) Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis Material	Kemiringan saluran (i_s %)
1	Tanah Asli	0 - 5
2	Kerikil	5-7,5
3	Pasangan	7,5

Sumber : *Perencanaan Sistem Drainase Jalan, 2006*

Tabel 2. 56 Kemiringan Rata-rata Saluran Terhadap Kecepatan Rata-rata

Kemiringan rata-rata saluran (%)	Kecepatan rata-rata (m/det)
< 1	0,4
1 sampai < 2	0,6
2 sampai < 4	0,9
4 sampai < 6	1,2
6 sampai < 10	1,5
10 sampai < 15	2,4

Sumber : *Perencanaan Sistem Drainase Jalan, 2006*

Tabel 2. 57 Koefisien Hambatan (nd) Berdasarkan Kondisi Permukaan

No.	Kondisi Lapis Permukaan	nd
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,020
3	Permukaan licin dan kokoh	0,100
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,200
5	Padang rumput dan rerumputan	0,400
6	Hutan gundul	0,600

No.	Kondisi Lapis Permukaan	nd
7	Hutan rimbum dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,800

Sumber : *Perencanaan Sistem Drainase Jalan, 2006*

2.14.7 Menentukan Koefisien pengaliran (C)

Koefisien pengaliran (C) digunakan untuk menggambarkan kondisi suatu daerah aliran. Koefisien pengaliran (C) merupakan perbandingan antara komponen air yang dapat diuraikan sebagai berikut:

$$C = \frac{\text{Volume air yang berhasil mencaoai muara DAS}}{\text{Volume air hujan yang jauh diatas DAS}} \quad (2.74)$$

Dalam praktiknya, sering kali terdapat berbagai jenis tata guna lahan yang bercampur baur di dalam suatu daerah aliran. Oleh karena itu, untuk mendapatkan koefisien pengaliran gabungan (Cw), dapat digunakan rumus komposit sebagai berikut:

$$C = \frac{C_1A_1+C_2A_2+C_3A_3}{A_1+A_2+A_3} \quad (2.75)$$

Keterangan:

$A_1 + A_2 + A_3$ = Luas daerah pengaliran yang diperhitungkan sesuai dengan kondisi permukaan, (km²)

C_1, C_2, C_3 = Koefisien pengaliran yang sesuai dengan tipe kondisi permukaan

Tabel 2. 58 Harga koefisien pengaliran (C) dan harga faktor limpasan (fk)

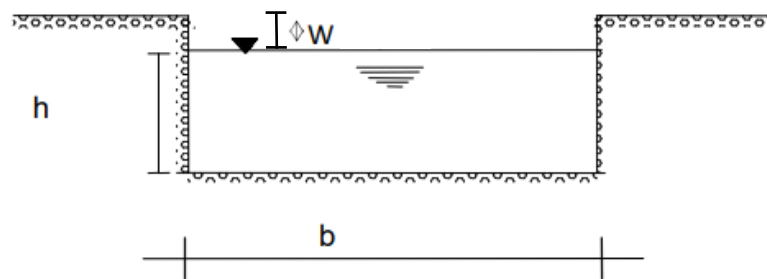
No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien pengaliran (C)*	Faktor Limpasan (fk)
1	Jalan beton dan jalan aspal	0,70-0,95	-
2	Jalan kerikil dan jalan tanah	0,40-0,70	-
3	Bahu jalan:		-
	- Tanah berbutir halus	0,40-0,65	-
	- Tanah berbutir kasar	0,10-0,20	-
	- Batuan masif keras	0,70-0,85	-
	- Batuan masif lunak	0,60-0,75	-
4	Daerah perkotaan	0,70-0,95	2
5	Daerah pinggiran kota	0,60-0,70	1,5
6	Daerah industri	0,60-0,90	1,2
7	Pemukiman padat	0,40-0,60	2
8	Pemukiman tidak padat	0,40-0,60	1,5
9	Taman dan kebun	0,20-0,40	0,2

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien pengaliran (C)*	Faktor Limpasan (fk)
10	Persawahan	0,45-0,60	0,5
11	Perbukitan	0,70-0,80	0,4
12	Pegunungan	0,75-0,90	0,3

Sumber : *Perencanaan Sistem Drainase Jalan, 2006*

2.14.8 Dimensi saluran drainase

Dalam Menentukan dimensi saluran drainase, penting untuk memastikan bahwa saluran tersebut sesuai dengan kebutuhan yang ada agar biaya yang dikeluarkan menjadi ekonomis. Salah satu bentuk saluran yang umum digunakan adalah saluran persegi.



