

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Persyaratan Teknis**

Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 (2012) menyatakan “jalan rel direncanakan sesuai dengan klasifikasi jalur untuk melewati berbagai jumlah angkutan barang dan/atau penumpang dalam suatu jangka waktu tertentu”. Perencanaan konstruksi jalan rel harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat dipertanggungjawabkan secara teknis dan ekonomis. Secara teknis konstruksi jalan rel harus dapat dilalui dengan aman dan nyaman. Secara ekonomis pembangunan dan pemeliharaan konstruksi jalan rel dapat diselenggarakan secara efisien serta tetap menjamin keamanan dan kenyamanan. Sistem jalan rel terdiri dari konstruksi bagian atas dan konstruksi bagian bawah. Konstruksi bagian atas harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. persyaratan geometri,
2. persyaratan ruang bebas,
3. persyaratan beban gandar, dan
4. persyaratan frekuensi.

Konstruksi bagian bawah harus memenuhi persyaratan stabilitas dan persyaratan daya dukung.

#### **3.2 Tata Guna Lahan**

Utomo dkk. (1992) menyatakan “alih fungsi lahan atau yang lazim disebut konversi lahan adalah perubahan fungsi sebagian atau menyeluruh kawasan lahan dari fungsi semula (seperti yang direncanakan) menjadi fungsi lain yang menjadi dampak negatif (masalah) terhadap lingkungan dan potensi lahan itu sendiri”. Konversi lahan juga dapat diartikan sebagai perubahan untuk penggunaan lain disebabkan oleh faktor-faktor yang secara garis besar meliputi keperluan untuk memenuhi kebutuhan penduduk.

### 3.3 Trase Jalan Rel

Menurut Permenhub No. 11 Tahun 2012, trase adalah rencana tapak jalur kereta api yang telah diketahui titik-titik koordinatnya. Tujuan dari penetapan trase jalur kereta api adalah untuk diwujudkan keharmonisan antara jaringan jalur kereta api dan perencanaan tata ruang dan wilayah sesuai tatarannya. Keterpaduan pengendalian pemanfaatan ruang untuk jaringan jalur kereta api dalam rangka perlindungan fungsi ruang dan pencegahan dampak negatif terhadap lingkungan akibat pembangunan jalur kereta api. Keterpaduan jaringan jalur kereta api sebagai satu kesatuan sistem jaringan transportasi nasional sehingga mempermudah dan memperlancar pelayanan angkutan orang dan barang serta efisiensi penyelenggaraan perkeretaapian. Sasaran penetapan trase jalur kereta api adalah untuk mewujudkan tersedianya ruang yang memadai untuk rumah, rumah dan rumah guna menjamin keselamatan, keamanan dan kelancaran perjalanan kereta api. Pemilihan trase jalur kereta api menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 11 Tahun 2012 harus mempertimbangkan beberapa hal seperti keamanan, kenyamanan bagi pengguna kereta api dan biaya pelaksanaan konstruksi. Trase jalur kereta api paling sedikit memuat :

1. titik-titik koordinat,
2. lokasi Stasiun,
3. rencana kebutuhan lahan, dan
4. skala gambar.

Kriteria yang dibutuhkan untuk menetapkan trase jalan rel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Aspek Teknis
  - a. Geometrik jalan rel.
  - b. Panjang jalur.
  - c. Waktu tempuh.
  - d. Galian.
  - e. Timbunan.
  - f. Elevasi.
  - g. Potensi angkutan.

- h. Kondisi geologi.
- 2. Aspek Integrasi Jaringan
  - a. Terminal bus.
  - b. Pelabuhan.
  - c. Bandar udara.
  - d. Integrasi dengan kawasan industri.
- 3. Aspek Aksesibilitas dan Mobilitas
  - a. Menjangkau wilayah yang dihubungkan.
  - b. Kemudahan kendaraan bergerak.
- 4. Aspek Tata Guna Lahan
  - a. Luas lahan yang dibebaskan.

Dari aspek-aspek tersebut kemudian dibuat tabel pemeringkatan untuk memudahkan dalam pemilihan trase. Aspek-yang baik diberi peringkat 1 dan yang kurang baik diberi peringkat 2 kemudian total peringkat dari masing-masing trase dijumlahkan dan pilih trase terbaik dari peringkat terkecil. Contoh *Ranking Table* dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

**Tabel 3.1 Contoh *Ranking Table***

Kriteria		Trase 1		Trase2	
		Jumlah	Ranking	Jumlah	Ranking
Aspek Teknis	Panjang Jalur				
	Volume Galian				
	Volume Timbunan				
	Kelandaian Rata-rata				
	Kondisi Geologi				
Aspek Integrasi Jaringan	Jarak ke Terminal Bus				
Aspek Aksesibilitas dan Mobilitas	Perpotongan dengan jalan raya				
Aspek Tata Guna Lahan	Luas Lahan yang dibebaskan				

### 3.4 Geometri Jalan Rel

Menurut Utomo (2006), geometri jalan rel adalah bentuk dan ukuran jalan rel baik pada arah melebar yang meliputi lebar sepur, kelandaian, lengkung horizontal dan lengkung vertikal, peninggian rel, pelebaran sepur. Geometri jalan rel harus direncanakan dan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mencapai hasil yang efisien, aman, nyaman, dan ekonomis.

Menurut Agor (1990), jalan kereta api yang diletakkan pada garis lurus merupakan ide yang baik. Akan tetapi karena topografi umum dan beberapa faktor lainnya, diperlukan deviasi alinyemen melengkung dari alinyemen lurus. Lengkung diperlukan untuk rute jalur kereta api melalui lokasi yang diinginkan. Lengkung atau kombinasi dari beberapa lengkung perlu dimasukkan antara jalur lurus. Desain yang tepat dari komponen atau bagian dari lengkung merupakan desain geometri jalan rel.

