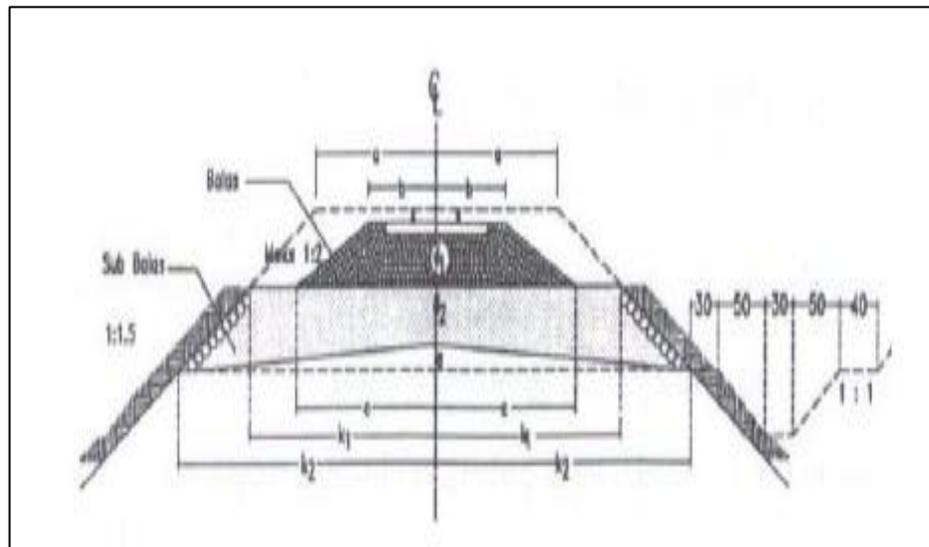


### BAB III

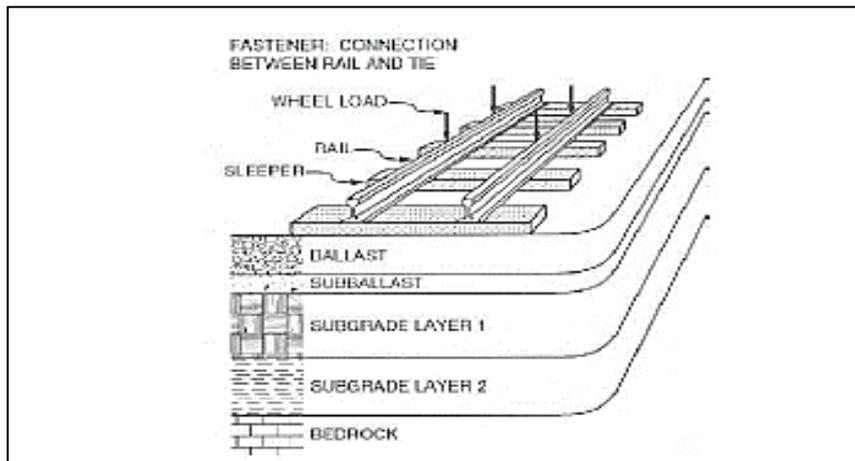
## LANDASAN TEORI

### A. Struktur Jalan Rel

Kereta api dalam menjalankan fungsinya sebagai sarana transportasi bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya berjalan di atas jalan rel. Untuk menjaga supaya rel tetap pada kedudukannya, rel tersebut tetap pada kedudukannya, rel tersebut ditambatkan pada bantalan dengan menggunakan bantalan dengan menggunakan penambat rel. Dengan susunan dan tambatan yang demikian maka susunan dan struktur rel-bantalan-penambat rel menjadi suatu rangka yang kokoh. Rangka yang kokoh tersebut bersambungan secara memanjang membentuk jalur yang disebut dengan sepur (*track*). Sepur diletakkan di atas suatu alas yang disebut balas (*ballast*), kemudian terdapat subbalas yang selanjutnya di bawah subbalas terdapat lapisan tanah dasar (*subgrade*). Gaya vertikal akan diterima oleh kedua rel, diteruskan kepada balas melalui perantara bantalan, oleh balas diteruskan kepada tanah dasar berdasarkan prinsip penyebaran beban (Utomo, 2009).



(a)



(b)

Gambar **Error! No text of specified style in document.** 1 Struktur jalan rel (a) dan sistem komponen penyusunnya (b)

(Sumber : Rosyidi, 2015)

Karena menopang pergerakan kereta api, maka struktur jalan rel merupakan sistem dinamik antar komponen penyusunan yang dapat mendistribusikan beban rangkaian kereta api dan sekaligus menyediakan pergerakan yang stabil dan nyaman. Oleh karena itu Rosyidi (2015) menyebutkan bahwa struktur jalan rel mempunyai kriteria, yaitu :

- 1) Kekakuan (*Stiffness*), berfungsi untuk mempertahankan struktur dari terjadinya deformasi vertikal yang permanen.
- 2) Elastisitas (*Elastic/Resilience*), diperlukan untuk menciptakan kenyamanan dalam perjalanan kereta api, menjaga terjadinya patah atau kerusakan berat pada as roda disebabkan oleh pergerakan beban kereta yang cukup besar di atas struktur jalan rel, meredam adanya kejutan akibat pengereman dan pengurangan kecepatan, benturan atau *impact* yang terjadi antara roda dan rel serta getaran vertikal yang bersifat menerus.
- 3) Ketahanan terhadap deformasi tetap. Deformasi vertikal yang berlebihan akan cenderung menjadi deformasi tetap sehingga geometrik jalan rel (ketidakrataaan vertikal, horisontal, dan puntir) menjadi tidak baik, yang pada akhirnya kenyamanan dan keamanan terganggu. Perubahan geometrik akibat deformasi

juga dapat menyebabkan anjlognya kereta api dan meningkatkan resiko terjadinya kecelakaan.

- 4) Stabilitas, hal ini bertujuan untuk mempertahankan struktur jalan rel pada posisi yang tetap (vertikal/horisontal) setelah pembebanan terjadi.
- 5) Kemudahan untuk pengaturan dan pemeliharaan (*Adjustability*), hal ini bertujuan agar jika terjadi perubahan geometri akibat beban yang berjalan, maka dapat dikembalikan ke posisi geometrik dan struktur jalan rel yang benar.

Sesuai dengan tipe konstruksinya, struktur jalan rel dapat dibagi dalam dua bentuk konstruksi, yaitu :

- 1) Jalan rel dalam konstruksi timbunan, biasanya terdapat pada daerah cenderung datar seperti pada daerah persawahan atau daerah rawa.
- 2) Jalan rel dalam konstruksi galian, biasanya terdapat pada daerah dengan medan pegunungan.

Jalan rel dapat dikelompokkan menurut beberapa cara sesuai dengan kebutuhan dan sudut pandangnya, diantaranya ialah pengelompokkan sebagai berikut :

- 1) Menurut Lebar Sepur

Lebar sepur (*rail gauge*) ialah jarak terpendek antara kedua kepala rel, diukur dari sisi dalam kepala rel lainnya. Terdapat beberapa kelompok lebar sepur, yaitu :

Tabel **Error! No text of specified style in document.**1 Pengelompokkan jalan rel berdasarkan lebar sepur

Jenis	Lebar Rel
Sepur Sempit	< 1000 mm
Sepur Sedang	1000 mm atau 1067 mm
Sepur Standar	1435 mm
Sepur Lebar	>1435 mm

(Sumber : Utomo, 2009)

## 2) Menurut Kecepatan Maksimum

Kecepatan maksimum kereta api yang diijinkan berkaitan dengan kelas jalan rel dijelaskan pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel **Error! No text of specified style in document..2** Hubungan kecepatan maksimum dengan kelas jalan rel

Kelas Jalan Rel	Kecepatan Maksimum (km/jam)
I	120
II	110
III	100
IV	90
V	80

(Sumber : Utomo, 2009)

Penentuan besarnya kecepatan perancangan (*design speed*) yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a) Untuk perancangan struktur jalan rel

$$V \text{ perancangan} = 1,25 \times V \text{ maksimum} \quad \dots\dots (3.1)$$

- b) Untuk perencanaan jari-jari tikungan / lengkung, dan lengkung peralihan

$$V \text{ perancangan} = V \text{ maksimum} \quad \dots\dots (3.2)$$

## 3) Menurut Kelandaian

Pengelompokkan lintas jalan rel menurut kelandaian yang digunakan di Indonesia adalah seperti yang dijelaskan pada Tabel 3.3.

Tabel **Error! No text of specified style in document..3** Lintas jalan rel menurut kelandaian

Kelompok Lintas Jalan Rel	Kelandaian (‰)
Lintas datar	0-10

Lintas pegunungan	10-40
Lintas dengan rel gigi	40-80

(Sumber : Utomo, 2009)

#### 4) Menurut Jumlah Jalur

Jumlah jalur yang dimaksud di dalam pengelompokan ini adalah jumlah jalur pada lintas bebas, pengelompokannya adalah sebagai berikut :

- a) Jalur tunggal (*single track*), jumlah jalur pada lintas bebas hanya satu dan digunakan untuk melayani arus kereta api dari dua arah.
- b) Jalur tunggal (*double track*), jumlah jalur pada lintas bebas dua jalur dengan masing-masing jalur hanya digunakan untuk melayani arus kereta api dari satu arah saja.

Adapun untuk komponen-komponen penyusun jalan rel dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### 1. Rel

Rel pada jalan rel adalah sebagai tempat pijakan menggelindingnya roda kereta api yang ditumpu oleh bantalan-bantalan, sehingga rel merupakan batang yang ditumpu oleh penumpu-penumpu. Prinsip dasar dalam desain rel adalah menentukan dimensi rel yang sesuai yang mempunyai berat yang optimum

Rel dalam aplikasinya di lapangan memiliki fungsi utama sebagai berikut :

- 1) Penuntun/mengarahkan pergerakan roda kereta api.
- 2) Untuk menerima secara langsung dan menyalurkan beban kereta api kepada bantalan tanpa menimbulkan defleksi.
- 3) Struktur pengikat dalam pembentukan struktur jalan *relying* kokoh.

#### a. Persyaratan Umum Rel

- 1) Berat optimum, rel dirancang dengan berat tertentu yang terdiri dari bagian-bagian rel yang terintegrasi dan dibentuk dari distribusi bahan metarologi yang efektif. Masing-masing bagian rel didesain untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik dan optimal.
- 2) Kekakuan, dapat diukur melalui momen inersia desai rel yang ekonomis dan efektif mensyaratkan nilai momen inersia maksimum per berat unit rel yang

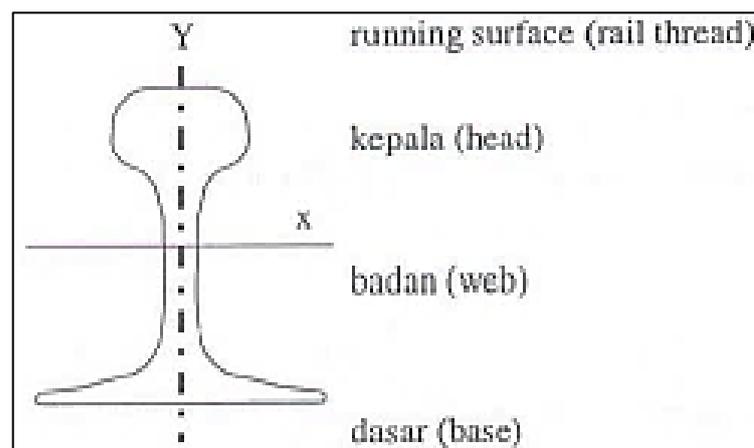
konsisten dengan kekakuan rel dalam berbagai arah sehingga mampu menahan pergeseran lateral akibat pergerakan kereta api dan secara vertikal mampu untuk menerima beban dan menyalurkannya ke bantalan.

- 3) Kekuatan rel dapat ditentukan dari modulus potongan rel. *Modulus section* pada rel maupun lempeng baja (*fishplate*) ditentukan sedemikian sehingga mampu menahan tegangan yang terjadi akibat beban kendaraan kereta api.
- 4) Durabilitas, adalah faktor yang dapat mempengaruhi umur manfaat rel terhadap keausan, kerusakan ujung rel, dan kerusakan *hogged-rail*.

#### b. Bagian-Bagian Rel

Suatu komponen rel terdiri atas bagian-bagian utama, yaitu :

- 1) Permukaan rel (*running surface*), yaitu bagian dari rel yang berfungsi sebagai tempat untuk pergerakan kereta api.
- 2) Kepala rel (*head*), harus direncanakan sedemikian sehingga memiliki daya tahan terhadap keausan selama waktu pelayanan yang direncanakan.
- 3) Badan rel (*web*), ditentukan dengan tebal yang memadai untuk dapat menahan beban dan momen akibat pergerakan kereta api dan mempunyai daya tahan terhadap korosi.
- 4) Kaki rel (*foot*), harus dirancang selebar mungkin sehingga kedudukan rel menjadi stabil terhadap dorongan maupun puntiran akibat pergerakan kereta api, dan mampu mendistribusikan beban yang diterima kepada bantalan dengan baik.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**2 Bagian-bagian rel

(Sumber : Rosyidi, 2015)

### c. Jenis-Jenis Rel

#### 1) Berdasarkan Bentuknya

Menurut bentuknya saat ini digunakan tiga jenis macam profil rel, diantaranya :

##### a) Rel Berkepala Dua

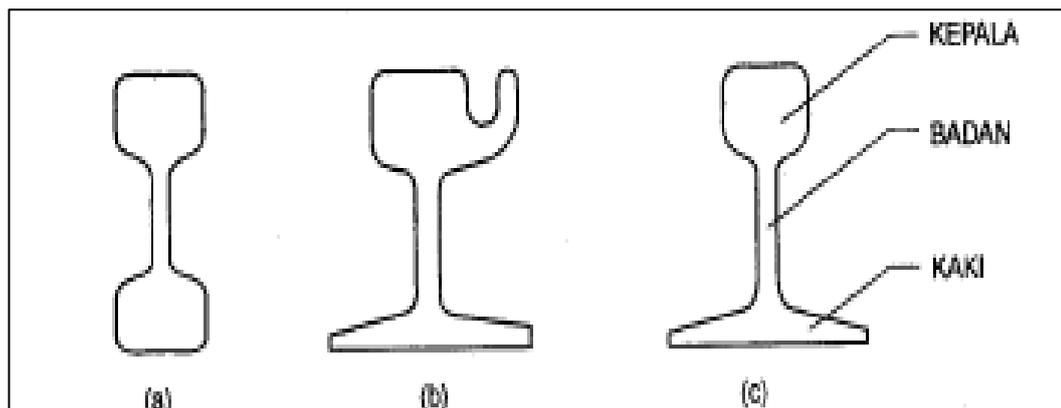
Tipe ini dirancang karena memiliki keunggulan, yaitu apabila kepala rel mengalami keausan maka bisa dibalik dengan sisi lain yang ada di bawahnya. Namun pada kenyataannya, bagian bawah rel juga mengalami keausan baik akibat beban maupun lingkungan, dengan demikian bagian bawah rel ternyata tidak dapat memberikan permukaan yang baik untuk media pergerakan roda kereta api.