Gambar 2. 36 Potongan Melintang Model Persegi

Sumber : *Perencanaan Sistem Drainase Jalan, 2006*

Berikut adalah langkah-langkah untuk Menentukan dimensi saluran drainase berbentuk persegi:

- Tentukan bahan saluran, koefisien manning (n), kecepatan (V), bentuk saluran dan kemiringan saluran yang diizinkan pada saluran. Harga koefisien manning (n) dapat dilihat pada tabel 2.59.
- Dalam Menentukan kecepatan saluran harus lebih kecil daripada kecepatan saluran yang diizinkan (kecepatan saluran < kecepatan saluran yang diizinkan).

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (2.76)$$

- Tentukan tinggi jagaan (W) dan lebar saluran (b), lalu hitung jari-jari hidrolis (R), tinggi muka air (h), dan debit saluran (Qs).

$$A = b \cdot h \quad (2.77)$$

$$P = b + 2h \quad (2.78)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.79)$$

$$W + \sqrt{0,5h} \quad (2. 80)$$

Keterangan:

A = Luas penampang basah, (m²)

P = Keliling basah, (m)

R = Jari-jari hidrolis, (m)

V = Kecepatan aliran, (m/dt)

n = Koefisien kekasaran manning, bisa dilihat pada Tabel 2.59 I =
Kemiringan saluran yang diizinkan

W = Tinggi jagaan, (m)

- d. Nilai Q_s harus lebih kecil dari Q_r ($Q_s < Q_r$), maka dimensi saluran bisa diterima, jika tidak maka perhitungan dimensi saluran harus diulang.

Tabel 2. 59 Angka Kekasaran Manning (n)

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
	SALURAN BUATAN				
1	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,02	0,023	0,025
2	Saluran tanah yang dibuat dengan <i>excavator</i>	0,023	0,028	0,03	0,04
3	Saluran pada dinding bantuan, lurus, teratur	0,02	0,03	0,033	0,035
4	Saluran pada dinding bantuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,04	0,045	0,045
5	Saluran batuan yang dibedakan ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,03	0,035	0,04
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,03	0,033	0,035
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,02	0,025	0,028	0,03
	SALURAN ALAM				
8	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0,025	0,028	0,03	0,033
9	Seperti no.8, tetapi ada timbunan atau kerikil	0,03	0,033	0,035	0,04
10	Melengkung, bersih, berlubang dan berinding pasir	0,03	0,035	0,04	0,045

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
11	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur	0,04	0,045	0,05	0,055
12	Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,04	0,045	0,05
13	Seperti no.10, sebagian berbatu	0,045	0,05	0,055	0,06
14	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,05	0,06	0,07	0,08
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,1	0,125	0,15
No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
	SALURAN BUATAN, BETON, ATAU BATU KALI				
16	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian	0,025	0,03	0,033	0,035
17	Seperti no.10, tapi dengan penyelesaian	0,017	0,02	0,025	0,03
18	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19	Saluran beton halus dan rata	0,01	0,011	0,012	0,013
20	Saluran beton pra cetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21	Saluran beton pra cetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

Sumber : *Perencanaan Sistem Drainase Jalan, 2006*

2.15 Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perhitungan yang mencakup jumlah biaya yang dibutuhkan untuk bahan, peralatan, upah tenaga kerja, dan biaya lainnya yang terkait dengan pelaksanaan suatu pekerjaan atau proyek. RAB berfungsi sebagai panduan dalam mengestimasi dan mengendalikan anggaran proyek.

