



# ALINEMEN HORIZONTAL JALAN REL

# Sub Pokok Bahasan

Lebar Sepur

Lengkung horizontal

Percepatan sentrifugal

Peninggian rel

Pelebaran sepur

Tikungan lingkaran

Tikungan lingkaran tanpa lengkung

Tikungan transisi

Tikungan berbentuk S

Peninggian normal

Peninggian minimum

Peninggian maksimum

Penggunaan peninggian rel

# Pengantar

- **Geometri jalan rel** → bentuk dan ukuran jalan rel, baik pada arah memanjang maupun arah melebar, meliputi : lebar sepur, kelandaian, tikungan horizontal dan lengkung vertikal, peninggian rel, pelebaran sepur.
- Geometri jalan rel direncanakan dan dirancang agar mencapai hasil yang efektif, efisien, aman, nyaman, selamat, dan ekonomis.



**LEBAR SEPUR**

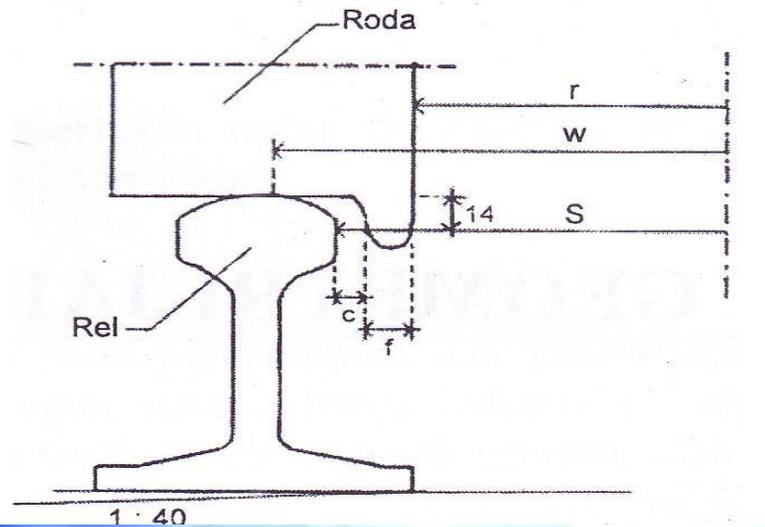
# Lebar Sepur

Indonesia menggunakan lebar sepur (*track*) 1067 mm (3 feet 6 inch) yang tergolong pada **sepur sempit** (jarak terpendek rel yang satu sampai sisi dalam rel lainnya).



Gambar Kereta Api yang ada di Indonesia

# Lebar Sepur



- Pada jalur lurus, besarnya lebar sepur tetap yaitu 1067 (Indonesia) seperti diilustrasikan pada gambar. Lebar sepur dapat ditentukan berdasarkan rumus berikut :

$$S = r + 2.f + 2.c$$

dengan ketentuan :

S : lebar sepur (mm)

r : jarak antara bagian terdalam roda (mm)

f : tebal flens (mm)

c : celah antara tepi dalam flens dengan kepala rel (mm)

- Sedangkan pada **lengkung horizontal**, lebar sepur memerlukan pelebaran yang ditentukan berdasarkan pada jari-jari lengkung horisontalnya.

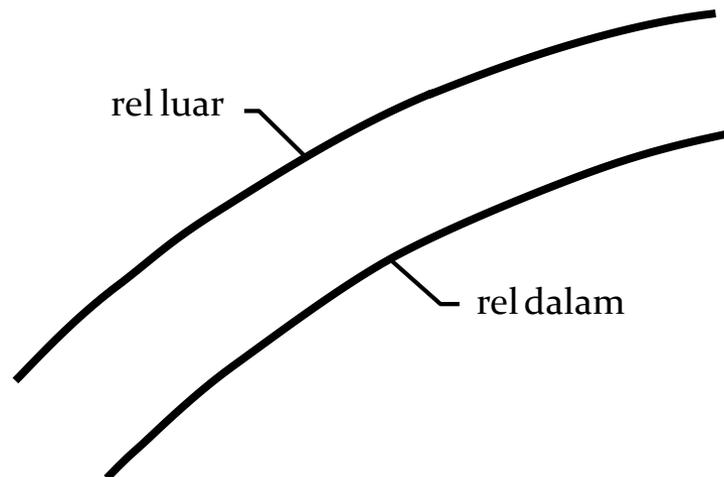




**LENGKUNG  
HORIZONTAL**

# Lengkung Horizontal

- **Alinemen horizontal** : proyeksi sumbu jalan rel pada bidang horizontal yang terdiri atas lurus dan lengkungan.
- Lengkung horizontal merupakan bentuk proyeksi sumbu lurus jalan rel berangsur-angsur merubah arah alinemennya secara horizontal. Hal tersebut mempengaruhi besarnya diameter lengkung yang berbeda pada rel bagian luar dan bagian dalam. Sehingga dapat pula mempengaruhi besarnya perbedaan tinggi rel pada bagian dalam dan luar, yang disesuaikan dengan kecepatan rencana kereta api melintas.



# Lengkung Horizontal

- Pada saat kereta api berjalan melalui lengkung horizontal, timbul **gaya sentrifugal** kearah luar yang akan berakibat :
  - rel luar mendapat tekanan yang lebih besardibandingkan dengan rel dalam,
  - keausan rel luar akan lebih banyak dibandingkan denganyang terjadi pada rel dalam, dan
  - bahaya tergulingnya kereta api.
- Akibat adanya akibat yang ditimbulkan dari gaya sentrifugal tersebut, maka lengkung horizontal memerlukan peninggian pada rel luarnya. Sehingga perancangan lengkung horizontal berkaitan berkaitan erat dengan analisis peninggian rel.

# Lengkung Horizontal

- Beberapa jenis lengkung yang terdapat pada lengkung horizontal, sebagai berikut :

Lengkung Lingkaran

Lengkung Peralihan

Lengkung “S”

# Lengkung Lingkaran

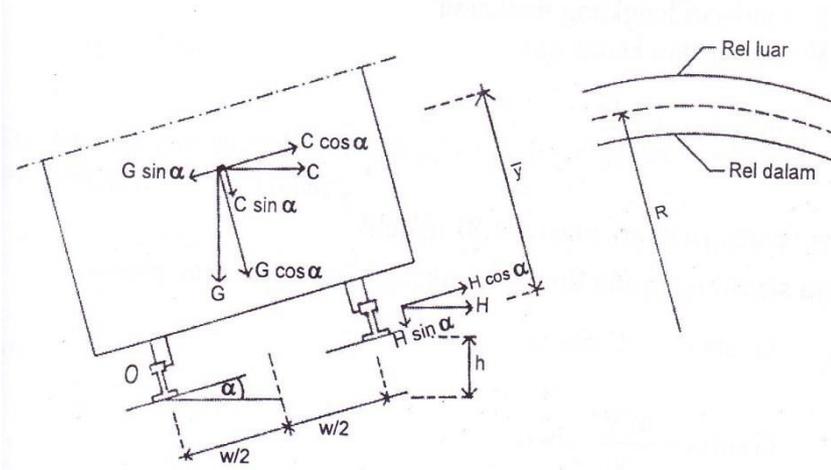
**Lengkung lingkaran** : dua bagian lurus yang perpanjangannya saling membentuk sudut, dihubungkan dengan lengkung yang berbentuk lingkaran dengan atau tanpa lengkung peralihan. Dalam perencanaan jalan rel, terdapat berbagai kecepatan rencana serta besar jari-jari minimum yang diizinkan, sebagai berikut :

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran tanpa lengkung transisi (m)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran dgn lengkung transisi (m)
120	2370	780
110	1990	660
100	1650	550
90	1330	440
80	1050	350
70	810	270
60	600	200

Sumber : Peraturan Dinas Nomor 10, PT. Kereta Api Indonesia (Persero)

# 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 digambarkan dengan gambar.
- Pada kedudukan seperti diilustrasikan pada gambar, untuk berbagai kecepatan yang akan direncanakan jari-jari minimum yang digunakan perlu ditinjau dari dua kondisi, seperti :
  - gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat saja.
  - gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh berat dan kemampuan dukung komponen struktur jalan rel.