##### b) Rel Alur

Ciri utama rel alur yaitu mempunyai kaki yang sangat lebar. Hal ini untuk memperkecil aus di lengkungan, maka alur harus diperlebar dan pinggir alur dibuat lebih tebal.

##### c) Rel Vignola

Merupakan bentuk rel yang umum digunakan pada jalan rel, termasuk di Indonesia. Rel ini mempunyai keunggulan, yaitu : momen perlawanan cukup besar, rel mudah ditambatkan pada bantalan, dan kepala rel sesuai dengan bentuk kasut roda.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**3 Bentuk Rel (a) Rel berkepala dua (b) rel alur (c) rel vignola

(Sumber : Utomo, 2009)

#### 2) Berdasarkan Beratnya

Menurut beratnya, secara umum rel dapat dibagi menjadi :

- a) R-42, adalah rel dengan berat sekitar 42 kg/meter.
- b) R-50, adalah rel dengan berat sekitar 50 kg/meter.
- c) R-54, adalah rel dengan berat sekitar 54 kg/meter.
- d) R-60, adalah rel dengan berat sekitar 60 kg/meter.

### 3) Berdasarkan Panjang Rel

Berdasarkan PD No. 10 tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel dijelaskan bahwa menurut panjangnya rel dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu :

- a) Rel standar adalah rel yang panjangnya 25 meter.
- b) Rel pendek adalah rel yang panjangnya maksimal 100 meter.
- c) Rel panjang adalah rel yang panjangnya tercantum panjang minimumnya pada tabel 3.4.

Tabel **Error! No text of specified style in document.** 4 Panjang minimum rel panjang

Jenis Bantalan	Tipe Rel			
	R-42	R-50	R-54	R-60
Bantalan kayu	325 m	375 m	400 m	450 m
Bantalan beton	200 m	225 m	250 m	275 m

(Sumber : PM No 60 Tahun 2012)

#### d. Hubungan Tipe Rel dengan Kelas Jalan

Tipe rel untuk masing-masing kelas jalan tercantum pada tabel 3.5

Tabel **Error! No text of specified style in document.**5 Kelas jalan dan tipenya

Kelas Jalan	Tipe Rel
I	R 60/ R 54
II	R 54/ R 50
III	R 54/ R 50/ R 42
IV	R 54/ R 50/ R 42
V	R 42

(Sumber : PM No. 60 tahun 2012)

## 2. Penambat (*Fastening*)

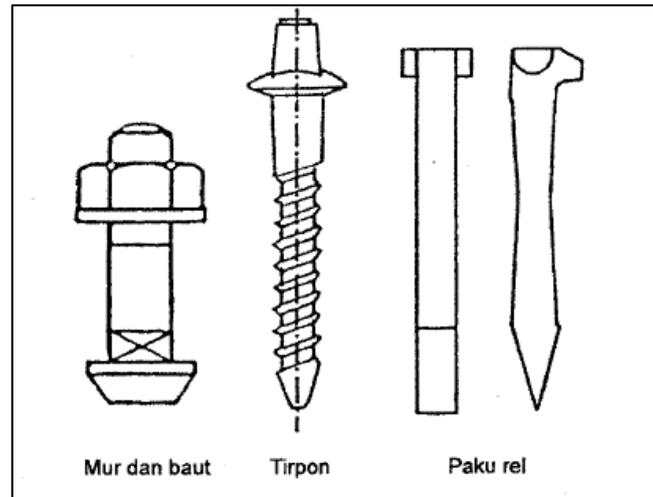
Penambat rel adalah suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan sedemikian rupa sehingga kedudukan rel adalah tetap, kukuh dan tidak bergeser terhadap bantalannya. Dengan penambat rel ini jarak antara kedua rel, yaitu lebar jalan rel akan tetap. Semakin berat beban dan semakin tinggi kecepatan kereta api maka diperlukan penambat yang lebih kuat agar tetap mampu menahan rel dari terjadinya geseran (Dwiatmoko,2009).

### a. Jenis Penambat Rel

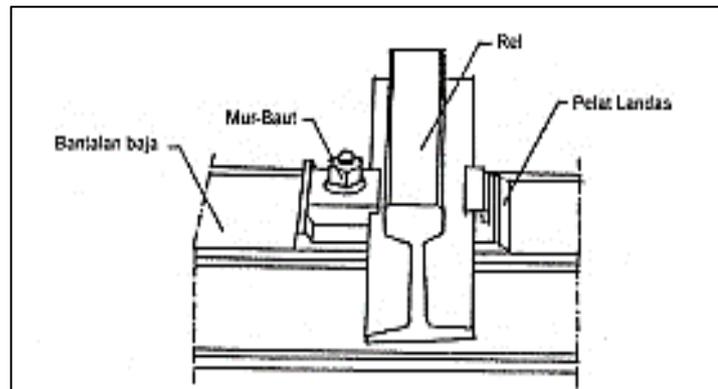
Sesuai dengan kemampuan elastisitas yang dapat diberikan oleh penambat rel, terdapat dua jenis penambat rel, yaitu :

#### 1) Penambat Kaku

Penambat kaku terdiri atas paku rel, tirpon (*tirefond*) atau mur dan baut, dengan atau tanpa pelat landas.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**4 Mur, baut, tirpon dan paku rel  
(Sumber : Utomo, 2009)



Gambar **Error! No text of specified style in document.**5 Penambat kaku pada bantalan baja menggunakan pelat landas dan mur baut.

(Sumber : Utomo, 2009)

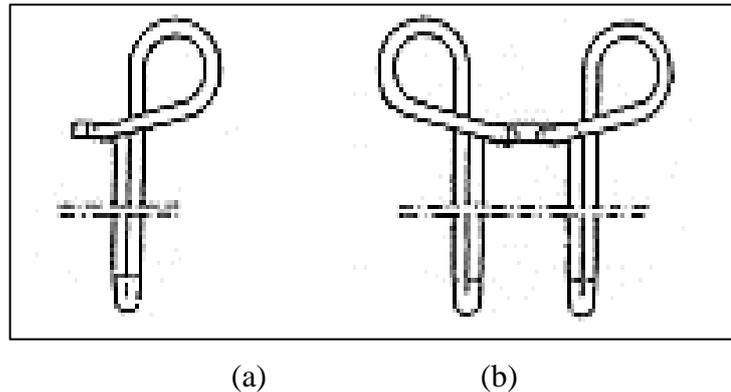
## 2) Penambat Elastis

Penambat elastis digunakan karena mempunyai kemampuan mengurangi pengaruh getaran pada rel terhadap bantalan, memberikan kuat jepit (*clamping force*) yang tinggi dan mampu memberikan perlawanan terhadap rangkakan (*creep resistance*).

Terdapat dua macam penambat elastis yaitu :

- a) Penambat elastis tunggal terdiri atas pelat landas, pelat atau batang jepit elastis, tirpon, mur, dan baut, dimana kekuatan jepitnya terletak pada batang jepit elastis. Penambat elastis tunggal ini biasanya digunakan pada bantalan besi atau kayu.

- b) Penambat elastis ganda terdiri atas pelat landas, pelat atau batang jepit, alas rel, tirpon, mur, dan baut. Kekuatan jepit penambat elastis terletak pada batang elastis dan biasanya digunakan pada bantalan beton, tidak menggunakan pelat landas melainkan alas karet (*rubber pad*) yang akan memberikan elastis tambahan sehingga mampu mencegah merangkaknya sel, dan melindungi permukaan beton.



Gambar **Error! No text of specified style in document..6** Penambat rel elastis jenis tunggal (a) jenis ganda (b)

(Sumber : Utomo, 2009)

Dalam Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986, penggunaan penambat elastis dibagi menurut kelas jalan (kecepatan maksimum), yaitu :

Tabel **Error! No text of specified style in document..6** Penggunaan alat penambat elastik sesuai kelas jalan

Kelas Jalan	Jenis Alat Penambat
I	Elastik Ganda
II	Elastik Ganda
III	Elastik Ganda
IV	Elastik Tunggal
V	Elastik Tunggal

(Sumber : PD No. 10 Tahun 1986)

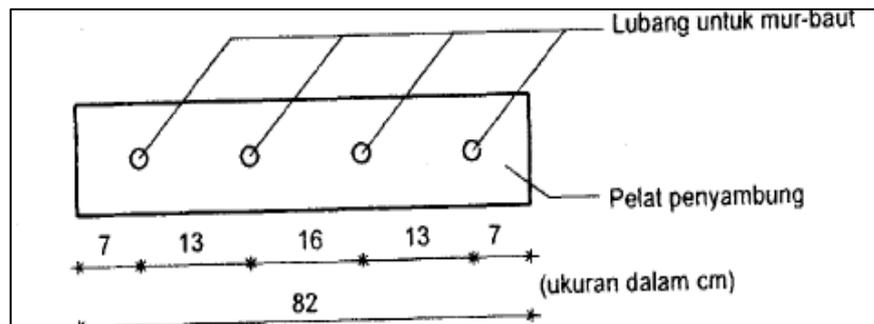
### 3. Pelat Sambung, Mur, dan Baut

Menurut Peraturan Menteri No. 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api disebutkan bahwa penyambungan rel dengan pelat sambung harus digunakan apabila tidak diperkenankan melakukan pengelasan terhadap sambungan rel terdiri dari :

- a. Dua pelat sambung kiri dan kanan.
- b. Enam baut dengan mur, ring pegas atau cincin pegas dari baja, dipasang hanya empat baut untuk menjaga pemanasan rel akibat cuaca.

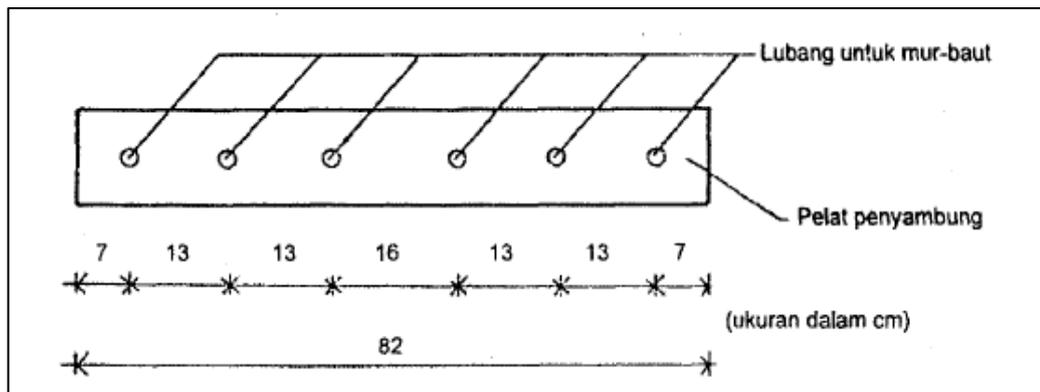
Di Indonesia digunakan dua ukuran standar pelat penyambung, yaitu :

- a. Ukuran standar pelat penyambung untuk tipe-tipe rel R-42, R-50, dan R-54.
- b. Ukuran standar pelat penyambung untuk tipe rel R-60.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**7 Pelat penyambung untuk R-42, R-50, dan R-54

(Sumber : Utomo, 2009)



Gambar **Error! No text of specified style in document.**8 Pelat penyambung untuk R-60

(Sumber : Utomo, 2009)

#### 4. Bantalan (*Sleeper*)

Bantalan merupakan salah satu komponen dari sistem struktur jalan yang mempunyai fungsi sebagai berikut :

- 1) Mengikat rel dengan alat penambat, pelat andas dan *bout*, sehingga kedudukan rel yang terkait dengan lebar sepur tetap dapat terjaga.
- 2) Menerima beban vertikal dan lateral yang disebabkan oleh beban statis rel dan beban dinamis akibat pergerakan kereta.
- 3) Mendistribusikan beban yang diterima bantalan kepada struktur fondasi yang ada di bawahnya dengan tekanan arah vertikal yang lebih kecil dan merata.
- 4) Menstabilisasikan struktur jalan rel terhadap gaya lateral yang memaksa rel untuk bergeser ke arah luar (penyimpangan arah lateral).
- 5) Menghindari kontak langsung antara rel dengan air tanah.

Adapun jenis struktur bantalan dapat dibagi sesuai dengan bahan dan karakteristik penyusunnya, yaitu :

##### a. Bantalan Kayu

Bantalan kayu dipilih sebagai struktur bantalan pada jalan rel dengan pertimbangan bahannya yang mudah diperoleh dan mudah dalam pembuatan bantalan karena tidak melibatkan peralatan yang berat dan rumit serta hanya melibatkan proses yang sederhana.

##### b. Bantalan Baja

Penggunaan bantalan baja dalam jalan kereta api mempertimbangkan beberapa keunggulan, yaitu :

- 1) Ringan dan mudah diangkut
- 2) Elastisitas yang lebih besar sehingga retak-retak seperti yang terjadi pada bantalan kayu dan bantalan beton dapat dihindari
- 3) Umur bantalan baja lebih tahan lama dibandingkan dengan bantalan kayu
- 4) Kemudahan dalam pemasangan.

Sedangkan untuk kelemahan dari pemakaian bantalan besi yaitu :

- 1) Dapat terkorosi dan berkarat, sehingga apabila hal ini terjadi bantalan dapat lebih mudah retak
- 2) Kelemahan dalam stabilitas lateral dan axialnya yang kurang baik dibandingkan bantalan kayu dan beton
- 3) Konduktor listrik sehingga tidak cocok untuk kereta listrik yang aliran listriknya berada di bawah.

### **c. Bantalan Beton**

Beberapa pertimbangan untuk menggunakan bantalan beton dibandingkan bantalan jenis lainnya adalah faktor ketahanan , kemudahan dalam pekerjaan dan faktor keekonomian terkait dengan biaya pemeliharaan. Penggunaan bantalan beton lebih diutamakan juga karena semakin sulitnya mendapatkan kayu yang memenuhi standar untuk bantalan dan berbagai kelemahan penggunaan bantalan besi.

Adapun keunggulan penggunaan bantalan besi adalah sebagai berikut :

- 1) Stabilitas baik.
- 2) Kereta api dengan tonase berat dan kecepatan tinggi lebih sesuai menggunakan bantalan beton.
- 3) Umur konstruksi lebih panjang.
- 4) Pengendalian mutu bahan lebih mudah.
- 5) Komponen-komponennya lebih sedikit dibandingkan dengan jenis lainnya.

Meskipun demikian, terdapat beberapa kelemahan yang harus diperhatikan, yaitu :

- 1) Kurang memiliki sifat elastik dibandingkan bantalan kayu dan baja.
- 2) Pemasangan secara manual sukar dilakukan karena beratnya bantalan.
- 3) Kemungkinan terjadinya kerusakan pada saat mobilisasi ke lokasi dari pabrik.
- 4) Memiliki masalah kebisingan dan getaran karean sifatnya yang kurang mampu menahan getaran.
- 5) Nilai sisa konstruksi kemungkinan negatif.