Menurut Dika, dkk.(2020; 2) “RAB memiliki fungsi penting sebagai acuan dasar pelaksanaan proyek, mulai dari pemilihan kontraktor yang sesuai, pembelian bahan bangunan, pengawasan proyek agar berjalan sesuai dengan rancangan dan kesepakatan awal dengan kontraktor, serta mengurangi kemungkinan pembengkakan biaya”. Dengan demikian RAB menjadi acuan dasar yang memberikan panduan penting dalam mengelola proyek secara efisien dan efektif.

Perencanaan RAB melibatkan langkah-langkah untuk menghitung Harga Satuan Dasar (HSD) untuk upah tenaga kerja, alat, dan bahan. Selanjutnya, HSD digunakan untuk menghitung Harga Satuan Pekerjaan (HSP) sebagai bagian dari Harga Perkiraan Sendiri (HPS). RAB juga dapat digunakan untuk menganalisis Harga Perkiraan Perencanaan (HPP) dalam penanganan pekerjaan bidang pekerjaan umum.

Untuk Menentukan biaya yang diperlukan dalam suatu proyek, penting untuk mengetahui volume pekerjaan yang direncanakan. Volume galian dan timbunan dapat dilihat melalui gambar potongan melintang.

2.15.1 Analisa Harga Satuan

Analisis Harga Satuan (AHS) adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan biaya suatu item atau pekerjaan dalam proyek konstruksi. Metode ini didasarkan pada harga satuan yang telah ditentukan sebelumnya, yang biasanya didasarkan pada pengalaman atau data harga historis. Dengan menggunakan AHS, dapat dihitung perkiraan biaya secara lebih akurat dengan mengacu pada harga standar yang telah ditetapkan. Metode ini sangat berguna dalam perencanaan anggaran proyek dan pengambilan keputusan terkait pemilihan material atau pekerjaan konstruksi.

Dalam praktiknya, perhitungan harga satuan disesuaikan dengan Spesifikasi Teknis yang diterapkan, peraturan dan ketentuan yang berlaku, serta pertimbangan teknis terhadap situasi dan kondisi di lapangan. Analisis harga satuan didasarkan pada informasi yang diperoleh dari Harga Satuan Dasar Upah (HSDU), Harga Satuan Bahan (HSB), dan Biaya Operasional Peralatan (BOP) yang khusus untuk Departemen Pekerjaan Umum Kabupaten Tasikmalaya.

a. Harga satuan dasar tenaga kerja

Faktor-faktor yang mempengaruhi harga satuan dasar tenaga kerja adalah jumlah tenaga kerja yang diperlukan dan tingkat keahlian mereka. Penentuan penempatan keahlian tenaga kerja mengikuti produktivitas peralatan utama yang digunakan. Dalam sistem pembayaran, komponen tenaga kerja berupa upah yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis pekerjaan yang dilakukan.

Biaya tenaga kerja standar dapat dibayar dalam sistem upah harian atau upah per jam. Besarnya biaya tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis pekerjaan dan lokasi pekerjaan. Faktor-faktor berikut mempengaruhi besaran biaya tenaga kerja:

1. keahlian tenaga kerja,
2. jumlah tenaga kerja,
3. faktor kesulitan pekerjaan,
4. ketersediaan peralatan,
5. pengaruh lamanya kerja, dan
6. pengaruh tingkat persaingan tenaga kerja.

Apabila perhitungan upah dinyatakan dengan upah orang per jam (OJ) maka upah orang per jam dihitung sebagai berikut:

$$\text{Upah orang perjam (OJ)} = \frac{\text{Upah orang perbulan}}{25 \text{ hari} \times 7 \text{ jam kerja}} \quad (2.81)$$

Kualikasi tenaga kerja

Dalam pelaksanaan pekerjaan umum diperlukan keterampilan yang memadai untuk dapat melaksanakan suatu jenis pekerjaan. Tenaga kerja yang terlibat dalam suatu jenis pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 2.60.

