

## **BAB II**

### **PERANCANGAN GEOMETRIK DAN PERKERASAN JALAN**

#### **2.1 Penentuan Alternatif Trase**

Penentuan trase dalam perencanaan jalan merujuk pada proses identifikasi dan pemilihan berbagai rute yang mungkin untuk pengembangan suatu jalan. Tahap ini penting dalam perencanaan infrastruktur jalan karena memungkinkan evaluasi berbagai opsi sebelum menentukan trase final yang akan dibangun.

Ketika memilih rute alternatif untuk perancangan jalan, diperlukan strategi komprehensif yang mempertimbangkan implikasi sosial dan lingkungan, keselamatan, keberlanjutan, dan faktor lainnya. Prosedur ini diperlukan untuk menjamin bahwa pembangunan jalan dapat memaksimalkan dampak positif sekaligus mengurangi dampak negatif.

#### **2.2 Klasifikasi Jalan**

Jalan merujuk pada infrastruktur transportasi darat yang melibatkan seluruh komponen jalan, termasuk bangunan dan peralatan penunjangnya yang digunakan untuk lalu lintas. Komponen ini dapat berada di permukaan atas tanah, di atas permukaan tanah, di bawah tanah, dan/atau air, serta di atas permukaan air, dengan pengecualian jalur kereta api, jalan truk, dan jalan kabel. Definisi ini sesuai dengan ketentuan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19 Tahun 2011 Pasal 1 Ayat 1.

Persyaratan teknis jalan adalah persyaratan teknis yang harus dipenuhi suatu ruas jalan agar jalan tersebut dapat berfungsi sebaik-baiknya dan memenuhi standar pelayanan minimal jalan dalam melayani lalu lintas dan angkutan jalan, sebagaimana tercantum dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19 Tahun 2011 pasal 1 ayat 3.

### 2.3 Berdasarkan Beban Muatan Sumbu

Pasal 11 PP Nomor 43 Tahun 1993 tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan membagi kelas jalan menjadi lima kategori:

1. **Jalan Kelas I**, merupakan jalan arteri sehingga dapat dilalui oleh kendaraan bermotor, mampu menanggung beban dengan lebar kurang dari 2,5 meter, panjang kurang dari 18 meter, dan batasan berat gandar maksimal 10 ton;
2. **Jalan Kelas II**, juga termasuk jalan arteri, dimana dapat dilalui kendaraan bermotor. Beban jalan ini memiliki lebar maksimum 2,5 meter, panjang maksimum 18 meter, dan beban gandar maksimum kurang dari 10 ton. Jalan kelas II ini cocok untuk pengiriman peti kemas;
3. **Jalan Kelas III A**, merupakan jalan arteri atau mampu dilalui kendaraan bermotor; jalan tersebut meliputi beban yang lebarnya maksimum 2,5 meter, panjang maksimum 18 meter, dan beban gandar maksimum kurang dari 8 ton;
4. **Jalan Kelas III B**, merupakan jalan kolektor sehingga dapat dilalui kendaraan bermotor; memiliki cakupan beban yang lebarnya tidak lebih dari 2,5 meter, panjang tidak lebih dari 12 meter, dan beban gandar maksimum kurang dari 8 ton;
5. **Jalan Kelas III C**, merupakan jalan lokal dan jalan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor jalan tersebut mencakup beban yang lebarnya tidak lebih dari 2,1 meter, panjangnya tidak lebih dari 9 meter, dan beban gandar terberat yang diperbolehkan kurang dari 8 ton.

Tabel 2. 1 Pembagian Jenis-Jenis Kelas Jalan

Dimensi	Kelas I	Kelas II	Kelas IIIA	Kelas IIIB	Kelas IIIC
Lebar	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,1
Panjang	< 18	< 18	< 18	< 12	< 9
Bobot	> 10	< 10	< 8	< 8	< 8

(Sumber: PP No 43/1993)

Tabel 2. 1 merupakan klasifikasi pembagian kelas jalan yang memuat persyaratan dimensi setiap kelas jalan.

Sementara itu, aturan terbaru mengenai persyaratan kelas jalan dapat dilihat pada UU 22 Tahun 2009, yaitu pada Pasal 19 ayat 2 dan Pasal 125 yang menjelaskan tentang pengklasifikasian kelas jalan sebagai berikut :

1. **Jalan kelas I**, jalan kelas 1 ini diklasifikasikan menurut sistem jaringan jalan yang sering digunakan di banyak negara, termasuk Indonesia. Peran, tujuan, dan atribut teknis jalan biasanya diperhitungkan saat mengklasifikasikan jalan. Berdasarkan Peraturan Menteri PUPR Nomor 15/PRT/M/2017 tentang Klasifikasi dan Penggunaan Jalan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menetapkan apa yang dimaksud dengan jalan kelas 1 di Indonesia, artinya lebarnya tidak boleh lebih dari 2,5 meter, panjangnya tidak boleh melebihi 18 meter, dan beban gandar terberatnya tidak boleh melebihi 10 ton.;
2. **Jalan kelas II**, sebuah kata yang biasanya digunakan untuk merujuk pada pembangunan jalan. Jalan kelas 2 dikategorikan menurut fitur, ukuran, dan tujuannya. Klasifikasi jalan ini biasanya digunakan oleh pemerintah atau organisasi pengelola jalan untuk perencanaan, pengembangan, dan pengelolaan jaringan jalan raya. Spesifikasinya adalah: lebar 2,5 meter, panjang 12 meter, tinggi 4,2 meter, dan mampu membawa beban maksimal 8 (delapan) ton pada poros terberatnya;
3. **Jalan kelas III**, meliputi jalur arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dan mempunyai tinggi kendaraan paling banyak 3,5 meter, lebar tidak lebih dari 2,1 meter, panjang tidak lebih dari 9 meter, dan berat gandar tidak lebih dari 8 ton;
4. **Jalan kelas khusus**, Ini adalah sistem jalan yang mempunyai lebar melebihi 2,5 m, panjang melebihi 18 m, ukuran kendaraan maksimum 4,2 m, dan beban gandar terberat melebihi 10 ton. Pemerintah atau badan pengelola lalu lintas menggunakan klasifikasi ini untuk mengendalikan penggunaan lahan, pembangunan infrastruktur, dan penyediaan layanan transportasi.

## 2.4 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

1. Klasifikasi jalan berdasarkan medan atau topografi dapat bervariasi tergantung sistem yang digunakan di suatu negara atau wilayah.
2. Tabel tersebut menunjukkan klasifikasi perencanaan geometrik berdasarkan medan jalan.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Medan Jalan

Golongan Medan	Notasi	Kemiringan Medan (%)
Datar	D	< 3
Perbukitan	B	3 - 25
Pegunungan	G	> 25

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021)

Klasifikasi medan jalan yang digunakan adalah jalan Arteri kelas 1, dengan dimensi kendaraan panjang 18 m dan lebar 2,5 m serta beban gandar lebih dari 10 ton seperti terlihat pada Tabel 2. 1 dan tipe medan jalan berbukit seperti terlihat pada Tabel 2. 2 berdasarkan peta topografi wilayah Temanggung dan titik koordinat yang telah ditentukan.

## 2.5 Bagian-Bagian Jalan

Adapun bagian-bagian jalan disebut ruang penggunaan jalan (rumaja), ruang milik jalan (rumija), dan ruang pengawasan jalan (ruwasja), menurut PP no. 34 Tahun 2006 (bab 3) Tentang Jalan.

1. **Ruang manfaat jalan**, adalah ruang pakai jalan meliputi badan jalan, saluran tepi jalan, dan ambang batas keselamatan adalah kawasan sepanjang jalan yang ditetapkan oleh penyelenggara jalan yang bersangkutan untuk digunakan dalam pembangunan jalan dan dibatasi oleh lebar, tinggi, dan kedalaman tertentu.
2. **Ruang milik jalan** adalah suatu kawasan peruntukan lahan di luar ruang penggunaan jalan, ditandai dengan tanda-tanda batas ruang jalan. Hal ini dimaksudkan untuk mengakomodasi penambahan lajur, perluasan jalan, dan ruang penggunaan jalan dengan tetap memenuhi standar keselamatan.
3. **Ruang pengawasan jalan** adalah suatu kawasan di luar jalur mengemudi yang

digunakan di bawah pengawasan operator jalan untuk mencegah gangguan pandangan pengemudi, pembangunan jalan baru, dan pengoperasian jalan eksisting.

## 2.6 Parameter Perancangan Geometrik

Parameter perancangan geometrik merujuk pada kriteria atau faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan tingkat kenyamanan dan keamanan yang dihasilkan nantinya, yaitu kendaraan rencana, kecepatan rencana, visibilitas, perancangan tikungan (radius tikungan & kemiringan tikungan), lebar dan kemiringan jalan, sistem drainase serta akses jalan tersebut.

## 2.7 Kendaraan Rencana

Kendaraan rencana merupakan istilah yang sering digunakan dalam perencanaan transportasi dimana jumlah atau jenis kendaraan yang diantisipasi akan mengakses atau menggunakan suatu infrastruktur transportasi, seperti jalan, jembatan, atau jalur kereta api, dalam suatu periode waktu tertentu. Kendaraan rencana digunakan untuk merencanakan dan merancang infrastruktur transportasi yang dapat mengakomodasi volume kendaraan yang diantisipasi, memastikan kelancaran lalu lintas, menghindari kemacetan, dan memenuhi kebutuhan transportasi masyarakat atau pengguna jalan.

Kategori kendaraan rencana yang memiliki dimensi berbeda dan radius putarnya dijadikan acuan dalam perancangan geometrik, dijelaskan seperti pada Tabel 2. 3 berikut:

Tabel 2. 3 Dimensi Kendaraan Rencana

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan, m			Muatan Sumbu Terberat (MST) ton
		Lebar	Panjang	Tinggi	
Kelas I	Arteri	≤ 2,55	≤ 18,0	≤ 4,2	10

Kelas II	Arteri, Kolektor, Lokal, dan Lingkungan	$\leq 2,55$	$\leq 12,0$	$\leq 4,2$	8
Kelas III		$\leq 2,2$	$\leq 9,0$	$\leq 3,5$	8*)
Kelas Khusus	Arteri	$> 2,55$	$> 18,0$	$\leq 4,2$	$> 10$

Catatan: \*) dalam keadaan tertentu dapat  $< 8$  ton

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021)

## 2.8 Kecepatan Rencana

Adapun kecepatan terpakai sebagai landasan desain geometris jalan dikenal sebagai kecepatan desain ( $V_r$ ), yang memungkinkan pergerakan kendaraan dengan aman dan nyaman dalam cuaca cerah dengan sedikit lalu lintas dan efek samping jalan yang minimal.

Kategorisasi (fungsi) dan medan jalan digunakan untuk menghitung nilai  $V_r$  pada desain jalan antar kota, faktor-faktor tersebut ditunjukkan pada Tabel 2. 4 di bawah.

Tabel 2. 4 Kecepatan Rencana ( $V_r$ ),

Fungsi Jalan	Kecepatan Rencana ( $V_r$ - km/jam)		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	80-120	70-110	60-100
Kolektor	40-80	30-70	20-60
Lokal	20-60	20-50	20-40

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021)

## 2.9 Volume Lalu Lintas

Jumlah kendaraan yang melewati suatu lokasi disebut sebagai volume lalu lintas harian rata-rata (VLHR), dan dinyatakan dalam mobil penumpang per hari (smp/hari), yaitu proyeksi volume lalu lintas harian akhir tahun rencana lalu lintas.

## 2.10 Alinyemen Horizontal

Alinemen horizontal dalam perencanaan geometrik jalan merujuk pada penentuan posisi horizontal atau kontur jalan, yaitu bagaimana suatu ruas jalan berbelok atau berliku mengikuti topografi atau relung lahan yang ada. Alignment

horizontal ini melibatkan perencanaan posisi horizontal atau bentuk jalan dalam dua dimensi: panjang jalan (*alignment linear*) dan kelengkungan jalan (alinyemen melengkung). Untuk itu perlu diperhatikan hal-hal berikut:

1. Menghindari bagian patah (*broken back*), yakni kurva satu arah yang hanya diberi jarak garis singgung yang sangat pendek. Tikungan-tikungan tersebut dapat mengganggu kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan.
2. Terdapat tikungan curam tiba-tiba pada ruas garis singgung yang panjang dan relatif lurus sehingga dapat membahayakan pengemudi.
3. Hindari penggunaan radius minimal jika tidak perlu; jika tidak, jalan tersebut akan kesulitan mengikuti perkembangan di masa depan.
4. Jika harus menghadapi tikungan ganda, maka perencanaan harus dipersiapkan sedemikian rupa sehingga jari jari lengkung ( $R_1$ ) lebih kecil atau sama dengan jari-jari lengkung kedua ( $R_2$ )  $\times 1,5$ .
5. Cobalah untuk menjauhi lengkung terbalik dengan mendadak.
6. Menjauhi lengkung pada timbunan tinggi dan tajam.

### **2.11 Jenis- jenis Tikungan Horizontal**

Menurut Sukirman Silvia (1999), Garis lengkung yang menghubungkan garis lurus pada suatu garis mendatar disebut tikungan. Tikungan *Full Circle*, Tikungan *Spiral-Circle-Spiral*, dan Tikungan *Spiral-Spiral* adalah tiga jenis tikungan.

#### **1. Tikungan *Full Circle***

Tikungan *full circle* ini merupakan tikungan yang paling melengkung dalam perencanaan geometrik jalan, di mana kendaraan akan mengikuti lintasan melingkar sepanjang 360 derajat dalam suatu tikungan berkelanjutan. Tikungan *full circle* memerlukan perencanaan khusus dan memerlukan ketelitian dalam desain geometrik jalan, termasuk penghitungan kelengkungan yang tepat, penentuan superelevasi (kemiringan lateral jalan), perhitungan kecepatan rencana, dan analisis keselamatan untuk memastikan bahwa tikungan *full circle* dapat dilalui dengan aman oleh kendaraan yang akan melintasinya. Dapat dilihat melalui Tabel 2. 5.