## 5. Wesel

Pada konstruksi jalan rel, pertemuan antara beberapa jalur dapat berupa jalan rel yang bercabang atau persilangan antara dua jalan rel harus dilaksanakan dengan konstruksi khusus. Konstruksi khusus yang diperlukan adalah wesel yang berfungsi untuk mengalihkan kereta api dari satu jalan rel ke jalan rel yang lainnya. Dalam desain pemakaian wesel pada satu emplasemen sangat bergantung kepada kecepatan, layout, dll.

### a. Jenis Wesel

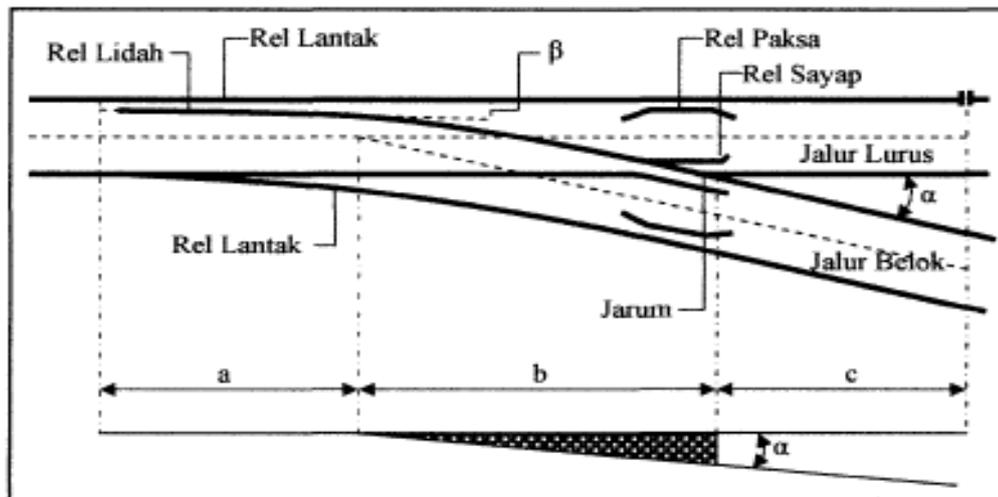
Jenis-jenis wesel adalah sebagai berikut :

- 1) Wesel biasa, terdiri atas wesel biasa kiri dan wesel biasa kanan.
- 2) Wesel dalam lengkung, terdiri atas wesel searah lengkung, wesel berlawanan arah lengkung, dan wesel simetri.
- 3) Wesel tiga jalan, terdiri atas wesel biasa dan wesel tergeser.
- 4) Wesel Inggris, terdiri atas wesel Inggris lengkap dan wesel Inggris tidak lengkap.

### b. Komponen Wesel

Wesel terdiri dari komponen-komponen, sebagai berikut :

- 1) Lidah, adalah bagian-bagian dari wesel yang dapat bergerak.
- 2) Sudut tumpu, adalah sudut antara lidah dan rel lantak.
- 3) Jarum dan sayap-sayapnya, adalah bagian wesel yang memberi kemungkinan kepada flens roda melalui bidang-bidang jalan yang terputus antara dua rel.
- 4) Rel lantak, adalah suatu rel yang diperkuat badannya yang berguna untuk bersandarnya lidah-lidah wesel.
- 5) Rel paksa, adalah terbuat dari rel biasa yang kedua ujungnya dibengkokkan ke dalam.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**9 Komponen penyusun weasel

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)

## 6. Lapisan Pondasi Atas (*Ballast*)

Lapisan balas merupakan lapisan di atas tanah dasar yang mengalami tegangan yang besar akibat beban lalu lintas kereta api, sehingga bahan pembentuknya harus baik dan pilihan.

Lapisan pondasi atas terdiri dari batu pecah yang keras dan bersudut tajam (angular) yang memenuhi syarat-syarat lain yang tercantum dalam Peraturan Bahan Jalan Rel Indonesia. Lapisan ini harus dapat meneruskan air dengan baik.

Beberapa fungsi lapisan balas adalah sebagai berikut :

- 1) Menyediakan suatu landasan bagi perletakan bantalan dengan permukaan yang mempunyai daya dukung seragam.
- 2) Mendukung konstruksi bantalan dan rel yang bersifat kenyal, sehingga memberikan kenyamanan ketika kereta api melintas.
- 3) Mempertahankan konstruksi rel secara kokoh dan menjaga stabilitas kedudukan bantalan rel dengan menahan bergesernya bantalan baik arah longitudinal maupun membujur.
- 4) Menyebarkan beban yang diterima dari bantalan dengan memperkecil tekanan vertikal hingga tingkat tertentu yang mampu diterima oleh tanah

dasar, sedemikian sehingga tidak terjadi deformasi permanen pada lapisan tanah dasar.

- 5) Material balas disusun sebagai bahan porous yang memungkinkan untuk meloloskan air (fungsi drainase) dan mengalirkan air dari zona pembebanan tanah.

Menurut Peraturan Menteri No. 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, material pembentuk balas harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 1) Balas harus terdiri dari batu pecah (25-60) mm dan memiliki kapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek yang tinggi, dan mudah dipadatkan.
- 2) Material balas harus bersudut banyak dan tajam, dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa material balas merupakan batuan pecah (*crushed stone*) yang berasal dari pengolahan pemecah batu.
- 3) Porositas maksimum sebesar 3 %.
- 4) Kuat tekan rata-rata maksimum 1000 kg/cm<sup>2</sup>.
- 5) Berat jenis (specific gravity) minimum 2,6.
- 6) Kandungan tanah, lumpur dan organik maksimum 0,5 %.
- 7) Kandungan minyak maksimum 0,2 %.
- 8) Keausan balas sesuai dengan hasil pengujian Los Angeles tidak boleh lebih dari 25%.
- 9) Kemiringan lereng lapisan balas atas tidak boleh lebih curam dari 1:2.
- 10) Bahan balas atas dihampar hingga mencapai sama dengan elevasi bantalan.

Adapun bentuk dan tebal lapisan balas yang digunakan di Indonesia, mengacu pada persyaratan yang telah ditetapkan oleh Peraturan Daerah No. 10 tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel dan Peraturan Menteri No. 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, seperti yang dijelaskan pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8.

**Tabel Error! No text of specified style in document..7** Spesifikasi tebal balas untuk sepur sempit

Kelas Jalan	$V_{maks}$ (km/jam)	Tebal Balas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
I	120	30	50
II	110	30	50
III	100	30	40
IV	90	25	40
V	80	25	35

(Sumber : PD No 10 Tahun 1986)

**Tabel Error! No text of specified style in document..8** Spesifikasi tebal balas untuk sepur sempit (1067 mm)

Kelas Jalan	$V_{maks}$ (km/jam)	Tebal Balas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
I	120	30	50
II	110	30	50
III	100	30	40
IV	90	25	40

(Sumber : PM No 60 Tahun 2012)

### **7. Lapisan Pondasi Bawah (*Subballast*)**

Lapisan balas bawah atau lapisan subbalas (*subballast*), dengan material yang terdiri dari kerikil halus, kerikil sedang atau pasir kasar yang memenuhi syarat-syarat dalam Peraturan Bahan Jalan Rel Indonesia. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan penyaring (*filler*) di antara tanah dasar dan lapisan balas atas, dan harus dapat mengalirkan air dengan baik.

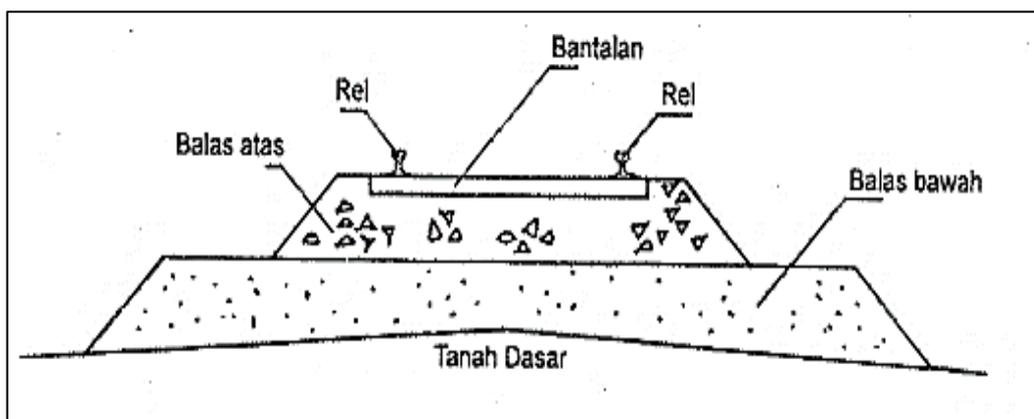
Sedangkan material pembentuk subbalas harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 1) Material subbalas dapat berupa campuran kerikil (*gravel*) atau kumpulan agregat pecah dan pasir.
- 2) Material subbalas tidak boleh memiliki kandungan material organik lebih dari 5%.
- 3) Untuk material subbalas yang merupakan kumpulan agregat pecah dan pasir, maka harus mengandung sekurang-kurangnya 30% agregat pecah menurut percobaan ASTM 698.
- 4) Persyaratan gradasi subbalas mengikuti Tabel 3.9.

Tabel **Error! No text of specified style in document..9** Persyaratan gradasi untuk material subbalas

Standar Saringan ASTM	Persentase Saringan (%)
2 ½ “	100
¾”	55-100
No. 4	25-95
No. 40	5-35
No. 200	0-10

(Sumber : PM No. 60 Tahun 2012)



Gambar **Error! No text of specified style in document..10** Konstruksi balas atas dan balas bawah

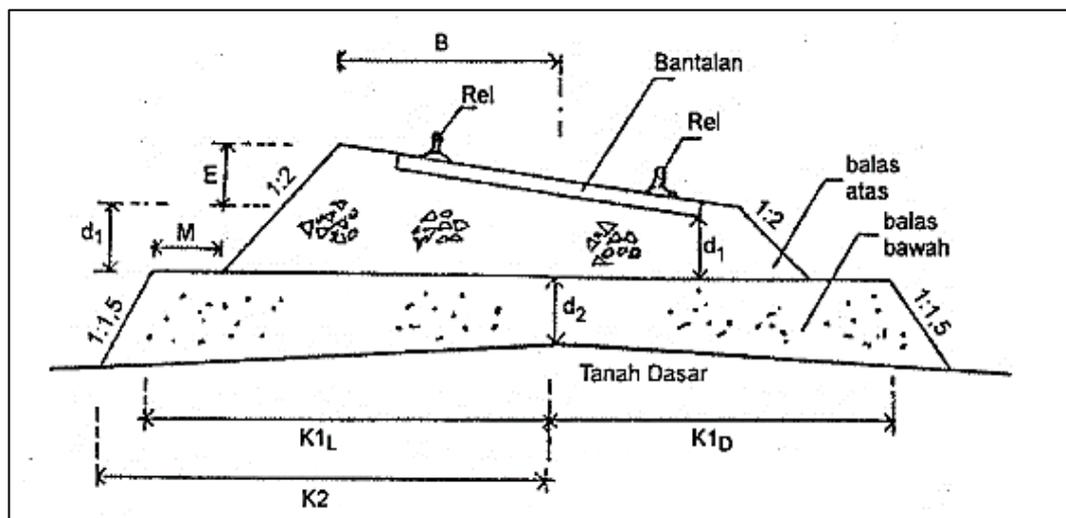
(Sumber : Utomo, 2009)

Adapun untuk bentuk dan ukuran subbalas di Indonesia berdasarkan kelas jalannya merujuk pada Peraturan Daerah No. 10 tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel, seperti yang dijelaskan pada Tabel 3.10 dibawah ini.

Tabel **Error! No text of specified style in document..10** Ukuran untuk konstruksi balas dan subbalas sesuai dengan kelas jalan

Kelas Jalan	Vmaks (km/jam)	d <sub>1</sub> (cm)	b (cm)	c (cm)	k <sub>1</sub> (cm)	d <sub>2</sub> (cm)	c (cm)	k <sub>2</sub> (cm)	a (cm)
I	120	30	150	235	265-315	15-50	25	375	185-237
II	110	30	150	235	265-315	15-50	25	375	185-237
III	100	30	150	225	240-270	15-50	22	325	170-200
IV	90	25	140	215	240-250	15-35	20	300	170-190
V	80	25	135	210	240-250	15-35	20	300	170-190

(Sumber : PM No. 60 Tahun 2012)



Gambar **Error! No text of specified style in document..11** Bentuk dan ukuran balas dan subbalas pada jalur lurus

(Sumber : Rosyidi, 2015)

## 8. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan *subgrade* merupakan lapisan yang memiliki fungsi sebagai penerima beban akhir dari kendaraan kereta api, sehingga lapisan ini perlu dirancang dan dipersiapkan untuk mampu menerima beban secara optimum tanpa terjadi adanya deformasi tetap. Adapun fungsi dari tanah dasar (*subgrade*) jalan rel adalah sebagai berikut :

- 1) Mendukung beban yang diteruskan oleh balas kepada tanah dasar.
- 2) Meneruskan beban ke lapisan bawahnya, yaitu badan jalan rel.
- 3) Memberikan landasan yang rata pada kedudukan/ketinggian/elevasi di tempat balas akan diletakkan.

Sesuai dengan fungsi tanah dasar serta melihat letak/kedudukan dan distribusi beban oleh lapisan di atasnya (balas), maka tanah dasar harus mempunyai kuat dukung yang cukup. Menurut ketentuan yang digunakan oleh PT. Kereta Api (persero), kuat dukung tanah dasar (*CBR*) minimum ialah sebesar 8%. Tanah dasar yang harus memenuhi syarat minimum *CBR* 8% tersebut adalah tanah dasar setebal minimum 30 cm.