Keterangan :

- $R$  : jari-jari lengkung (meter)
- $D$  : dukungan komponen struktur jalanrel
- $C$  : gaya sentrifugal
- $w$  : jarak antara kedua titik kontak antara roda dengan kepala rel, sebesar 1120 mm
- $G$  : berat kereta/gerbong/lokomotif (kg)
- $h$  : peninggian rel (mm)

# Lengkung Lingkaran

## ➤ Gaya Sentrifugal yang Timbul diimbangi oleh Gaya Berat saja

Suatu kondisi dimana gaya sentrifugal yang timbul, tidak didukung oleh gaya-gaya lainnya. Adapun persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$C = \frac{m.V^2}{R}$$

dengan :

C : gaya sentrifugal

R : jari jari lengkung lingkaran (meter)

V : kecepatan kereta api (km/jam)

$$m = \text{massa} = \frac{G}{g} \quad ; \quad g : \text{percepatan grafitasi} = 9,81 \text{ m/detik}^2$$

$$\text{Sehingga:} \quad h = \frac{w.V^2}{g.R}$$

dengan satuan praktis yaitu:

V : kecepatan perancangan (km/jam)

R : jari-jari lengkung horizontal, (meter)

w : jarak antara kedua titik kontak roda dan rel, sebesar 1120 mm,

h : peninggian rel pada lengkung horizontal, (mm)

g : percepatan gravitasi, sebesar 9,81 m/detik<sup>2</sup>



# Lengkung Lingkaran

## ➤ Gaya Sentrifugal yang Timbul diimbangi oleh Gaya Berat saja

- Didapat :
$$h = \frac{8,8.V^2}{R}$$

- Sehingga :
$$R = \frac{8,8.V^2}{h}$$

- Dengan peninggian maksimum,  $h_{maks} = 110$  mm  
maka :

$$R = \frac{8,8.V^2}{110}$$

Dengan demikian maka jari-jari minimum lengkung lingkaran pada kondisi ini ialah

$$R_{\min} = 0,08.V^2$$

dengan :

$R_{\min}$  : jari-jari minimum (meter) yang diperlukan pada kondisi gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat saja, dan menggunakan peninggian maksimum

$V$  : Kecepatan perancangan (km/jam)

# Lengkung Lingkaran

## ➤ Gaya Sentrifugal yang Timbul diimbangi oleh Gaya Berat dan Kemampuan Dukung Komponen Struktural Jalan Rel

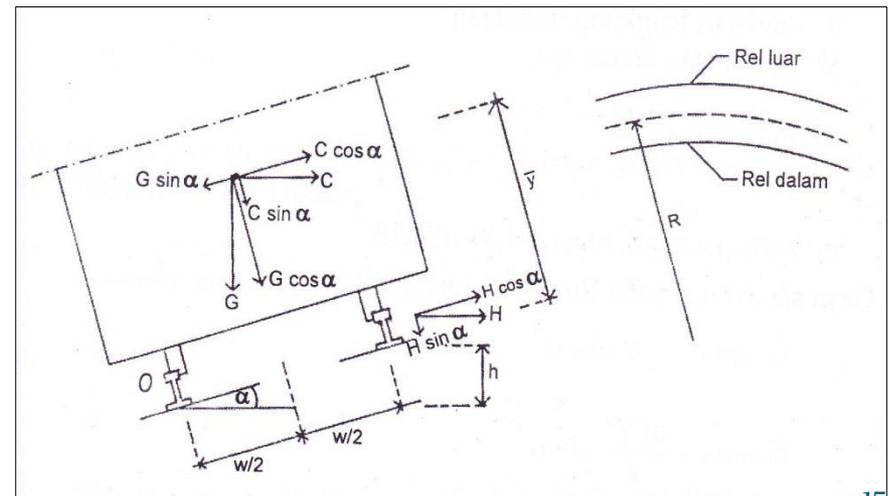
- Kemampuan dukung komponen struktur jalan rel yang dimaksud di sini ialah kemampuan dukung total yang dapat diberikan oleh komponen struktur jalan rel, yaitu : rel, sambungan rel, penambat rel, bantalan dan balas.
- Gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat dan kemampuan dukung komponen jalan rel, sehingga menimbulkan persamaan sebagai berikut:

$$C \cos \alpha = G \sin \alpha + D \cos \alpha$$

$$\frac{mV^2}{R} \cos \alpha = G \sin \alpha + D \cos \alpha$$

$$G \sin \alpha = \left( \frac{mV^2}{R} - D \right) \cos \alpha$$

$$G \tan \alpha = \frac{mV^2}{R} - D$$



# Lengkung Lingkaran

- Besarnya dukungan komponen struktur jalan rel tergantung pada massa dan percepatan sentrifugal, yaitu :

$$D = m.a$$

dengan :

a : percepatan sentrifugal ( $m/detik^2$ )

m : massa (kg)

Berdasarkan persamaan sudut berikut :

$$\tan \alpha = \frac{h}{w}$$

Maka dapat ditentukan :

$$a = \left( \frac{V^2}{g.R} - \frac{h}{w} \right) g$$



# Lengkung Lingkaran

- Karena kecepatan kereta ( $V$ ) masih dalam satuan km/jam, maka diperlukan perubahan satuan ke dalam satuan m/detik, sehingga:

$$a = 0,007 \frac{V^2}{R} - g \frac{h}{w}$$

atau :

$$a = \frac{V^2}{13R} - g \frac{h}{w}$$

$$a + g \frac{h}{w} = \frac{V^2}{13R}$$

$$13R = \frac{V^2}{a + g \frac{h}{w}}$$

# Lengkung Lingkaran

- Percepatan sentrifugal (a) : besaran yang menyatakan berapakah besarnya sentrifugal yang dengan satuan m/detik
- Berdasarkan tinjauan aspek keselamatan dan kenyamanan, besarnya percepatan sentrifugal maksimum yang dianjurkan sebesar 0,0478.g, sedangkan jarak antara kedua titik kontak roda dan rel sebesar 1120 mm, sehingga diperoleh persamaan :

$$13R = \frac{V^2}{0,0478g + g \frac{h}{1120}}$$

Dikarenakan adanya peninggian maksimum (h maks) sebesar 110 mm, maka :

$$13R = \frac{V^2}{0,0478g + g \frac{110}{1120}}$$

$$R = 0,0537 V$$

$$R = 0,054 V$$

# Lengkung Lingkaran

- Sehingga diperoleh persamaan untuk menentukan jari-jari minimum sebagai berikut :

$$R_{min} = 0.054 V^2$$

dengan :

$R_{min}$  : jari-jari minimum (meter) yang diperlukan pada kondisi gaya sentrifugal yang timbul diimbangi oleh gaya berat dan kemampuan dukung komponen struktur jalan rel, serta menggunakan peninggian maksimum,

$V$  : Kecepatan perancangan (km/jam)

