

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Ketentuan Umum Jalan Rel

Terdapat dua aspek dalam perancangan jalan rel yaitu aspek teknis dan ekonomis. Aspek teknis yaitu konstruksi jalur kereta api tersebut harus aman di lalui oleh sarana perkeretaapian dengan tingkat kenyamanan tertentu selama umur konstruksinya. Dalam aspek ekonomi diharapkan agar pembangunan dan pemeliharaan konstruksi tersebut dapat diselenggarakan dengan tingkat harga yang sekecil mungkin dengan *output* yang dihasilkan kualitas terbaik dan tetap menjamin keamanan dan kenyamanan. Perancangan konstruksi jalur kereta api dipengaruhi oleh jumlah beban, kecepatan maksimum, beban gandar dan pola operasi. Atas dasar ini diadakan klasifikasi jalur kereta api sehingga perancangan dapat dibuat secara tepat guna.

#### 2.1.1. Kecepatan dan Beban Gandar

##### 2.1.1.1. Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang digunakan untuk merencanakan konstruksi jalan rel.

- Kecepatan rencana untuk perancangan struktur jalan rel

$$V_{rencana} = 1,25 \times V_{maksimum} \dots\dots\dots (2.1)$$

- Kecepatan rencana untuk perancangan peninggian

$$V_{rencana} = c \times \frac{\sum N_i \cdot V_i}{\sum N_i} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

c = 1,25

N<sub>i</sub> = Jumlah kereta api yang lewat

V<sub>i</sub> = Kecepatan Operasi

- Kecepatan rencana untuk perancangan jari-jari lengkung lingkaran dan lengkung peralihan

$$V_{rencana} = V_{maksimum} \dots\dots\dots (2.3)$$

#### **2.1.1.2. Kecepatan Maksimum**

Kecepatan maksimum adalah kecepatan tertinggi yang diinginkan untuk operasi suatu rangkaian kereta pada lintas tertentu. Jenis kecepatan ini dapat dipakai untuk mengejar kelambatan-kelambatan yang disebabkan oleh adanya gangguan-gangguan di perjalanan.

#### **2.1.1.3. Kecepatan Operasi**

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

#### **2.1.1.4. Kecepatan Komersial**

Kecepatan komersial rata-rata kereta api sebagai hasil pembagian jarak tempuh dengan waktu tempuh.

#### **2.1.1.5. Beban Gandar**

Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1435 mm pada semua kelas jalur maksimum yaitu 18 ton.

### **2.1.2. Klasifikasi Jalan Rel**

Dalam penentuan penentuan jenis komponen jalan rel seperti balas, bantalan dan penambat rel serta dimensinya didasarkan pada beberapa beban gandar, kecepatan maksimum dan daya angkut lintas. Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 mengatur klasifikasi kelas jalan rel menjadi 4 kelas sebagai berikut:

**Tabel 2.1.** Klasifikasi Jalan Rel

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (vm)			
I	> 20.10 <sup>6</sup>	160	22,5	R.60	Beton	Elastis Ganda	30	60
					60			
II	10.10 <sup>6</sup> -20.10 <sup>6</sup>	140	22,5	R.60	Beton	Elastis Ganda	30	50
					60			
III	5.10 <sup>6</sup> -10.10 <sup>6</sup>	120	22,5	R.60/ R.54	Beton	Elastis Ganda	30	40
					60			
IV	<5.10 <sup>6</sup>	100	22,5	R.60/ R.54	Beton	Elastis Ganda	30	40
					60			

Sumber: PM No. 60 Tahun 2012

### 2.1.3. Daya Angkut Lintas Jalan Rel

Daya angkut lalu lintas adalah jumlah angkutan anggapan yang melewati suatu lintas dalam jangka waktu satu tahun. Daya angkut lintas mencerminkan jenis serta jumlah beban total dan kecepatan kereta api yang melewati lintas yang bersangkutan. Daya angkut disebut daya angkut T dengan satuan ton/tahun.

$$T = 360 \times S \times TE \dots\dots\dots(2.4)$$

$$TE = T_p + K_b T_b + K_l T_l \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

TE : tonase ekivalen (ton/hari)

T<sub>p</sub> : tonase penumpang dan kereta harian

T<sub>b</sub> : tonase barang dan gerbong harian

K<sub>b</sub> : koefesien yang besarnya tergantung kepada beban gandar (1,5 untuk beban gandar kurang dari 18 ton dan 1,3 untuk beban gandar lebih dari 18 ton