Tabel 2. 5 Jari-Jari Minimum yang Tidak Memerlukan Lengkung Peralihan

V (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jari-jari minimum (m)	2500	1500	900	500	350	250	130	60

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Rumus-rumus yang digunakan dalam tikungan *full circle*, yaitu:

1.  $R_{min} = \frac{v^2}{127 \times (e_{max} + f_m)}$
2.  $D_{max} = \frac{1432,4}{R_{min}} \quad D = \frac{1432,4}{R}$
3.  $e = \frac{e_{max}}{D^2_{max}} D^2 + \frac{2 \cdot e_{max}}{D_{max}} D$
4.  $L'_S = (e + e_n) \cdot \frac{1}{2} \cdot B \cdot m$
5.  $L'_S = 0,022 \cdot \frac{v^3}{R \cdot c} - 2,272 \cdot \frac{v \cdot e}{c}$
6.  $T_c = R \tan \frac{1}{2} \Delta$
7.  $E_c = R \tan^2 \frac{1}{4} \Delta$
8.  $L_c = \frac{\pi}{180} \Delta R$

Keterangan:

$\Delta$  = Sudut tikungan atau sudut tangen,

$T_c$  = Jarak  $T_c$  dan PI,

$R$  = Jari-jari,

$E_c$  = Jarak PI ke busur lingkaran,

$L_c$  = Panjang busur lingkaran,

$L_s$  = Lengkung peralihan fiktif,

$D$  = Derajat lengkung,

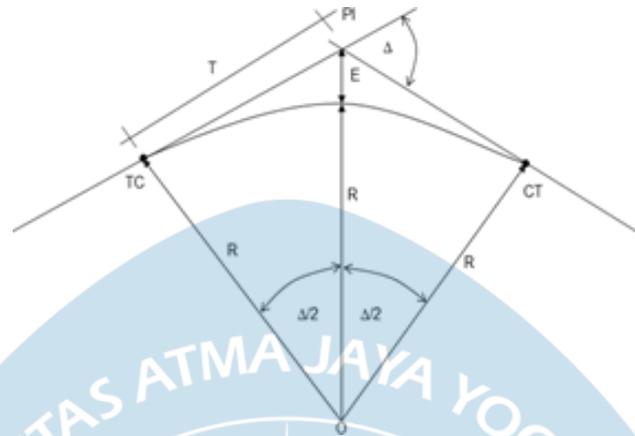
$V$  = Kecepatan,

$B$  = Lebar jalan,

$C$  = Perubahan kecepatan,

$f_m$  = Koefisien gesekan melintang = 0,19 – 0,000625,

$V_m$  = Landai relatif = 2V + 40



Gambar 2. 1 Tikungan *Full Circle (FC)*

(Sumber: Hendarsin, 2000)

## 2. Tikungan *Spiral-Circle-Spiral*

Tikungan *spiral-circle-spiral* adalah suatu jenis tikungan dalam perencanaan geometrik jalan yang terdiri dari tiga bagian, yaitu spiral awal (*entry spiral*), tikungan lingkaran (*circle*), dan spiral akhir (*exit spiral*). Tikungan ini sering digunakan dalam perencanaan jalan raya atau jalan tol yang memiliki kelengkungan berubah secara bertahap, mulai dari kelengkungan lambat pada spiral awal, kemudian melalui kelengkungan penuh pada tikungan lingkaran, dan berakhir dengan kelengkungan lambat pada spiral akhir.

Jari-jari tikungan spiral-lingkaran-spiral ini harus sesuai dengan kecepatannya dan tidak menyebabkan kemiringan tikungan melebihi nilai maksimum yang ditentukan, seperti:

- a) Kemiringan Maksimum antar jalan kota: 0,10
- b) Kemiringan Maksimum jalan dalam kota: 0,08

Berikut rumus-rumus yang digunakan dalam tikungan *spiral-circle-spiral*, yaitu:

1. 
$$R_{min} = \frac{v^2}{127 \times (e_{max} + f_m)}$$

$$2. \quad D_{max} = \frac{1432,4}{R_{min}} D = \frac{1432,4}{R}$$

$$3. \quad e = \frac{e_{max}}{D^2_{max}} D^2 + \frac{2 \cdot e_{max}}{D_{max}} D$$

$$4. \quad L'_S = (e + e_n) \cdot \frac{1}{2} \cdot B \cdot m$$

$$5. \quad L'_S = 0,022 \cdot \frac{v^3}{R \cdot c} - 2,272 \cdot \frac{v \cdot e}{c}$$

$$6. \quad T_s = (R + P) \tan \frac{1}{2} \Delta + k$$

$$7. \quad E_s = \frac{(R+P)}{\cos^{\frac{1}{2}} \Delta} - R$$

$$8. \quad L = L_c + 2 L_s$$

$$9. \quad \Delta = \Delta - 2 \cdot \theta_s$$

Keterangan:

$\Delta$  = Sudut tikungan atau sudut tangen,

$T_s$  = Titik perubahan dari tangen ke spiral,

$R$  = Jari-jari,

$E_s$  = Jarak PI ke busur lingkaran,

$L_c$  = Panjang lengkung lingkaran,

$L_s$  = Lengkung peralihan fiktif,

$D$  = Derajat lengkung,

$V$  = Kecepatan,

$B$  = Lebar jalan,

$C$  = Perubahan kecepatan,

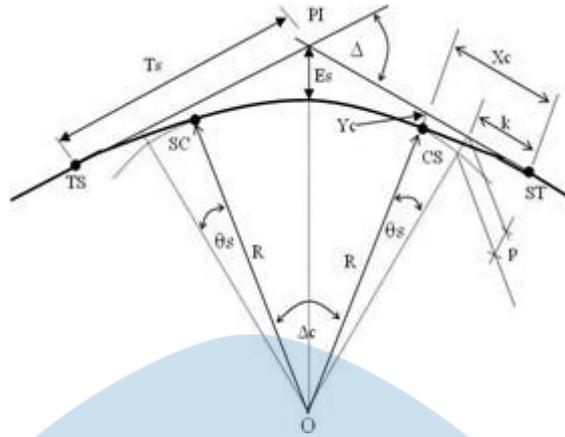
$f_m$  = Koefisien gesekan melintang = 0,19 – 0,000625,

$V_m$  = landai relatif = 2.V + 40,

Kontrol :  $L_c > 20$  m,

$$L > 2 T_s.$$

Jika  $L < 20$  m, maka digunakan jenis tikungan *spiral-spiral*.



Gambar 2. 2 Tikungan *Spiral-Circle-Spiral* (SCS)  
(Sumber: Hendarsin, 2000)

### 3. Tikungan *Spiral-Spiral*

Tikungan *spiral-spiral* biasanya digunakan untuk memberikan transisi yang halus antara dua jalan yang berbeda, seperti antara jalan lurus dan tikungan berkelok, atau antara dua tikungan dengan jari-jari lingkaran yang berbeda. Penggunaan tikungan *spiral-spiral* dalam perencanaan jalan dapat memberikan transisi halus antara jalan datar dan tikungan yang berkelok, mengurangi risiko terjadinya kecelakaan lalu lintas, dan meningkatkan kenyamanan pengemudi dan penumpang. Oleh karena itu, perencanaan tikungan *spiral-spiral* harus memperhatikan standar desain jalan yang berlaku, analisis keselamatan, serta mempertimbangkan kebutuhan pengguna jalan untuk memastikan bahwa desain tikungan *spiral-spiral* yang direncanakan memenuhi persyaratan keselamatan dan kinerja jalan yang diinginkan.

Bentuk tikungan ini digunakan di tikungan yang tajam. Rumus-rumus terpakai dalam tikungan *spiral-spiral*, yaitu:

1. 
$$R_{min} = \frac{v^2}{127 \times (e_{max} + f_m)}$$
2. 
$$D_{max} = \frac{1432,4}{R_{min}} \quad D = \frac{1432,4}{R}$$
3. 
$$e = \frac{e_{max}}{D^2_{max}} D^2 + \frac{2 \cdot e_{max}}{D_{max}} D$$
4. 
$$L'_S = (e + e_n) \cdot \frac{1}{2} \cdot B \cdot m$$

$$5. L'_s = 0,022 \cdot \frac{v^3}{R \cdot c} - 2,272 \cdot \frac{v \cdot e}{c}$$

$$6. L_s' = \frac{\theta_s \cdot \pi}{90} \cdot R$$

$$7. T_s = (R + P) \tan \frac{1}{2} \Delta + k$$

$$8. E_s = \frac{(R+P)}{\cos \frac{1}{2} \Delta} - R$$

$$9. L = 2 L_s$$

Keterangan:

$\Delta$  = Sudut tikungan atau sudut tangen,

$T_s$  = Titik perubahan dari tangan ke spiral,

$R$  = Jari-jari,

$E_s$  = Jarak PI ke busur lingkaran,

$L_c$  = Panjang lengkung lingkaran,

$L_s$  = Lengkung peralihan fiktif,

$D$  = Derajat lengkung,

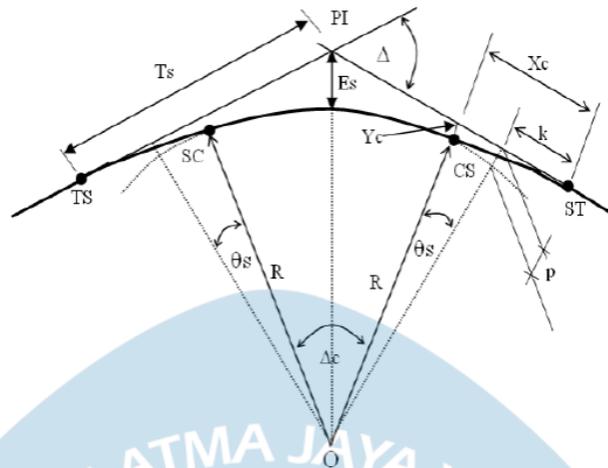
$V$  = Kecepatan,

$B$  = Lebar jalan,

$C$  = Perubahan kecepatan,

$f_m$  = Koefisien gesekan melintang = 0,19 – 0,000625,

$V_m$  = Landai relatif = 2V + 40



Gambar 2. 3 Tikungan *Spiral-Spiral*

(Sumber: Hendarsin, 2000)

## 2.12 Superelevasi

Superelevasi merupakan suatu elemen dalam perancangan geometrik jalan yang mengacu terhadap permukaan jalan untuk miring atau melengkung ke arah luar tikungan. Penggambaran superelevasi bertujuan untuk meningkatkan keamanan kendaraan yang melalui tikungan dengan mengurangi kecenderungan kendaraan untuk keluar dari jalur saat melewati tikungan.

Superelevasi dihitung berdasarkan rumus-rumus tertentu yang memperhitungkan parameter seperti kecepatan desain, jari-jari tikungan, dan kecepatan *admissible* (kecepatan aman) pada sebuah tikungan.

## 2.13 Pencapaian Superelevasi.

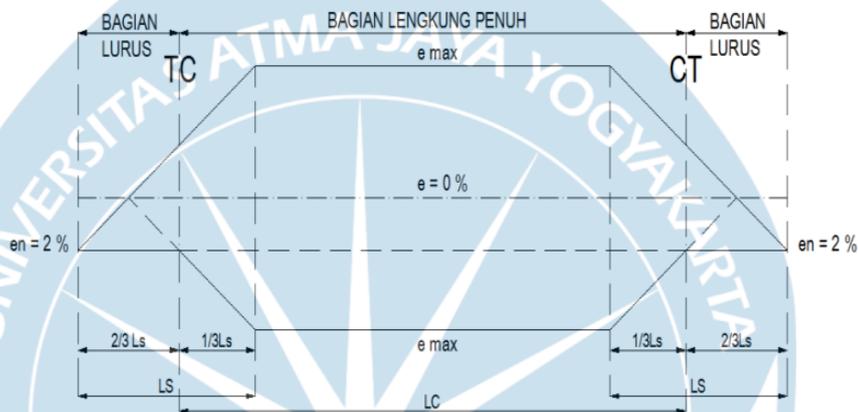
Superelevasi terjadi secara bertahap mulai dari kemiringan melintang normal pada bagian lurus hingga kemiringan penuh di bagian melengkung.

1. Tikungan *spiral-circle-spiral* superelevasi diwujudkan secara linier dimulai dari bentuk normal dan berlanjut ke lengkung transisi (TS) yang dibuat di ruas jalan lurus..
2. Superelevasi dicapai secara linear dalam satu *full circle*, mulai dari penampang garis lurus  $2/3 L_s$  hingga penampang keseluruhan  $1/3 L_s$ .

3. Bagian spiral sepenuhnya mewujudkan superelevasi tikungan *spiral-spiral*. Jika radiusnya cukup besar, kemiringan luar dapat diubah menjadi sebesar (LN) atau bahkan mempertahankan kemiringan reguler (LN), sehingga tidak diperlukan superelevasi.

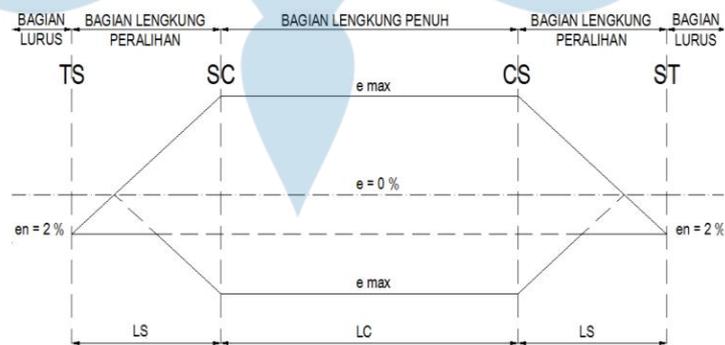
### 2.14 Diagram Superelevasi

Untuk mempercepat perhitungan kemiringan jalan, diagram superelevasi dipisahkan menjadi tiga bagian berdasarkan jenis tikungan yang ada.