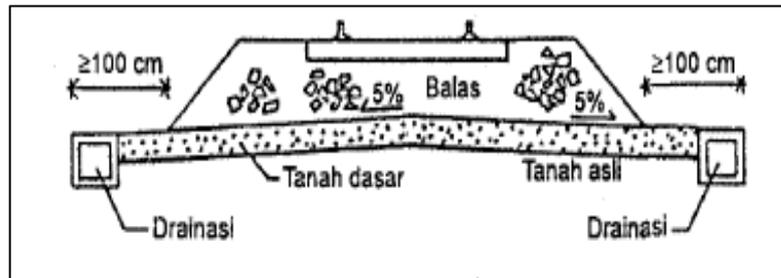
Beberapa persyaratan teknis perlu dilakukan dalam pembangunan lapisan *subgrade* supaya rel memiliki usia konstruksi yang panjang. Beberapa persyaratan teknis dan desain perlu dipertimbangkan secara lebih ketat karena pada konstruksi ini rentan terhadap kegagalan apabila dalam perencanaannya tidak baik. Peraturan daerah No 10 tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel memberikan persyaratan tubuh jalan rel pada konstruksi timbunan sebagaimana dijelaskan berikut ini :

- 1) Jenis tanah timbunan tidak boleh termasuk dalam klasifikasi tanah yang tidak stabil sebagaimana disebutkan dalam Peraturan Bahan Jalan Rel Indonesia. Klasifikasi tanah yang biasa digunakan adalah sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) dan ASTM 2487-66T).
- 2) *Subgrade* diharuskan memiliki kemiringan ke arah luar sebesar 5%.
- 3) Faktor keamanan lereng dari bahaya kelongsoran minimal 1,5.
- 4) Pemadatan dilakukan pada konstruksi timbunan secara ketat dengan tujuan meningkatkan kekuatan tanah, memperkecil kompresibilitas dan daya resap

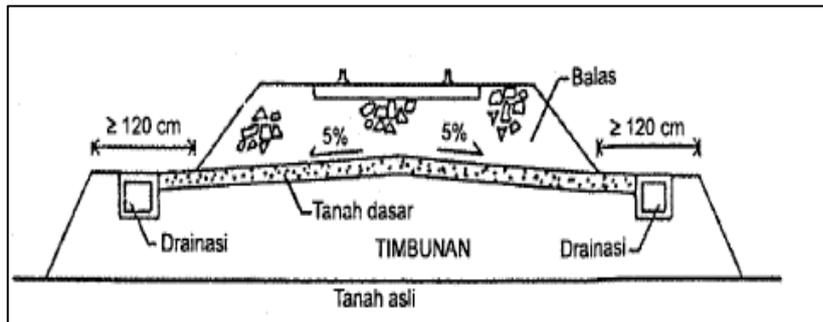
air, serta memperkecil pengaruh air terhadap tanah. Pelaksanaan pemadatan timbunan harus dilakukan lapis demi lapis dengan syarat :

- a) Lapisan teratas setebal 30 cm harus mencapai  $100\% \gamma_{d_{maks}}$ .
  - b) Lapisan lainnya harus mempunyai minimum  $95\% \gamma_{d_{maks}}$ .
- 5) Permukaan atas timbunan harus terletak minimum 0,75 m di atas elevasi muka air tanah tertinggi.
  - 6) Bila tinggi timbunan lebih besar dari 6,00 m, maka untuk setiap ketinggian 6,00 m harus dibuat “berm” selebar 1,50 m.

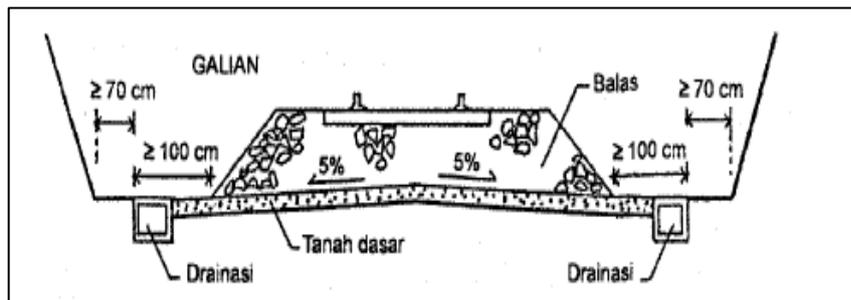
Letak tanah dasar dapat dilihat pada gambar yang menjelaskan pula tentang badan jalan, yaitu Gambar 3.16 (a), (b), (c) tanah dasar harus mempunyai kemiringan ke arah luar sebesar 5%, dan harus mencapai kepadatan 100% kepadatan kering maksimum.



(a)



(b)



(c)

Gambar **Error! No text of specified style in document.**12 Kemiringan tanah dasar pada tanah asli (a) kemiringan tanah dasar pada timbunan (b) kemiringan tanah dasar pada galian (c)

(Sumber : Utomo, 2009)

## 9. Drainase pada Jalan Rel

Drainase jalan rel secara umum didefinisikan sebagai sistem pengaliran/pembuangan air di suatu daerah jalan rel, baik secara gravitasi maupun dengan menggunakan pompa, agar tidak sampai terjadi genangan air.

Adapun dibuatnya drainase pada jalan rel dimaksudkan sebagai berikut :

- 1) Tidak terjadi genangan air pada jalan rel, sehingga tidak terjadi pengembangan tanah dan menghindari terjadinya pemompaan butir-butir halus (*pumping effect*).
- 2) Mencegah atau mengurangi pengaruh air terhadap konsistensi tanah, sehingga badan jalan rel tetap kokoh.
- 3) Lalu lintas kereta api tidak terganggu.

Secara umum terdapat beberapa jenis drainase pada jalan rel, yaitu :

### a. Drainase Permukaan (*Surface Drainage*)

Drainase permukaan dibuat dengan maksud untuk mengalirkan/membuang air yang ada di permukaan tanah daerah jalan rel. Meskipun demikian, pembuangan akhir air dari sistem drainase permukaan ini tidak boleh mengganggu pihak lain. Perencanaan dan perancangan drainase permukaan dipengaruhi oleh keadaan topografi.

#### 1) Jenis Drainase Permukaan

Penentuan jenis drainase permukaan ini berdasarkan pada letak drainase terhadap jalur jalan rel. Terdapat dua jenis drainase permukaan, yaitu :

- a) Drainase memanjang (*side-ditch*), yaitu drainase permukaan yang letaknya di samping dan memanjang arah jalur jalan rel.
- b) Drainase melintang (*cross-drainage*), yaitu drainase permukaan yang letak dan arahnya melintang arah jalur jalan rel.

#### 2) Bentuk Drainase Permukaan

Drainase memanjang, dapat berupa saluran terbuka atau saluran tertutup. Adapun bentuk potongan melintangnya dapat berbentuk sebagai berikut :

- a) Trapesium,
- b) Kotak atau persegi,
- c) Segitiga,
- d) Busur lingkaran.

Drainase melintang (dapat dalam jumlah tunggal atau multi/banyak) dapat berupa :

- a) Gorong-gorong,
- b) Jembatan pelat.

### 3) Bahan Drainase Permukaan

Agar drainase dapat berfungsi dengan baik selama waktu yang diharapkan, maka terdapat beberapa syarat terhadap bahan pembentuk drainase, yaitu :

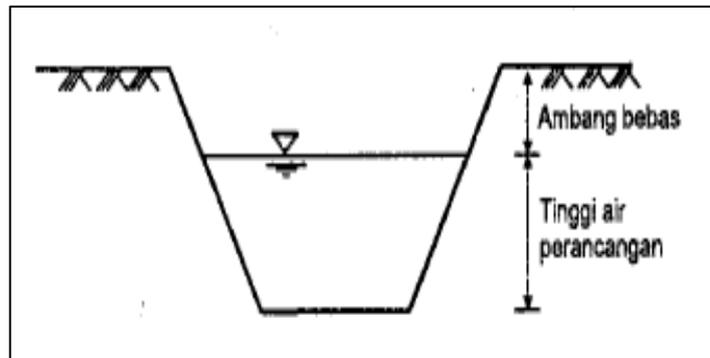
- a) Pemilihan bahan untuk saluran memanjang bergantung pada kemiringan topografi dan jenis tanah setempat. Bila diperlukan penguat saluran, dapat menggunakan kayu/susunan batu kosong/susunan batu bata diplester/acuan beton, yang disesuaikan dengan keadaan.
- b) Saluran melintang dibuat dengan pasangan batu plester bertutupkan pelat beton bertulang, pipa beton bertulang atau pipa baja gelombang.
- c) Kekuatan saluran harus dijamin tahan terhadap pengaruh setempat yang dapat merusak, maupun terhadap semua gaya yang akan bekerja padanya.

### 4) Perancangan Saluran Terbuka

Pada perancangan saluran terbuka drainase permukaan, harus dipenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- a) Dimensi penampang/potongan melintang harus cukup besar untuk membuang air yang ada di permukaan yang akan dibuang/dialirkannya.

- b) Apabila dari perhitungan yang dilakukan telah diperoleh tinggi air perancangan, maka tinggi saluran masih harus ditambah dengan ambang bebas (*free board*) yang penentuannya berdasarkan pada loncatan air hidraulik ditambah dengan ambang tambahan minimum sebesar 15 cm.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**13 Tinggi air dan ambang bebas pada drainase permukaan

(Sumber : Utomo, 2009)

- c) Koefisien kekasaran saluran ditentukan berdasarkan atas jenis permukaan salurannya.

#### 5) Perancangan Saluran Drainase Melintang

Secara spesifik untuk perancangan saluran melintang dan gorong-gorong pada jalan rel perlu memperhatikan persyaratan sebagai berikut :

- a) Apabila saluran melintang bertemu dengan saluran memanjang, pada pertemuan tersebut harus dipasang bak penampung tanah (sand trap).
- b) Tanah di sekeliling bidang saluran melintang harus dipadatkan dengan baik dan benar, sesuai dengan pemadatan yang diperlukan untuk badan jalan rel.
- c) Untuk keperluan kemudahan dalam pemeliharaan, minimum ukuran diameter atau alas saluran ialah 60 cm, dan
- d) Tidak boleh terjadi kebocoran atau rembesan air, baik karena bahan atau sambungan karena akan membahayakan jalan rel.

#### **b. Drainase Bawah Permukaan (*Sub-Surface Drainage*)**

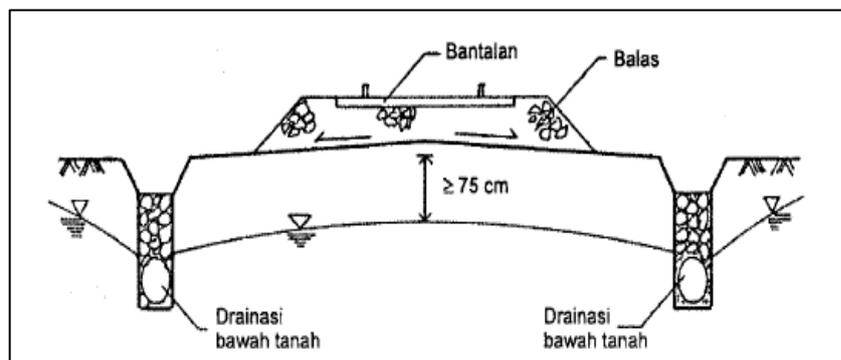
Drainase bawah permukaan jalan rel dimaksudkan untuk menjaga elevasi muka air tanah tidak mendekati permukaan tanah tempat badan jalan rel berada.

Dengan demikian maka konsistensi dan kepadatan badan jalan dapat dipertahankan dalam keadaan baik.

### 1) Perancangan Drainase Bawah Permukaan

Pada badan jalan rel berupa permukaan asli dan galian, ketebalan bagian badan jalan rel setebal minimum 75 cm dari dasar balas harus selalu dalam keadaan kering.

Konstruksi drainase bawah permukaan biasanya berupa pipa berlubang yang dipasang di bawah permukaan di pinggir kanan atau kiri badan jalan rel. Pipa berlubang ini diletakkan di atas lapisan pasir  $\geq 10$  cm, kemudian secara berurutan di atasnya dihamparkan (dan dipadatkan) kerikil dengan ketebalan lebih dari 15 cm, di atas lapisan kerikil tersebut dihamparkan bahan kedap air. Selain itu, saluran pipa berlubang harus dilindungi oleh bahan filter yang bahannya dapat dipilih dan disesuaikan dengan keadaan setempat.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**14 Drainase bawah permukaan

(Sumber : Utomo, 2009)

### c. Drainase Lereng (*Slope Drainage*)

Drainase lereng jalan rel dibuat dengan maksud dan tujuan di bawah ini :

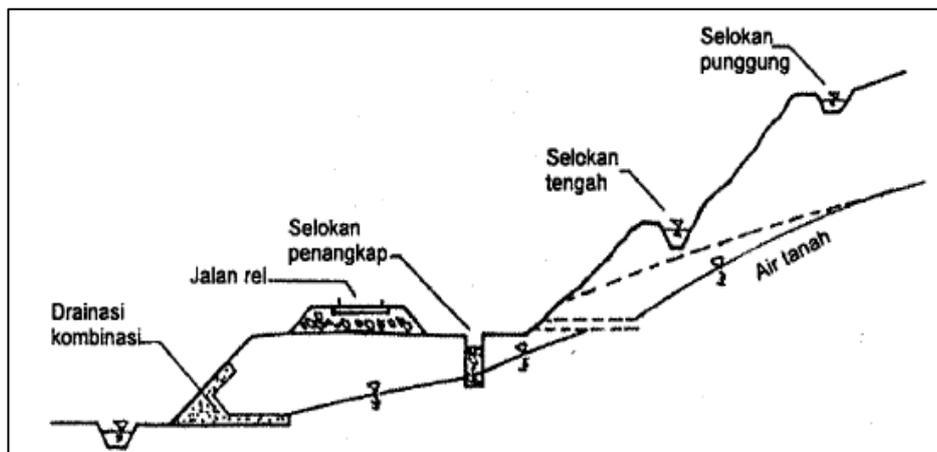
- a) Sebagai upaya untuk mencegah agar air permukaan yang berasal dari punggung lereng tidak mengalir secara deras, karena aliran yang deras dapat mengakibatkan gerusan pada permukaan dan kaki lereng.

- b) Mencegah terjadinya rembesan air dari permukaan lereng ke dalam badan jalan rel, karena rembesan yang terjadi dapat menyebabkan lereng longsor secara mendadak dan atau memperlemah badan jalan rel.

1) Jenis Drainase Lereng

Terdapat empat jenis drainase lereng, yaitu :

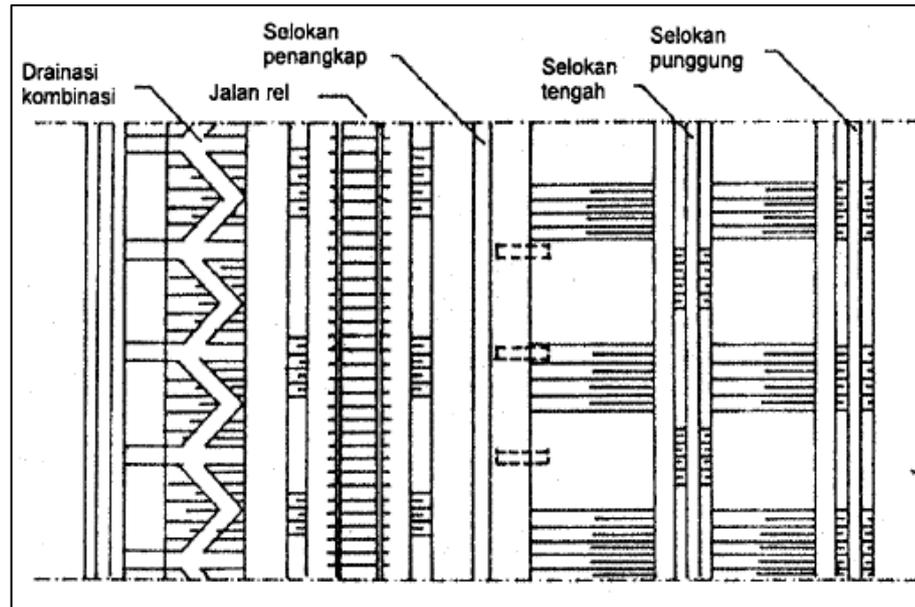
- a) Drainase punggung, berupa saluran terbuka yang memanjang di punggung lereng.
- b) Drainase tengah, berupa saluran terbuka yang memanjang di kaki lereng.
- c) Drainase penangkap, berupa saluran terbuka yang memanjang di kaki lereng.
- d) Drainase kombinasi, yaitu kombinasi antara drainase tegak lurus dan drainase miring.