Geometri jalan rel direncanakan berdasarkan pada kecepatan rencana serta ukuran kereta yang melewatinya dengan memperhatikan faktor keamanan, kenyamanan, ekonomi dan keserasian dengan lingkungan sekitarnya. Perencanaan geometri jalan rel pada bagian lengkung dimaksudkan untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima oleh kereta api yang berjalan pada kecepatan rencana ( $V_r$ ). Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, persyaratan teknis jalur kereta api dapat dilihat sebagai berikut.

#### 3.4.1 Ruang Milik dan Ruang Pengawasan Jalur Kereta Api

Batas ruang milik jalur kereta api untuk jalan rel yang terletak pada permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah diukur dari batas paling luar sisi kiri dan kanan serta bagian atas dan bawah ruang manfaat jalur kereta api yang lebarnya paling sedikit 6 (enam) meter.

Batas ruang pengawasan jalur kereta api untuk jalan rel yang terletak pada permukaan tanah diukur dari batas paling luar sisi kiri dan kanan serta bagian atas dan bawah ruang manfaat jalur kereta api masing-masing selebar 9 (sembilan) meter.

### 3.4.2 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang digunakan untuk merencanakan konstruksi jalan rel. Berikut ini ditunjukkan beberapa persamaan kecepatan rencana.

1. Untuk perencanaan struktur jalan rel menggunakan Persamaan 3.1 di bawah ini:

$$V_{rencana} = 1,25 \cdot V_{maks} \quad (3.1)$$

dengan:

$V_{rencana}$  = Kecepatan rencana, dan

$V_{maks}$  = Kecepatan maksimal.

2. Untuk perencanaan jari-jari lengkung peralihan menggunakan Persamaan 3.2 di bawah ini:

$$V_{rencana} = V_{maks} \quad (3.2)$$

dengan:

$V_{rencana}$  = Kecepatan rencana, dan

$V_{maks}$  = Kecepatan maksimal.

3. Untuk perencanaan peninggian menggunakan Persamaan 3.3 di bawah ini:

$$V_{rencana} = c \times \left( \frac{e N_i V_i}{N_i V_i} \right) \quad (3.3)$$

dengan :

$V_{rencana}$  = Kecepatan rencana,

$c$  = 1,25,

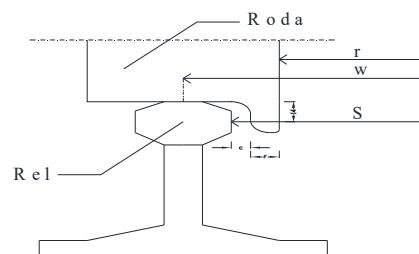
$N_i$  = Jumlah kereta api yang lewat, dan

$V_i$  = Kecepatan operasi.

Kecepatan maksimum adalah kecepatan tertinggi yang diijinkan untuk operasi suatu rangkaian kereta pada lintas tertentu. Kecepatan komersil adalah kecepatan rata-rata kereta api sebagai hasil dari pembagian jarak tempuh dengan waktu tempuh. Kecepatan operasi adalah kecepatan rata-rata petak jalan tertentu.

### 3.4.3 Lebar Jalan Rel

Lebar jalan rel merupakan jarak minimum kedua sisi kepala rel yang diukur pada 0-14 mm di bawah permukaan teratas rel. Lebar jalan rel yang digunakan di Indonesia terutama di Pulau Jawa dan Pulau Sumatera adalah tipe *narrow gauge* atau sepur sempit (1067 mm). Penyimpangan lebar jalan rel untuk lebar 1067 mm yang dapat diterima yaitu +2 mm dan -0 untuk jalan rel baru dan +4 mm dan -2 mm untuk jalan rel yang telah dioperasikan. Hubungan antara lebar sepur, ukuran dan posisi roda di atas kepala rel dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Persamaan 3.4 sebagai berikut:



**Gambar 3.1 Lebar Sepur**

(Sumber: PJKA, 1986)

$$S = r + 2 \cdot f + 2 \cdot c \quad (3.4)$$

dengan :

S = lebar sepur (mm),

r = jarak antara bagian terdalam roda (mm),

f = tebal flens (mm), dan

c = celah antara tepi-dalam flens dengan kepala rel (mm).

Lebar sepur 1067 mm dan hubungan tersebut adalah untuk jalur lurus dan besarnya tetap, tidak tergantung pada jenis dan dimensi rel yang digunakan. Pada lengkung horizontal, diperlukan pelebaran lebar jalan rel yang tergantung dari jari-jari lengkung horizontalnya.

### 3.4.4 Beban Gandar

Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari suatu gandar. Beban gandar yang dipakai dengan lebar jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur

maksimum sebesar 18 ton. Maksud dari penggunaan satu macam beban gandar sebesar 18 ton adalah sebagai berikut:

1. perpindahan kereta api baik kereta api penumpang maupun barang dari satu sepur ke sepur lainnya yang kelasnya lebih rendah, dapat dilakukan tanpa harus mengurangi muatannya terlebih dahulu, dan
2. setiap lokomotif dapat digunakan disemua sepur meskipun kelasnya berbeda-beda.

### 3.4.5 Kelas Jalan Rel

Penetapan kelas jalan rel ini hanya didasarkan pada kapasitas angkut lintas dan/atau kecepatan maksimumnya saja, tidak berdasarkan beban gandar karena disemua kelas jalan rel hanya ada satu macam beban gandar. Kelas jalan rel untuk lebar jalan rel 1067 mm dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Kelas Jalan Rel Untuk Lebar Sepur 1067 mm**

Kelas Jalan	Daya Angkut Lalu Lintas (ton/thn)	$V_{maks}$ (km/jam)	$P_{maks}$ gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak Antar Sumbu Bantalan (cm)			
I	$>20.10^6$	120	18	R.60/R.54	Beton	Elastis Ganda	30	60
					60			
II	$10.10^6 - 20.10^6$	110	18	R.54/R.50	Beton/Kayu	Elastis Ganda	30	50
					60			
III	$5.10^6 - 10.10^6$	100	18	R54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja	Elastis Ganda	30	40
					60			
IV	$2,5.10^6 - 5.10^6$	90	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja	Elastis Ganda/Elastis Tunggal	25	40
					60			
V	$< 2,5.10^6$	80	18	R.42	Kayu/Baja	Elastis Tunggal	25	35
					60			

Sumber: PJKA (1986)

Perhitungan besarnya kapasitas angkut lintas yang digunakan oleh PT. KAI (Persero) Tbk. sesuai Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6 di bawah ini:

$$T = 360 \times S \times TE \quad (3.5)$$

$$TE = Tp + (Kb \times Tb) + K1 \times T1 \quad (3.6)$$

dengan :

T = kapasitas angkut lintas (ton/tahun),

S = koefisien yang besarnya tergantung pada kualitas lintas yaitu:

S = 1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang dengan kecepatan maksimum 120 km/jam, dan

S = 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang.