# Lengkung Lingkaran Tanpa Lengkung Transisi

- Pada bentuk lengkung horizontal tanpa adanya lengkung transisi dan tidak ada peninggian rel yang harus dicapai, berdasarkan pada persamaan peninggian minimum, yaitu :

$$h = 8,8 \frac{V^2}{R} - 53,54$$

Karena  $h = 0$  (tidak ada peninggian rel), maka :

$$R = 0,164 V^2$$



Lengkung tanpa transisi

# Lengkung Transisi

- Untuk mengurangi pengaruh perubahan gaya sentrifugal sehingga penumpang kereta api tidak terganggu kenyamanannya, dapat digunakan lengkung transisi (*transition curve*). Panjang lengkung transisi tergantung pada perubahan gaya sentrifugal tiap satuan waktu, kecepatan, dan jari jari lengkung lingkaran. Untuk mendapatkan panjang lengkung transisi dapat dijelaskan berikut:

$$\text{Gaya sentrifugal} = m \cdot a = \frac{V^2}{R}$$

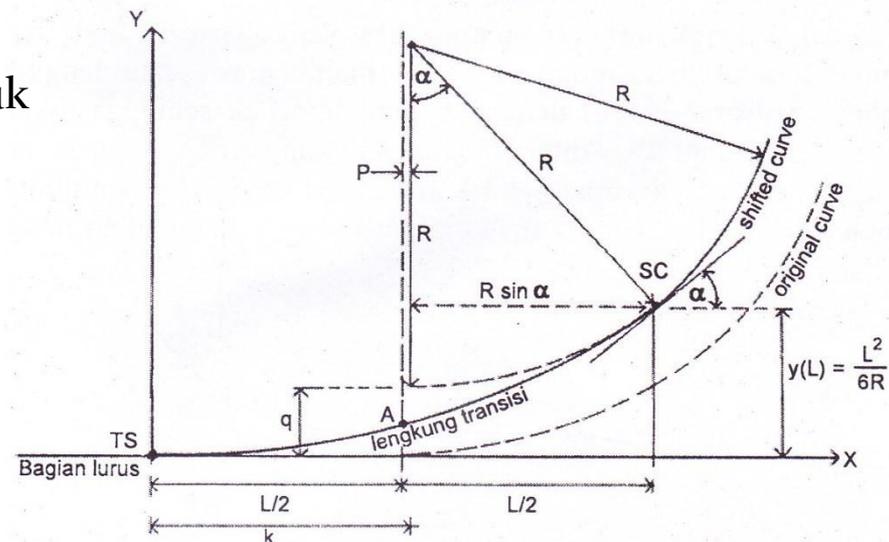
Apabila  $t$  adalah waktu yang diperlukan untuk berjalan melintasi lengkung transisi, maka:

$$t = \frac{L}{V}$$

dengan :

$L$  : panjang lengkung transisi (meter)

$V$  : kecepatan kereta api (km/jam)



# Lengkung Transisi

Sehingga diperoleh persamaan:

$$\frac{m.a}{t} = \frac{m.V^2/R}{L/V}$$

$$\frac{m.a}{t} = m. \frac{V^3}{R.L}$$

$$\frac{a}{t} = \frac{V^3}{R.L}$$

$$L = \frac{V^3.t}{a.R}$$

Dengan digunakan  $a_{maks} = 0.0478.g$  maka dapat diperoleh:

$$L = 0,06 \frac{V^3}{R}$$

# Lengkung Transisi

Berdasarkan persamaan :

$$h = 5,95 \frac{V^2}{R}$$

Diperoleh :

$$L = 0,01.h.V$$

Oleh karena itu, maka panjang minimum lengkung transisi yang diperlukan ialah :

$$Lh = 0,01.h.V$$

dengan :

Lh = panjang minimum lengkung transisi (m)

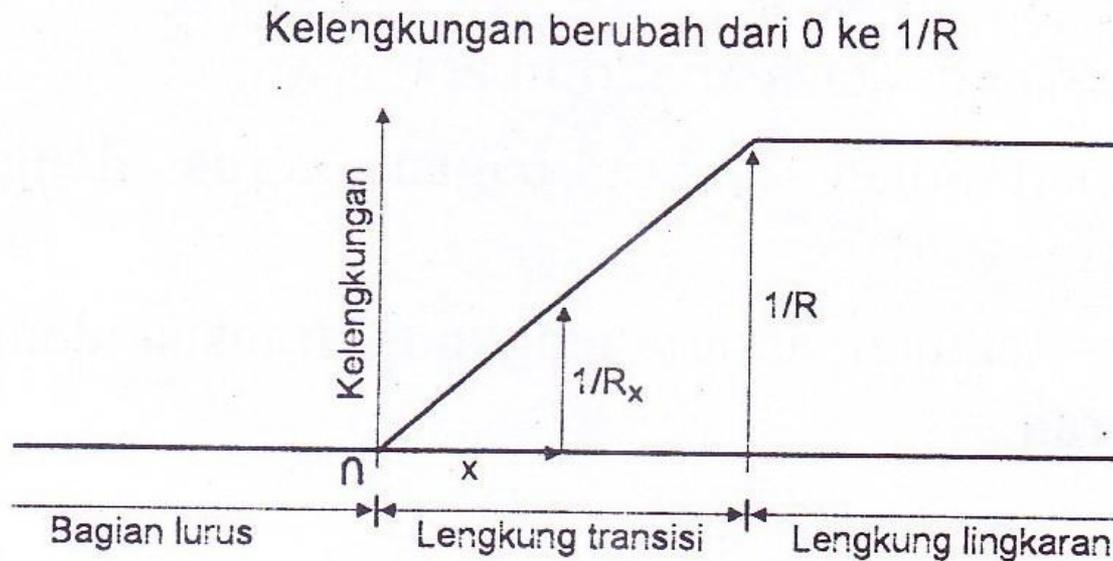
H = peninggian rel pada lengkung lingkaran (mm)

V = kecepatan perancangan (km/jam)

R = jari-jari lengkung lingkaran (m)

# Lengkung Transisi

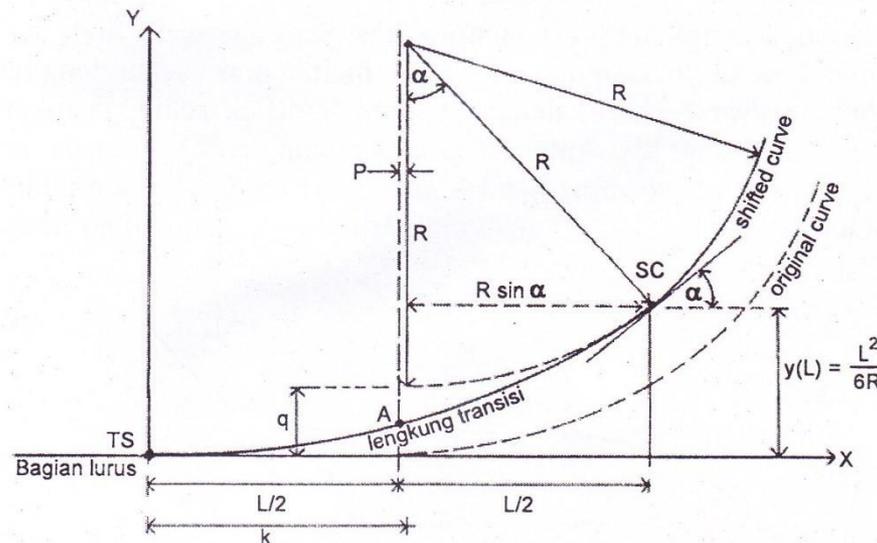
## ➤ Diagram Kelengkungan pada Lengkung Transisi



- Salah satu bentuk lengkung transisi ialah *Cubic Parabola* (parabola pangkat tiga)
- Persamaan *Cubic Parabola* ialah sebagai berikut : 
$$y = \frac{x^3}{6.R.L}$$

# Lengkung Transisi

- Berdasarkan pada persamaan pangkat tiga tersebut, sebagian bentuk lengkung transisi dan lengkung lingkarannya ditunjukkan pada gambar di bawah. Pada gambar tersebut juga dapat dilihat letak lengkung transisi dan lengkung lingkaran beserta titik-titik/bagian-bagian pentingnya.



dengan :