K<sub>l</sub> : koefesien yang besarnya = 1,4

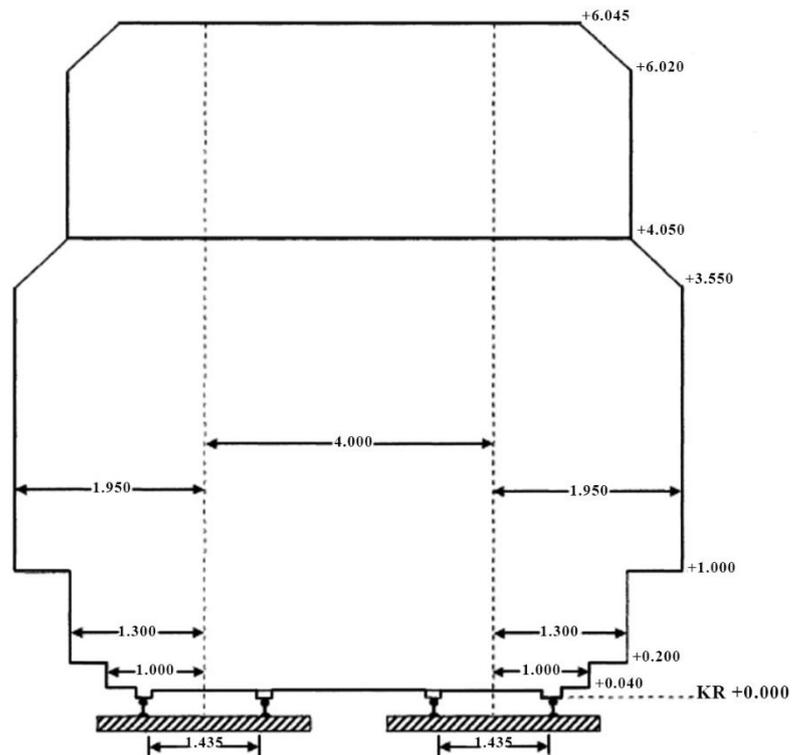
T<sub>l</sub> : tonase lokomotif harian

S : 1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang dengan kecepatan maksimum 120 km/jam dan 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang

#### 2.1.4. Ruang Bebas dan Ruang Bangun

Dalam perancangan desain jalan rel terdapat persyaratan yang menyangkut tentang alokasi ruang jalur kereta api untuk kepentingan perancangan dan pengoperasian. Untuk kepentingan operasi suatu jalur kereta api, Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 memberikan syarat bahwa suatu jalur kereta api harus memiliki pengaturan ruang yang terdiri dari ruang bebas dan ruang bangun.

Ruang bebas adalah ruang diatas sepur yang harus bebas dari semua rintangan dan segala sesuatu yang menghalangi jalannya kereta. Ruang ini diperuntukan bagi lalu lintas rangkaian kereta api. Gambar dibawah ini menunjukkan ukuran ruang bebas untuk jalur ganda pada bagian lintas yang lurus atau bagian lintas yang melengkung. Ukuran ruang bebas untuk kereta dengan elektrifikasi atau non elektrifikasi juga ditunjukkan pada **Gambar 2.1.** dibawah:

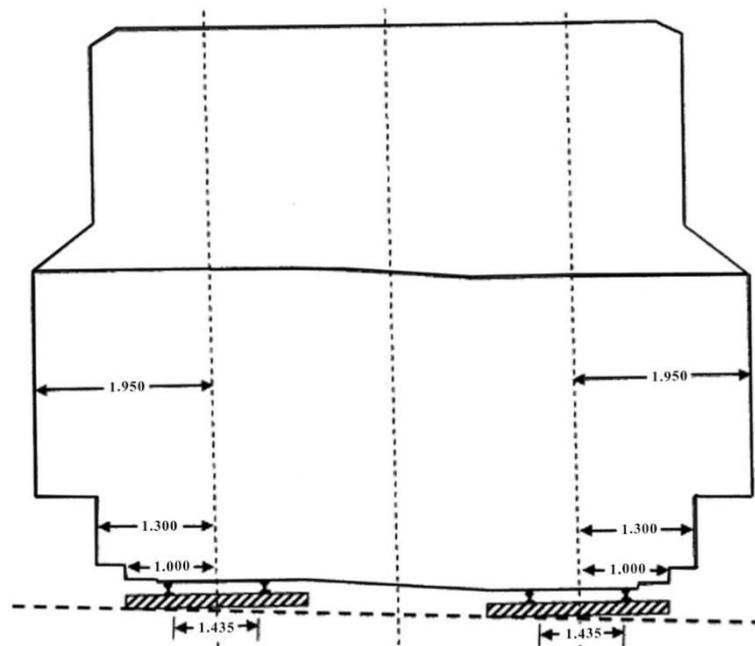


**Gambar 2.1.** Ruang bebas pada jalur lurus untuk jalur ganda

*Sumber: PM No. 60 Tahun 2012*

Keterangan:

- Batas I : Untuk jembatan dengan kecepatan sampai 60 km/jam  
Batas II : Untuk 'viaduk' dan terowongan dengan kecepatan sampai 60 km/jam dan untuk jembatan tanpa pembatasan kecepatan  
Batas III : Untuk 'viaduk' baru dan bangunan lama kecuali terowongan dan jembatan  
Batas IV : Untuk lintas Kereta Listrik



**Gambar 2.2.** Ruang bebas pada jalur lengkung untuk jalur ganda  
*Sumber: PM No. 60 Tahun 2012*

Keterangan:

- : Batas ruang bebas pada lintas lurus dan pada bagian lengkungan dengan jari-jari  $> 3000$  m  
- · - · - · - · - · : Batas ruang bebas pada lengkungan dengan jari-jari 300 sampai dengan 3000 m  
- - - - - : Batas ruang bebas pada lengkungan dengan jari-jari  $< 300$  m

Ruang bangun adalah ruang disisi sepur yang senatiasa harus bebas dari segala bangunan tetap seperti tiang semboyan, tiang listrik dan pagar. Batas ruang bangun diukur dari sumbu sepur pada tinggi 1 meter sampai 3,55 meter.

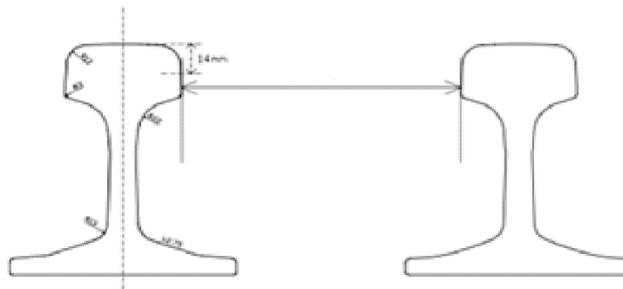
**Tabel 2.2.** Jarak Ruang Bangun

Segmen Jalur	Lebar Jalan Rel 1067 mm dan 1435 mm	
	Jalur Lurus	Jalur Lengkung R<800
Lintas Bebas	Minimal 2,35 m di kiri kanan as jalan rel	R≤ 300, minimal 2,55 m R> 300, minimal 2,45 m Dikiri kanan as jalan rel
Emplasemen	Minimal 1,95 m di kiri kanan as jalan rel	Minimal 2,35 m di kiri kanan as jalan rel
Jembatan, Terowongan	2,15 m di kiri kanan as jalan rel	2,15 m di kiri kanan as jalan rel

*Sumber: PM No. Perhubungan 60 Tahun 2012*

## 2.2. Geometri Jalan Rel

Geometri jalan rel direncanakan berdasarkan pada kecepatan rencana serta ukuran ukuran kereta yang melewatinya dengan memperhatikan faktor keamanan, kenyamanan, ekonomi dan kesertaan dengan lingkungan sekitarnya. Di Indonesia umumnya untuk seluruh kelas jalan rel lebar sepur adalah 1435 mm yang merupakan jarak terkecil antara kedua sisi kepala rel, diukur pada daerah 0-14 mm di bawah permukaan teratas kepala rel.



**Gambar 2.3.** Lebar sepur

*Sumber: Standar Teknis Kereta Api Indonesia untuk Pekerjaan Jalan Rel*

### 2.2.1. Alinyemen Horisontal

Alinyemen horisontal adalah proyeksi sumbu jalan rel pada bidang horisontal, alinyemen horisontal terdiri dari garis lurus dan lengkungan.

### 2.2.1.1. Lengkung Lingkaran

Dua bagian lurus, yang perpanjangannya saling membentuk sudut harus dihubungkan dengan lengkung yang berbentuk lingkaran, dengan atau tanpa lengkung-lengkung peralihan. Untuk berbagai kecepatan rencana, besar jari-jari minimum yang diijinkan seperti yang tercantum dalam **Tabel 2.3** . berikut:

**Tabel 2.3.** Jarak Minimum Jarak Pandang Untuk Kombinasi Kecepatan

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

*Sumber : PM Perhubungan No. 60 Tahun 2012*

### 2.2.1.2. 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, lihat **Tabel 2.3**. Panjang minimum dari lengkung peralihan ditetapkan dengan rumus berikut :

$$L_h = 0,01hv \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

- $L_h$  = panjang minimal lengkung peralihan
- $h$  = pertinggian relatif antara dua bagian yang dihubungkan (mm)
- $v$  = kecepatan rencana untuk lengkung peralihan (km/jam)

### 2.2.1.3. Lengkung S

Lengkung S terjadi bila dua lengkung dari suatu lintas yang berbeda arah lengkungnya terletak bersambungan. Antara kedua lengkung yang berbeda arah ini harus ada bagian lurus sepanjang paling sedikit 20 meter di luar lengkung peralihan.