TE = tonase ekuivalen (ton/hari),

Tp = tonase penumpang dan kereta harian,

Tb = tonase barang dan gerbong harian,

T1 = tonase lokomotif harian,

Kb = koefisien yang besarnya tergantung pada beban gandar, yaitu:

Kb = 1,5 untuk beban gandar < 18 ton, dan

Kb = 1,3 untuk beban gandar > 18 ton.

K1 = koefisien yang besarnya ditentukan sebesar 1,4.

#### 3.4.6 Kelandaian

Tanjakan adalah salah satu masalah teknis yang sangat penting dalam perencanaan dan perancangan geometri jalan rel. Persyaratan kelandaian yang harus dipenuhi yaitu persyaratan landai penentu, persyaratan landai curam dan persyaratan landai emplasemen.

##### 1. Landai penentu

Landai penentu adalah suatu kelandaian (pendakian) yang terbesar yang ada pada suatu lintasan lurus. Besarnya landai penentu tergantung pada kelas jalan rel. Persyaratan landai penentu harus memenuhi persyaratan seperti pada Tabel 3.3 di bawah ini.

**Tabel 3.3 Landai Penentu Maksimum**

Kelas Jalan Rel	Landai Penentu Maksimum (%)
I	10
II	10
III	20



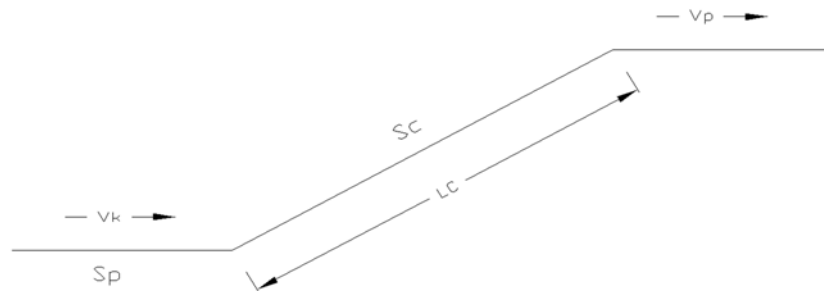
Lanjutan Tabel 3.3 Landai Penentu Maksimum

Kelas Jalan Rel	Landai Penentu Maksimum (%)
IV	25
V	25

Sumber: PJKA (1986)

## 2. Landai curam

Landai curam adalah kelandaian yang melebihi landai penentu. Pada lintas yang melalui pegunungan, kelandaian (tanjakan) pada suatu lintas lurus kadang terpaksa melebihi landai penentu dipengaruhi antara lain oleh faktor topografi dan tata guna lahan. Panjang maksimum landai curam dibatasi dengan Persamaan 3.7 di bawah ini.



**Gambar 3.2 Landai Curam**

(Sumber: PJKA, 1986)

$$l_c = \frac{v_k^2 - v_p^2}{2 \cdot g \cdot (S_p - S_c)} \quad (3.7)$$

dengan :

$l_c$  = panjang maksimum landai curam yang diijinkan (m),

$V_k$  = kecepatan minimum yang diijinkan dikaki landai curam (m/s),

$V_p$  = kecepatan minimum yang dapat diterima dipuncak landai curam (m/s)

dengan ketentuan  $V_p \geq 0,5 V_k$ ,

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ),

$S_p$  = landai penentu ( $^{\circ}/_{00}$ ), dan

$S_c$  = landai curam ( $^{\circ}/_{00}$ ).

Kelandaian maksimum di emplasemen yang diijinkan adalah 1%. Dalam keadaan yang memaksa kelandaian (pendakian) dari lintas lurus dapat melebihi landai penentu.

### 3.4.7 Alinemen Horizontal

Pada saat kereta api melewati lengkung horizontal maka akan timbul gaya sentrifugal kearah luar yang akan berakibat rel luar mendapat tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan rel dalam dan keausan rel luar akan lebih banyak dibandingkan dengan yang terjadi pada rel dalam serta dapat mengakibatkan tergulingnya kereta api.

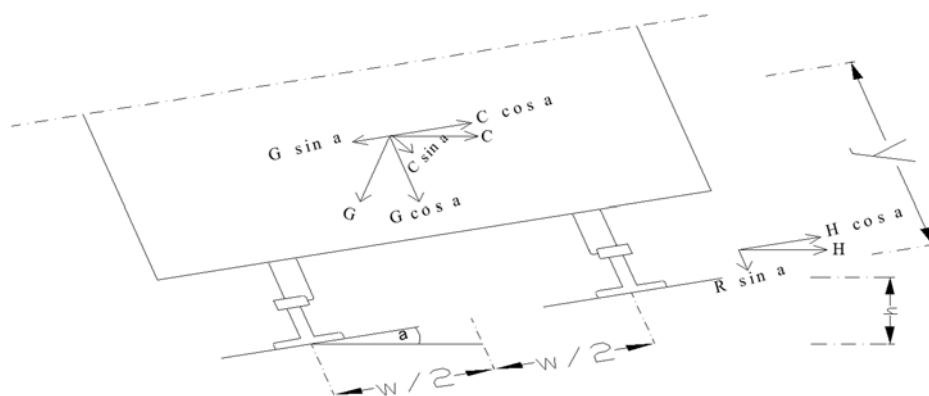
Dua bagian lurus yang diperpanjang saling membentuk sudut dihubungkan dengan lengkung yang berbentuk lingkaran dengan atau tanpa lengkung peralihan. Terdapat tiga jenis lengkung horizontal yaitu: lengkung lingkaran, lengkung peralihan dan lengkung S.