Gambar Error! No text of specified style in document..15

Potongan melintang drainase lereng

(Sumber : Utomo, 2009)



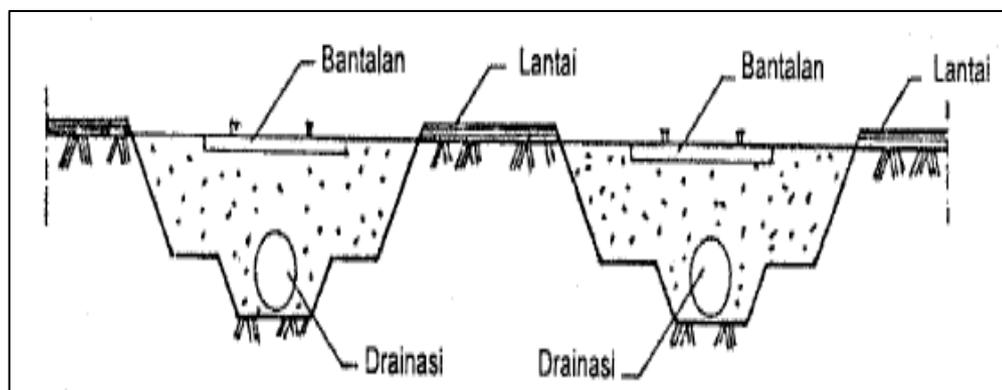
Gambar Error! No text of specified style in document..16

Tampak atas drainase lereng

(Sumber : Utomo, 2009)

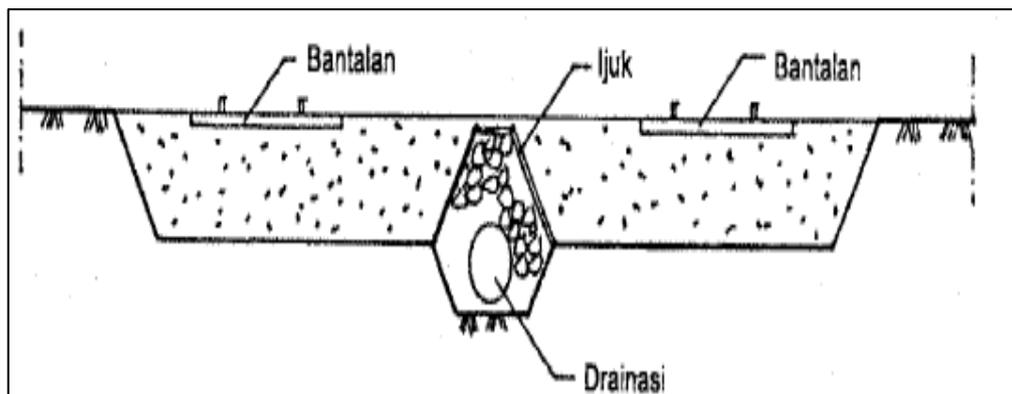
#### d. Drainase di Emplasemen

Kondisi spesifik terjadi di emplasemen, yaitu terdapat banyak jalur (*track*) yang berdampingan. Untuk mendapatkan pembuangan air yang baik dapat dibuat saluran yang terbuat dari pipa dengan dinding berlubang-lubang atau saluran yang terbuat dari batu kosong. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.22 dapat dilihat bahwa pada tiap-tiap *track* di bawahnya dipasang saluran drainase. Sedangkan pada Gambar 3.22 diperlihatkan bahwa penggunaan satu saluran drainase untuk fasilitas drainase dua buah *track* yang berdampingan.



Gambar Error! No text of specified style in document..17 Drainase pada emplasemen dengan drainase terpisah

(Sumber : Utomo, 2009)



Gambar Error! No text of specified style in document..18 Drainase pada emplasemen dengan drainase menyatu

(Sumber : Utomo, 2009)

## B. Perancangan Geometrik Jalan Rel

Perancangan geometrik jalan rel akan dilaksanakan sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Peraturan Menteri No 60 tahun 2012 tentang Persyaratan teknis Jalur Kereta Api sehingga geometrik jalan rel direncanakan dan dirancang sedemikian rupa guna mencapai hasil yang efisien, aman, nyaman, dan ekonomis.

### 1. Ketentuan Umum Perancangan Geometrik Jalan Rel

#### a. Standar Jalan Rel

Segala ketentuan yang berkaitan dengan jenis dan komponen jalan rel di dalam perancangan geometrik jalan rel tertuang dalam Tabel 3.11 di bawah ini.

Tabel Error! No text of specified style in document..11 Klasifikasi jalan rel dengan lebar sepur 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	Vmaks (km/jam)	Pmaks Gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (cm)			
I	>20.10 <sup>6</sup>	120	18	R.60/R.54	Beton	Elastis Ganda	30	60
					60			
II	10.10 <sup>6</sup> -20.10 <sup>6</sup>	110	18	R 54/R.50	Beton/Kayu	Elastis Ganda	30	50

					60			
III	5.10 <sup>6</sup> -10.10 <sup>6</sup>	100	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja	Elastis Ganda	30	40
					60			
IV	2,5.10 <sup>6</sup> -5.10 <sup>6</sup>	90	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja	Elastis Ganda/Tunggal	25	40
					60			
V	<2,5.10 <sup>6</sup>	80	18	R.42	Kayu/Baja	Elastis Tunggal	25	35
					60			

(Sumber : PM No 60 Tahun 2012)

#### b. Kecepatan dan Beban Gandar

Dalam ketentuan Peraturan Menteri No 60 tahun 2012 tentang Persyaratan teknis Jalur Kereta Api dan Peraturan Daerah No. 10 tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Kereta Api, terdapat beberapa tipe kecepatan dan beban gandar yang digunakan dalam perencanaan, yaitu :

##### 1) Kecepatan Rencana

Kecepatan Rencana adalah kecepatan yang digunakan untuk merencanakan konstruksi jalan rel. Adapun beberapa bentuk kecepatan rencana digunakan untuk :

##### a) Untuk perencanaan struktur jalan rel

$$V_{rencana} = 1,25 \times V_{maksimum} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

##### b) Untuk perencanaan jari-jari lengkung lingkaran dan peralihan

$$V_{rencana} = V_{maksimum} \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

##### c) Untuk perencanaan peninggian rel

$$V_{rencana} = c \times \frac{\sum NiVi}{\sum Ni} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

dimana,

c = 1,25

Ni = Jumlah kereta api yang lewat

$V_i$  = Kecepatan operasi

2) Kecepatan Maksimum

Kecepatan maksimum adalah kecepatan tertinggi yang diijinkan untuk operasi suatu rangkaian kereta pada lintas tertentu.

3) Kecepatan Operasi

Kecepatan operasi adalah kecepatan rata-rata kereta api pada petak jalan tertentu.

4) Kecepatan Komersial

Kecepatan komersial adalah kecepatan rata-rata kereta api sebagai hasil pembagian jarak tempuh dan waktu tempuh.

5) Beban Gandar

Beban gandar maksimum yang dapat diterima oleh struktur jalan rel di Indonesia untuk semua kelas jalan adalah 22,5 ton untuk lebar 1435 mm dan 16 ton untuk lebar sepur 1067 mm.

c. Pengalokasian Ruang

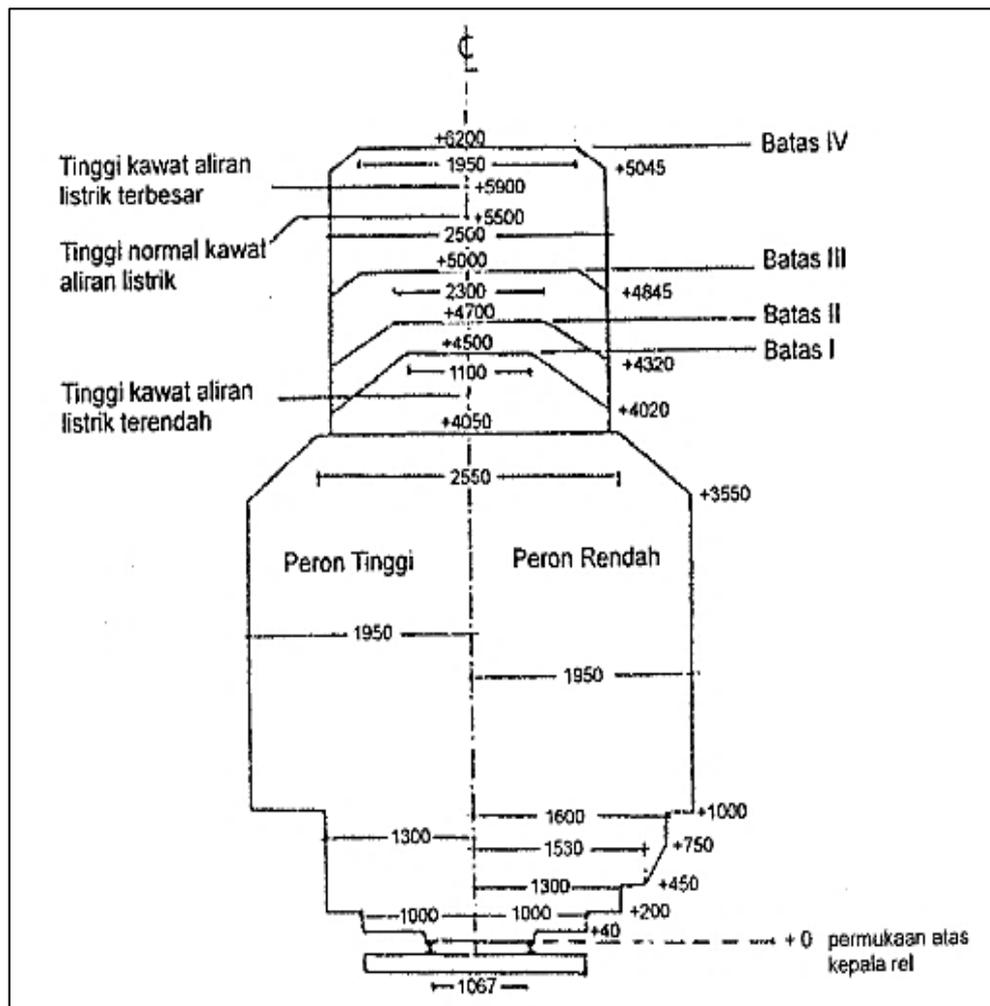
Pengalokasian ruang jalur kereta api diperlukan untuk kepentingan :

1) Pengalokasian Ruang untuk Perencanaan

- a) Ruang Manfaat Jalur Kereta Api (Rumaja); terdiri atas jalan rel dan bidang tanah di kiri dan di kanan jalan rel beserta ruang di kiri, kanan, atas, dan bawah yang digunakan untuk konstruksi jalan rel dan penempatan fasilitas operasi kereta api serta bangunan pelengkap lainnya.
- b) Ruang Milik Jalur Kereta Api (Rumija); meliputi bidang tanah di kiri dan di kanan ruang manfaat jalur kereta api yang digunakan untuk pengamanan konstruksi jalan rel.
- c) Ruang Pengawasan Jalur Kereta Api (Ruwasja); meliputi bidang tanah atau bidang lain di kiri dan di kanan ruang milik jalur kereta api digunakan untuk pengamanan dan kelancaran operasi kereta api.

2) Pengalokasian Ruang untuk Operasi

- a) Ruang Bebas, adalah ruang di atas jalan rel yang senantiasa harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang. Ruang ini disediakan untuk lalu lintas rangkaian kereta api.
- b) Ruang Bangun, adalah ruang di sisi jalan rel yang senantiasa harus bebas dari segala bangunan tetap seperti tiang semboyan, tiang listrik, dan pagar. Batas ruang bangun diukur dari sumbu jalan rel pada tinggi 1 meter sampai 6,20 meter.



Gambar Error! No text of specified style in document..19 Ruang bebas pada bagian lurus (1067 mm)

(Sumber : Dwiatmoko, 2016)

## 2. Alinemen Horizontal

Alinemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan rel pada bidang horizontal, alinemen horizontal terdiri dari garis lurus dan lengkungan.

Alur perhitungan lengkung horisontal adalah sebagai berikut :

a) Menghitung Panjang Lengkung

$$\theta_s = \frac{90 + Ls}{\pi \times R} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\theta_c = \Delta s \times 2 \theta_s \dots\dots\dots (3.7)$$

$$L_s = 0,01 \times h \times V \dots\dots\dots (3.8)$$

$$L_c = \frac{\theta_c}{360^\circ} \times 2\pi \times R \dots\dots\dots (3.9)$$

$$L = 2 L_s + L_c \dots\dots\dots (3.10)$$

b) Menghitung  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $k$ , dan  $p$

$$X_c = L_s - \frac{Ls^3}{40 \times R^2} \dots\dots\dots (3.11)$$

$$Y_c = \frac{Ls^2}{6 \times R} \dots\dots\dots (3.12)$$

$$P = Y_c - R (1 - \cos \theta_s) \dots\dots\dots (3.13)$$

$$K = X_c - R \sin \theta_s \dots\dots\dots (3.15)$$

c) Menghitung  $T_t$  dan  $E_t$

$$T_t = (R + P) \operatorname{tg} \frac{\Delta s}{2} + K \dots\dots\dots (3.16)$$

$$E_t = (R + P) \sec \frac{\Delta s}{2} - R \dots\dots\dots (3.17)$$



Besarnya gaya sentrifugal dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti:

- 1) Berat kendaraan.
- 2) Kecepatan kendaraan.
- 3) Berbanding terbalik dengan besarnya radius.

Beberapa hal yang dapat ditimbulkan akibat adanya gaya sentrifugal adalah :

- 1) Rel luar lebih cepat aus akibat gesekan flens roda di sisi luar.
- 2) Sangat riskan terhadap bahaya keluar rel (anjlok).
- 3) Sangat riskan terhadap bahaya guling akibat adanya momen puntir.
- 4) Berjalannya kendaraan menjadi tidak nyaman akibat adanya perubahan arah laju kendaraan.

Oleh karena itu, untuk mengurangi bahaya yang dapat disebabkan oleh gaya sentrifugal tersebut maka perlu diambil tindakan dengan membuat lengkung lingkaran, lengkung peralihan, dan melakukan pelebaran sepur, serta mengadakan peninggian rel.