### 2.2.1.4. Pelebaran Sepur

Perlebaran sepur direncanakan khusus agar roda kendaraan rel dapat melewati lengkung tanpa mengalami hambatan. Perlebaran sepur dicapai dengan menggeser rel dalam kearah dalam. Besar perlebaran sepur untuk berbagai jari-jari tikungan adalah seperti tercantum dalam **Tabel 2.4.** berikut ini.

**Tabel 2.4.** Pelebaran Sepur

<b>Pelebaran sepur(mm)</b>	<b>Jari-jari tikungan (meter)</b>
0	$R > 600$
5	$550 < R < 600$
10	$400 < R < 550$
15	$350 < R < 400$
20	$100 < R < 350$

*Sumber: Peraturan Dinas No. 10*

Pemasangan pelebaran sepur dilakukan mengikuti hal-hal berikut :

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

#### 2.2.1.4. Peninggian Rel

Pada lengkungan, elevasi rel luar dibuat lebih tinggi dari pada rel dalam untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang dialami oleh rangkaian kereta.

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \times \frac{v^2_{\text{rencana}}}{R} \dots\dots\dots(2.9)$$

Peninggian rel dicapai dan dihilangkan secara berangsur sepanjang lengkung peralihan. Untuk tikungan tanpa lengkung peralihan peninggian rel dicapai secara berangsur tepat di luar lengkung lingkaran sepanjang suatu panjang peralihan, panjang minimum peralihan ini dihitung dari rumus 2.9.

#### 2.2.2. Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel tersebut; alinyemen vertikal terdiri dari garis lurus, dengan atau tanpa kelandaian, dan lengkung vertikal yang berupa busur lingkaran. Besar jari-jari minimum dari lengkung vertikal bergantung pada besar kecepatan rencana seperti yang tercantum dalam **Tabel 2.5.** berikut ini.

**Tabel 2.5.** Peninggian Rel

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pas (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	43
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

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pas (km/jam)						
	120	110	100	90	80	70	60
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 No. 10

**Tabel 2.6.** Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal

Kecepatan Rencana (Km/Jam)	Jari-Jari minimum Lengkung Vertikal (Meter)
Lebih besar dari 100	8000
Sampai 100	6000

Sumber: Peraturan Dinas No. 10

Letak lengkung vertikal diusahakan tidak berimpit atau bertumpangan dengan lengkung horisontal.

### 2.2.3. Landai

#### 2.2.3.1. Pengelompokan Lintas

Berdasar pada kelandaian dari sumbu jalan rel dapat dibedakan atas 4 (empat) kelompok seperti yang tercantum dalam **Tabel 2.7**. Untuk emplasemen kelandaianya adalah 0 sampai 1,5 ‰.

**Tabel 2.7.** Pengelompokan Lintas Berdasarkan Pada Kelandaian

<b>Kelompok</b>	<b>Kelandaian</b>
Emplasemen	0 sampai 1,5‰
Lintas datar	0 sampai 10 ‰
Lintas pegunungan	10 ‰ sampai 40 ‰
Lintas dengan rel gigi	40 ‰ sampai 80 ‰

*Sumber: Peraturan Dinas No. 10*

#### 2.2.3.2 Landai Penentu

Landai penentu adalah suatu kelandaian (pendakian) yang terbesar yang ada pada suatu lintas lurus. Besar landai penentu terutama berpengaruh pada kombinasi daya tarik lokomotif dan rangkaian yang dioperasikan. Untuk masing-masing kelas jalan rel, besar landai penentu adalah seperti yang tercantum dalam **Tabel 2.8**. berikut ini.