#### 1. Lengkung lingkaran

Pada saat kereta api melalui lengkung horizontal kedudukan kereta/gerbong/lokomotif, gaya berat kereta, gaya sentrifugal yang timbul dan dukungan komponen struktur jalan rel, dapat dilihat pada Gambar 3.3 Gaya sentrifugal kereta api pada tikungan. Untuk berbagai kecepatan rencana besar jari-jari minimum yang diijinkan ditinjau dari kondisi:

##### a. Gaya sentrifugal yang timbul oleh gaya berat saja

Persamaan gaya sentrifugal yang timbul oleh gaya berat saja dapat dilihat pada Persamaan 3.8a sampai 3.9 berikut ini:



**Gambar 3.3 Gaya Sentrifugal Kereta Api Pada Tikungan**

(Sumber: PJKA, 1986)

$$G \sin \alpha = \frac{m \cdot v^2}{R} \cos \alpha \quad (3.8a)$$

$$= \frac{G \cdot v^2}{g \cdot R} \cos \alpha \quad (3.8b)$$

$$\tan \alpha = \frac{V^2}{g \cdot R} \quad (3.8c)$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{W} \quad (3.8d)$$

$$h = \frac{W V^2}{g \cdot R} \quad (3.8e)$$

$$R = \frac{8,8 V^2}{h} \quad (3.8f)$$

dengan :

R = jari-jari lengkung (m),

G = berat kereta/gerbong/lokomotif (ton),

V = kecepatan rencana (km/jam),

h = peninggian rel (mm), dan

w = jarak antara kedua titik kontak antara roda dengan kepala rel (1120mm).

Dengan peninggian maksimum  $h_{\text{maks}} = 110$  mm maka Persamaan 3.8f menjadi seperti berikut ini:

$$R_{\text{min}} = \frac{8,8 \cdot V^2}{110}$$

$$R_{\text{min}} = 0,08 \cdot V^2 \quad (3.9)$$

dengan:

$R_{\text{min}}$  = jari-jari minimum yang diperlukan (mm), dan

V = kecepatan rencana (km/jam).

- b. Gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh berat dan kemampuan dukung komponen struktur jalan rel

Persamaan gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh berat dan kemampuan dukung komponen struktur jalan rel dapat dilihat pada Persamaan 3.10a sampai 3.11 berikut ini:

$$m \cdot \frac{V^2}{R} \cos \alpha = G \sin \alpha + H \cos \alpha \quad (3.10a)$$

$$G \sin \alpha = \left( \frac{m \cdot V^2}{R} - h \right) \cos \alpha \quad (3.10b)$$

$$G \tan \alpha = \left( \frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} - h \right) \quad (3.10c)$$

$$h = m \cdot a = \left( \frac{G}{g} \cdot a \right) \quad (3.10d)$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{W} \quad (3.10e)$$

$$\frac{G}{W} \frac{h}{a} = \frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} - \frac{G}{g} \cdot a \quad (3.10f)$$

$$a = \frac{V^2}{13 \cdot R} - g \frac{h}{W} \quad (3.10g)$$

Dengan peninggian maksimum  $h = 110$  mm, maka Persamaan 3.10g seperti di bawah ini:

$$R_{min} = 0,054 \cdot V^2 \quad (3.11)$$

$R_{min}$  = jari-jari minimum yang diperlukan (mm), dan

$V$  = kecepatan rencana (km/jam).

## 2. Lengkung Peralihan

Pengurangan pengaruh perubahan gaya sentrifugal sehingga penumpang kereta api tidak terganggu kenyamanannya dapat digunakan lengkung peralihan. Oleh karena itu maka panjang lengkung peralihan yang diperlukan menggunakan Persamaan 3.12 di bawah ini.

$$Lh = 0,01 \cdot h \cdot V \quad (3.12)$$

dengan:

$Lh$  = panjang minimum lengkung peralihan (m)

$h$  = peninggian rel pada lengkung lingkaran (mm)

$V$  = kecepatan rencana (km/jam)

Salah satu bentuk lengkung peralihan adalah *Cubic Parabola*. Persamaan *cubic parabola* dapat dilihat pada Persamaan 3.13 sebagai berikut:

$$y = \frac{x^3}{6 \cdot R \cdot L} \quad (3.13)$$

dengan;

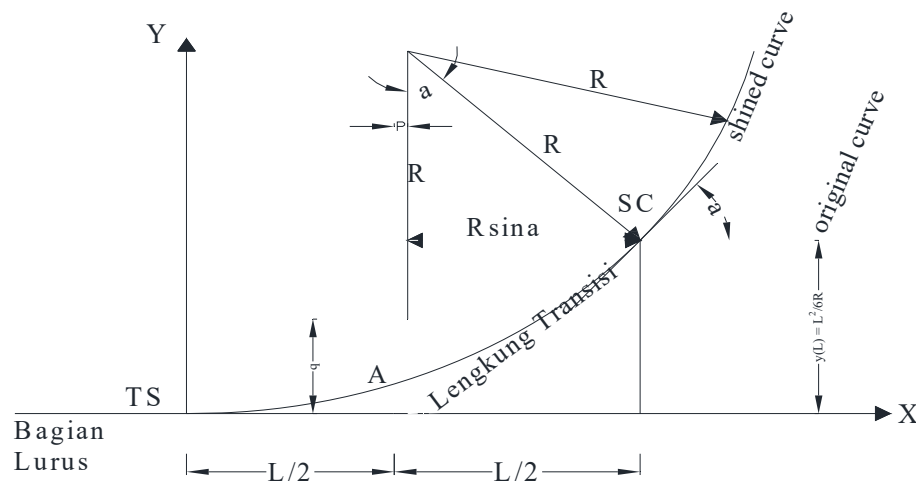
$y$  = koordinat arah y,

$x$  = koordinat arah x,

$R$  = jari-jari lengkung (m), dan

$L$  = panjang lengkung (m).