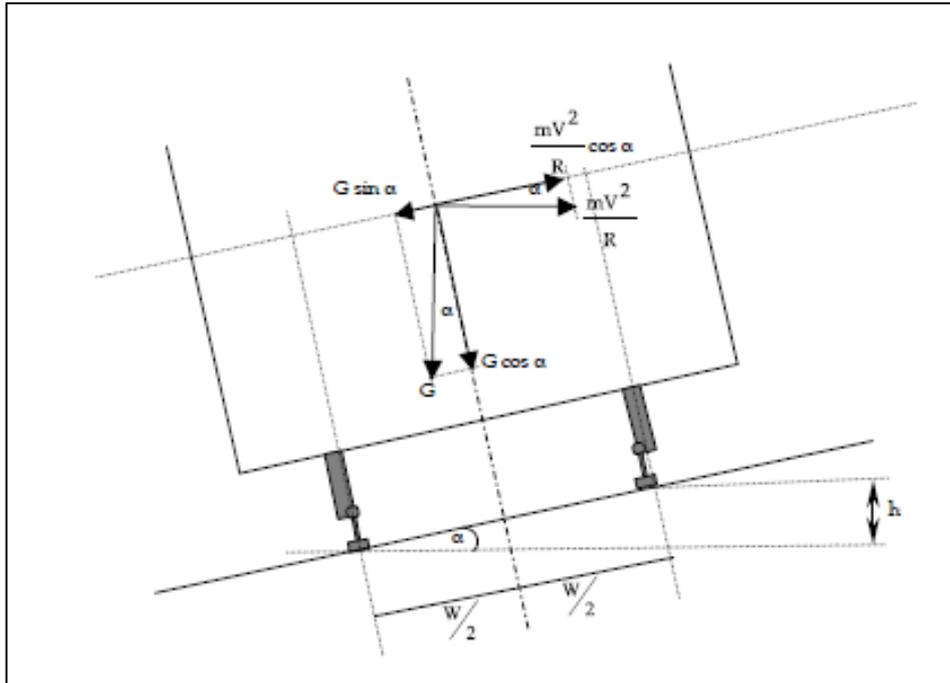
#### **a. Lengkung Lingkaran**

Untuk berbagai kecepatan rencana, besar jari-jari minimum yang diijinkan ditinjau dari beberapa kondisi, yaitu :

- 1) Gaya sentrifugal diimbangi sepenuhnya oleh gaya berat.

Persamaan dasar :

Gaya Berat = Gaya Sentrifugal (Gambar 3.24)



Gambar **Error! No text of specified style in document.**21 Skematik gaya pada kondisi gaya sentrifugal hanya diimbangi oleh gaya berat.

(Sumber : Rosyidi, 2015)

$$G \sin \alpha = \frac{mV^2}{R} \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

$$G \sin \alpha = \frac{GV^2}{gR} \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

$$\tan \alpha = \frac{V^2}{gR} \quad \dots\dots\dots (3.21)$$

$$\text{jika : } \tan \alpha = \frac{h}{W} \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

$$\frac{mV^2}{R} \cos \alpha = G \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

$$h = \frac{WV^2}{gR} \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

dengan memasukkan satuan praktis :

W = jarak di antara kedua titik kontak roda dan rel untuk lebar sepur  
 1067 mm = 1120 mm

R = jari-jari lengkung horisontal (m)

$V$  = kecepatan rencana (km/jam)

$H$  = peninggian rel pada lengkung horisontal (mm)

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

maka :

$$R = \frac{8,8V^2}{h} \quad \dots\dots\dots (3.25)$$

Dengan peninggian rel maksimum 110 mm, maka :

$$R_{\min} = 0,076 V^2 \quad \dots\dots\dots (3.26)$$

- 2) Gaya sentrifugal diimbangi oleh gaya berat dan daya dukung komponen jalan rel

Persamaan dasar :

Gaya Berat + Komponen Rel = Gaya Sentrifugal (Gambar 3.25)

$$G \sin \alpha + H \cos \alpha = \frac{mV^2}{R} \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3.27)$$

$$G \sin \alpha = \left[ \frac{GV^2}{gR} - H \right] \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3.28)$$

$$G \tan \alpha = \left[ \frac{GV^2}{gR} - H \right] \quad \dots\dots\dots (3.29)$$

$$\text{Jika : } \tan \alpha = \frac{h}{W} \quad \dots\dots\dots (3.30)$$

$$\text{Dan, } H = m \cdot a = \frac{G}{g} a \quad \dots\dots\dots (3.31)$$

Maka :

$$a = \frac{V^2}{R} - g \frac{h}{W} \quad \dots\dots\dots (3.32)$$

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

Percepatan sentrifugal maksimum ditentukan : 0, 0478 g, dengan mempertimbangkan faktor kenyamanan pada saat kereta di tikungan.

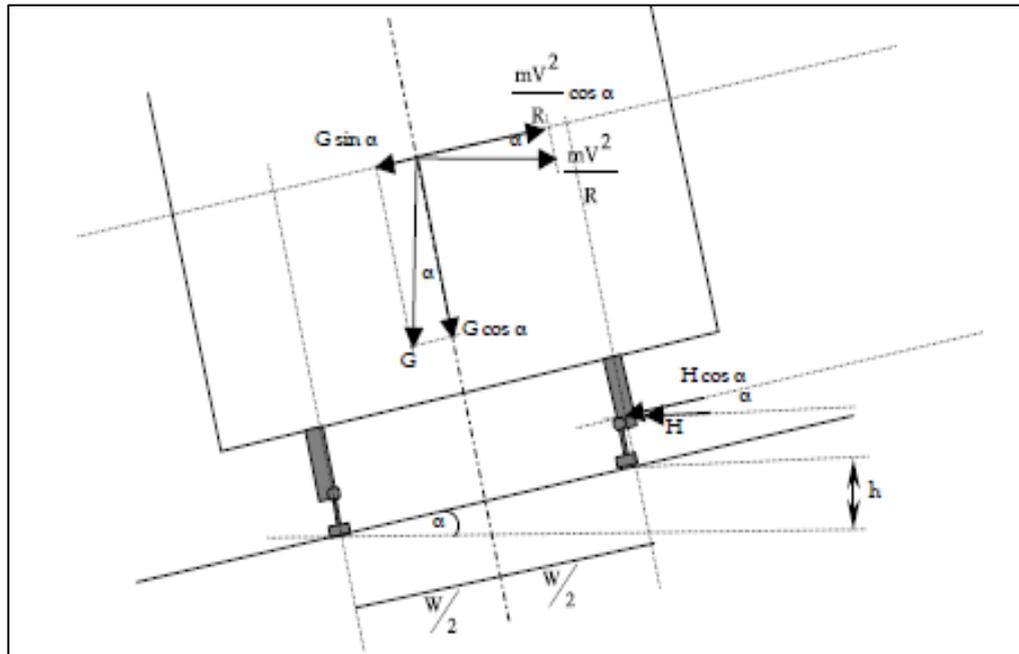
Dengan peninggian maksimum,  $h_{\max} = 110$  mm, maka :

$$\dots\dots\dots (3.33)$$

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

- 3) Jari-jari minimum untuk lengkung yang tidak memerlukan busur peralihan jika tidak ada peninggian rel yang harus dicapai ( $h = 0$ ), maka :

$$R_{\min} = 0,164 V^2 \quad \dots\dots\dots (3.34)$$



Gambar **Error! No text of specified style in document..22** Skematik gaya pada kondisi gaya sentrifugal hanya diimbangi oleh gaya berat dan daya dukung komponen rel

(Sumber : Rosyidi, 2015)

### b. Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan adalah suatu lengkung dengan jari-jari yang berubah beraturan. Lengkung peralihan dipakai sebagai peralihan antara bagian yang lurus dan bagian lingkaran dan sebagai peralihan antara dua jari-jari lingkaran yang berbeda. Lengkung peralihan dipergunakan pada jari-jari lengkung yang relatif kecil, seperti terlihat pada Tabel 3. 12.

Tabel **Error! No text of specified style in document..12** Jari-jari minimum yang diijinkan

Kecepatan Rencana (Km/jam)	Jari-jari Minimum Lengkung Lingkaran Tanpa Lengkung Peralihan (m)	Jari-jari Minimum Lengkung Lingkaran 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 : PM No. 60 tahun 2012)

Lengkung peralihan digunakan untuk mengeliminasi perubahan gaya sentrifugal sedemikian rupa sehingga penumpang di dalam kereta terjamin kenyamanan dan keamanannya. Panjang lengkung peralihan merupakan fungsi dari perubahan gaya sentrifugal per satuan waktu, kecepatan dan jari-jari lengkung.

$$\text{Perubahan gaya sentrifugal} = \frac{\text{gaya}}{\text{waktu}} = \frac{m \cdot a}{t} \quad \dots\dots\dots (3.35)$$

$$\frac{m \cdot a}{t} = \frac{m \cdot \frac{v^2}{R}}{\frac{L}{v}} \quad \dots\dots\dots (3.35)$$

$$L = \frac{v^3 \cdot t}{a \cdot R} \quad \dots\dots\dots (3.36)$$

$$\text{Jika } a_{\text{maksimum}} = 0,0478 \text{ g} \quad \dots\dots\dots (3.37)$$

(g = percepatan gravitasi = 9,81 m/detik<sup>2</sup>)

$$h = 5,95 \frac{v^2}{R} \quad \dots\dots\dots (3.38)$$

dan dikonversi pada satuan pada satuan praktis maka :

$$Lh = 0,01 \times h \times v \quad \dots\dots\dots (3.39)$$

Dimana,

Lh = panjang minimum lengkung peralihan (m)

H = peninggian pada rel luar di lengkung (mm)

V = kecepatan rencana untuk lengkung peralihan (km/jam)

R = jari-jari lengkung (m)

### c. Peninggian Rel

Peninggian rel diperlukan untuk mengimbangi timbulnya gaya sentrifugal pada kereta saat memasuki suatu lengkung horisontal. Gaya sentrifugal tersebut mengakibatkan kereta cenderung terlempar ke luar dari lengkung. Besarnya gaya sentrifugal sebanding dengan massa dan kuadrat kecepatan kereta api, dan berbanding terbalik dengan dengan jari-jari lengkung horisontal. Salah satu cara untuk membantu mereduksi gaya sentrifugal yang membebani kereta api adalah meninggikan rel luar secara relative terhadap rel bagian dalam di lengkung horisontal.

#### 1) Peninggian rel minimum

Peninggian rel minimum didasarkan pada gaya maksimum yang mampu dipikul oleh rel dan kenyamanan bagi penumpang.

Persamaan dasar :

Gaya Sentrifugal = Gaya Berat + Komponen Rel

$$\frac{mV^2}{R} \cos \alpha = G \sin \alpha + H \cdot \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3.40)$$

$$G \sin \alpha = \left[ \frac{GV^2}{gR} - H \right] \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3.41)$$

$$G \tan \alpha = \left[ \frac{GV^2}{gR} - H \right] \quad \dots\dots\dots (3.42)$$

$$\text{Jika : } \tan \alpha = \frac{h}{w} \quad \dots\dots\dots (3.43)$$

$$\text{Dan, } H = m \cdot a = \frac{G}{g} a \quad \dots\dots\dots (3.44)$$

Maka :

$$a = \frac{V^2}{R} - g \frac{h}{W} \quad \dots\dots\dots (3.45)$$

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

$$h = \frac{WV^2}{gR} - \frac{W \cdot a}{g} \quad \dots\dots\dots (3.46)$$

jika : W = 1120 mm, g = 9,81 m/detik<sup>2</sup>, dan a = 0,0478 g (m/detik<sup>2</sup>), maka

$$h_{\min} = \frac{8.8 V^2}{R} - 53,5 \text{ (dalam satuan mm)} \quad \dots\dots\dots (3.47)$$

## 2) Peninggian rel normal

Peninggian rel normal didasarkan pada gaya maksimum yang mampu dipikul oleh gaya berat kereta api dan konstruksi rel tidak memikul gaya sentrifugal.

Persamaan dasar :

Gaya Sentrifugal = Gaya Berat

$$G \sin \alpha = \frac{mV^2}{R} \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3.48)$$

$$G \sin \alpha = \frac{GV^2}{gR} \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (3.49)$$

$$\tan \alpha = \frac{V^2}{gR} \quad \dots\dots\dots (3.50)$$

$$\text{jika : } \tan \alpha = \frac{h}{W} \quad \dots\dots\dots (3.51)$$

$$\frac{mV^2}{R} \cos \alpha = G \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (3.52)$$

$$h = \frac{WV^2}{gR} \quad \dots\dots\dots (3.53)$$

Dengan memasukkan satuan praktis :

W = jarak di antara kedua titik kontak roda dan rel = 1120 mm

R = jari-jari lengkung horisontal (m)

V = kecepatan rencana (km/jam)

h = peninggian rel pada lengkung horisontal (mm)

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

maka :

$$h_{\text{normal}} = \frac{8,8V^2}{R} \text{ (dalam mm)} \quad \dots\dots\dots (3.54)$$

dalam perhitungan peninggian digunakan kecepatan kereta api terbesar ( $V_{\text{maksimum}}$ ) yang melewati suatu lintas dengan jari-jari  $R$  sebagai suatu hubungan persamaan :

$$V = 4,3 \sqrt{R} \quad \dots\dots\dots (3.55)$$

Jika :

$$H = k \frac{V^2}{R} \quad \dots\dots\dots (3.56)$$

Dan untuk  $V = 4,3 \sqrt{R}$  , digunakan peninggian rel,  $h = 110$  mm, maka :

$$110 = k \frac{[4,3\sqrt{R}]^2}{R} \quad \dots\dots\dots (3.57)$$

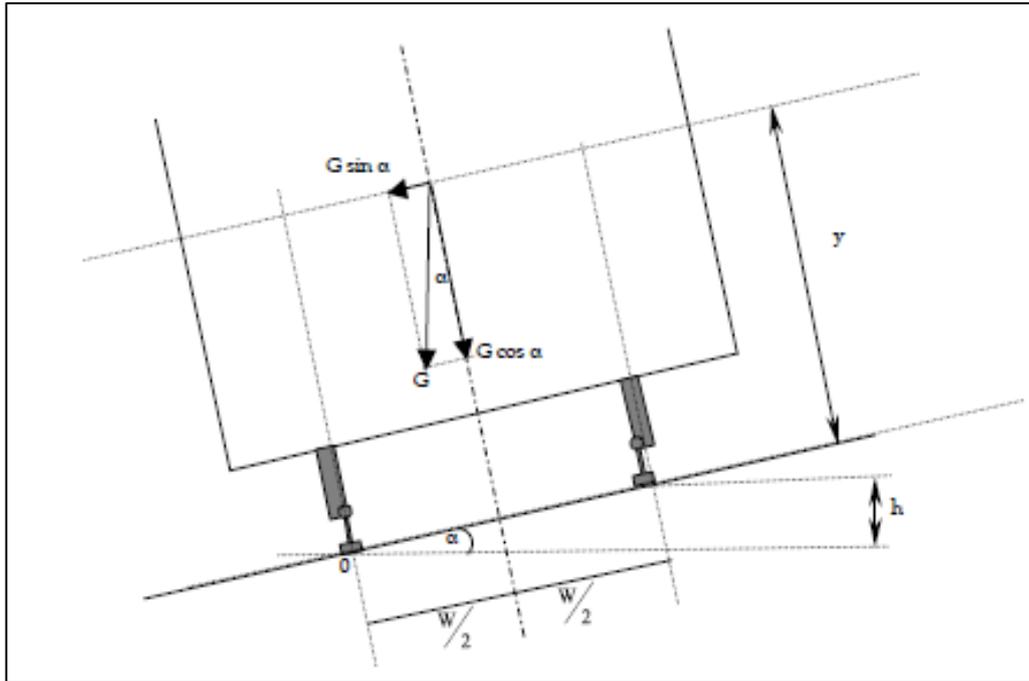
$$K = 5,95 \quad \dots\dots\dots (3.58)$$