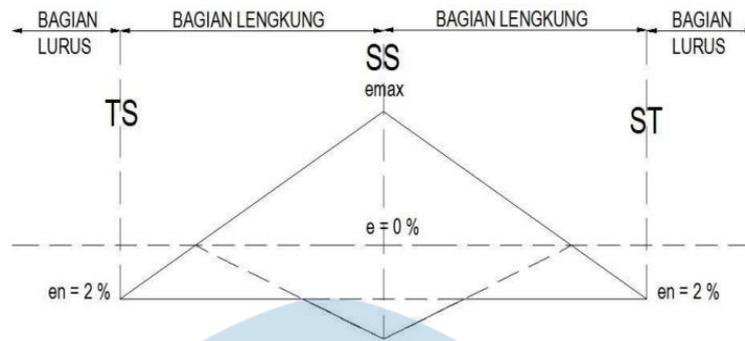
Gambar 2. 4 Diagram Superelevasi *Full Circle*

(Sumber: Hendarsin, 2000)



Gambar 2. 5 Diagram Superelevasi *Spiral-Circle-Spiral*

(Sumber: Hendarsin, 2000)



Gambar 2. 6 Diagram Superelevasi *Spiral-Spiral*

(Sumber: Hendarsin, 2000)

### 2.15 Alinyemen Vertikal

Bidang vertikal yang melintasi sumbu jalan (proyeksi tegak lurus bidang gambar) membentuk garis potong disebut alinyemen vertikal. Profil atau penampang memanjang suatu jalan yang landai, berkelok-kelok, dan tanjakan/turunan disebut alinyemen vertikal. Topografi yang dilalui oleh perencanaan rute jalan mempengaruhi faktor-faktor ini. Jumlah pekerjaan tanah yang diperlukan dalam suatu proyek jalan akan dipengaruhi oleh desain alinyemen vertikal karena memungkinkan untuk menghitung berapa banyak penggalian dan tanggul/timbunan, sehingga diperlukan untuk memenuhi ketinggian tanah yang diperlukan.

Diperkirakan bahwa ketika membangun alinyemen vertikal, jumlah penggalian dan tanggul/timbunan dengan jarak terdekat akan seimbang untuk menghindari kebutuhan tambahan biaya transportasi material tanah. Keadaan tanah dasar, topografi dan tanah, tujuan jalan, tingkat banjir dan air tanah, serta potensi kemiringan jalan merupakan beberapa elemen yang mempengaruhi desain alinyemen vertikal.

### 2.16 Landai Minimum dan Panjang Landai Maksimum

Landai minimum dan panjang landai maksimum merupakan bagian dari perencanaan desain geometrik jalan. Konsep ini memastikan keamanan dan kenyamanan pengguna jalan raya melalui aturan batasan-batasan yang dipertimbangkan.

1. Landai minimum

Kemiringan yang disarankan untuk jalan dengan tepi jalan rata dengan permukaan tanah atau tanah tanggul dengan medan datar adalah 0,15%, secara alami membantu drainase air dari permukaan jalan dan membuangnya ke saluran-saluran di pinggir jalan. Sementara itu, kemiringan jalan minimum 0,30% hingga 0,50% disarankan untuk jalan raya yang dilengkapi tepi jalan di zona penggalian.

2. Landai maksimum

Kemiringan maksimum dirancang untuk memungkinkan gerakan terus menerus tanpa penurunan kecepatan yang nyata. Batas kecepatan untuk kemiringan maksimum adalah setengah dari kecepatan awal tanpa memerlukan gigi rendah.

Tabel 2. 6 Kelandaian Maksimum yang Diiijinkan (%)

Medan	Jalan bebas hambatan	Jalan raya	Jalan sedang	Jalan kecil
Alinyemen datar	4	5	6	6
Alinyemen bukit	5	6	7	8
Alinyemen gunung	6	10	10	12

(Sumber : Permen PU No. 19/2011)

Saat merancang, sesuai Tabel 2. 6 menggunakan medan jalan raya perbukitan dengan kelandaian maksimum 6% sesuai dengan aturan perencanaan geometrik jalan.

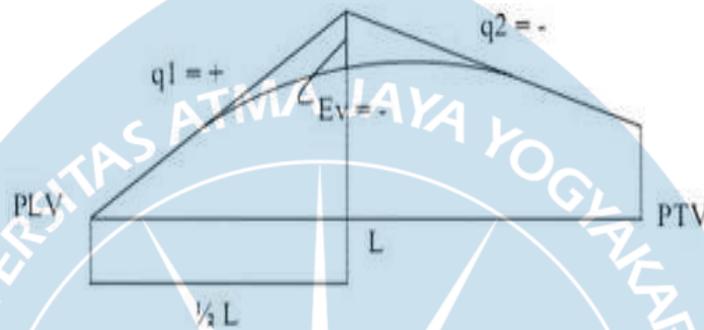
### 2.17 Lengkung Vertikal

Dua jenis kelandaian dapat diubah secara bertahap dengan menggunakan lengkung vertikal. Lengkung vertikal tidak perlu rumit untuk digunakan sehingga mendapatkan desain yang aman. Untuk menghentikan jarak pandang dan mengurangi guncangan akibat perubahan kemiringan, diperlukan lengkung vertikal di area yang terjadi perubahan kemiringan.

## 2.18 Jenis- Jenis Lengkung Vertikal

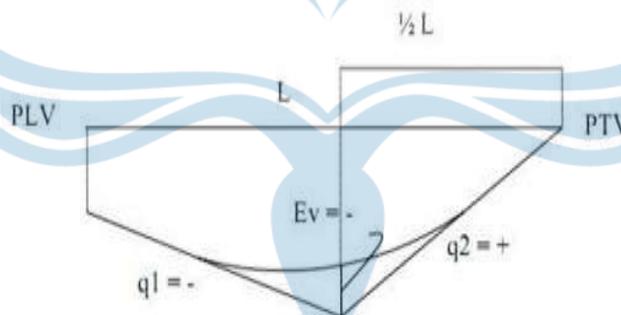
Jenis lengkung vertikal dilihat dari letak titik perpotongan kedua bagian lurus (tangen), adalah :

1. Lengkung vertikal cembung adalah lengkung yang pertemuan kedua garis singgungnya terletak di atas permukaan jalan yang bersangkutan.



Gambar 2. 7 Lengkung Vertikal Cembung  
(Sumber: Jurnal Sipil Sains Terapan, 2021)

2. Lengkung vertikal cekung adalah lengkung yang titik pertemuan kedua garis singgungnya berada dibawah permukaan jalan yang bersangkutan.



Gambar 2. 8 Lengkung Vertikal Cekung  
(Sumber: Jurnal Sipil Sains Terapan, 2021)

3. Lengkung vertikal terdapat panjang minimum berdasarkan jarak pandang yang memenuhi syarat keamanan & kenyamanan pengendara, sehingga dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Jika jarak pandang seluruhnya dalam daerah lengkung ( $S < L$ )

$$L = \frac{\Delta S^2}{100 (\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \quad (\text{jarak pandang (S)} < \text{panjang lengkung (L)})$$

Jika jarak pandang berada di luar dan di dalam daerah lengkung ( $S > L$ )

$$L = 2S - \frac{200h_1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{\Delta} \quad (\text{jarak pandang (S)} > \text{panjang lengkung (L)})$$

Keterangan:

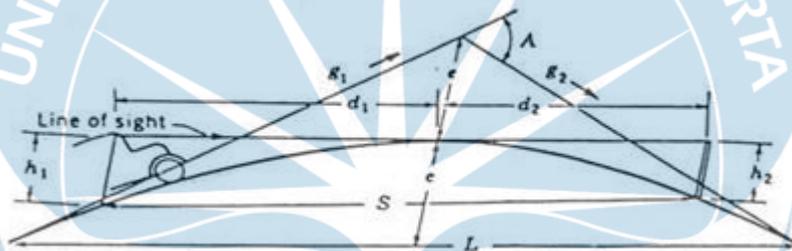
L = Panjang horizontal lengkung vertikal,

S = Jarak pandang,

$\Delta$  = Perbedaan aljabar kelandaian dalam persen,

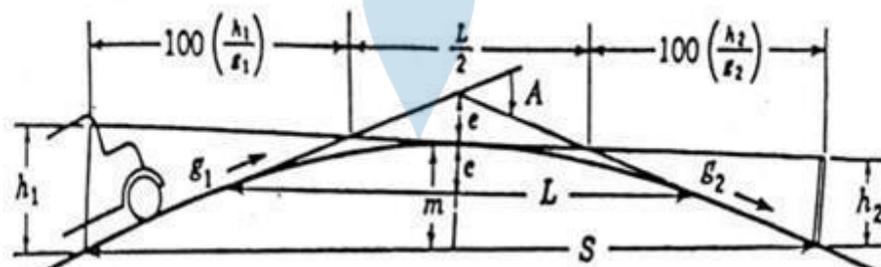
$h_1$  = Tinggi mata pengemudi,

$h_2$  = Tinggi beda



Gambar 2. 9 Jarak Pandang di atas Lengkung Vertikal

(Sumber: *Principles of Highway Engineering*, 2012)



Gambar 2. 10 Jarak Pandang di bawah Lengkung Vertikal

(Sumber: *Principles of Highway Engineering*, 2012)

## 2.19 Pekerjaan Tanah

Pekerjaan tanah berguna untuk mengurangi gaya geser atau biasa disebut destabilisasi dengan menghilangkan material tidak stabil dari bagian atas lereng dengan melakukan galian/cutting dan meningkatkan kekuatan geser atau gaya stabilitas di sepanjang permukaan retakan dengan menambahkan timbunan pada kaki lereng yang tidak stabil. Oleh sebab itu diperlukan perencanaan dan tindakan yang tepat untuk mempertahankan stabilitas lereng serta untuk mengontrol penurunan timbunan agar jalan dapat memenuhi fungsinya selama masa layanannya. Pekerjaan tanah secara umum terbagi menjadi 2, yaitu :

### 1. Pekerjaan galian

Pekerjaan galian berupa penggalian, pembuangan, penanganan atau penumpukan tanah atau batuan dari perencanaan jalan untuk menyelesaikan pekerjaan.

Pekerjaan galian dapat berupa :

#### a. Galian biasa

Seluruh galian yang tidak dikelompokkan sebagai galian batu, galian struktur, dan galian perkerasan beraspal.

#### b. Galian batu

Galian batu mencakup galian bongkahan batu dengan volume lebih dari 1 m<sup>3</sup> dan galian tersebut tidak praktis dilakukan tanpa menggunakan alat penghancur bertekanan udara, peledakan atau pemboran.

#### c. Galian struktur

Penggalian untuk tujuan struktural meliputi pembongkaran struktur penahan beban seperti dinding penahan tanah

#### d. Galian perkerasan beraspal

Ketika perkerasan aspal digali, perkerasan yang ada seperti dasar agregat atau jalan beton juga digali.

Berikut langkah-langkah dalam penggalian :

- 1) Proses penggalian harus mempertimbangkan kemiringan, kontur, dan ketinggian tanah yang ada.

- 2) Pekerjaan harus dilakukan dengan meminimalkan gangguan terhadap bahan di bawah dan di luar wilayah galian.
- 3) Jika ditemukan bahan yang tidak memenuhi standar seperti bahan yang longgar, lunak, atau terkontaminasi di dasar tanah, materi tersebut harus dibuang dan digantikan dengan pengisian yang memenuhi persyaratan.
- 4) Pengerukan dengan kedalaman tambahan sebesar 15 cm diperlukan untuk mencapai permukaan yang lebih datar apabila tanah dasar akan digunakan untuk perkerasan atau bahu jalan mengandung batu, lapisan keras, atau bahan sulit tertanam di dalam pondasi., seperti galian pipa dan fondasi structural. Serpihan batu berdiameter lebih dari 15 cm harus dihilangkan, dan permukaan batu runcing di permukaan tidak boleh dibiarkan. Untuk menghasilkan profil penggalian standar, selanjutnya dilakukan penimbunan dan pemadatan dengan menggunakan bahan yang sesuai dengan pedoman.
- 5) Kontraktor wajib menyiapkan alat-alat pelindung ledakan demi melindungi pekerja serta hal-hal lain selama penggalian.
- 6) Penggalian batu dilakukan secara rapi dan memperhatikan bentuk-bentuk dari potongan tersebut agar tidak menimbulkan kecelakaan jika ada bagian yang dapat membahayakan.

## 2. Pekerjaan timbunan

Tanah atau material granular harus dikumpulkan, diangkat, disebarkan, dan dipadatkan sebagai bagian dari proses timbunan. Klasifikasi pekerjaan timbunan adalah sebagai berikut:

### a. Timbunan biasa

Penimbunan tanah yang sangat fleksibel tidak boleh menjadi bagian dari material terpilih. Tanah dengan plastisitas tinggi sebaiknya hanya digunakan di dasar timbunan yang tidak memerlukan kekuatan geser atau daya dukung yang besar, jika penggunaannya tidak dapat dihindari. Tanah plastik tidak boleh dimanfaatkan pada lapisan kurang dari 30 cm di atas dasar perkerasan, bahu jalan, atau tanah dasar bahu jalan. Menurut SNI 03-

1774-1980, material timbunan harus memiliki CBR minimal 6% setelah empat hari perendaman. Pada daerah rawa, timbunan harus terdiri dari kerikil atau pasir dengan Indeks Plastisitas maksimal 6%.

b. Timbunan pilihan

Timbunan terpilih digunakan untuk stabilisasi lereng, lapisan pendukung (capping layer) untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar, di area saluran air ketika terjadi pemadatan tanah jenuh air atau banjir yang tidak dapat dihindari, dan untuk tugas-tugas lain yang memerlukan kekuatan geser relatif tinggi. Tanggul terpilih sering kali dibuat dari bahan berbatu atau tanah yang memenuhi SNI 03-1744-1989, spesifikasi tanggul biasa, dan persyaratan tambahan seperti nilai CBR minimal 10% setelah empat hari perendaman dan kepadatannya. Tanah granular, seperti pasir atau kerikil, atau tanah lain dengan ukuran butiran lebih besar, harus digunakan untuk kegiatan pemadatan tanah dalam situasi jenuh air.

c. Timbunan pilihan di atas rawa

Daerah rendah yang selalu tergenang air dan tidak dapat dikeringkan dilintasi oleh timbunan terpilih dengan cermat dan terletak di atas rawa-rawa. Tanah gambut yang terdapat di daerah rawa memiliki kandungan organik sangat tinggi lebih dari 75%. Batuan atau pasir tertentu digunakan untuk tanah granular di timbunan rawa.

d. Timbunan pilihan di atas tanah rawa gambut

Timbunan pilihan di atas tanah rawa gambut terbagi atas 3 bagian sesuai dengan kedalamannya, tanah rawa gambut dengan ketebalan kurang dari 2 m merupakan bahan timbunan pada gambut tipis sama dengan ketentuan timbunan pilihan di atas tanah rawa namun ditambah dengan pemasangan lapis separator seperti geotekstil. Tanah rawa gambut dengan ketebalan 2 sampai 4 m merupakan gambut sedang yang dalam pengerjaannya tetap terlebih dahulu harus dilakukan penimbunan dengan menggunakan bahan-bahan granular. Tanah rawa dengan ketebalan di atas 4 m disebut juga gambut tebal diperlukan konstruksi penambah daya dukung tanah sesuai

kriteria beban dan penurunan, selanjutnya ditimbun seperti halnya gambut tipis.

e. Pemadatan timbunan

Hanya bila kadar air antara 3% dan 1% di bawah kadar air ideal barulah pemadatan tanah diperlukan, terlebih kadar air optimum. Saat penimbunan, permukaannya harus diisi dengan satu atau lebih lapisan bahan bergradasi kontinu, tebalnya tidak lebih dari 20 cm, sehingga dapat mengisi rongga-rongga batu di bagian atas tumpukan batu dan tidak termasuk batu berukuran lebih dari 5 cm. Sebelum membangun timbunan selanjutnya proses timbunan, dimana kepadatan setiap lapisan telah diletakkan harus ditentukan. Dimulai dari tepi luar dan mengarah ke sumbu jalan timbunan lalu dipadatkan.

f. Penghamparan timbunan

Tanah timbunan seringkali diambil langsung dari sumber materialnya dan ditempatkan di area permukaan yang telah disiapkan untuk penimbunan. Pada cuaca cerah, tanah tersebar merata, dan jika dipadatkan akan memenuhi toleransi ketebalan lapisan.