Pada Gambar 3.4 dapat dilihat letak lengkung peralihan dan lengkung lingkaran beserta titik-titik/bagian-bagian pentingnya.



**Gambar 3.4 Lengkung Peralihan Bentuk *Cubic Parabola***

(Sumber: Talbot, 1912)

$$P = \frac{L}{2} - R \sin \alpha \quad (3.14)$$

$$k = L - R \sin \alpha \quad (3.15)$$

$$q = \frac{L^2}{6.R} + R \cos \alpha - R \quad (3.16)$$

dengan:

TS = titik pertemuan bagian lurus dengan lengkung peralihan,

SC = titik pertemuan lengkung peralihan dengan lengkung lingkaran,

L = panjang lengkung peralihan/Lh (m), dan

R = jari-jari lingkaran (m).

Pada lengkung peralihan di atas terjadi pergeseran letak lengkung yaitu dari letak lengkung semula (*original curve*) yang tanpa lengkung peralihan, ke letak lengkung yang bergeser (*shifted curve*) karena menggunakan lengkung peralihan.

### 3. Lengkung Lingkaran Tanpa Lengkung Peralihan

Jari-jari minimum lengkung horizontal tanpa peralihan dapat digunakan Persamaan 3.17 di bawah ini.

$$R = 0,0164 \cdot V^2 \quad (3.17)$$

dengan:

$R$  = jari-jari minimum (m), dan

$V$  = kecepatan rencana (km/jam).

Besar jari-jari minimum yang diijinkan sesuai dengan kecepatan rencana dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini.

**Tabel 3.4 Jari-Jari Minimum yang Diijinkan**

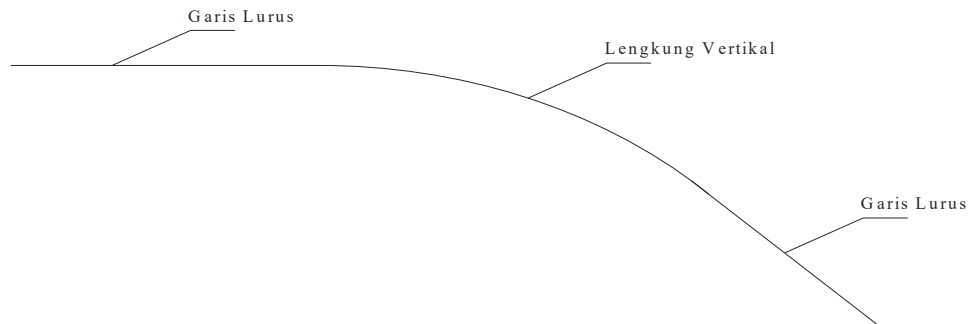
Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari Lengkung Lingkaran Tanpa Lengkung Peralihan (m)	Jari-jari Lengkung Lingkaran Yang Diijinkan Dengan Lengkung Peralihan (m)
120	2370	780
110	1990	660
100	1650	550
90	1330	440
80	1050	350
70	810	270
60	600	200

Sumber: PJKA (1986)

4. Lengkung S terjadi bila dua lengkung dari suatu lintas yang berbeda arah lengkungnya terletak bersambungan dan harus memiliki peralihan lurus sekurang-kurangnya sepanjang 20 m diluar lengkung peralihan.

#### 3.4.8 Alinemen Vertikal

Alinemen vertikal merupakan proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel. Sumbu rel terdiri dari garis lurus dengan atau tanpa kelandaian dan lengkung vertikal. Lengkung vertikal dimaksudkan sebagai lengkung peralihan dari suatu kelandaian ke kelandaian berikutnya sehingga perubahan kelandaian akan berangsur-angsur dan beraturan. Berikut contoh alinemen vertikal pada Gambar 3.5 di bawah ini.

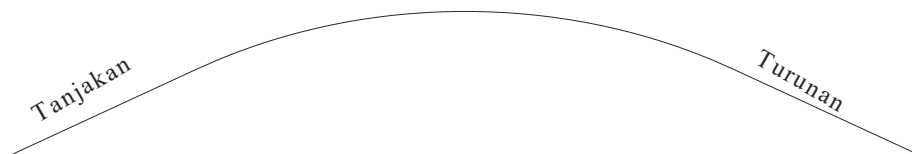


**Gambar 3.5 Lengkung Vertikal**

(Sumber: Utomo, 2006)

1. Lengkung cembung

Lengkung cembung adalah lengkung vertikal yang pembelokannya keatas. Pada dasarnya lengkung cembung dibuat pada kondisi tanjakan bertemu dengan turunan, tanjakan bertemu dengan jalan datar atau tanjakan bertemu dengan kelandaian yang lebih kecil. Berikut contoh tanjakan bertemu dengan turunan pada Gambar 3.6 di bawah ini.



**Gambar 3.6 Tanjakan Bertemu dengan Turunan**

(Sumber: Utomo, 2006)

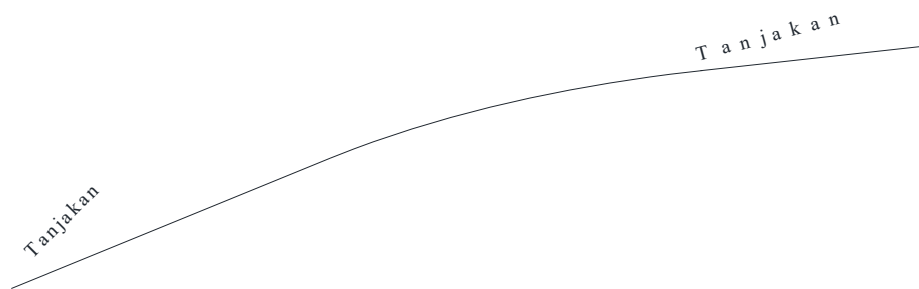
Tanjakan bertemu dengan jalan datar ditunjukkan pada Gambar 3.7 di bawah ini.