TS : titik pertemuan antara bagian lurus dengan lengkung transisi

SC : titik pertemuan antara lengkung transisi dengan lengkung lingkaran

# Lengkung Transisi

$$P = \frac{L}{2} - R \sin^{\alpha}$$

$$k = L - R \sin^{\alpha}$$

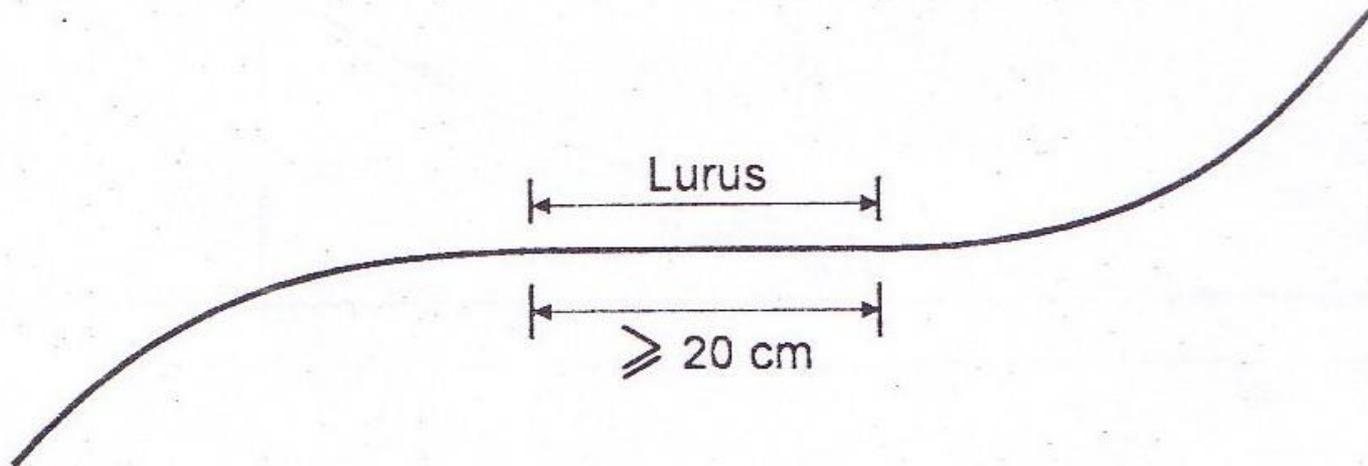
$$q = \frac{L^2}{6.R} - R \cos - R$$

- $L \rightarrow$  panjang lengkung peralihan ( $L_h$ ). Sedangkan lengkung transisi berbentuk parabola dari TS melalui A hingga titik SC, mulai SC didapatkan lengkung lingkaran.
- Pada lengkung transisi tersebut terjadi pergeseran letak lengkung, yaitu dari letak lengkung semula (*original curve*) yang tanpa lengkung transisi, ke letak lengkung yang bergeser (*shifted curve*) karena menggunakan lengkung transisi.



# Lengkung S

- Pada dua lengkung dari suatu lintas yang berbeda arah lengkungnya terletak bersambungan, akan membentuk suatu lengkung membalik (*reverse curve*) dengan bentuk huruf S, sehingga dikenal sebagai "lengkung S". Antara kedua lengkung, yang berbeda arah sehingga membentuk huruf S ini harus diberi bagian lurus minimum 20 meter di luar lengkung transisi.



Gambar Bentuk Lengkung S

# Percepatan Sentrifugal

- **Gaya sentrifugal** → fungsi dari massa benda dan percepatan sentrifugal. Percepatan sentrifugal → fungsi dari kecepatan dan jari jari lengkung :

$$a = \frac{V^2}{R}$$

dengan :

a = percepatan sentrifugal (m/detik<sup>2</sup>)

V = kecepatan (km/jam)

R = jari-jari lengkung (meter)



Gambar lengkung S

# Percepatan Sentrifugal

- **Percepatan sentrifugal** yang timbul berpengaruh pada :
  - kenyamanan penumpang kereta api,
  - tergesernya (ke arah luar) barang-barang didalam kereta/gerbong/ lokomotif, dan
  - gaya sentrifugal yang berpengaruh pada keausan rel dan bahaya tergulingnya kereta api.
- Untuk mengatasi pengaruh tersebut, dilakukan langkah berikut :
  - pemilihan jari-jari lengkung horizontal (R) yang cukup besar,
  - pembatasan kecepatan kereta api (V), dan
  - peninggian rel sebelah luar.
- Dengan pertimbangan kenyamanan penumpang tetap terjaga dan barang barang di dalam kereta/gerbong/lokomotif tidak bergeser → percepatan sentrifugal yang terjadi perlu dibatasi :

$$a_{maks} = 0.0478 \cdot g$$

dengan :

g = percepatan gravitasi ( m/detik<sup>2</sup> )



**PENINGGIAN REL**

# Peninggian Rel

- Peninggian rel : akibat adanya gaya sentrifugal pada lengkung horizontal, sehingga memerlukan peninggian pada bagian rel luarnya.
- Kategori peninggian rel di dalam perancangan lengkung horizontal :

**Peninggian Normal**

**Peninggian Minimum**

**Peninggian Maksimum**

# Peninggian Normal

- **Peninggain normal** ditentukan berdasar pada kondisi komponen jalan rel tidak ikut menahan gaya sentrifugal.
- Pada kondisi ini gaya sentrifugal sepenuhnya diimbangi oleh gaya berat saja :

$$R = \frac{8,8^2}{h}$$

atau

$$h = \frac{8,8.V^2}{R}$$

Juga telah disebutkan bahwa :

$$R_{min} = 0,054 V^2$$

atau

$$V = 4,3 \sqrt{R}$$

# Peninggian Normal

- Persamaan tentang hubungan antara  $h$  dengan  $V$  dan  $R$  diwujudkan dalam bentuk :

$$h = k \frac{V^2}{R}$$

dengan  $h_{\text{maksimum}} = 110 \text{ mm}$ , maka :

$$110 = k \frac{(4,3\sqrt{R})^2}{R}$$

dan dapat diperoleh  $k = 5,95$ , sehingga :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \frac{V^2}{R}$$

dengan :

- $V$  : kecepatan rencana (m/jam)
- $R$  : jari-jari lengkung horizontal (m)
- $h_{\text{normal}}$  : peninggian normal ( mm )

# Peninggian Minimum

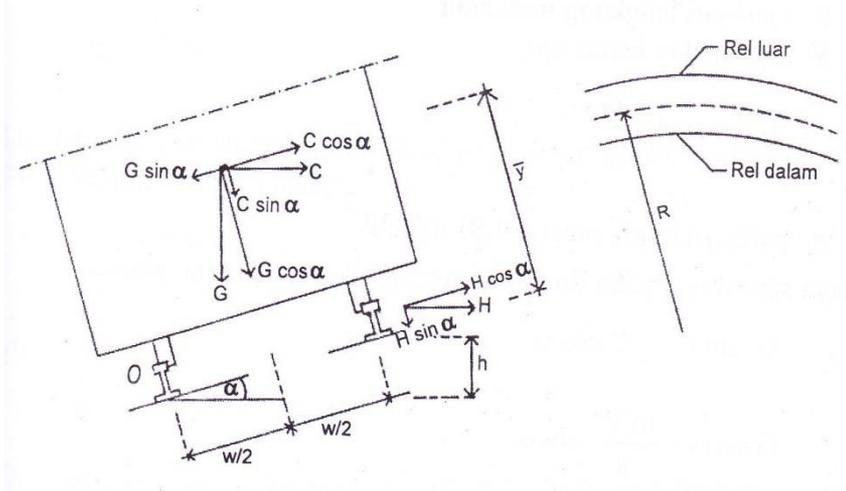
- **Peninggian minimum** ditentukan berdasarkan pada kondisi gaya maksimum yang dapat ditahan oleh komponen jalan rel dan kenyamanan penumpang KA.