## 2.20 Perencanaan Jalan

Perencanaan geometrik jalan adalah bagian dari perencanaan jalan, dimana berkonsentrasi pada alinyemen horizontal dan vertikal untuk mencapai tujuan utama jalan, yaitu memberikan kenyamanan dan keamanan terbaik bagi arus lalu lintas dengan kecepatan yang diinginkan.

## 2.21 Rencana Trase Jalan

Trase jalan yaitu garis lurus yang menghubungkan dengan peta topografi untuk menunjukkan ketinggian tanah dasar yang disebut dengan alinyemen jalan. Penggunaan program *Autocad* dan *Civil 3D* untuk membantu membuat rencana rute yang sesuai, aplikasi akan memberikan gambaran rencana perencanaan rute. Karena rute telah dirancang secara otomatis dalam *Civil 3D*, tidak perlu menghitung atau mencari tempat singgah di sepanjang jalan dengan aplikasi ini.

Proses teknis perencanaan jalan dituangkan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis Kriteria Perencanaan Teknis Jalan menjadi acuan dalam pembahasan desain geometrik jalan dalam tulisan ini.

Berikut ini akan memuat bagian dari rencana ini :

1. Geometri jalan dan perkerasan merupakan komponen desain jalan.
2. Dengan memanfaatkan titik STA 0 = 000, dilakukan perancangan geometri jalan dari titik A ke titik B berfungsi sebagai titik akhir.
3. Titik koordinat awal dan akhir diposisikan ulang sesuai dengan azimuth dan desain.
4. Desain tata letak dimodifikasi untuk mencerminkan keadaan dan kontur dan peta sesungguhnya.
5. Panjang rute minimal berjarak 5 kilometer dari titik A ke titik B.
6. Rencana alinyemen horizontal minimal 2 tikungan.
7. Jenis tikungan pada alinyemen seperti tikungan *Full Circle*, Tikungan *Spiral Circle Spiral* dan Tikungan *Spiral-Spiral* dimodifikasi berdasarkan kebutuhan desain.
8. Klasifikasi jalan yang digunakan (Permen Pu No. 19/2011) dapat dilihat pada Tabel 2. 7.

Tabel 2. 7 Klasifikasi Kelas Jalan

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Maks.		Muatan sumbu terberat (ton)
		Panjang(m)	Lebar (m)	
Khusus	Arteri	18	2,5	>10
I	Arteri, Kolektor	18	2,5	8 – 10

(Sumber : Permen PU No. 19/2011)

- a. Setiap 100 meter jalan lurus dan setiap 100 meter bagian melengkung dilakukan pemotongan profil melintang.
- b. Pada alinyemen vertikal, elevasi permukaan titik A dimodifikasi agar sesuai dengan elevasi permukaan kontur.

- c. Desain alinyemen vertikal memperhitungkan penggalian dan timbunan dengan korelasi yang cukup kuat antara perbedaan volume.

## 2.22 Perancangan Trase jalan

Perancangan trase jalan menggunakan peta topografi atau kontur wilayah yang ditinjau untuk dibuat trase jalan berada di wilayah Temanggung. Jika ditinjau menggunakan *Google Earth* letak wilayah kontur yang ditinjau berada di daerah perbukitan. Pembuatan trase diawali dari titik A dengan STA 0 + 000 dengan koordinat (4586.084 ; 1834.190) dan diakhiri di titik B dengan koordinat B (11062.810 ; 3264.923).

Perencanaan jalan pada topografi wilayah Temanggung memiliki 3 alternatif perancangan trase jalan yang sesuai dengan aturan dan perhitungan jalan (AASHTO 2011). Penjelasan setiap trase akan dijelaskan dan untuk alternatif setiap trase dapat dilihat pada lampiran.

1. Trase 1

Trase jalan 1 merupakan trase yang dimulai dari titik A dan diakhiri pada titik B dengan titik koordinat A (4586.084 ; 1834.190) dan titik B dengan koordinat (11062.810 ; 3264.923). Jumlah tikungan pada trase 1 ada dua dengan medan perbukitan dan panjang trase 7,2 km.

2. Trase 2

Trase jalan 2 merupakan trase yang diambil dengan titik koordinat awal maupun akhir sama dengan trase 1, namun memiliki jumlah tikungan berjumlah 5, panjang trase jalan 2 sepanjang 9 km dengan bentuk trase yang memutar dan banyak melalui anak sungai.

3. Trase 3

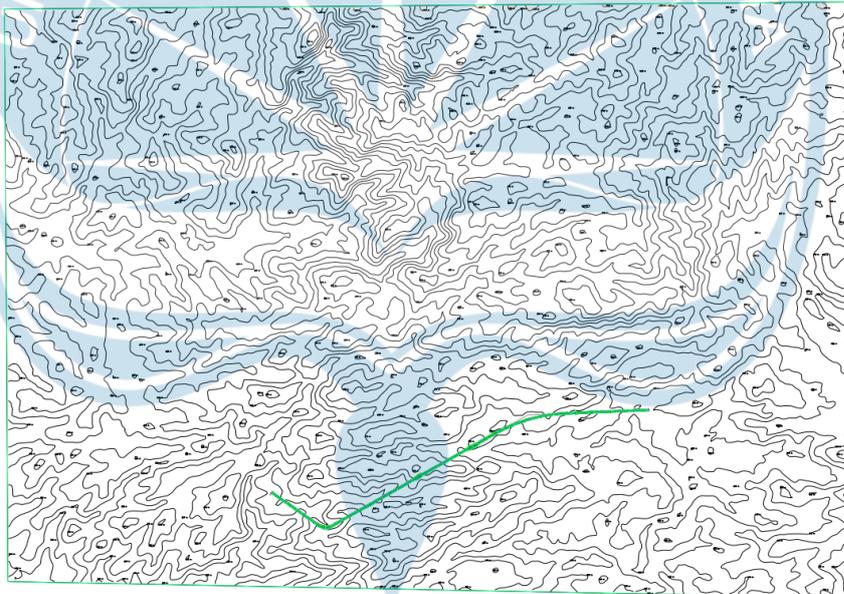
Trase jalan 3 merupakan salah satu perencanaan jalan dimana titik koordinat awal dan akhir sama dengan trase 1 dan 2. Panjang trase jalan 3 ini adalah 7 km dengan medan yang banyak memotong pegunungan dengan jumlah tikungan sebanyak 4.

Pemilihan trase memerlukan beberapa pertimbangan dan tidak hanya berdasarkan bentuk trase, juga mempertimbangkan kondisi lapangan dan

parameter-parameter dalam perancangan geometrik. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan sebagai berikut :

1. Sudut tikungan lebih kecil dari  $60^\circ$
2. Titik awal dan akhir tikungan tidak bertemu
3. Selisih *cut and fill* relatif seimbang
4. Kondisi wilayah topografi tidak melalui sungai
5. Pemilihan trase tidak banyak memotong atau melalui gunung

Berdasarkan perencanaan 3 trase jalan di atas, terpilih trase jalan 1 karena pada trase tersebut memiliki keadaan medan yang cukup landai, tidak banyak memotong pegunungan karena berada pada perbukitan, dan sesuai dengan syarat yang ada. Untuk perencanaan trase terpilih dapat dilihat pada Gambar 2. 11.



Gambar 2. 11 Peta Topografi

### 2.23 Penetapan *Stationing*

*Stationing* merupakan pemberian nomor interval-interval tertentu sepanjang perencanaan jalan dari titik awal pekerjaan. Penomoran jalan biasa di sebut STA berguna sebagai sarana komunikasi untuk mengenali lokasi perencanaan dan merupakan panduan untuk lokasi yang dimaksudkan. Informasi tambahan tentang

keseluruhan panjang rute disediakan oleh penomorannya. Setiap STA akan memiliki akses ke gambar *cross-sectional* atau potongan melintangnya.

Jika arah singgung alinyemen horizontal atau vertikal tidak berubah, maka interval setiap penomorannya adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan dilakukan untuk daerah datar setiap 100 meter,
2. Untuk daerah perbukitan setiap 50 meter,
3. Untuk daerah pegunungan setiap 25 meter.

Penomoran jalan (STA jalan) memiliki fungsi yang sama dengan patok- patok kilometer yang ada di sepanjang jalan. Namun terdapat beberapa hal yang membedakannya seperti :

1. Patok STA menunjukkan jarak diukur dari titik awal pekerjaan sampai selesai, sedangkan patok kilometer di jalan menunjukkan jarak diukur dari tanda 0 km dan banyak terdapat di ibu kota provinsi atau kota.
2. Patok STA hanya efektif selama pelaksanaan proyek dan akan diganti ketika pelaksanaan proyek selesai, sedangkan patok kilometer akan dipasang secara permanen di sepanjang jalan dengan ukuran yang telah ditentukan.

## 2.24 Perencanaan Tikungan

Berikut beberapa bagian dalam perencanaan tikungan:

1. Kriteria desain perancangan

Kriteria desain melibatkan pengelompokan jenis jalan, tingkatan kelas jalan, fungsi jalan dan lebar jalan. Informasi mengenai hasil desain dapat ditemukan dalam Tabel 2. 8 disusun berdasarkan ketentuan teknis dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 19 Tahun 2011.

Tabel 2. 8 Kriteria Desain Perancangan Jalan Raya Temanggung

Data Diketahui		
Fungsi Jalan	Arteri Kelas I	
LHRT Tahun Rencana	23244	smp/hari
Kriteria Desain		
Klasifikasi Medan	Bukit	
Konfigurasi Jalan	4/2 T	

Kecepatan Rencana	100	km/h
Lebar Rumaja	24	M
Lebar Rumija	25	M
Lebar Ruwasja	15	M
Lebar Lajur	3.5	M
Lebar Bahu Dalam	0.5	M
Lebar Bahu Luar	1.5	M
Lebar Median	2	M
Superelevasi Normal	2	%
Superelevasi Bahu	6	%
Superelevasi Maksimum	12	%
Kelandaian Maksimum	6	%

## 2. Klasifikasi medan

Dari data *elevation existing* didapatkan kemiringan medan 21 % sehingga jenis medannya adalah perbukitan dengan notasi B sesuai tinjauan pada Tabel 2. 9

Tabel 2. 9 Klasifikasi Medan

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

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021)

## 3. Sudut tikungan

Sudut tikungan adalah selisih antara sudut azimuth dari titik sebelum dan sudut azimuth dari titik sesudah. Pada Tabel 2. 10 merupakan hasil titik koordinat dari desain jalan.

Tabel 2. 10 Titik Koordinat Trase Terpilih

TITIK	KOORDINAT		JARAK			Azimut	Sudut Tikungan
	X	Y	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	d (m)	$\alpha$	$\Delta$
A	4586,084	1834,19	922,448	-650,832	1128,934	125,205	64,937
PI1	5508,532	1183,358					

			3481,561	1988,437	4009,383	60,268	
PI2	8990,093	3171,795					27,160
			2072,717	93,128	2074,808	87,427	
B	11062,810	3264,923					

Keterangan :

1. Titik A merupakan titik koordinat awal trase
2. PI 1 merupakan titik koordinat tikungan pertama
3. PI 2 merupakan titik koordinat tikungan kedua
4. Titik B merupakan titik koordinat akhir trase

### 2.25 Perhitungan Perancangan Geometrik Jalan Raya di Temanggung.

Dalam hal jalan tanpa median, alinyemen horizontal merupakan representasi proyeksi sumbu jalan, jalan yang dilengkapi median, hal ini merujuk pada proyeksi batas dalam perkerasan. Alinyemen jalan disebut juga alinyemen horizontal, terdiri dari garis lurus yang dihubungkan dengan garis lengkung.

### 2.26 Perhitungan Perencanaan Alinyemen Horizontal

Dalam Perencanaan Alinyemen Horizontal memuat kecepatan rencana dan data dari tikungan yang diketahui sebagai berikut :

Tabel 2. 11 Kriteria Perancangan

Kriteria Perancangan	
V rencana	100
e maks	12%
f maks	0,12
R min	328,084

Tabel 2. 12 Tikungan Alinyemen Horizontal Tikungan 1

Tikungan SCS	
$\Delta$	64,937
<b>R (m)</b>	<b>1700</b>
<b>ed tabel (%)</b>	<b>3,2</b>
Ls 1 (MRG)	38,18
Ls 2 (Table)	39
Ls 3 (GALA)	10,49
Ls 4 (Min, DC)	90,33
Ls <i>max</i>	201,99
<b>Ls desain</b>	<b>200</b>
Cek Ls (Ls dsn < Ls <i>max</i> )	OK
Ltr	125
Cek Ltr AB/BC (Ltr > 35)	OK
Cek Ltr CE (Ls dsn > Ltr)	OK
$\theta_s$	3,370
$\Delta_c$	58,196
Lc (m)	1726,719
Yc (m)	3,922
Xc (m)	199,931
k (m)	99,988
p (m)	0,981
CEK (p > 0,2)	OK
Ts (m)	1182,318
Es (m)	316,129
L total	2126,719
A	583,095
CEK (A > R)	OK
d (A-PI1)	1270,810
CEK (d > Ts)	OK

Dalam perancangan tugas akhir ini , pada Tabel 2. 12 yang merupakan perhitungan dari tikungan SCS (*Spiral-Circle-Spiral*) yang terdiri dari tiga bagian , yaitu spiral awal (*entry spiral*), tikungan lingkaran (*circle*), dan spiral akhir (*exit spiral*). Tikungan ini sering digunakan dalam perencanaan jalan raya yang memiliki kelengkungan yang berubah secara bertahap, mulai dari kelengkungan lambat pada

spiral awal, kemudian melalui kelengkungan penuh pada tikungan lingkaran dan berakhir dengan kelengkungan lambat pada spiral akhir.