Tabel 2. 60 Kodefikasi tenaga kerja

No	Tenaga Kerja	Kode
1	Pekerja	L.01
2	Tukang	L.02
	Tukang gali	
	Tukang batu/tembok	
	Tukang kayu	
	Tukang besi/ besi beton	
	Tukang cat / pelitur	
	Tukang pipa / operator pompa	
	Tukang penganyam beronjong	
	Tukang tebas	
	Tukang las	
3	Kepala tukang	L.03

No	Tenaga Kerja	Kode
4	Mandor	L.04
5	Juru ukur	L.05
6	Pembantu juru ukur	L.06
7	Mekanik alat berat	L.07
8	Operator alat berat	L.08
9	Pembantu operator	L.09
10	Sopir truk	L.10
11	Kenek truk	L.11
12	Juru gambar (drafter)	L.12
13	Operator printer/plotter	L.13
14	Tenaga ahli utama	L.14a
	Tenaga ahli madya	L.14b
	Tenaga ahli muda	L.14c
	Tenaga ahli pratama	L.14d
15	Narasumber pejabat eselon	L.15a
	Narasumber praktisi	L.15b
16	Lainnya	L.16

Sumber : Permen No. 1/PRT/M/2022, 2022

b. Harga satuan dasar alat

Komponen alat yang digunakan dalam mata pembayaran akan bervariasi tergantung pada jenis pekerjaan yang dilakukan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi harga satuan dasar alat, di antaranya: jenis peralatan, efisiensi kerja, kondisi cuaca, kondisi medan, dan jenis material/bahan yang dikerjakan.

Untuk beberapa jenis pekerjaan, alat-alat tertentu menjadi kebutuhan penting bagi tenaga kerja yang melaksanakan pekerjaan tersebut secara manual. Misalnya, untuk pekerjaan seperti menggunakan cangkul, sekop, palu, dan lain-lain, alat-alat tersebut biasanya harus dimiliki oleh pekerja. Namun, untuk pekerjaan yang membutuhkan alat berat, seperti pemancangan, biasanya alat-alat tersebut disediakan melalui sistem sewa.

Jenis peralatan yang digunakan dapat beragam, termasuk *Wheel Loader*, *Backhoe- Excavator*, *Asphalt Mixing Plant (AMP)*, dan sebagainya. Pemilihan jenis alat yang diperlukan dalam suatu proyek pembangunan didasarkan pada spesifikasi teknis yang telah ditentukan. Berbagai jenis peralatan telah dirancang untuk digunakan dalam pekerjaan-pekerjaan tertentu.

1. Jam Kerja Alat Per Tahun

Pada peralatan yang berbasis mesin, waktu kerja peralatan akan dihitung dan dicatat mulai dari saat mesin diaktifkan hingga dimatikan. Selama pelaksanaan kegiatan kerja, peralatan akan tetap beroperasi selama periode waktu yang ditentukan, kecuali untuk *generating set* (genset) yang akan tetap aktif secara terus-menerus. Untuk peralatan yang tidak menggunakan mesin, waktu penggunaan peralatan akan sama dengan durasi pelaksanaan kegiatan kerja.

2. Waktu Siklus

Waktu siklus mengacu pada waktu yang dibutuhkan oleh suatu alat untuk menyelesaikan satu siklus atau satu putaran dari pekerjaan yang sama secara berulang. Waktu siklus ini akan memiliki pengaruh signifikan terhadap koefisien alat dan kapasitas produksi.

$$T_s = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (2. 82)$$

c. Harga satuan dasar bahan

Harga satuan dasar bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kualitas, kuantitas, dan lokasi asal bahan. Untuk faktor-faktor yang terkait dengan kuantitas dan kualitas bahan, penentuannya harus mengacu pada spesifikasi yang berlaku.

d. Harga satuan pekerja (HSP)

Harga Satuan Pekerjaan (HSP) untuk setiap mata pembayaran merupakan hasil (*output*) yang diperoleh melalui proses perhitungan dengan menggunakan beberapa masukan. Masukan-masukan tersebut meliputi asumsi, urutan pekerjaan, serta penggunaan upah, bahan, dan alat. Harga satuan dasar untuk upah, bahan, dan alat akan menjadi faktor penentu dalam perhitungan Harga Satuan Pekerjaan. Dengan

menggunakan masukan tersebut, dilakukan perhitungan untuk Menentukan koefisien bahan, koefisien alat, dan koefisien upah tenaga kerja.