**Gambar 3.7 Tanjakan Bertemu dengan Jalan Datar**

(Sumber: Utomo, 2006)

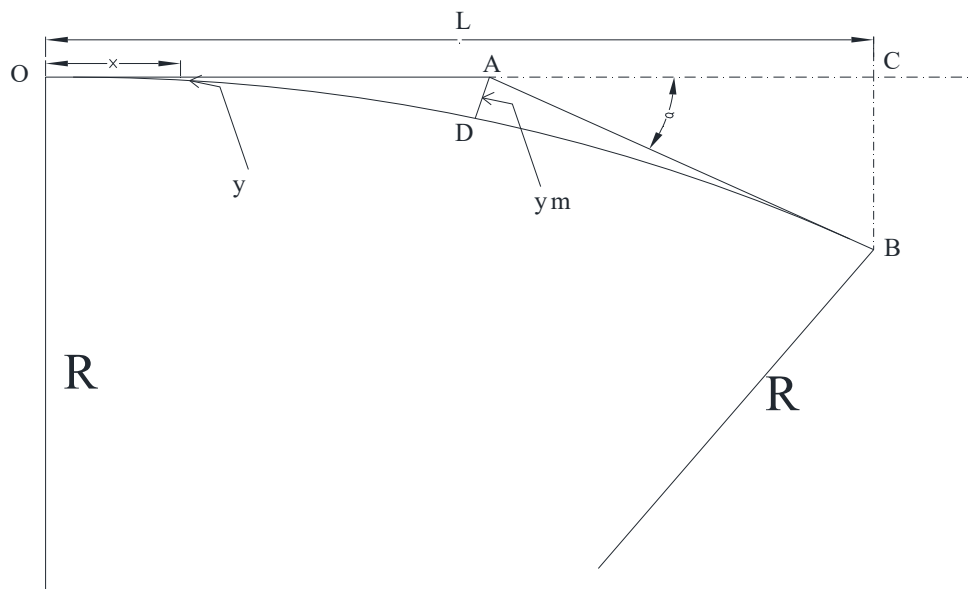
Tanjakan bertemu dengan tanjakan lain dengan kelandaian yang lebih kecil ditunjukkan pada Gambar 3.8 di bawah ini.



**Gambar 3.8 Tanjakan Bertemu dengan Tanjakan Lain dengan Kelandaian yang Lebih Kecil**

(Sumber: Utomo, 2006)

Subarkah (1981) menjelaskan bahwa pada perubahan kelandaian dari jalan datar ke jalan turunan dengan kelandaian turunan 1:40 dengan kecepatan kereta api sebesar 100 km/jam, melayangnya roda kereta api di atas rel adalah 3,125 cm padahal tinggi flens roda kereta api hanya 2,7 cm sehingga dapat terjadi bahaya roda keluar terlepas dari rel. Untuk menghindari hal tersebut maka diperlukan adanya lengkung transisi. Lengkung vertikal berbentuk lengkung lingkaran dapat dilihat pada Gambar 3.9 di bawah ini.



**Gambar 3.9 Lengkung Vertikal Berbentuk Lengkung Lingkaran**

(Sumber: Talbot, 1912)

$$X_m = \frac{R}{2} \theta \quad (3.18)$$

$$Y_m = \frac{R}{8} \theta^2 \quad (3.19)$$



dengan:

$x_m$  = panjang titik 0 ke titik Y,

$y_m$  = panjang titik A ke titik D,

R = jari-jari lengkung vertikal,

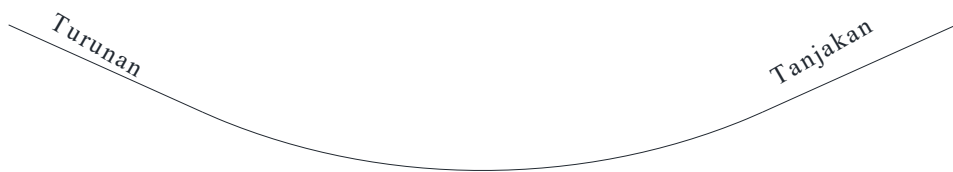
L = panjang lengkung vertikal,

A = titik pertemuan antara perpanjangan kedua landai/garis lurus, dan

$\theta$  = perbedaan landai.

## 2. Lengkung cekung

Lengkung cekung adalah lengkung vertikal yang pembelokaannya ke bawah. Pada dasarnya lengkung cekung dibuat pada kondisi turunan bertemu dengan tanjakan, turunan bertemu dengan jalan datar atau turunan bertemu dengan turunan lain dengan kelandaian lebih kecil. Berikut contoh turunan bertemu dengan tanjakan seperti pada Gambar 3.10 di bawah ini.



**Gambar 3.10 Turunan Bertemu Dengan Tanjakan**

(Sumber: Utomo, 2006)

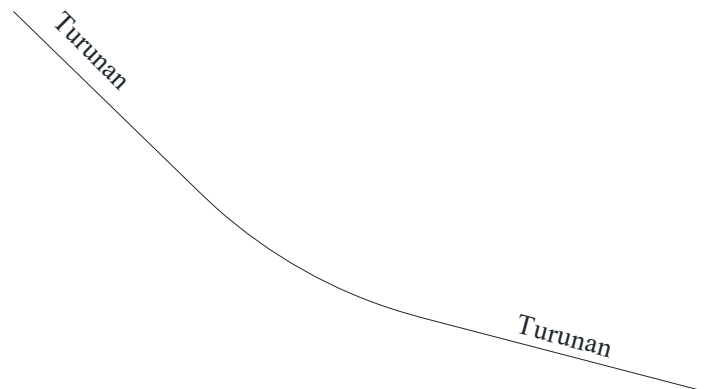
Turunan bertemu dengan jalan datar ditunjukkan pada Gambar 3.11 di bawah ini.