Adapun jari-jari diambil untuk *spiral-circle-spiral* harus sesuai dengan ketentuan dan tidak mengakibatkan adanya kemiringan tikungan melebihi ketentuan maksimum yang ditentukan. Perancangan jalan Temanggung termasuk dalam medan perbukitan, jenis tikungan ini menjadi layak untuk digunakan karena tikungan *spiral-circle-spiral* memungkinkan perubahan arah yang lebih lembut dibandingkan dengan tikungan tajam atau sudut tajam, sehingga mengurangi potensi kecelakaan atau stress pengemudi atau pengguna jalan. Dalam perencanaan ini terdapat dua tikungan yaitu:

1. Tikungan 1

Dalam merencanakan tikungan diperlukan derajat lengkung dan superelevasi, dimana keduanya berbanding lurus dalam perancangan sudut tikungan. Bila kendaraan melintasi suatu lengkungan akan terjadi gaya sentrifugal yang mengakibatkan keluar dari jalur sehingga diperlukan superelevasi maksimum untuk mengimbangi gaya sentrifugal tersebut.

Dalam perencanaan alinyemen horizontal, berbagai faktor seperti kecepatan lalu lintas, geometri jalan, topografi, dan batas-batas lahan perlu diperhitungkan secara cermat. Perhitungan untuk tikungan 1 (SCS) sebagai berikut:

Tikungan 1 (*spiral-circle-spiral*)

Klasifikasi Jalan : Arteri Jalan Kelas I

Sudut tikungan ,  $\Delta = 64,9370$

Kecepatan rencana,  $V_r = 80$  km/jam

Superelevasi maksimum,  $e_{max} = 12\%$

Koefisien gesekan,  $f_{max} = 12\% = 0,12$

Lebar jalur 3,5 meter

Jari-jari tikungan minimum:

$$R_{min} = \frac{VR^2}{127(emax+f)} = \frac{100^2}{127(0,13+0,12)} = 328,0834 \text{ m}$$

Dari Tabel 2. 12 didapatkan :

$$R_{desain} = 1700 \text{ m}$$

$$L_{desain} = 200$$

$$e = 3,2\%$$

Panjang lengkung peralihan spiral :

$$L_s = 2\theta_s R_c \rightarrow \theta_s = \frac{L_s}{2R_c} = \frac{200}{2 \times 1700} \times \frac{360}{2\pi} = 3,370^\circ$$

Sudut tikungan:

$$\Delta = 2\theta_s + \Delta_c \rightarrow \Delta_c = \Delta - 2\theta_s = 64,9370^\circ - 2(3,370^\circ) = 58,196^\circ$$

Panjang busur lingkaran:

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{\Delta_c}{360} 2\pi r \\ &= \frac{58,197}{360} 2\pi \times 1700 = 1726,719 \text{ m} \end{aligned}$$

Jarak dari titik TS ke proyeksi SC pada tangen :

$$Y_c = \frac{L_s^3}{6R_c \times L_s} = \frac{200^3}{6 \times 1700 \times 200} = 3,922 \text{ m}$$

Koordinat titik SC tegak lurus garis tangen :

$$X_c = L - \frac{L_s}{40R_c^2 \times L^2} = 200 - \frac{200^3}{40 \times 1700^2} = 199,931 \text{ m}$$

Sudut dalam lengkung spiral:

Jarak lengkung spiral

$$\theta_s = 3,370^\circ \rightarrow p = 0,981 \text{ m}$$

$$\theta_s = 3,370^\circ \rightarrow k = 99,988 \text{ m}$$

Jarak luar dari PI ke busur lingkaran

$$Es = (Rc + p) \sec \frac{\Delta}{2} - Rc$$

$$= (1700 + 0,981) \sec(32,4685) - 1700 = 316,1287 \text{ m}$$

Titik dari tangen ke spiral:

$$Ts = (Rc + P) \tan \frac{\Delta}{2} + k$$

$$= (1700 + 0,981) \tan \left( \frac{64,937^\circ}{2} \right) + 99,988$$

$$= 1182,3182 \text{ m}$$

## 2. Tikungan 2

Dalam merencanakan tikungan diperlukan derajat lengkung dan superelevasi, dimana keduanya berbanding lurus dalam perancangan sudut tikungan. Bila kendaraan melintasi suatu lengkungan akan terjadi gaya sentrifugal yang mengakibatkan keluar dari jalur sehingga diperlukan superelevasi maksimum untuk mengimbangi gaya sentrifugal tersebut.

Dalam perencanaan alinyemen horizontal, berbagai faktor seperti kecepatan lalu lintas, geometri jalan, topografi, dan batas-batas lahan perlu diperhitungkan secara cermat. Perhitungan untuk tikungan 2 (FC) sebagai berikut:

Tabel 2. 13 Tikungan 2 (FC)

Tikungan FC	
$\Delta$	27,160
<b>R (m)</b>	<b>2770</b>
<b>ed tabel (%)</b>	<b>RC</b>
Tc (m)	669,099
Lc (m)	1313,045
Ec	79,665

L total	1313,045
d (PI1-PI2)	4009,383
CEK d(PI1-PI2)	OK
d (PI2-B)	2074,808
CEK d(PI2-B)	OK

Dalam Tikungan *full circle* ini, dimana mobil akan menempuh lintasan melingkar 3600 lingkaran terus menerus, merupakan tikungan paling melengkung dalam perencanaan geometrik jalan. Tikungan full circle memerlukan perencanaan khusus dan memerlukan ketelitian dalam desain geometrik jalan, termasuk penghitungan kelengkungan yang tepat, penentuan superelevasi (kemiringan lateral jalan), perhitungan kecepatan rencana, dan analisis keselamatan untuk memastikan bahwa tikungan full circle dapat dilalui dengan aman oleh kendaraan yang akan melintasinya.

Pada Tabel 2. 13, memuat perhitungan yang sesuai dengan ketentuan yang ada untuk tikungan jenis *full circle*, sehingga dapat dijabarkan sebagai berikut:

Panjang tangen jarak dari TC ke PI

$$Tc = R \times \tan\left(\frac{360}{\pi} \times \left(\frac{\Delta}{2}\right)\right) = 2770 \times \tan\left(\frac{360}{\pi} \times \left(\frac{27,15955}{2}\right)\right) = 669,099 \text{ m}$$

Panjang busur lingkaran

$$Lc = \left(\frac{\Delta}{360}\right) \times 2 \times \pi \times R = \left(\frac{27,15955}{360}\right) \times 2 \times \pi \times 2770 = 1313,045 \text{ m}$$

Jarak luar dari PI ke busur lingkaran

$$Ec = Tc \times \tan\left(\frac{360}{\pi} \times \left(\frac{\Delta}{4}\right)\right) = 669,099 \times \tan\left(\frac{360}{\pi} \times \left(\frac{27,15955}{4}\right)\right) = 79,665 \text{ m}$$

Check nilai jarak koordinat dan nilai Tc dengan syarat ( $d > Tc$ )

$$\text{Check } d(\text{PI1-PI2}) = 4009,383 > 669,099 \text{ m} \rightarrow \text{ok}$$

$$\text{Check } d(\text{PI2-B}) = 2074,808 > 669,099 \text{ m} \rightarrow \text{ok}$$

## 2.27 Perhitungan Perencanaan Alinyemen Vertikal

Profil atau penampang memanjang suatu jalan landai, berkelok-kelok, dan tanjakan/turunan disebut alinyemen vertikal. Penyelarasan ini sangat penting dan mungkin berdampak pada kenyamanan dan keselamatan pengemudi. Alinyemen vertikal berkaitan dengan perencanaan kemiringan, ketinggian, dan transisi jalan bagian vertikal, menjamin kelancaran pergerakan kendaraan dan mengurangi beban pada pengemudi. Perancangan alinyemen vertikal yang matang dan berhati-hati ini akan menghasilkan jalan yang responsif, mudah diakses, dan memberikan tingkat keselamatan tinggi bagi pengguna jalan. Berdasarkan perancangan geometrik jalan khususnya dalam perhitungan alinyemen vertikal melibatkan penentuan ketinggian relatif antara titik-titik pada lintasan yang terdiri atas bagian lurus dan bagian melengkung. Berikut perhitungan untuk lengkung vertikal cembung dan lengkung vertikal cekung:

### 1. Cembung 1 (STA 0+722,66 – STA 1+140,66)

$$V_r = 100 \text{ km/jam}$$

$$\text{Elevasi 1} = 3,51\%$$

$$\text{Elevasi 2} = 0,00\%$$

$$A(\%) = |3,51\% - 0,00\%| \times 100 = 3,510 \%$$

Stop sight distance :

$$S = 185 \text{ m}$$

$$K = 52$$

$$L(\text{m}) = 2 \times S - \frac{658}{A} = 2 \times 185 - \frac{658}{3,510} = 182,536 \text{ m}$$

$$L_v (\text{Cek } S) = 182,536$$

$$L_v (K) = A \times K = 3,510 \times 52 = 182,520$$

$$L_v \text{ SSD (m)} = 182,536 \text{ m}$$

Passing sight distance :

$$S (\text{m}) = 320 \text{ m}$$

$$K = 119$$

$$L(\text{m}) = 2 \times S - \frac{658}{A} = 2 \times 320 - \frac{658}{3,510} = 393,846 \text{ m}$$

$$L_v (\text{Cek } S) = 416,000$$

$$\begin{aligned}Lv (K) &= A \times K = 3,510 \times 119 = 417,690 \\Lv PSD &= 417,690 \text{ m} \\Lv Desain &= 418 \text{ m}\end{aligned}$$

2. Cembung 2 (STA 2+437,14 – STA 2+971,14)

$$V_r = 100 \text{ km/jam}$$

$$\text{Elevasi 1} = 3,96\%$$

$$\text{Elevasi 2} = -0,52\%$$

$$A\% = |3,96\% - (-0,52\%)| \times 100 = 4,480 \%$$

Stop sight distance :

$$S = 185 \text{ m}$$

$$K = 52$$

$$L(m) = 2 \times S - \frac{658}{A} = 2 \times 185 - \frac{658}{4,480} = 223,125 \text{ m}$$

$$Lv (\text{Cek } S) = 223,021$$

$$Lv (K) = A \times K = 4,480 \times 52 = 232,960$$

$$Lv SSD (m) = 233,021 \text{ m}$$

Passing sight distance :

$$S (m) = 320 \text{ m}$$

$$K = 119$$

$$L(m) = 2 \times S - \frac{658}{A} = 2 \times 320 - \frac{658}{4,480} = 446,143 \text{ m}$$

$$Lv (\text{Cek } S) = 530,963$$

$$Lv (K) = A \times K = 4,480 \times 119 = 533,120$$

$$Lv PSD = 533,120 \text{ m}$$

$$Lv Desain = 534 \text{ m}$$

3. Cembung 3 (STA 5+717,91 – STA 5+779,91)

$$V_r = 100 \text{ km/jam}$$

$$\text{Elevasi 1} = -0,52\%$$

$$\text{Elevasi 2} = 0,00\%$$

$$A\% = |-0,52\% - (0,00\%)| \times 100 = 0,520$$

Stop sight distance :

$$S = 185 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
K &= 52 \\
L(m) &= 2 \times S - \frac{658}{A} = 2 \times 185 - \frac{658}{0,520} = -895,385 \\
Lv \text{ (Cek S)} &= -895,385 \\
Lv (K) = A \times K &= 0,520 \times 52 = 27,040 \\
Lv \text{ SSD (m)} &= 27,040 \text{ m}
\end{aligned}$$

Passing sight distance :

$$\begin{aligned}
S (m) &= 320 \text{ m} \\
K &= 119 \\
L(m) &= 2 \times S - \frac{864}{A} = 2 \times 320 - \frac{864}{0,520} = -1021,538 \text{ m} \\
Lv \text{ (Cek S)} &= -1021,538 \\
Lv (K) = A \times K &= 0,520 \times 119 = 61,880 \\
Lv \text{ PSD} &= 61,880 \text{ m} \\
Lv \text{ Desain} &= 62 \text{ m}
\end{aligned}$$

4. Cekung 1 (STA 1+192,97 – STA 1+371,97)

$$\begin{aligned}
V_r &= 100 \text{ km/jam} \\
\text{Elevasi 1} &= 0,00\% \\
\text{Elevasi 2} &= 3,96\% \\
A\% &= |0,00\% - (3,96\%)| \times 100 = 3,96\%
\end{aligned}$$

Headlight sight distance

$$\begin{aligned}
S (m) &= 185 \text{ m} \\
L (m) &= 2 \times 185 - \frac{120+3,5 \times 185}{3,96} = 176,187 \text{ m} \\
Lv \text{ (Cek S)} = S > L &\text{ maka digunakan,} \\
&= 2 \times 185 - \frac{120+3,5 \times 185}{3,96} = 176,187 \text{ m} \\
Lv (m) &= 176,1869 \text{ m}
\end{aligned}$$

Passenger comfort

$$Lv (m) = 3,96 \times \frac{100^2}{3,95} = 100,253 \text{ m}$$

Design control

$$\begin{aligned}
K &= 45 \\
Lv (m) = K \times A &= 45 \times 3,96 = 178,200 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$Lv \text{ desain (m)} = 179 \text{ m}$$

5. Cekung 2 (STA 4+367,31 – STA 4+486,31)

$$V_r = 100 \text{ km/jam}$$

$$\text{Elevasi 1} = 0,00\%$$

$$\text{Elevasi 2} = -2,64\%$$

$$A\% = |0,00\% - (-2,64\%)| \times 100 = 2,64\%$$

Headlight sight distance

$$S \text{ (m)} = 185 \text{ m}$$

$$L \text{ (m)} = 2 \times 185 - \frac{120 + 3,5 \times 185}{2,64} = 79,280 \text{ m}$$