berdasarkan gambar disamping disebutkan bahwa :

$$G = \frac{h}{w} = \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{R} - \frac{G}{g}$$

maka :

$$h = \frac{w \cdot V^2}{g \cdot R} - \frac{w}{g}$$



Keterangan :

$R$  : jari-jari (meter)

$D$  : dukungan komponen struktur jalan rel

$C$  : gaya sentrifugal

$w$  : jarak antara kedua titik kontak antara roda dengan kepala rel, sebesar 1120 mm

$G$  : berat kereta/gerbong/lokomotif (kg)

$h$  : peninggian rel (mm)

# Peninggian Minimum

Karena beberapa faktor sebagai berikut :

$$w = 1120 \text{ mm}$$

$$g = 9,81 \text{ (m/detik}^2\text{)}$$

$$a = 0,0478 \cdot g \text{ (m/detik}^2\text{)}$$

Maka dapat diperoleh :

$$h = \frac{8,8 V^2}{R} - 53,536$$

$$h \approx \frac{8,8 V^2}{R} - 53,54$$

sehingga dapat digunakan persamaan peninggian minimum :

$$h_{min} = \frac{8,8 V^2}{R} - 53,54$$

dengan :

$h_{min}$  = peninggian minimum (mm)

$V$  = kecepatan perancangan (km/jam)

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

# 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 ke sisi dalam. Dengan digunakan kemiringan maksimum 10% peninggian rel maksimum yang digunakan ialah 110 mm.
- Faktor keamanan terhadap **bahaya guling** kereta/gerbong/lokomotif saat berhenti di bagian lengkung horizontal dengan peninggian rel sebesar 110 mm.

# Peninggian Maksimum

Momen terhadap titik O ialah :

$$SF \times G \sin \alpha \times y = G \times \cos \alpha \times \frac{W}{2}$$

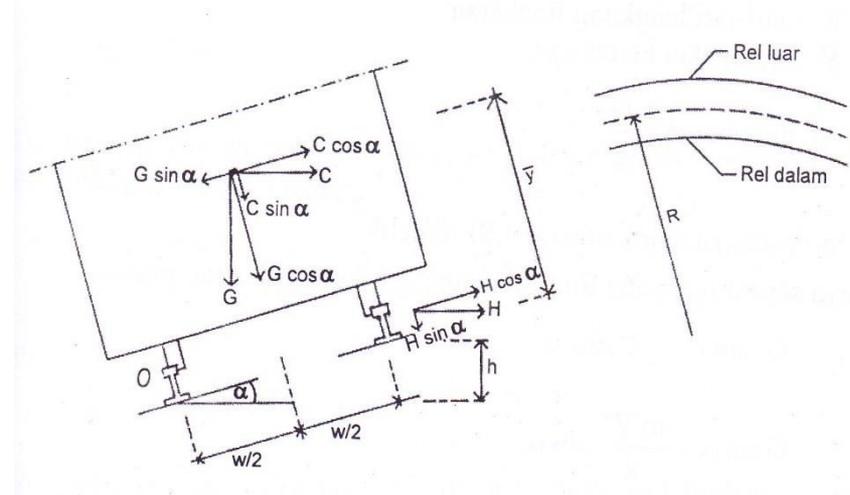
$$\tan \alpha = \frac{W}{SF \times 2 \times y}$$

Sehingga :

$$\frac{h}{W} = \frac{W}{SF \times 2 \times y}$$

atau :

$$SF = \frac{W^2}{h \times 2 \times y}$$



Keterangan :

R : jari-jari (meter)

D : dukungan komponen struktur jalan rel

C : gaya sentrifugal

w : jarak antara kedua titik kontak antara roda dengan kepala rel, sebesar 1120 mm

G : berat kereta/gerbong/lokomotif (kg)

h : peninggian rel(mm)

SF : faktor keamanan terhadap bahaya guling

# Peninggian Maksimum

- Apabila digunakan  $h = h_{\text{maks}} = 110 \text{ mm}$ ,  $w = 1120 \text{ mm}$  dan untuk kereta/gerbong/lokomotif yang digunakan di Indonesia = 1700 mm, maka :

$$SF = 3,35$$

- **Faktor keamanan** terhadap bahaya guling pada saat berhenti di bagian lengkung horizontal dengan  $h_{\text{maks}}$  sebesar 110 mm  $\rightarrow$  sekitar 3,3.

# Penggunaan Peninggian Rel

Peninggian rel pada lengkung horizontal ditentukan berdasarkan  $h$  normal :

$$h_{normal} = 5,95 \frac{V^2}{R} (mm)$$

Dengan beberapa batasan :

$$h_{maks} = 110mm$$

$$h_{min} = 8,8 \frac{V^2}{R} - 53,54(mm)$$

Berdasarkan pertimbangan penerapan di lapangan → peninggian rel yang diperoleh melalui perhitungan teoritis di atas, dibulatkan ke 5 mm terdekat ke atas. Contoh : apabila dalam perhitungannya diperoleh  $h = 3,5$  mm maka peninggian rel yang digunakan ialah 5 mm.

# Penggunaan Peninggian Rel

- Dalam pelaksanaannya → peninggian rel dilakukan dengan cara **peninggian pada rel-luar**, bukan menurunkan rel-dalam. Dengan demikian peninggian rel dapat dicapai dengan cara menempatkan rel-dalam tetap pada elevasinya dan rel-luar ditinggikan. Hal tersebut dipilih karena pekerjaan meninggikan elevasi rel **relatif lebih mudah** dibandingkan dengan menurunkan elevasi rel.
- Peninggian rel dicapai dan dihilangkan **tidak secara mendadak**, tetapi berangsur-angsur dihilangkan berdasarkan lengkung transisi.
- Pada keadaan lengkung horizontal tanpa lengkung transisi, peninggian rel dicapai dan dihilangkan berangsur angsur sepanjang suatu “**panjang transisi**” dengan batasan panjang minimum yang pada dasarnya dapat dihitung dengan persamaan  $L_h = 0,01 \cdot h \cdot V$

# Penggunaan Peninggian Rel

Persamaan **panjang minimum** pada lengkung transisi :

$$P_h = 0,01 \cdot h \cdot V$$

dengan :