Secara umum, pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan dilaksanakan secara mekanis. Namun, terdapat beberapa bagian pekerjaan yang memiliki volume relatif kecil atau sulit dijangkau oleh peralatan berat. Bagian-bagian ini biasanya dilakukan secara manual dengan menggunakan peralatan kecil dan tenaga manusia.

2.15.2 Jadwal Pelaksana (*Time Schedule*)

Pembuatan *time schedule* atau perencanaan waktu pelaksanaan konstruksi memiliki manfaat sebagai berikut:

- a. *Time schedule* membantu mengatur urutan pekerjaan konstruksi secara rinci. Dengan adanya perencanaan waktu yang terstruktur, setiap pekerjaan dapat dilakukan sesuai dengan urutannya, menghindari kebingungan dan tumpang tindih antara berbagai aktivitas konstruksi.
- b. *Time schedule* membantu mengidentifikasi kebutuhan sumber daya yang diperlukan pada setiap tahap pekerjaan. Dengan mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk setiap pekerjaan, penggunaan tenaga kerja, peralatan, dan bahan dapat diatur secara efisien, sehingga mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang tersedia.
- c. Dengan membuat *time schedule*, dapat dilakukan estimasi waktu penyelesaian proyek konstruksi secara keseluruhan. Hal ini membantu pemilik proyek dan pihak terkait untuk memiliki gambaran jelas mengenai waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek, sehingga dapat mengatur jadwal yang realistis dan menghindari penundaan yang tidak diinginkan.
- d. Melalui *time schedule*, kemungkinan terjadinya konflik antara berbagai pekerjaan atau aktivitas dapat diidentifikasi lebih awal. Dengan mengetahui kemungkinan konflik tersebut, langkah-langkah pencegahan atau penyesuaian dapat diambil untuk menghindari gangguan yang dapat mempengaruhi penyelesaian proyek.
- e. *Time schedule* menjadi acuan bagi semua pihak terkait dalam proyek

konstruksi. Dengan memiliki perencanaan waktu yang jelas, koordinasi dan komunikasi antara pemilik proyek, kontraktor, dan subkontraktor dapat ditingkatkan. Setiap pihak dapat memiliki pemahaman yang sama mengenai jadwal dan tanggung jawab masing-masing, sehingga meminimalkan potensi kesalahpahaman dan meningkatkan efisiensi pelaksanaan proyek.

Dengan manfaat-manfaat tersebut, pembuatan *time schedule* menjadi penting dalam memastikan pelaksanaan proyek konstruksi yang efisien, terorganisir, dan tepat waktu.

Dalam mempresentasikan *time schedule* atau jadwal pelaksanaan proyek, terdapat tiga bentuk umum yaitu, diagram batang (*bar chart*), diagram jaringan atau *network planning*, dan Kurva S.

Dengan menggunakan salah satu bentuk presentasi tersebut, pemilik proyek dan pihak terkait dapat dengan jelas melihat dan memahami jadwal pelaksanaan proyek, hubungan antara pekerjaan, durasi, dan kemajuan proyek secara keseluruhan.

2.15.3 Kurva S

Salah satu metode perencanaan waktu pelaksanaan proyek konstruksi yang digambarkan dalam bentuk grafik disebut Kurva S. Grafik ini terdiri dari sumbu x dan sumbu y, dimana sumbu x menunjukkan durasi pekerjaan dan sumbu y menunjukkan persentase kumulatif biaya pelaksanaan proyek seiring berjalannya waktu.