$L_v \text{ (Cek S)} = S > L$  maka digunakan

$$= 2 \times 185 - \frac{120 + 3,5 \times 185}{2,64} = 79,280$$

$$L_v \text{ (m)} = 79,280 \text{ m}$$

Passenger comfort

$$L_v \text{ (m)} = 2,64 \times \frac{100^2}{3,95} = 66,835 \text{ m}$$

Design control

$$K = 45$$

$$L_v \text{ (m)} = K \times A = 45 \times 2,64 = 118,000 \text{ m}$$

$$L_v \text{ desain (m)} = 119 \text{ m}$$

Berikut Tabel 2. 14 panjang cembung dan Tabel 2. 15 Panjang Cekung :

1. Cembung

Tabel 2. 14 Panjang Cembung

<b>Panjang Lengkung Cembung</b>			
	Cembung 1	Cembung 2	Cembung 3
V (km/jam)	100	100	100
A (%)	3.510	4.480	0.520
Stop Sight Distance			
S (m)	185	185	185
K	52	52	52

L (m)	182.536	223.125	-895.385
Lv (Cek S)	182.536	233.021	-895.385
Lv (K)	182.520	232.960	27.040
Lv SSD (m)	182.536	233.021	27.040
Passing Sight Distance			
S (m)	320	320	320
K	119	119	119
L (m)	393.846	447.143	-1021.538
Lv (Cek S)	416.000	530.963	-1021.538
Lv (K)	417.690	533.120	61.880
Lv PSD (m)	417.690	533.120	61.880
Lv Desain			
Lv Desain (m)	418	534	62

## 2. Cekung

Tabel 2. 15 Panjang Cekung

<b>Panjang Lengkung Cekung</b>		
	Cekung 1	Cekung 2
V (km/jam)	100	100
A (%)	3.96	2.64
Headlight Sight Distance		
S (m)	185	185
L (m)	176.187	79.280
Headlight Sight Distance		
Lv (Cek S)	176.187	79.280
Lv (m)	176.1868687	79.280
Passenger Comfort		
Lv (m)	100.253	66.835
Design Control		
K	45	45
Lv (m)	178.200	118.800
Lv Desain		
Lv Desain (m)	<b>179</b>	<b>119</b>

## 2.28 Superelevasi Tikungan Jalan Raya Temanggung

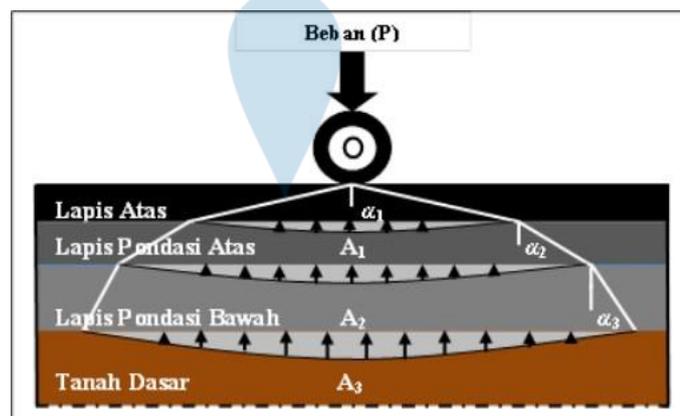
Program *Civil 3D* telah melakukan penghitungan otomatis elevasi, jarak *run off*, dan *run out* dalam penghitungan superelevasi. Hasilnya, memudahkan pengumpulan dan deskripsi data. Diagram superelevasi untuk tikungan 1 dan tikungan 2 secara lengkap ada di lampiran.

## 2.29 Perancangan Perkerasan Jalan

Untuk memberikan kekuatan, daya tahan, dan kenyamanan bagi pengguna jalan, desain perkerasan jalan meliputi pemilihan jenis, tebal, dan konfigurasi dari lapisan perkerasan. Ada dua tahapan dalam perencanaan perkerasan jalan yaitu perkerasan lentur dan perkerasan kaku.

### 2.29.1 Perkerasan lentur

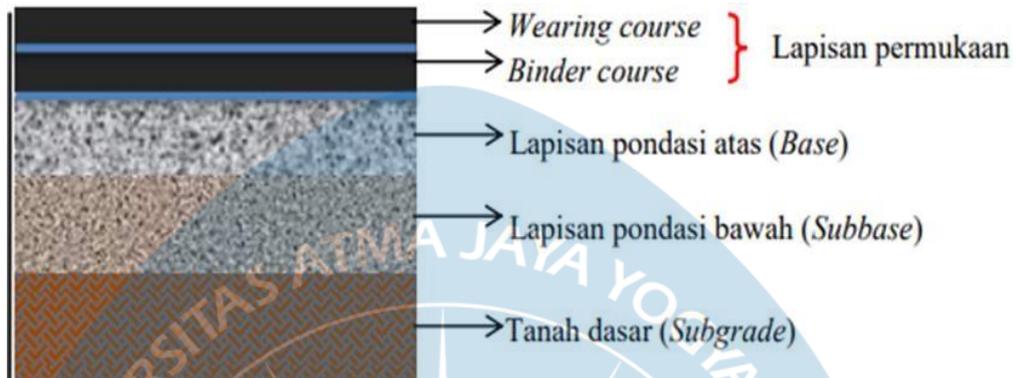
Agregat batu pecah, pasir, bahan pengisi, dan aspal digabungkan untuk menghasilkan perkerasan lentur. Campuran tersebut kemudian didistribusikan secara merata dan dipadatkan. Ketika suatu beban dikenakan pada perkerasan lentur, perancangan perkerasan tersebut ditujukan agar dapat mengalami deformasi dan Kembali ke posisi awalnya sepanjang tanah dasar. Lapisan pondasi atas mengalami getaran dan gaya vertikal, sedangkan tanah dasar hanya mengalami gaya vertikal. Lapisan pondasi harus mampu menahan segala bentuk gaya yang bekerja.



Gambar 2. 12 Lapisan beban Roda pada Perkerasan  
(Sumber : wiryanto, 2011)

Berdasarkan

Gambar 2. 12, karena sifat distribusi gaya, perkerasan lentur akan melorot atau melendut ketika beban perkerasan diterapkan. Akibatnya, beban terserap tiap lapisan akan berbeda-beda dan semakin ke bawah bebannya akan semakin kecil.



Gambar 2. 13 Struktur lapisan Perkerasan lentur  
(Sumber : Romadhona,2014)

Setiap lapisan perkerasan mempunyai tujuan yang berbeda-beda seperti Gambar 2. 13. Kapasitas setiap lapisan untuk menyebarkan beban ke bawah mempengaruhi kekuatan setiap lapisan. Lapisan paling teratas terdiri dari 2 lapisan, yakni: *wearing course*, kemudian *binder course*, lalu lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*sub-base*), kemudian tanah dasar (*sub-grade*).

Rencana ini menggunakan umur rencana perkerasan jalan yaitu perkerasan lentur yaitu 40 tahun. Jumlah tahun diperkirakan sejak jalan tersebut dioperasikan hingga harus diperbaiki jika terjadi kerusakan di lapisan jalan. Umur rencana perkerasan lentur rencana ini berkisar antara tahun 2023 hingga 2063. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai ESA dan VDF tiap wilayah untuk setiap jenis kendaraan niaga, seperti terlihat pada Tabel 2. 16, setelah memastikan umur rencana.

Tabel 2. 16 Nilai-Nilai ESA4 dan ESA5 Sesuai Umur Rencana Yang Dipilih

Jenis kendaraan		Sumbu	LHR 2023	LHR 2026	LHR 2029	VDF5 faktual	VDF5 normal	ESA5 ('26-'28)	ESA5 ('29-'66)
Sepeda Motor	1	2	1450	1669	1921	-	-	-	-
Mobil Pribadi	2	2	1100	1266	1457	-	-	-	-
Bus	5B	2	265	305	351	1	1	1,14E+05	7,93E+06
Truk 2 as ringan	6A	2	125	144	166	0,5	0,5	2,69E+04	1,87E+06
Truk 2 as berat	6B	2	85	98	113	9,2	5,1	3,36E+05	1,30E+07
Truk 3 as berat	7A3	3	78	90	103	62,2	62,2	2,09E+06	1,45E+08
Jumlah ESA5								2,56E+06	1,68E+08
CESA%('26-'66)								1,70E+08	

Tabel 2. 16 mensyaratkan setiap jenis kendaraan dengan beban lalu lintas tahun 2023, 2026, dan 2029 harus diklasifikasikan untuk menentukan nilai ESA. Tabel 2. 17 kemudian mendukung klasifikasi tersebut sehingga mendapatkan nilai VDF, dan hasil akhirnya adalah hasil ESA5 sebesar 170.476.667

Tabel 2. 17 Nilai-Nilai ESA4 Dan Atau ESA5 Sesuai Umur Rencana

Jenis Kendaraan	Jawa			
	Beban Aktual		Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
5B	1	1	1	1
6A	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	5,3	9,2	4	5,1
7A1	8,2	14,1	4,7	6,4
7A2	10,2	19	4,3	5,6
7B1	11,8	18,2	9,4	13
7B2	13,7	21,8	12,6	17,8
7C1	11	19,8	7,4	9,7
7C2A	17,7	33	7,6	10,2
7C2B	13,4	24,2	6,5	8,5
7C3	18,1	34,4	6,1	7,7

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)

Selain menggunakan VDF berdasarkan Tabel 2. 17 khususnya bagian yang di *highlight*, statistik pertumbuhan lalu lintas regional, seperti ditunjukkan pada Tabel 2. 18 di bawah, juga digunakan untuk mendukung penghitungan beban kumulatif (ESA5).

Tabel 2. 18 Faktor Laju Pertumbuhan lalu Lintas

	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 Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dapat dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*cumulative growth factor*) :

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

Keterangan persyaratan teknis dengan umur rencana 40 tahun. Maka perhitungannya sebagai berikut:

Keterangan :

UR = 40 tahun

i = 4,8

$$R = \frac{(1+0,01 x 4,8)^{40}-1}{0,01 x 4,8}$$

R = 115,0637289

Berdasarkan rencana lokasi Kabupaten Temanggung, digunakan wilayah perkotaan dan arteri, sehingga data Pulau Jawa dapat dimasukkan dalam faktor laju pertumbuhan lalu lintas. Kualitas perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata yang tinggi, dan rasio masuk-keluar secara efektif dibatasi oleh data perkerasan jalan menjadikan lokasi arteri dan metropolitan berguna untuk angkutan umum.

1. Jenis perkerasan

Jenis perkerasan ditentukan menggunakan analisis biaya (*Analisis Discounted life-cycle cost*). Jumlah lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan semuanya mempunyai peranan dalam pemilihan jenis perkerasan. Pemilihan jenis perkerasan ditunjukkan di bawah ini dapat dibantu dengan Tabel 2. 19

Tabel 2. 19 Pemilihan Jenis Kendaraan

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 $\geq$ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis di atas 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 Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)

Catatan :

Tingkat kesulitan

- a. Kontraktor kecil – medium
- b. Kontraktor besar dengan sumber daya memadai
- c. Membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus – kontraktor spesialis burtu/ burda.

Tabel 2. 19 menunjukkan bahwa kontraktor besar dengan sumber daya yang cukup digunakan, dan jenis perkerasan dengan nilai ESA >30-200 dengan modifikasi WC AC atau modifikasi SMA dengan CBT (ESA peringkat 5) dan tebal AC  $\geq 100\text{mm}$  dengan lapisan pondasi granular terpilih. Tingkat kesulitan 2 adalah kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai.

2. Segmen tanah dasar dengan daya dukung setara

Kekuatan tanah dasar atau daya dukung tanah mempunyai pengaruh cukup besar terhadap kekuatan konstruksi perkerasan jalan. CBR tanah dasar digunakan untuk menghitung kekuatannya. Kepadatan, kadar air, dan jenis tanah dasar semuanya mempengaruhi kekuatan tanah dasar tersebut.

Tabel 2. 20 Faktor Penyesuaian Modulus Tanah Dasar Akibat Variasi Musiman

Musim	Faktor penyesuaian minimum nilai CBR berdasarkan pengujian DCP
Musim hujan dan tanah jenuh	0.90
Masa transisi	0.80
Musim kemarau	0.70

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)

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

- a.  $f = 1,645$  (probabilitas 95%) untuk jalan tol tau jalan bebas hambatan
- b.  $f = 1,282$  (probabilitas 90%) untuk jalan kolektor dan arteri
- c.  $f = 0,842$  (probabilitas 80%) untuk jalan lokal dan 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.

Dari Tabel 2. 20 faktor penyesuaian modulus tanah dasar akibat variasi musiman menggunakan musim hujan dan tanah jenuh karena sebagai antisipasi kondisi cuaca yang ekstrim. Nilai  $f = 1,282$  dengan probabilitas 90 % dipilih karena sesuai dengan kelas jalan perancangan yaitu kolektor dan arteri.

Perhitungan nilai CBR karakteristik dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{CBR Karakteristik} &= \text{CBR}_{\text{Rata-Rata}} - f \times \text{Deviasi Standar} \\ &= 3,81 - 1,282 \times 0,90 \\ &= 2,6562 \% \end{aligned}$$

Koefisien variasi maksimum suatu ruas, dengan memperhitungkan faktor koreksi modulus tanah dasar dengan musim hujan dan tanah jenuh sesuai tabel yang ditentukan, tidak melebihi 25% berdasarkan data CBR mengenai daya dukung tanah.

3. Struktur fondasi perkerasan

Tabel 2. 21 Bagan Desain-2 :Desain Fondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan lentur			Perkerasan kaku
			Beban lalu lintas pada jalur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA 5)			Stabilisasi Semen
			< 2	2 - 4.	> 4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
$\geq 6$	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai spesifikasi umum, Devisi 3- Pekerjaan tanah) (pemadatan lapisan $\leq 200$ 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 pemuai > 5%)			400	500	600	
Perkerasan di atas tanah lunak	SG1	Lapis penopang	100	1100	1200	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
		atau lapis penopang dan georigid	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya motor (nilai minimum- ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir	1000	1250	1500	

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)

Berdasarkan Tabel 2. 21 menunjukkan bahwa desain pondasi jalan dengan CBR tanah dasar sebesar 6% (SG6). Tebal minimum perbaikan tanah dasar untuk beban lalu lintas dengan rencana umur 40 tahun lebih besar dari 4 adalah untuk perkerasan lentur tidak diperlukan perbaikan, dan stabilisasi semen minimum adalah 300 mm dan berlaku untuk pondasi perkerasan kaku.