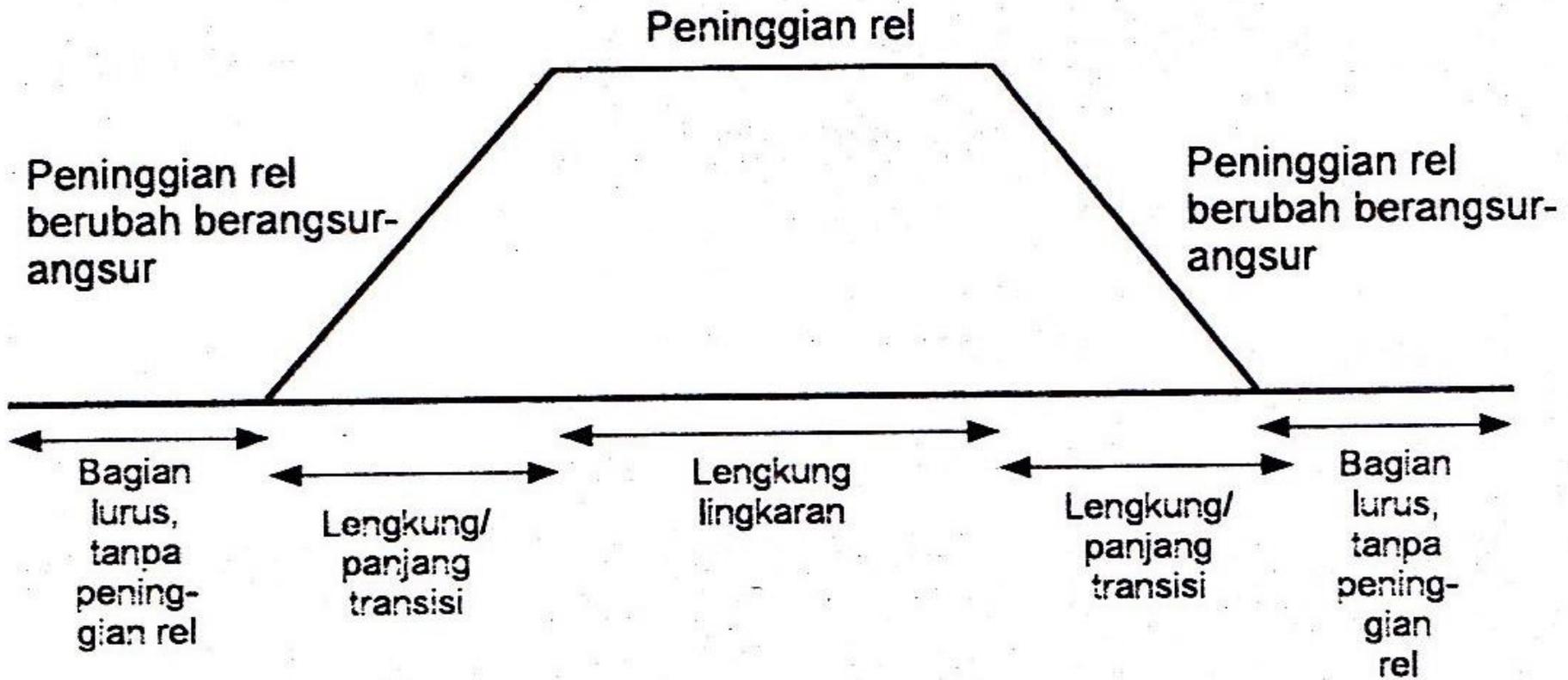
$P_h$  = panjang minimum “panjang transisi” (m)

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

$V$  = kecepatan perancangan (km/jam)



# Diagram Peninggian Rel (Diagram Superelevasi)



# Peninggian Rel di Lengkung Horizontal berdasarkan Peninggian Normal

Jarijari (m)	Peninggian rel (mm) pada setiap Kecepatan perancangan (km/jam)						
	120	110	100	90	80	70	60
100							
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			105	90	70	55	40
600			100	85	65	50	40
650		-----	90	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

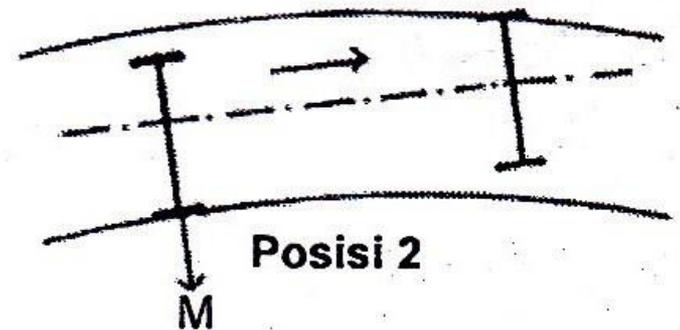
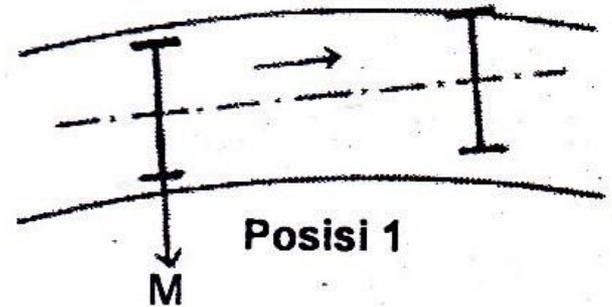
Sumber : Peraturan Dinas Nomor 10, PT. Kereta Api Indonesia (Persero)

# Pelebaran Sepur

- Analisis untuk pelebaran sepur didasarkan pada kereta/gerbong yang menggunakan **dua gandar**.
- Dua gandar → gandar depan dan gandar belakang yang merupakan satu kesatuan yang teguh, disebut sebagai **Gandar teguh** (*rigid wheel base*).
- Gandar belakang akan tetap sejajar dengan gandar depan, sehingga pada waktu kereta dengan gandar teguh melalui suatu lengkung, akan terdapat 4 kemungkinan posisi.

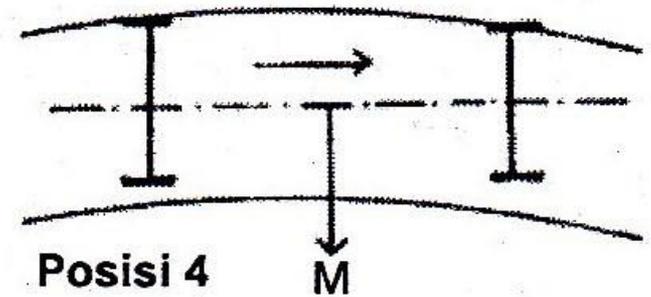
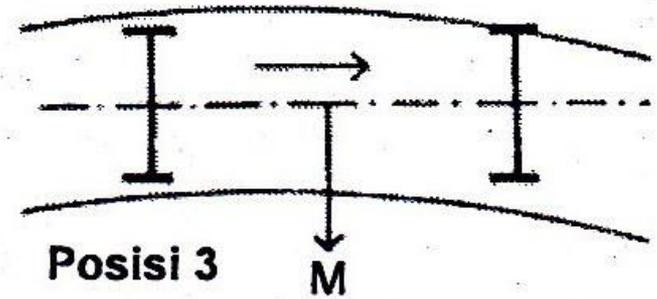
# Pelebaran Sepur

- **Posisi 1** : gandar depan mencapai rel luar, gandar belakang pada posisi bebas di antara rel dalam dan rel luar. Posisi seperti ini disebut sebagai Jalan bebas.
- **Posisi 2** : gandar depan mencapai rel luar, gandar belakang menempel pada rel dalam tetapi tidak menekan, dan gandar belakang posisinya radial terhadap pusat lengkung horizontal.



# Pelebaran Sepur

- **Posisi 3** : gandar depan menempel pada rel luar, gandar belakang menempel dan menekan rel dalam. Baik gandar depan maupun gandar belakang tidak pada posisi radial terhadap pusat lengkung horizontal.
- **Posisi 4** : gandar depan dan gandar belakang menempel pada rel luar. Posisi ini dapat terjadi pada kereta/gerbong dengan kecepatan yang tinggi. Posisi 4 ini disebut Jalan Tali Busur.