Jadi peninggian rel normal ditentukan sebagai :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \frac{V^2}{R} \text{ (dalam mm)} \quad \dots\dots\dots (3.59)$$

### 3) Peninggian rel maksimum

Peninggian rel maksimum dilakukan berdasarkan stabilitas kereta api pada saat berhenti di bagian lengkung, digunakan faktor keamanan (SF) = 3,0 sehingga kemiringan maksimum dibatasi sampai 10% atau  $h_{\text{maksimum}} = 110$  mm.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**23 Skematik pengaruh peninggian maksimum yang merupakan faktor keamanan terhadap gaya guling

(Sumber : Rosyidi, 2015)

Ditinjau seluruh Momen Gaya Berat terhadap titik 0 (di dasar rel bagian dalam) :

$$SF \times G \sin \alpha \times y = G \cos \alpha \times \frac{W}{2} \quad \dots\dots\dots (3.60)$$

$$\tan \alpha = \frac{W}{SF \times 2 \times y} \text{ dan } \tan \alpha = \frac{V^2}{gR} \quad \dots\dots\dots (3.61)$$

$$\text{maka : } \frac{h}{W} = \frac{W}{SF \times 2 \times y} \quad \dots\dots\dots (3.62)$$

$$SF = \frac{W}{h_{maks} \times 2 \times y} \quad \dots\dots\dots (3.63)$$

Jika :

$y = 1700 \text{ mm}$  (jarak titik berat gerbong/kereta terhadap titik 0 )

$W = 1120 \text{ mm}$  (= 1067 mm + e)

SF = 3,325

Maka :

$$\dots\dots\dots (3.64)$$

$$h_{\text{maksimum}} = 110 \text{ mm}$$

dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa peninggian rel rencana/desain harus memenuhi syarat :

$$h_{\text{minimum}} < h_{\text{normal}} < h_{\text{maksimum}} \quad \dots\dots\dots (3.65)$$

nilai rencana dibulatkan menjadi bilangan kelipatan 5 mm di atasnya.

Tabel **Error! No text of specified style in document.**13 Peninggian jalan rel dengan lebar sepur 1067 mm

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pas (km/hr)						
	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			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

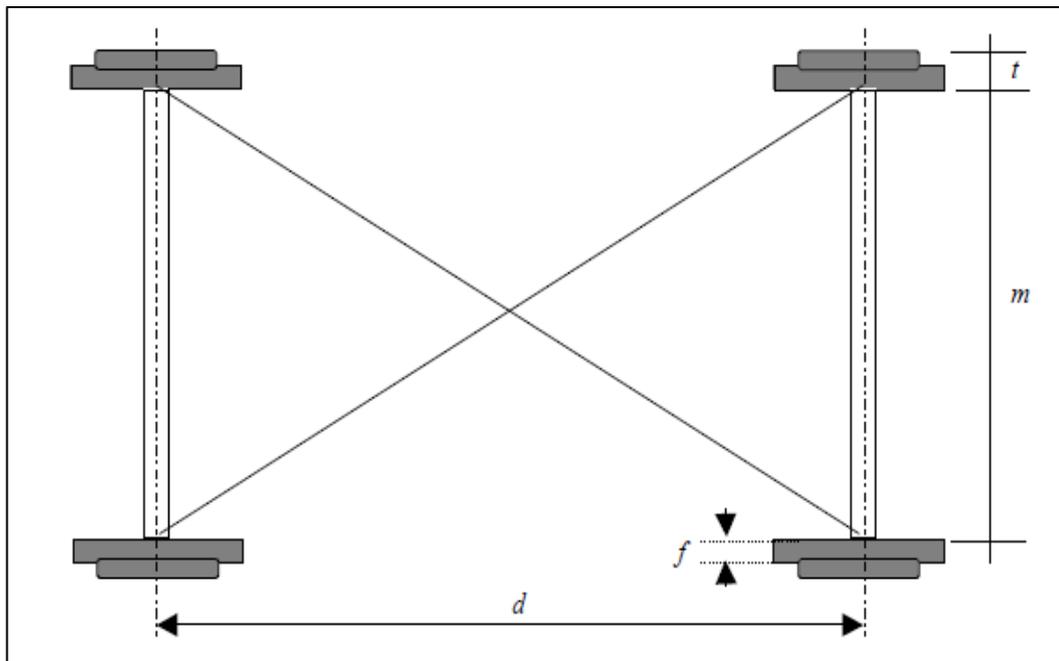
(Sumber : PM No. 60 Tahun 2012)

#### d. Pelebaran Sepur

Pada saat gerbong dengan dua gandar kokoh melalui suatu tikungan, maka roda di muka bagian sisi terluar (pada rel luar) dapat menekan rel. Oleh karena gandar muka dan belakang gerbong merupakan satu kesatuan yang kaku (*rigid wheel base*), maka gandar belakang berada pada posisi yang sejajar dengan gandar muka akan memungkinkan tertekannya rel dalam oleh roda belakang. Flens roda luar akan membentuk sudut dalam posisi tikungan, namun sumbu memanjang mengurangi gaya tekan akibat terjepitnya kereta, maka perlu diadakan pelebaran rel agar rel roda tidak cepat aus.

Terdapat tiga faktor yang sangat berpengaruh terhadap besarnya pelebaran sepur, yaitu :

- 1) Jari-jari lengkung ( $R$ ).
- 2) Ukuran atau jarak gandar muka-belakang yang kokoh/*rigid wheel base* ( $d$ ), sebagaimana dijelaskan dalam Gambar 3.29.
- 3) Kondisi keausan roda dan rel.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**24 Skematik gandar muka-belakang kokoh

(Sumber : Rosyidi, 2015)

Keterangan untuk Gambar 3.29 :

Indonesia :  $d = 3,00 \text{ m}, 4,00 \text{ m}$       JNR :  $d = 4,60 \text{ m}$

$m = 1000 \text{ mm}$        $m = 988 \text{ mm}$

$f = 30 \text{ mm}$        $f = 22 \text{ mm}$

$t = 130 \text{ mm}$

Jika  $R$  makin kecil dan  $d$  semakin besar, kemungkinan terjadi adalah terjepitnya kereta dalam rel. Supaya kedudukan roda dan rel tidak terjepit maka diperlukan pelebaran sepur ( $w$ ) dengan pendekatan matematis.

$$w = \frac{4500}{R} - 8 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (3.66)$$

untuk  $d = 3,00 \text{ m}$  dan  $e = 4 \text{ mm}$  ( $S = 1067 \text{ mm}$ )

$$w = \frac{8000}{R} - 8 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (3.67)$$

untuk  $d = 4,00 \text{ m}$  dan  $e = 4 \text{ mm}$  ( $S = 1067 \text{ mm}$ )

Secara praktisnya pelebaran sepur juga dapat merujuk pada Tabel 3.14 yang merupakan penggolongan pelebaran sepur berdasarkan jari-jari lengkung untuk lebar sepur 1067 mm.

Tabel **Error! No text of specified style in document..**14 Pelebaran sepur 1067 mm

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

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)

#### e. Lengkung S

Lengkung S terjadi bila lengkung dari suatu lintas berbeda arah lengkungnya dan terletak bersambungan. Kedua lengkung harus dipisahkan oleh bagian lurus minimal 20 meter di luar lengkung peralihan.

### 3. Alinemen Vertikal

Alinemen vertikal merupakan proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal melalui sumbu jalan rel tersebut. Alinemen vertikal terdiri dari garis lurus dengan atau tanpa kelandaian dan lengkung vertikal yang berupa busur lingkaran. Besar jari-jari minimum lengkung bergantung pada besar kecepatan rencana seperti yang tercantum pada Tabel 3.15.

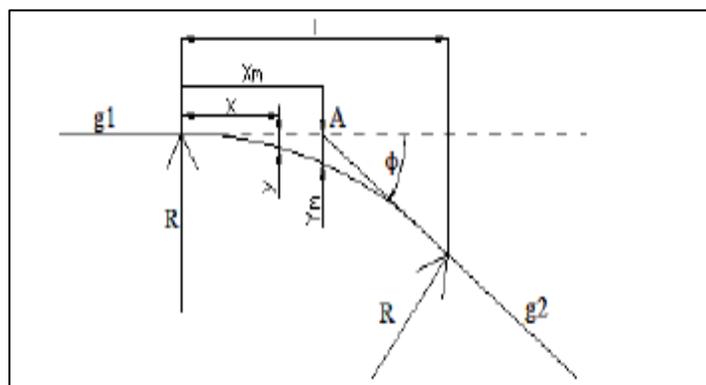
Tabel **Error! No text of specified style in document.**15 Jari-jari minimum lengkung vertikal

Kecepatan Rencana, $V_{rencana}$ (Km/Jam)	Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal, $R_{min}$ (Meter)
Lebih besar dari 100	8000
Sampai 100	6000

(Sumber : PM No. 60 tahun 2012)

Adapun kriteria dalam membentuk alinemen vertikal adalah :

- Beberapa kelandaian yang berlainan dalam jarak pendek disederhanakan menjadi satu kelandaian.
- Jika penurunan beralih ke pendakian atau pendakian beralih ke penurunan disediakan bagian mendatar dengan panjang minimum 200 m.
- Tinggi puncak rel sedapat mungkin tidak diturunkan, kecuali tidak memenuhi syarat-syarat yang disebutkan sebelumnya.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**25 Alinemen vertikal

(Sumber : Utomo, 2009)

Panjang lengkung vertikal berupa busur lingkaran yang menghubungkan dua kelandaian lintas yang berbeda dan ditentukan berdasarkan besarnya jari-jari lengkung vertikal dan perbedaan kelandaian.

$$\text{Rumus Dasar Lengkung : } \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{l}{R} \quad \text{..... (3.68)}$$

Dari persamaan 3.67 , diperoleh bahwa :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x}{R} + C_1 \quad \text{..... (3.70)}$$

$$\text{Jika } x = 0, \text{ maka } \frac{dy}{dx} = 0 \text{ dan } C_1 = 0 \quad \text{..... (3.71)}$$

$$y = \frac{x^2}{2R} + C_2 \quad \text{..... (3.72)}$$

$$\text{Jika } x = 0, \text{ maka } Y = 0 \text{ dan } C_2 = 0 \quad \text{..... (3.73)}$$

Letak titik A (titik tekuk lengkung vertikal pada Gambar 3.29 ), diperoleh :

$$\text{Diberikan : } x = l \quad \text{..... (3.74)}$$

$$1) \frac{dy}{dx} = \frac{l}{R}, \text{ dan } l = \varphi R \quad \text{..... (3.75)}$$

$$X_m = OA = \frac{1}{2} l \quad \text{..... (3.76)}$$

$$X_m = \frac{R}{2} \varphi \quad \text{..... (3.77)}$$

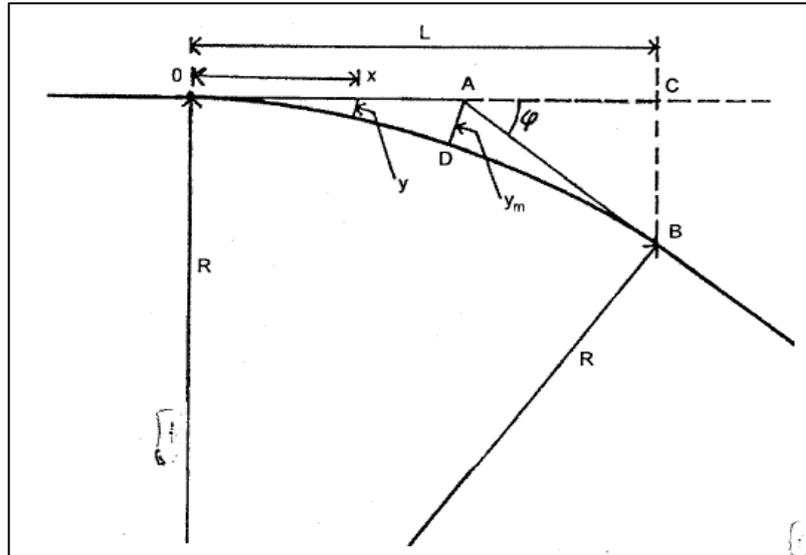
$$2) Y = \frac{x^2}{2R}, \text{ dan } l = \varphi R \quad \text{..... (3.78)}$$

Jika :  $Y = Y_m$  dan  $X = X_m = OA = \frac{1}{2} l$ , maka :

$$Y_m = \frac{\frac{1}{4} l^2}{2R} = \frac{\varphi^2 R^2}{8R} \quad \text{..... (3.79)}$$

$$Y_m = \frac{R}{8} \varphi^2 \quad \text{..... (3.80)}$$

Menggunakan persamaan 3.79 dan 3.80, selanjutnya dengan R yang ditentukan untuk berbagai harga kecepatan dan kelandaian, maka dapat dihitung dimensi lengkung peralihan  $X_m$  dan  $Y_m$ .

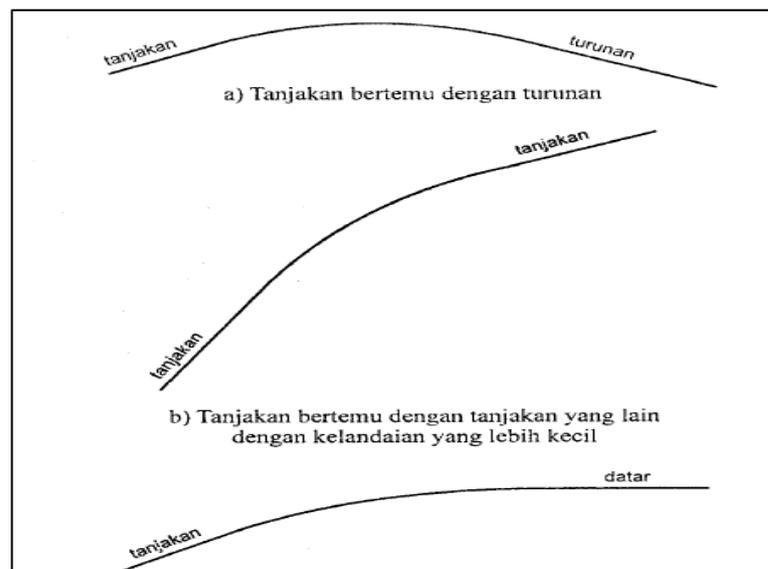


Gambar **Error! No text of specified style in document..26** Skematik lengkung vertikal

(Sumber : Rosyidi,2015)

#### a. Lengkung Cembung

Lengkung cembung adalah lengkung vertikal yang kecembungannya (*convexity*) ke atas. Secara umum, pada dasarnya lengkung cembung dibuat pada kondisi tanjakan bertemu dengan turunan, atau tanjakan bertemu dengan tanjakan yang lain dengan kelandaian yang lebih kecil, atau tanjakan bertemu dengan jalan datar . seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 3.32 (a), 3.32 (b), dan 3.32 (c).