**Gambar 3.11 Turunan Bertemu Dengan Jalan Datar**

(Sumber: Utomo, 2006)

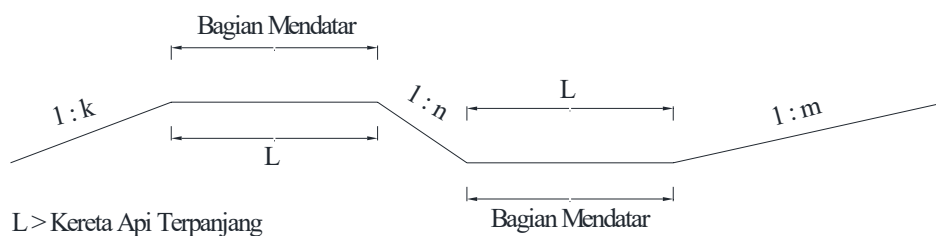
Turunan bertemu dengan turunan lain dengan kelandaian yang lebih kecil ditunjukkan pada Gambar 3.12 di bawah ini.



**Gambar 3.12 Turunan Bertemu Dengan Turunan Lain Dengan Kelandaian yang Lebih Kecil**

(Sumber: Utomo, 2006)

Subarkah (1981) menyatakan” apabila suatu tanjakan diikuti dengan turunan atau sebaliknya maka diantara lengkung vertikal yang merupakan lengkung peralihan harus dibuat bagian mendatar yang panjangnya tidak boleh kurang dari kereta api terpanjang yang melalui jalan rel tersebut”. Seperti pada Gambar 3.13 di bawah ini.



**Gambar 3.13 Bagian Mendatar Diantara Lengkung Vertikal**

(Sumber: Subarkah, 1981)

Selain hal di atas, perlu diperhatikan juga bahwa pada perencanaan dan perancangan jalan rel letak lengkung vertikal harus diusahakan tidak berimpit dengan lengkung horizontal. Pengukuran lengkung vertikal dilakukan pada titik awal peralihan kelandaian. Dua lengkung vertikal yang berdekatan harus memiliki peralihan lurus sekurang-kurangnya sepanjang 20 m. Besar jari-jari minimum lengkung vertikal bergantung pada kecepatan rencana dapat dilihat pada Tabel 3.8 di bawah ini.

**Tabel 3.5 Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal**

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari – Jari Minimum Lengkung Vertikal (m)
> 100	8000
≤ 100	6000

Sumber: PJKA (1986)

### 3.4.9 Percepatan Sentrifugal

Gaya sentrifugal adalah fungsi dari massa benda dan percepatan sentrifugal. Percepatan sentrifugal adalah fungsi dari kecepatan dan jari-jari lengkung. Percepatan sentrifugal yang timbul akan berpengaruh pada:

1. kenyamanan penumpang kereta api,
2. tergesernya barang-barang didalam kereta/gerbong/lokomotif kearah luar, dan
3. gaya sentrifugal akan berpengaruh pada keausan rel dan bahaya tergulingnya kereta api.

Untuk mengatasi masalah di atas maka diperlukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. pemilihan jari-jari lengkung horizontal (R) yang cukup besar,
2. pembatasan kecepatan kereta api, dan
3. peninggian rel sebelah luar.

Percepatan sentrifugal perlu dibatasi dengan pertimbangan supaya kenyamanan penumpang tetap terjaga dan barang-barang didalam kereta/gerbong/lokomotif tidak bergeser ditunjukkan pada Persamaan 3.20 di bawah ini.

$$a_{maksimum} = 0,0478 \cdot g \quad (3.20)$$

dengan:

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>).

### 3.4.10 Pelebaran Sepur

Pelebaran sepur dilakukan agar roda kendaraan rel dapat melewati tikungan tanpa mengalami hambatan. Pelebaran jalan rel dicapai dengan menggeser rel dalam kearah dalam. Pelebaran jalan rel dicapai dan dihilangkan secara berangsur

sepanjang lengkung peralihan. Gaya tekan yang timbul akibat terjepitnya roda kereta/gerbong akan mengakibatkan keausan rel dan roda menjadi lebih cepat. Ukuran pelebaran sepur dapat dipengaruhi oleh:

1. jari-jari lengkung horizontal,
2. jarak gandar depan dan gandar belakang pada gandar tengah, dan
3. kondisi keausan roda kereta dan rel.

Besar pelebaran jalan rel dengan lebar jalan rel 1067 mm dapat dilihat pada Tabel 3.6 di bawah ini.

**Tabel 3.6 Pelebaran Jalan Rel Untuk 1067 mm**

Jari-jari Tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$R > 600$	0
$500 < R \leq 600$	5
$400 < R < 550$	10
$350 < R < 400$	15
$100 < R \leq 350$	20

Sumber: PJKA (1986)

Pemasangan pelebaran jalan rel dilakukan dengan mengikuti hal-hal sebagai berikut.

1. Jika terdapat lengkung peralihan, maka pengurangan dilakukan sepanjang lengkung peralihan.
2. Jika tidak terdapat lengkung peralihan, maka pengurangan dilakukan sedapatnya dengan panjang pengurangan yang sama. Untuk yang tanpa peninggian rel, pengurangan dilakukan menurut panjang standar 5 m atau diukur dari ujung lengkungan. Untuk lengkungan wesel maka panjang pengurangan ditentukan secara terpisah tergantung pada kondisi yang ada.