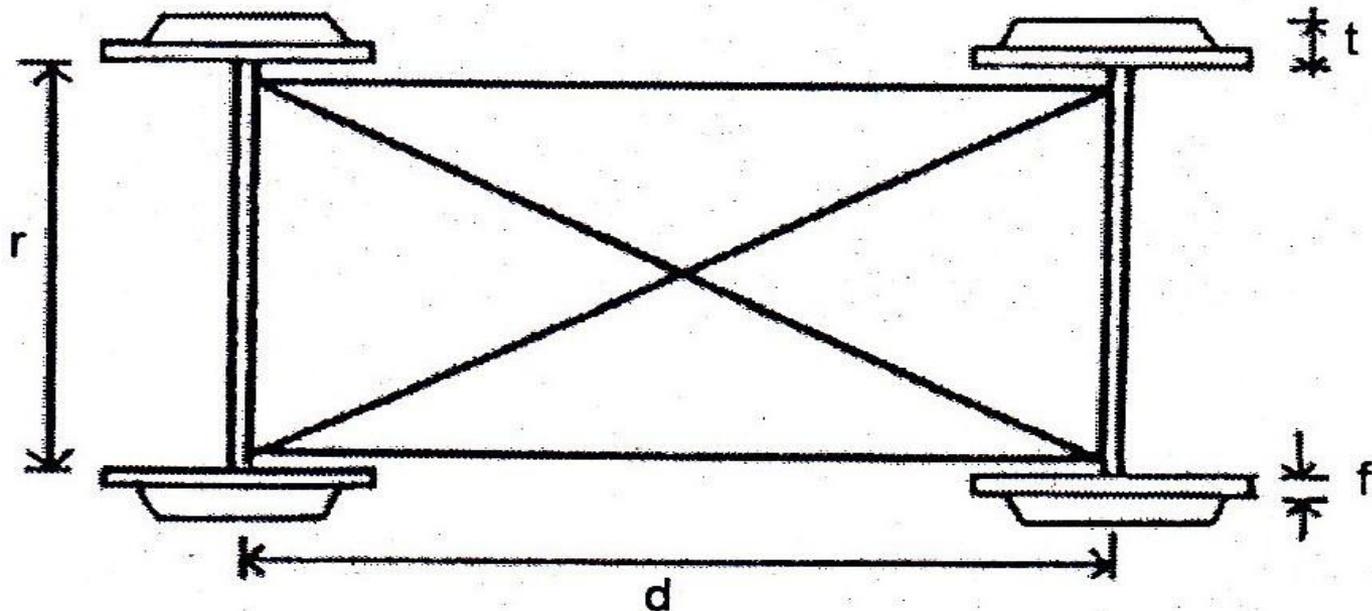


# Pelebaran Sepur

- Gaya tekan yang ditimbulkan akibat terjadi kondisi terjepitnya roda kereta/gerbong akan mengakibatkan **keausan rel** dan **roda** → perlu dilakukan pelebaran padasepur.
- Ukuran pelebaran sepur dipengaruhi oleh beberapa faktor :
  - Jari-jari lengkung horizontal
  - Jarak gandar depan dangandar belakang pada gambar teguh
  - Kondisi keausan roda kereta dan rel

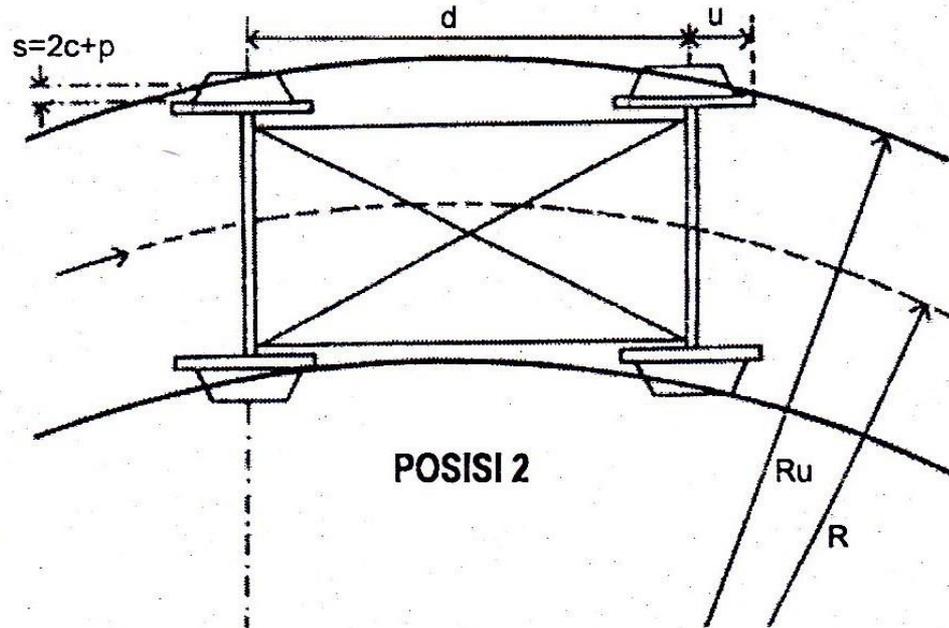
# Ukuran Gandar Teguh yang digunakan di Indonesia

- Penetapan besarnya pelebaran sepur PT Kereta Api (Persero) dalam *Peraturan Dinas nomor 10* menggunakan ukuran-ukuran :



$$\begin{aligned} d &= 3 \text{ m dan } 4 \text{ m,} & f &= 30 \text{ mm,} \\ r &= 1000 \text{ mm,} & t &= 130 \text{ mm,} \end{aligned}$$

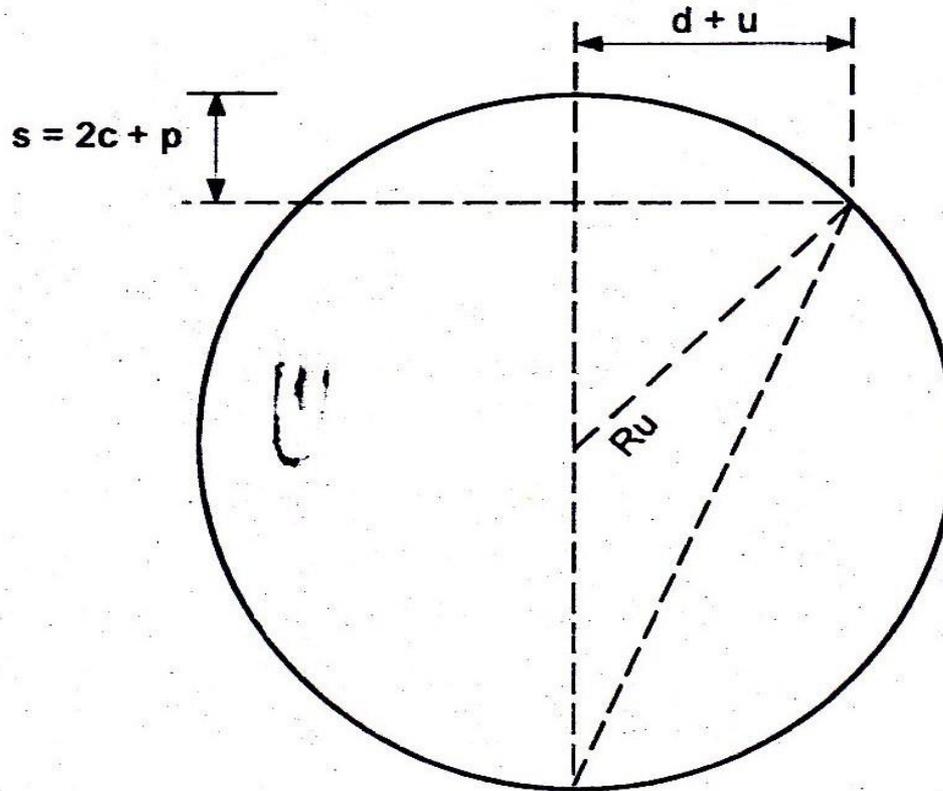
# Gandar teguh dan rel pada posisi 2



dengan :

- $u$  : jarak antara titik sentuh flens roda dengan tengah-tengah gandar (m)
- $d$  : jarak gandar (m)
- $c$  : kelonggaran flensterhadap tepi rel pada sepur lurus (mm)
- $R$  : jari jari lengkung (m)
- $P$  : pelebaran sepur (mm)
- $R_u$  : jari-jari lengkung luar (m)

# Penyederhanaan posisi roda pada waktu melintasi lengkung



$$(d + u)^2 = R_u^2 - (R_u - s)^2$$

$$(d + u) = 2 \cdot R_u \cdot s - s^2$$

# Pelebaran Sepur

Berdasarkan beberapa pertimbangan :