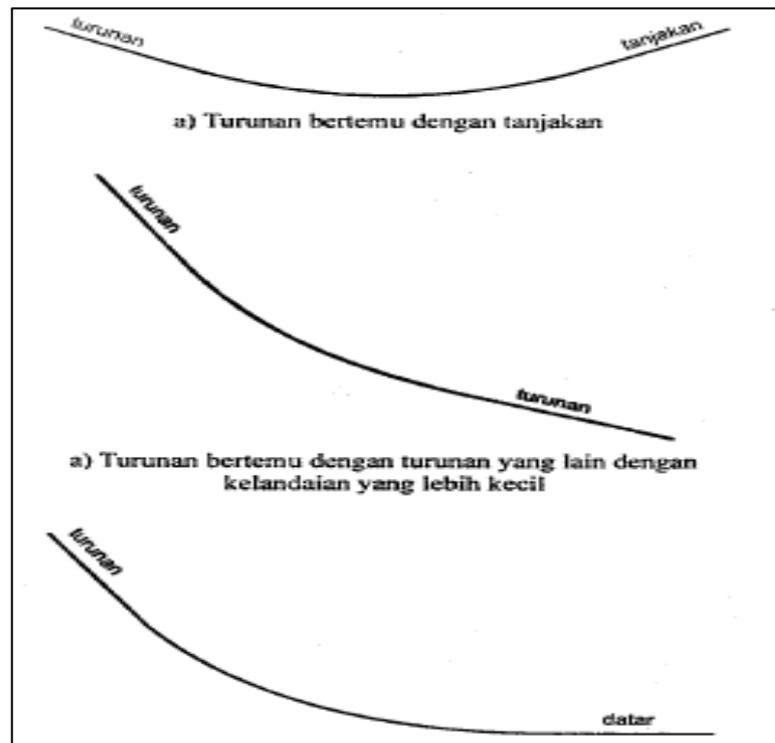
Gambar **Error! No text of specified style in document.**27 Lengkung cembung

(Sumber : Utomo, 2009)

Pada perubahan dari jalan datar ke suatu turunan yang tidak terdapat lengkung transisi, roda kereta akan melayang melalui suatu bentuk lengkung. Apabila melayangnya roda kereta lebih besar dibandingkan dengan tinggi *flens* roda kereta api, akan dapat mengakibatkan bahaya besar yaitu roda kereta api keluar dari rel. Untuk menghindari terjadinya bahaya roda keluar, maka diperlukan adanya lengkung transisi.

### b. Lengkung Cengkung

Lengkung cengkung ialah lengkung vertikal yang kecengkungannya (*concavity*) ke bawah. Seperti halnya pada lengkung cembung, pada dasarnya lengkung cekung dibuat pada kondisi turunan bertemu dengan tanjakan, atau turunan bertemu dengan turunan yang lain dengan kelandaian lebih kecil, atau turunan bertemu dengan jalan datar seperti yang ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 3.33 (a), 3.33 (b), dan 3.33 (c).



Gambar **Error! No text of specified style in document.**28 Lengkung cekung

(Sumber : Utomo, 2009)

### c. Landai Curam (Sk)

Pada kondisi khusus sering terdapat lintas dengan kelandaian yang lebih besar dari landai penentu ( $S_m$ ) dengan alasan ekonomis untuk perancangan terutama pada daerah pegunungan. Dengan demikian diperlukan desain khusus untuk menentukan kelandaian tersebut yang dikenali sebagai landai curam ( $S_k$ ) dengan panjang landai yang harus memenuhi rumus pendekatan sebagai berikut :

$$\frac{1}{2} m \cdot V_a^2 - \frac{1}{2} m \cdot V_b^2 = G (S_k - S_m) \cdot l \quad \dots\dots\dots (3.81)$$

$$\frac{1}{2} \frac{G}{g} \cdot (V_a^2 - V_b^2) - G(S_k - S_m) \cdot l \quad \dots\dots\dots (3.82)$$

$$l = \frac{V_a^2 - V_b^2}{2g (S_k - S_m)} \quad \dots\dots\dots (3.83)$$

Dimana,

$V_a$  = kecepatan awal di kaki landai curam (m/detik)

$V_b$  = kecepatan akhir di puncak landai curam (m/detik)

$S_k$  = besar landai curam (‰)

$S_m$  = besar landai penentu (‰)

$l$  = panjang landai curam (m)

Tabel Error! No text of specified style in document..16 Landai penentu

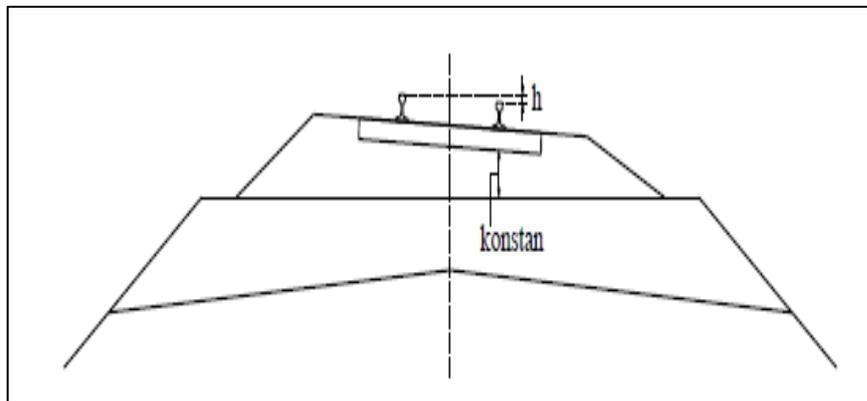
Kelas Jalan Rel	Landai Penentu Maksimum
1	10 ‰
2	10 ‰
3	20 ‰
5	25 ‰
6	25 ‰

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)

#### 4. Potongan Melintang

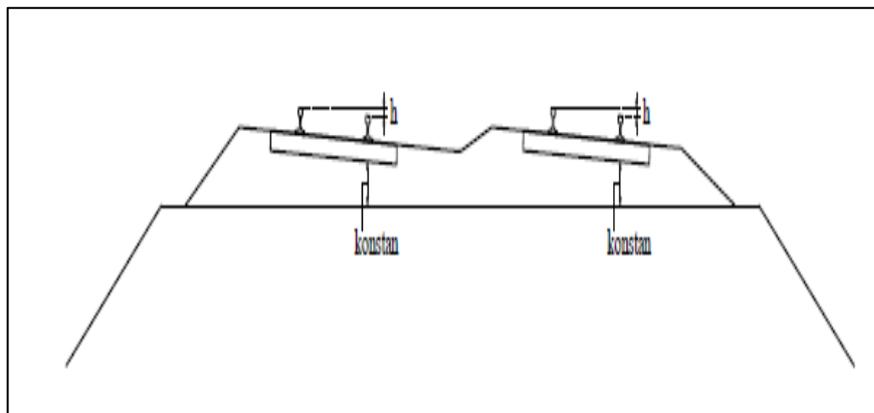
Penampang melintang jalan rel adalah potongan pada jalan rel, dengan arah tegak lurus sumbu jalan rel, di mana terlihat bagian-bagian dan ukuran-ukuran jalan rel dalam arah melintang. Ukuran-ukuran penampang melintang jalan rel berjalur tunggal dan berjalur ganda tercantum pada Tabel 3.17 untuk lintas lurus maupun di lintas lengkung serta ditampilkan dalam Gambar 3.34 dan 3.35.

Pada tempat-tempat khusus, seperti di perlintasan, penampang melintang dapat disesuaikan dengan keadaan setempat.



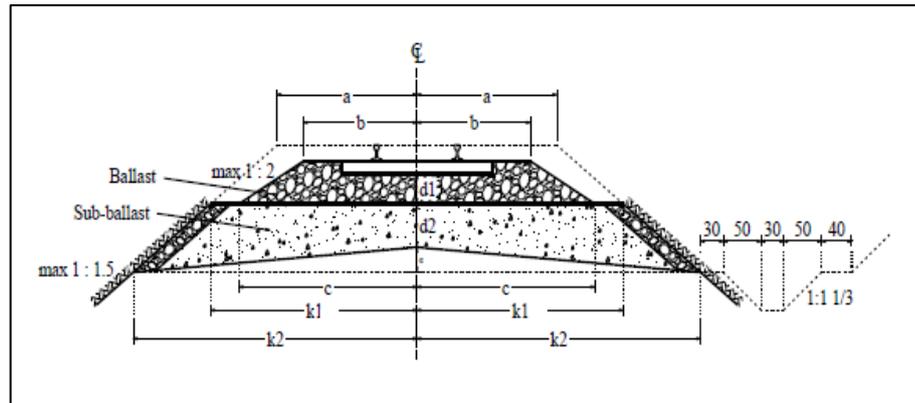
Gambar **Error! No text of specified style in document.**29 Potongan melintang peninggian elevasi rel ( $h$ ) pada lengkungan jalur tunggal

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)



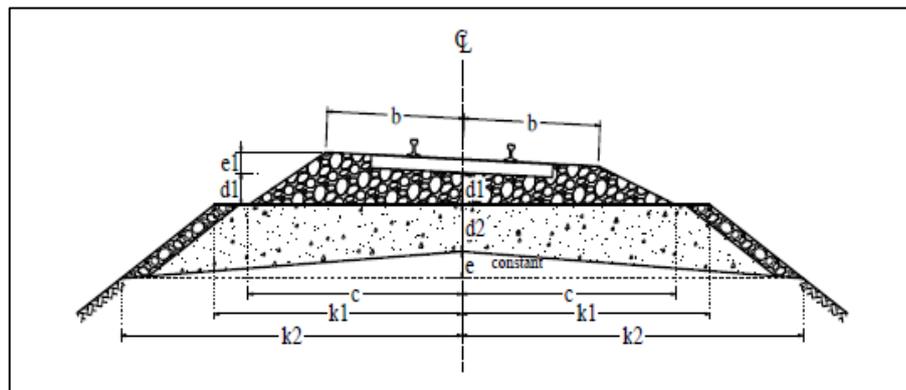
Gambar **Error! No text of specified style in document.**30 Potongan melintang peninggian rel elevasi ( $h$ ) pada lengkungan jalur ganda

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)



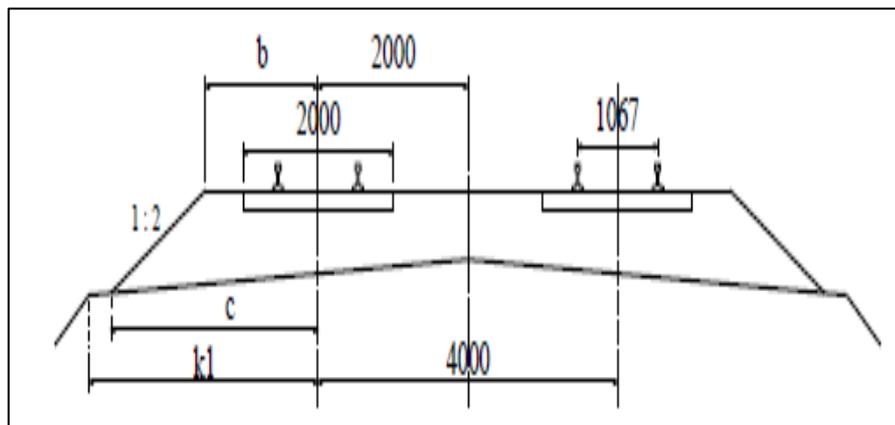
Gambar **Error! No text of specified style in document.**31 Penampang melintang jalan rel pada bagian lurus

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)



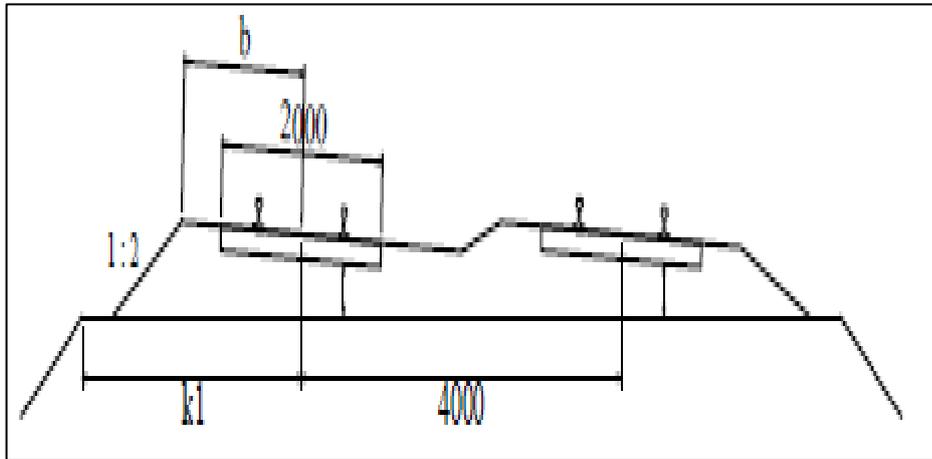
Gambar **Error! No text of specified style in document.**32 Penampang melintang jalan rel pada lengkung-jalur tunggal

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012 )



Gambar **Error! No text of specified style in document..33** Penampang melintang jalan rel pada bagian lurus jalur ganda

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)



Gambar **Error! No text of specified style in document..34** Penampang melintang jalan rel pada lengkung jalur ganda

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)

Tabel **Error! No text of specified style in document..17** Penampang melintang jalan rel

Kelas Jalan Rel	$V_{\max}$ (km/jam)	$d_1$ (cm)	$b$ (cm)	$c$ (cm)	$k_1$ (cm)	$d_2$ (cm)	$e$ (cm)	$k_2$ (cm)	$a$ (cm)
1 <sup>sd</sup>	120	30	150	235	265-315	15-50	25	375	185-237
2 <sup>nd</sup>	110	30	150	254	265-315	15-50	25	375	185-237
3 <sup>rd</sup>	100	30	140	244	240-270	15-50	22	325	170-200
4 <sup>th</sup>	90	25	140	234	240-250	15-35	20	300	170-190
4 <sup>th</sup> s	80	25	135	211	240-250	15-35	20	300	170-190

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)