4. Perkerasan yang memenuhi syarat dari bagan desain-3

Tabel 2. 22 Bagan Desain-3: Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan CTB

	F1	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat bagian desain 3A - 3B dan 3C	Lihat Bagian Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku <sup>3</sup>			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada jalur rencana (10 ESA6)	> 10 - 30	>30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200	> 200 - 500
Jenis permukaan berpangkat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	<i>Cement Treated Base (CTB)</i>				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC ^4	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB^3	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)

Bagan desain 3 menggunakan data dari Tabel 2. 22 khususnya F4 untuk menganalisis CTB ekonomis untuk jalan raya banyak digunakan, dengan  $> 100 - 200$  merupakan nilai repetisi beban sumbu kumulatif.

Keterangan:

AC WC = Campuran beraspal hangat (Laston) Lapis Aus

AC BC = Campuran beraspal hangat (Laston) Lapis Antara

AC Base = Campuran beraspal hangat (Laston) Lapisan Pondasi

Tabel 2. 23 Bagan Desain-3A Desain Perkerasan Lentur Dengan HRS

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana ( $10^6$ CESA6)	$FF1 < 0,5$	$0,5 \leq FF2 \leq 4,0$
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 tajam atau lapis disabilitas dengan CBR $> 10\%^3$	150	125

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)

Berdasarkan Tabel 2. 23 bahan LFA kelas B lebih mudah dipisahkan dibandingkan kelas A karena ukurannya lebih besar. Selain itu, ketebalan minimum material kelas B dibatasi karena ukuran butirannya yang lebih besar. LFA Kelas A mungkin akan menjadi pilihan yang lebih hemat biaya dalam jangka panjang. Meskipun kualitas kelas B lebih rendah, bahan LFA kelas A dan B memiliki harga yang tidak jauh berbeda.

Untuk jalan dengan beban lalu lintas, bagan desain 3A meninjau perkerasan lentur menggunakan data dari  $0,5 \leq FF2 \leq 4.0$ . HRS (*Hot Rolled Sheed*) digunakan untuk menunjukkan riwayat kinerja baik dan dapat memberikan bahan memadai dan sesuai (*gap graded mix*).

Tabel 2. 24 Bagan Desain-3B Desain Perkerasan Lentur Aspal Dengan Lapis Fondasi Berbutir

STRUKTUR PERKERASAN									
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
	Solusi yang dipilih				Lihat catatan 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada jalur rencana ( $10^6$ ESA5)	<2	$\geq 2 - 4$	$> 4 - 7$	$> 7 - 10$	$> 10 - 20$	$> 20 - 30$	$> 30 - 50$	$> 50 - 100$	$> 100$
KETEBALAN 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
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1		2		3				

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)

Berdasarkan Tabel 2. 24 bagan desain 3B, kondisi perkerasan mungkin menjadi tidak layak karena nilai kumulatif beban gandar ESA5 10–20 dengan struktur perkerasan FFF5. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan desain peta 3 dan 3A untuk perkerasan lentur.

5. Kebutuhan pelapisan (*sealing*) bahu jalan

Lapisan pondasi agregat kelas S atau kerikil alam yang memenuhi persyaratan dengan Indeks Plastisitas (IP) berkisar antara 4% sampai dengan 12% harus menjadi lapisan permukaan. Meski ketebalannya tidak lebih dari 200 mm, namun lapisan permukaan bahu LFA kelas S memiliki ketebalan yang sama dengan lapisan aspal. LFA Kelas S harus memiliki ketebalan minimal 125 mm jika lapisan aspal lebih tipis dari 125 mm.

a. Bahu diperkeras

Bahu diperkeras untuk kebutuhan berikut:

- Jika terdapat kerb (bahu harus ditutup sampai dengan garis kerb).
- Gradien jalan lebih dari 4%.
- Sisi lebih tinggi dari kurva superelevasi (superelevasi  $\geq 0\%$ ). Dalam kasus ini, bahu pada sisi superelevasi lebih tinggi harus sama dengan superelevasi badan jalan.
- Jalan dengan LHRT lebih dari 10.000 kendaraan.
- Jalan tol dan jalan bebas hambatan.

Material bahu diperkeras dapat berupa:

- Penetrasi makadam.
- Burtu / burda.
- Beton aspal (AC).
- Beton semen.
- Kombinasi bahu beton 500 mm – 600 mm atau pelat beton dengan tied shoulder, atau bahu dengan aspal.

b. Lalu Lintas untuk desain bahu

Lalu lintas guna mewujudkan bahu jalan beban lalu lintas yang diproyeksikan untuk memanfaatkan bahu jalan (diambil paling besar) atau kurang dari 10% lalu lintas dengan lajur rencana harus ekuivalen dengan beban lalu lintas rencana pada bahu jalan. Secara umum, penetrasi burda atau makadam dilakukan dengan baik dapat digunakan untuk memperkuat bahu dengan lapisan penutup.

c. Hitung desain perkerasan bahu jalan

- CBR tanah dasar 6 %
- Beban gandar kumulatif 40 tahun
- Struktur perkerasan lajur utama di atas 600 mm (lapisan penopang)

Tabel 2. 25 Desain Tebal Lapisan

Lapisan	Tebal
AC WC	50
AC BC	60
AS Base	160
CTB	150
LFA Kelas A	150

Tabel 2. 25 berisi tentang komponen lapisan untuk perkerasan lentur juga disertai dengan tebal setiap lapisan dalam satuan mm.

- Menggunakan  $10\% \times 1,70E+08 \text{ ESA}5 = 2,E+07$  sebagai beban rencana bahu jalan.
- Daya dukung pondasi perkerasan bahu jalan setara dengan CBR sebesar 3,81% karena dibuat dengan menggunakan pondasi sama dengan jalur utama
- Diperlukan penutup setebal 350 mm untuk beban  $2,E+07 \text{ ESA}$  dan CBR 3,81%.
- Tebal total perkerasan lajur utama adalah 570 mm, lebih besar dari tebal minimum dibutuhkan untuk bahu jalan.
- Lapisan pondasi agregat kelas S, membentuk permukaan bahu jalan mempunyai tebal 200 mm dan mempunyai lapisan aspal setebal 270 mm pada lajur utama.
- Pasang LFA kelas A di bawah LFA kelas S dengan ketebalan 370 mm ( $570 \text{ mm} - 200 \text{ mm}$ ) di bawah lapisan permukaan LFA kelas S untuk menjamin air permukaan meresap ke dalam perkerasan dapat teralirkan.

Alternatif 1 struktur perkerasan bahu jalan.

Tabel 2. 26 Lapisan dan tebal Perkerasan Bahu Jalan Alternatif 1

Lapisan	Tebal (mm)
LFA Kelas A	125
LFA Kelas B	445
<i>Selected Embankment</i>	600

Untuk Tabel 2. 26 berisi tentang hasil asumsi lapisan dan tebal perkerasan untuk alternatif 1.

Alternatif 2 struktur perkerasan bahu jalan

- Mirip dengan alternatif 1, ketebalan lapisan 2 menjadi 295 mm.
- Untuk ketebalan lapis penopang ditingkatkan sebesar 150 mm
- Penambahan tebal lapis penopang berpotensi menghambat keluarnya air yang masuk ke perkerasan jalan. Sehingga ada *subdrain* yang tersedia untuk mengatasi hal tersebut.
- Konstruksi perkerasan bahu jalan alternatif 2 ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 2. 27 Lapisan dan Tebal Perkerasan Bahu Jalan Alternatif 2

Lapisan	Tebal (mm)
LFA Kelas A	125
LFA Kelas B	295
<i>Selected Embankment</i>	750

Untuk Tabel 2. 27 berisi tentang hasil asumsi lapisan dan tebal perkerasan untuk alternatif 2.

6. Perbandingan biaya alternatif 1 dan 2

Rekapitulasi struktur perkerasan masing-masing alternatif adalah:

Tabel 2. 28 Perkerasan Bahu Jalan dan Perkerasan Lajur Utama Alternatif 1

Perkerasan Bahu Jalan		Perkerasan Lajur Utama	
Lapisan	Tebal (mm)	Lapisan	Tebal (mm)
LFA Kelas S	125	AC WC	50
		AC BC	60
		AC Base	160
LFA kelas A	445	CTB	150
		LFA Kelas A	150
Fondasi :Lapisan Penopang	600	Fondasi : Lapisan penopang	600

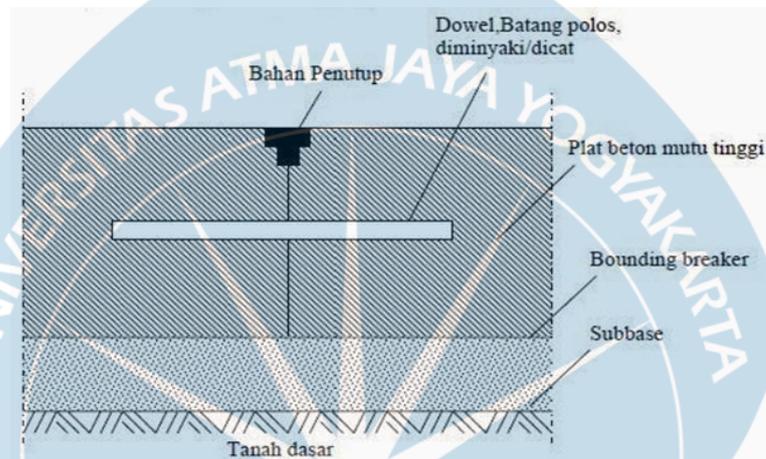
Tabel 2. 29 Perkerasan bahu Jalan dan Perkerasan Lajur Utama Alternatif 2

Perkerasan Bahu Jalan		Perkerasan Lajur Utama	
Lapisan	Tebal (mm)	Lapisan	Tebal (mm)
LFA Kelas S	120	AC WC	50
		AC BC	60
		AC Base	160
LFA kelas A	295	CTB	150
		LFA Kelas A	150
Fondasi :Lapisan Penopang	750	Fondasi : Lapisan penopang	600

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Tabel 2. 28 alternatif 1 lebih efisien karena pada Tabel 2. 29 alternatif 2 terlihat lapisan penyangga bahu jalan lebih tinggi dibandingkan jalur utama. Alternatif 2 tidak memuaskan karena toleransi kemiringan melintang hanya memungkinkan variasi kemiringan  $< 1\%$  dari kemiringan melintang perencanaan.

### 2.29.2 Perkerasan kaku

Beton merupakan material utama yang digunakan untuk membuat perkerasan kaku. Lapisan *subbase* dipasang dalam tanah dasar sebelum pelat beton dipasang. Beban lalu lintas sebagian besar ditopang oleh pelat beton yang mempunyai modulus elastisitas tinggi. Hal ini memungkinkan beban lalu lintas didistribusikan ke area lebih luas dalam tanah dasar, sehingga kapasitas struktur perkerasan ditentukan oleh ketebalan lapisan permukaan, pondasi, dan *subbase*.



Gambar 2. 14 Lapisan-lapisan perkerasan kaku

(Sumber : Aziz dan Nurhayati, 2006:7)

Pelat beton bersambung (atau tidak menerus) dengan atau tanpa tulangan, atau bersambung dengan tulangan, diletakkan di atas lapisan subbase atau tanah dasar, dengan atau tanpa lapisan permukaan beraspal, membentuk lapisan perkerasan kaku.

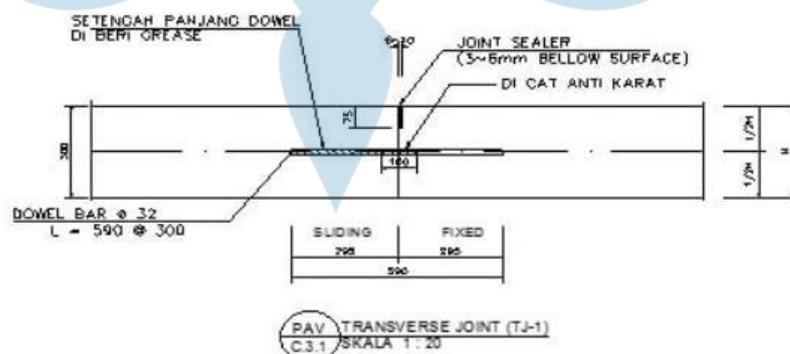
1. Jenis sambungan (sambungan dengan dowel)

Pemilihan Dowel dan Tie Bar dapat ditentukan berdasarkan ketentuan dari Kementerian Pekerjaan Umum no SPL.KS21.224.00 dapat dilihat dalam Tabel 2. 30 berikut ini:

Tabel 2. 30 Ukuran dan Jarak Dowel

Tebal Pelat Perkerasan		Dowel					
		diameter		panjang		jarak	
Inci	mm	inci	mm	inci	mm	inci	mm
6	150	¾	19	18	450	12	300
7	175	1	25	18	450	12	300
8	200	1	25	18	450	12	300
9	225	1 1/4	32	18	450	12	300
10	250	1 1/4	32	18	450	12	300
11	275	1 1/4	32	18	450	12	300
12	300	1 1/2	38	18	450	12	300
13	325	1 1/2	38	18	450	12	300
14	350	1 1/2	38	18	450	12	300

(Sumber: AASHTO, 1993)



Gambar 2. 15 Dowel

(Sumber: Witzcak, 1975)

Pada Tabel 2. 30 tersebut menunjukkan untuk kebutuhan dowel dengan ketebalan plat 305 mm adalah dengan diameter 38 mm, panjang 450 mm, dan jarak 300 mm.