- nilai  $s^2$  sangat kecil dibandingkan dengan nilai  $R_u$
- nilai  $u$  sangat kecil dibandingkan dengan nilai  $d$

maka persamaan  $(d + u) = 2 \cdot R_u \cdot s - s^2$  dapat disederhanakan menjadi:

$$s = \frac{d^2}{2 \cdot R_u}$$

atau :

$$2c + p = \frac{d^2}{2 \cdot R_u}$$

Bila  $R_u = R$ , maka :

$$p = \frac{d^2}{2 \cdot R} - 2 \cdot c$$

# Pelebaran Sepur

- **Besarnya Perlebaran Sepur** ( $p$ ) dipengaruhi oleh :
  - jarak gandar depan dan gandar belakang
  - kelonggaran flens roda kereta terhadap tepi kepala rel pada sepur lurus
  - jari-jari lengkung horizontal
  - Untuk lebar sepur 1067 mm, PT. Kereta Api (persero) menggunakan  $c = 4$  mm. Dengan digunakannya  $R$  dalam satuan m, maka apabila jarak gandar depan terhadap gandar belakang ( $d$ ) = 3 meter (3000mm), diperoleh :

$$p = \frac{4500}{R} - 8$$

dengan :

$p$  : pelebaran sepur (mm)

$R$  : jari-jari lengkung (m)

# Pelebaran Sepur

- untuk jarak gandar depan terhadap gandar belakang ( $d$ ) = 4 meter (4.000 mm), diperoleh :

$$p = \frac{8000}{R} - 8$$

- Agar pada saat roda melewati lengkung horizontal masih memiliki **ruang tapak roda** di atas rel yang cukup lebar, maka PT. KAI (persero) menggunakan batasan pelebaran sepur maksimum ( $p_{maks}$ ) yaitu 20 mm. Beberapa pelebaran sepur yang digunakan PT. KAI (persero) :

Jari-jari lengkung horizontal (R), dalam satuan meter	Perlebaran sepur (mm)	Lebar sepur menjadi (mm)
$R > 850$	0	1067
$550 < R < 850$	5	1072
$400 < R < 550$	10	1077
$350 < R < 400$	15	1082
$100 < R < 350$	20	1087

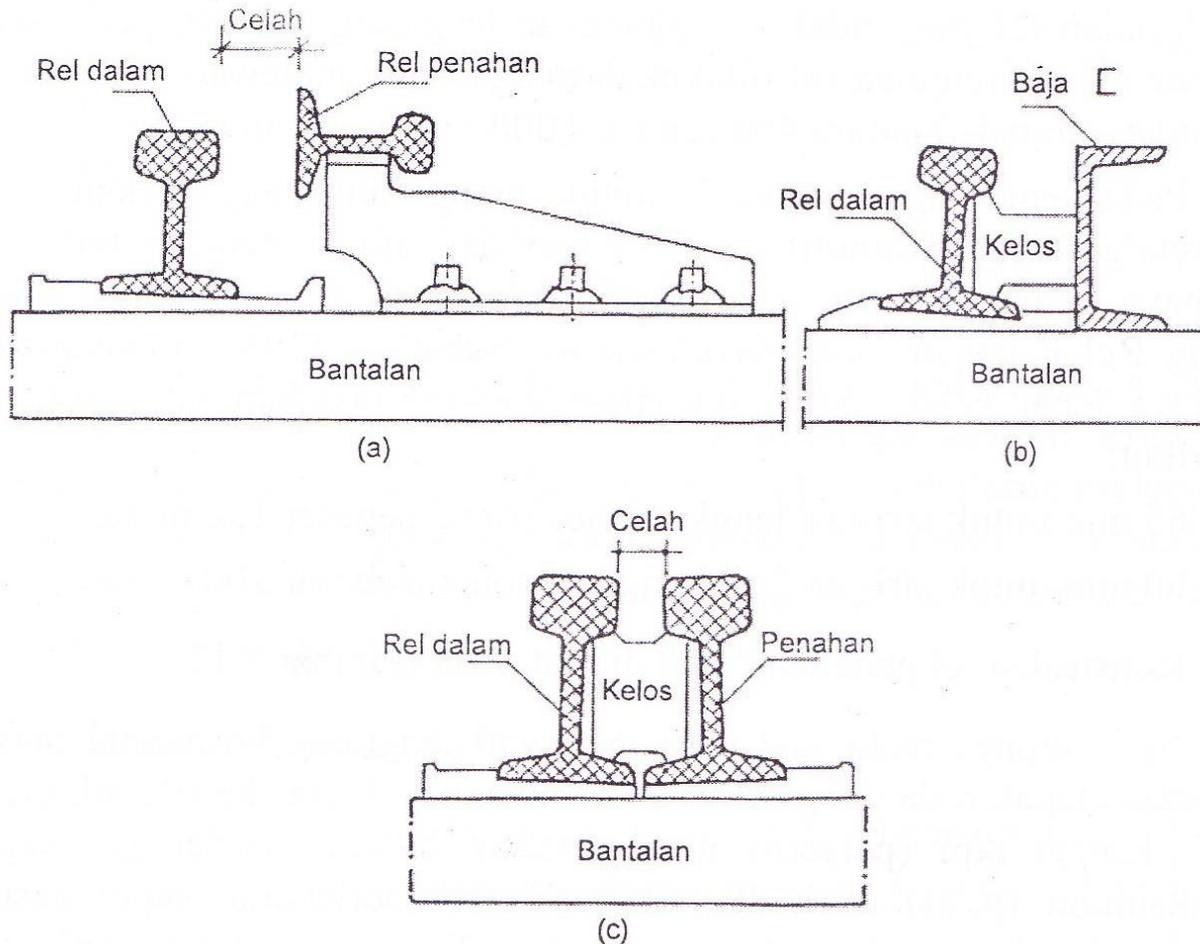
Sumber : Peraturan Dinas Nomor 10, PT. Kereta Api Indonesia (Persero)

# Pelebaran Sepur

- Perlebaran sepur dibuat dengan cara menggeser rel-dalam ke arah dalam (ke arah pusat lengkung). Seperti halnya pada peninggian rel, pelebaran sepur dicapai dan dihilangkan tidak secara mendadak tetapi secara berangsur-angsur sepanjang lengkung transisi atau "panjang transisi".
- Menurut Honing (1975) pada jalan rel yang tidak menggunakan lengkung transisi, pelebaran sepur dan peninggian rel dilakukan dengan rata melewati suatu jarak (panjang transisi) antara 400 sampai 1000 x peninggian rel.
- Pada lengkung horizontal, untuk mengurangi gaya tekan roda kereta/gerbong/lokomotif pada rel luar dan untuk menajaga terhadap bahaya keluranya roda rel (*deraillement*), pada rel dapat dipasang Rel Penahan.
- Penahan (*anti deraillement*) pada rel. Menurut Subarkah (1981) menyatakan bahwa lebar celah antara rel-dalam dan rel penahan ialah sebagai berikut :
  - 65 mm untuk jari-jari lengkung horizontal sebesar 150 meter
  - 60 mm untuk jari-jari lengkung horizontal sebesar 200 meter

# Pelebaran Sepur

## Konstruksi rel penahan



# Pelebaran Sepur

Pelebaran sepur sesuai jari-jari lengkung horizontal :

Jari- jari (m)	Pelebaran sepur menurut perhitungan (mm)	
	Jarak gandar = 4 m	Jarak gandar = 3 m
1000	0	
900	0,89	
800	2,00	
750	2,67	
700	3,43	
650	4,31	
600	5,33	
550	6,54	0,20
500	8,00	1,00
450	9,78	2,00
400	12,00	3,25
350	14,86	4,86
300	18,67	7,00
250	24,00	10,00

Sumber : Peraturan Dinas Nomor 10, PT. Kereta Api Indonesia (Persero)

# Contoh kasus kesalahan perancangan dan kecelakaan pada alinemen horizontal

Pemilihan trase kurang baik



Kecelakaan pada lengkung



Kecelakaan pada peninggianrel





**Terima Kasih**