#### 3.4.11 Koordinasi Alinemen

Alinemen vertikal, alinemen horizontal dan potongan melintang jalan adalah elemen – elemen jalan sebagai keluaran perencanaan harus dikoordinasikan sedemikian sehingga menghasilkan suatu bentuk jalan yang baik dalam arti kereta dapat melaju dengan aman dan nyaman. Bentuk kesatuan ketiga elemen jalan tersebut diharapkan dapat memberikan kesan atau petunjuk kepada masinis akan bentuk jalan kereta api yang akan dilalui. Tikungan yang tajam pada bagian bawah

lengkung vertikal cekung atau pada bagian atas lengkung vertikal cembung harus dihindarkan. Lengkung vertikal cekung pada kelandaian jalan yang lurus dan panjang harus dihindarkan. Dua atau lebih lengkung vertikal dalam satu lengkung horizontal harus dihindarkan. Tikungan yang tajam diantara 2 bagian jalan yang lurus dan panjang harus dihindarkan.

#### 3.4.12 Peninggian Jalan Rel

Pada lengkungan elevasi rel luar dibuat lebih tinggi daripada rel dalam untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang dialami oleh rangkaian kereta. Peninggian rel dicapai dengan menempatkan rel dalam pada tinggi semestinya dan rel luar lebih tinggi. Terdapat tiga jenis peninggian rel yaitu.

##### 1. Peninggian normal

Peninggian normal ditentukan berdasarkan pada kondisi jalan rel tidak ikut menahan gaya sentrifugal. Pada kondisi ini gaya sentrifugal hanya diimbangi oleh gaya berat saja. Perhitungan peninggian normal digunakan Persamaan 3.21 di bawah ini.

$$H_{normal} = 5,95 \frac{V^2}{R} \quad (3.21)$$

dengan:

$H_{normal}$  = peninggian normal,

$V$  = kecepatan rencana (km/jam), dan

$R$  = jari-jari lengkung horizontal (m).

##### 2. Peninggian minimum

Peninggian minimum ditentukan berdasarkan pada kondisi gaya maksimum yang dapat ditahan oleh komponen jalan rel dan kenyamanan penumpang kereta api. Perhitungan peninggian minimum digunakan Persamaan 3.22 di bawah ini.

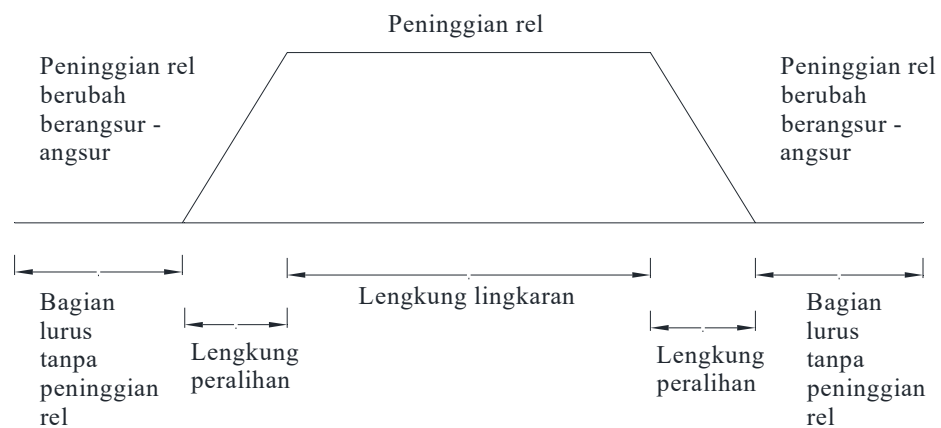
$$H_{minimum} = 8,8 \frac{V^2}{R} - 53,54 \quad (3.22)$$

dengan:

- $H_{\text{minimum}}$  = peninggian minimum (mm),  
 $V$  = kecepatan rencana (km/jam), dan  
 $R$  = jari-jari lengkung horizontal (m).

### 3. Peninggian maksimum

Peninggian maksimum ditentukan berdasarkan pada stabilitas kereta api pada saat berhenti di bagian lengkung horizontal dengan pembatasan kemiringan maksimum sebesar 10%. Apabila kemiringan melebihi 10% maka benda-benda yang terletak pada lantai kereta api dapat bergeser kearah sisi dalam. Dengan digunakan kemiringan maksimum 10% maka peninggian rel maksimum yang digunakan adalah 110 mm. Diagram peninggian jalan rel dapat dilihat pada Gambar 3.14 di bawah ini.



**Gambar 3.14 Diagram Peninggian Rel**

(Sumber : Utomo, 2006)

Besar peninggian untuk lebar jalan rel 1067 mm pada berbagai kecepatan rencana dapat dilihat pada Tabel 3.7 di bawah ini.

**Tabel 3.7 Peninggian Jalan Rel 1067 mm**

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pas (km/jam)						
	120	110	100	90	80	70	60
100	120	110	100	90	80	70	60
150	-	-	-	-	-	-	
200	-	-	-	-	-	-	110
250	-	-	-	-	-	-	90
300	-	-	-	-	-	100	75
350	-	-	-	-	110	85	65
400	-	-	-	-	100	75	55
450	-	-	-	110	85	65	50
500	-	-	-	100	80	60	45
550	-	-	110	90	70	55	40
600	-	-	100	85	65	50	40
650	-	-	95	75	60	50	35
700	-	105	85	70	55	45	35
750	-	100	80	65	55	40	30
800	110	90	75	65	50	40	30
850	105	85	70	60	45	35	30
900	100	80	70	55	45	35	25
950	95	80	65	55	45	35	25
1000	90	75	60	50	40	30	25
1100	80	70	55	45	35	30	20
1200	75	60	55	45	35	25	20
1300	70	60	50	40	30	25	20
1400	65	55	45	35	30	25	20
1500	60	50	40	35	30	20	15
1600	55	45	40	35	25	20	15
1700	55	45	35	30	25	20	15
1800	50	40	35	30	25	20	15
1900	50	40	35	30	25	20	15
2000	45	40	30	25	20	15	15
2500	35	30	25	20	20	15	10
3000	30	25	20	20	15	10	10
3500	25	25	20	15	15	10	10
4000	25	20	15	15	10	10	10

Sumber: PJKA (1986)