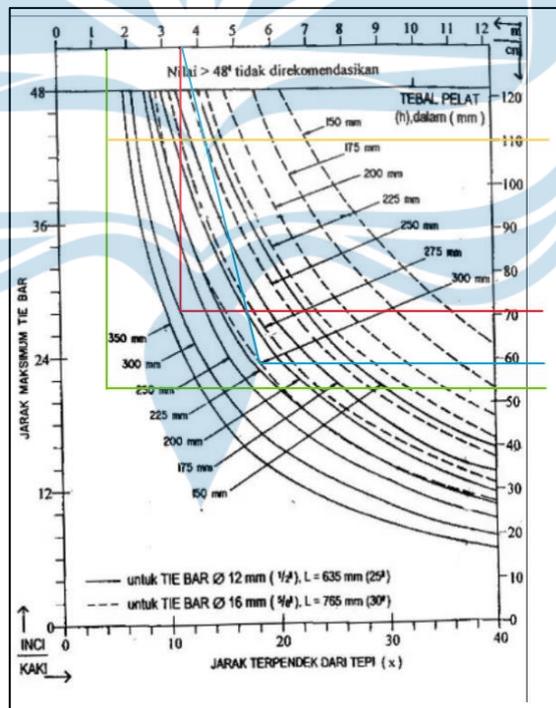
2. Batang pengikat (tie bar)

Tebal pelat yang dihasilkan berukuran 305 mm. Dengan menggunakan tie bar berdiameter 16 mm dan jarak antar keduanya 75 cm, jarak tepi ke sambungan pelat adalah 10 m. Panjang dihitung :

$$\begin{aligned}
 I &= (38,3 \times \emptyset) + 75 \\
 &= (38,3 \times 16) + 75 \\
 &= 687,8 \text{ mm} \\
 &= 700 \text{ mm} \rightarrow 70 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan :

- Diameter tie bar = 16 mm
- Jarak tie bar = 750 mm
- Panjang tie bar = 700 mm



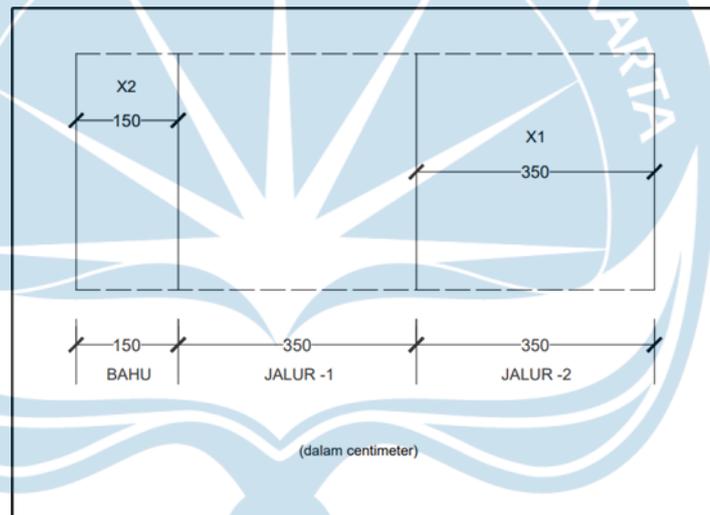
Gambar 2. 16 Tie Bar

(Sumber: Departemen PU 1990 Perkerasan Kaku)

Didapatkan beberapa nilai dari Gambar 2. 16 grafik *tie bar* . Berikut hasil dari desain Gambar 2. 16.

Tabel 2. 31 Jarak *Tie Bar* Maksimum dan Jarak Ruji

Nomor Sambungan	Jarak X (meter)	Jarak Maksimum Tie Bar (cm)	
		Ø 12 mm	Ø 16 mm
1	3,5	71	58
2	1,5	54	110



Gambar 2. 17 Desain Rencana Ukuran Jalan

Dalam perancangan ini, diasumsikan bahwa pada Tabel 2. 31 sambungan no-2 dapat digunakan dalam perancangan jalan khususnya dalam perancangan sambungan melintang serong atau dalam tikungan.

3. Jenis bahu jalan (bahu beton)
  - a. Perkerasan beton semen dengan sambungan tulangan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement*)

Perkerasan beton semen yang terbuat dari tulangan baja dengan pelat berdimensi persegi panjang, dimana panjang pelat dibatasi oleh adanya

sambungan melintang. Jarak sambungan untuk jenis perkerasan ini adalah 8 meter.

$$As = \frac{11,76 (F.L.H)}{f_s}$$

Keterangan :

As = Luas tulangan diperlukan ( $\text{mm}^2/\text{m}$  lebar)

F = Koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya  
(tak berdimensi)

L = Jarak antara sambungan, m

H = Tebal pelat, (mm)

$f_s$  = Tegangan Tarik baja ijin (MPa) ( $\pm 230 \text{ MPa}$ )

Tabel 2. 32 Koefisien gesekan antara pelat beton semen dengan lapisan pondasi di bawahnya

Jenis Pondasi	Faktor Gesekan (F)
BURTU, LAPE dan konstruksi sejenis	2,2
Aspal Beton, LATASTON	1,8
Stabilisasi kapur	1,8
Stabilisasi aspal	1,8
Stabilisasi semen	1,8
Koral sungai	1,5
Batu pecah	1,5
Sirtu	1,2
Tanah	0,9

(Sumber: SKBI 2.3.28.1988)

Dari Tabel 2. 32 Jenis pondasi terpakai adalah stabilisasi semen dengan faktor gesekan 1,8

- Tulangan Memanjang

Diketahui:

F = 1,8 (stabilitas semen dan sirtu)

L = 8 m

$$\begin{aligned}
 H &= 305 \text{ mm} \\
 \text{Lebar plat} = 2 \times 3,5 &= 7 \text{ m} \\
 F_s &= 240 \text{ MPa} \\
 A_s &= \frac{11,76 (1,8 \times 8 \times 305)}{240} = 215,208 \text{ mm}^2/\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Luas tulangan minimum } A_s = 0,14 \% \text{ (SNI'91)}$$

$$A_s \text{ min} = 0,0014 \times 305 \times 1000 = 427 \text{ mm}^2/\text{m lebar}$$

$$\text{Luas tulangan terpakai} = \mathbf{\varnothing 12 \text{ mm} - 225 \text{ mm}}$$

$$= 502,655 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min}$$

(Sudah memenuhi persyaratan  $A_s$  minimum)

• Tulangan melintang

$$A_s = \frac{11,76 (1,8 \times 7 \times 305)}{240} = 188,307 \text{ mm}^2/\text{m pias}$$

$$\text{Luas tulangan terpakai} = \mathbf{\varnothing 16 \text{ mm} - 450 \text{ mm}}$$

$$= 446,804 \text{ mm}^2$$

- b. Perkerasan beton bertulang menerus, atau perkerasan beton semen dengan tulangan disertakan di dalamnya (tanpa sambungan).

Perkerasan beton semen jenis ini dibangun tanpa sambungan melintang sepanjang pelat berkat tulangan pelat persegi panjang. Tulangan sering digunakan dalam arah memanjang, terhitung 0,6% hingga 0,8% dari luas penampang beton, sedangkan arah melintang menggunakan lebih sedikit tulangan dibandingkan arah memanjang.

$$P_s = \frac{100 f_t}{(f_y - n \times f_t)} (1,3 - 0,2 F)$$

Keterangan :

$P_s$  = Persentase tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap penampang beton

$f_t$  = Kuat tarik lentur beton digunakan 0,4 – 0,5  $f_r$ , dalam MPa

$f_y$  = Tegangan leleh rencana baja (berdasarkan SNI'91),  $f_y < 400$  Mpa  
– BJTD40)

$n$  = Angka ekivalen antara baja dan beton =  $\frac{E_s}{E_c}$

$F$  = Koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya,  
tak berdimensi

$E_s$  = Modulus elastisitas baja (berdasarkan SNI'91 digunakan 200.000  
MPa)

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (berdasarkan SNI'91 digunakan 4700  
 $\sqrt{f'_c}$  MPa)

- Tulangan memanjang

$$f_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 3,7 \text{ Mpa}$$

$$f_t = 0,5 \times f_r = 0,5 \times 3,7 = 1,85 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 200 \text{ Mpa}$$

$$n = 7$$

$$F = 1,8$$

$$P_s = \frac{100 (1,85)}{(200 - 7 \times 1,85)} (1,3 - 0,2 \times 1,8) = 0,9\% > 0,6\%$$

$$\text{Luas tulangan minimum } A_s = 0,9\%$$

$$A_s \text{ min} = 0,009 \times 305 \times 1000 = 2745 \text{ mm}^2/\text{m lebar}$$

$$\text{Luas tulangan terpakai} = \varnothing 25 \text{ mm} - 150 \text{ mm}$$

$$= 3272,492 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min}$$

- Pemeriksaan jarak teoritis

$$L_{cr} = \frac{f_t^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_b (SE_c - f_t)}, \text{ (diantara 1 - 2 m)}$$

$$\text{Tegangan lekat dasar} = \frac{9,5}{d} \sqrt{f'_c} \leq 800 \text{ psi}$$

$$F_t = 0,5 \times 3,7 = 1,85$$

$$n = 7$$

$$f_b = \frac{0,79}{2,5} \sqrt{35} = 1,87 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{35} = 27.805,57 \text{ MPa}$$

$$S = 0,0006$$

$$p = \frac{3272,492}{(305 \times 1000)} = 0,017$$

$$u = \frac{4}{d} = \frac{4}{0,025} = 160$$

$$L_{cr} = \frac{1,85^2}{7 \times 0,017^2 \times 160 \times 1,87 ((0,0006 \times 27.805,57) - 1,85)} = 1 < 2 \text{ m}$$

- Tulangan melintang

$$A_s = \frac{11,76 (1,8 \times 7 \times 305)}{240} = 188,307 \text{ mm}^2/\text{m pias}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan terpakai} &= \mathbf{\varnothing 16\text{mm} - 450 \text{ mm}} \\ &= 446,804 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### 4. Volume kelompok sumbu kendaraan niaga

Data LHR yang digunakan untuk perencanaan diperoleh dari survei tahun 2022 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 33 Volume Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan		Sumbu	Konfigurasi Sumbu	LHR 2023	Kelompok Sumbu
Sepeda Motor	1	2	1.1	1450	2900
Mobil Pribadi	2	2	1.1	1100	2200
Bus	5B	2	1.2	265	530
Truk 2 as ringan	6A	2	1.2	125	250
Truk 2 as berat	6B	2	1.2	85	170
Truk 3 as berat	7A3	3	11.2	78	234

Perencanaan perlu adanya data kumulatif beban (ESA5) untuk umur rencana 40 tahun (2023-2063) seperti pada Tabel 2. 16

Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu.

Tabel 2. 34 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur setiap Arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)

Berdasarkan Tabel 2. 34, khususnya untuk jalan dua arah dengan kendaraan niaga, lajur desain 80% karena lokasi terpakai mempertimbangkan jumlah kendaraan yang akan menggunakannya.

5. Struktur lapisan perkerasan sesuai bagan desain – 4/4A

Tabel 2. 35 Bagan Desain 4 Perkerasan Kaku Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat

Struktur Perkerasan	Rt	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan	< 4,3	< 8,6	< 25,8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	Ya				
Struktur perkerasan (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis fondasi LMC	100				
Lapis drainase	150				

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)

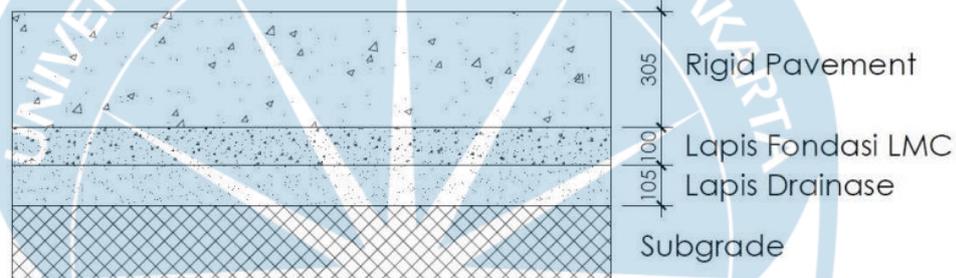
Kelompok gandar untuk kendaraan niaga harus diterapkan oleh perencana dengan menggunakan beban sebenarnya. Karena grafik beban memberikan pembebanan kelompok gandar yang mendekati keadaan di Indonesia, maka grafik beban tersebut tidak boleh digunakan untuk desain perkerasan. Hal ini karena peraturan tersebut didasarkan dengan tunjangan berat kelompok kendaraan, yang tidak realistis mengingat kondisi Indonesia.

Dari Tabel 2. 35 di atas selanjutnya dirangkum dalam Tabel 2. 36 :

Tabel 2. 36 Struktur Perkerasan

Kelompok sumbu kendaraan ( <i>overloaded</i> ) (10E6)	1,70E+08
Dowel dan bahu beton	Ya
Struktur Perkerasan (mm)	
Tebal pelat beton	305
Lapis fondasi LMC	100
Lapis drainase (dapat mengalir dengan baik)	150

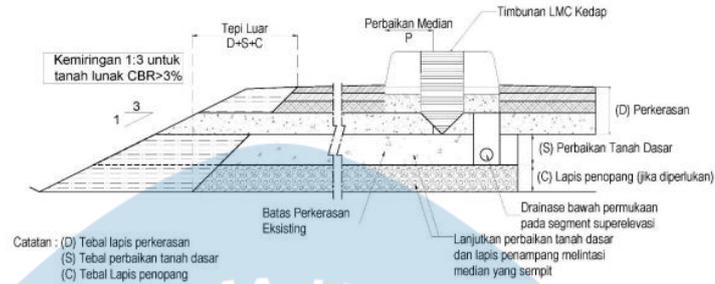
Desain perkerasan dengan sambungan dan dowel serta bahu beton dengan atau tanpa tulangan distribusi retak.



Gambar 2. 18 Desain 4 beban lalu lintas berat

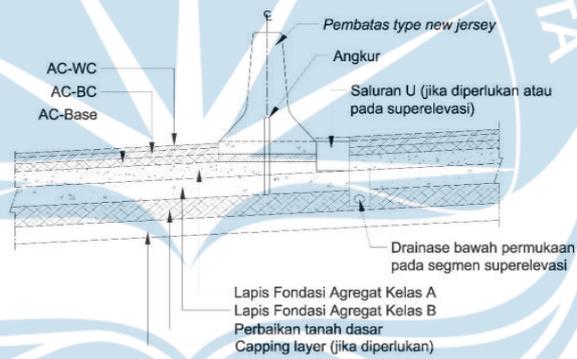
6. Kebutuhan daya dukung tepi perkerasan  
Konstruksi perkerasan harus mempunyai daya dukung tepi yang cukup, terutama jika dibangun pada lahan gambut atau tanah lunak. Gambar kontrak harus memuat pernyataan rinci mengenai ketentuan daya dukung tepi. Persyaratan minimalnya adalah:
  - a. Setiap lapis perkerasan harus dipasang dengan lebar sesuai atau melebihi jumlah minimum yang disebutkan pada Gambar 2. 18. Dukungan tepi perkerasan.

- b. Pada tanah lunak ( $CBR < 2,5\%$ ) atau tanah gambut, timbunan yang tidak memiliki penahan harus dibangun di kemiringan tidak lebih curam dari 1V:3H.



Gambar 2.19 Dukungan Tepi Perkerasan

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)



Gambar 2. 20 Dukungan Median Perkerasan

(Sumber: Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017)