**Tabel 2.8.** Landai Penentu Maksimum

<b>Kelas jalan rel</b>	<b>Landai penentu maksimum</b>
1	10‰
2	10‰
3	20‰
4	25‰
5	25‰

*Sumber: Peraturan Dinas No. 10*

#### 2.2.3.3 Landai Curam

Dalam keadaan yang memaksa kelandaian (pendakian) dari lintas lurus dapat melebihi landai penentu. Kelandaian ini disebut landai curam, panjang maksimum landai curam dapat ditentukan melalui rumus pendekatan sebagai berikut :

$$l = \frac{V_a^2 - V_b^2}{2g(S_k - S_m)} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

- $l$  = Panjang minimum landai curam (m)
- $V_a$  = Kecepatan minimum yang diijinkan dikaki landai curam (m/detik)
- $V_b$  = Kecepatan minimum dipuncak landai curam (m/detik)  $V_b \geq \frac{1}{2} V_a$
- $g$  = Percepatan gravitasi
- $S_k$  = Besar landai curam ( ‰)
- $S_m$  = Besar landai penentu (‰)

### 2.3. Susunan Jalan Rel

#### 2.3.1. Rel

Jenis rel yang dipakai dalam pembangunan Jalan rel Bakauheni- Sidomulyo ini adalah jenis baja karbon tinggi tipe UIC-54 dengan berat minimal tidak kurang dari 54 kg/m. Kuat tarik minimum rel adalah 80 kg/mm<sup>2</sup> dengan perpanjangan minimum 10%. Menurut panjangnya dibedakan tiga jenis rel, yaitu :

1. Rel standar adalah rel yang panjangnya 25 meter.
2. Rel pendek adalah rel yang panjangnya maksimal 100 m.
3. Rel panjang adalah rel yang dibuat dari beberapa rel pendek yang dihubungkan dengan las di lapangan dan panjangnya bervariasi sesuai kondisi di lapangan.

#### 2.3.3. Penambat Rel

Penambat rel adalah suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan sedemikian rupa sehingga kedudukan rel tetap, kokoh dan tidak bergeser. Jenis penambat yang digunakan adalah penambat kaku dan penambat elastik. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan jenis penambat, yaitu:

1. Pengalaman pemakaian
2. Besarnya gaya jepit
3. Besarnya nilai rangkai
4. Kemudahan perawatan

5. Pemakaian kembali, jika rel diganti dimensinya
6. Umur penambat
7. Harga penambat

Selain itu, ada beberapa syarat-syarat teknis dari penambat, yaitu:

1. Daya penjepit penambat elastik harus cukup kuat untuk menjamin bahwa daya tahan merangkak bantalan lebih besar dari daya tahan merangkak bantalan pada stabilitas dasar balas.
2. Daya cepit penambat cukup selama beberapa tahun, meskipun pemasangan alat penjepitnya tidak dapat dihindarkan terjadi sedikit kelonggaran pada angker di bantalan.
3. Frekuensi getaran alami dari penambat pada dasarnya harus lebih besar dari pada frekuensi getaran alami rel, agar supaya dapat mencegah setiap kehilangan kontak antara penambat dengan rel selama lalu lintas melalui jalan rel.
4. Bahan material penambat harus mempunyai kualitas yang baik agar supaya dapat mempertahankan kekenyalan penambat dalam jangka panjang setelah waktu pemasangan dan pembongkaran.
5. Rel dan pengencangan penambat sebaiknya dilakukan dengan cepat, baik secara mekanik yang sederhana atau secara manual.
6. Penyetelan penambat sebaiknya dilakukan dengan cepat dan mudah serta dapat dilakukan oleh bukan tenaga ahli khusus.
7. Penambat cukup mampu menjamin lebar sepur rata dan mudah untuk mengontrol lebar sepur tersebut dengan tepat tanpa pembongkaran.
8. Penambat cukup mampu dan kuat sebagai penggabungan susunan isolasi listrik dan mudah diganti bila terjadi kerusakan.

Penambat rel ada dua jenis, yakni jenis penambat kaku dan jenis penambat elastis. Jenis penambat kaku biasanya terdiri dari paku rel, mur, baut, atau menggunakan tarpon (*tirefond*) yang dipasang menggunakan pelat landas. Umumnya penambat kaku ini digunakan pada jalur kereta api tua, baik yang masih aktif maupun tidak aktif. Karakteristik dari penambat kaku, selalu dipasang pada bantalan kayu atau bantalan baja. Penambat kaku kini sudah tidak layak digunakan untuk semua rel

kereta api, khususnya dengan beban lalu lintas yang tinggi. Jenis penambat elastis diciptakan untuk meredam getaran dengan frekuensi tinggi pada rel yang diakibatkan oleh kereta api ketika bergerak di atasnya. Berikut akan dijelaskan beberapa jenis penambat.

#### 1. Penambat Pandrol Klip

Disebut juga sebagai e klip karena bentuknya seperti huruf e kecil dan berbentuk seperti klip kertas sehingga disebut sebagai klip. Digunakan di Indonesia sejak penggunaan bantalan rel beton. Merupakan penambat yang pertama sekali dikembangkan oleh Pandrol sehingga disebut juga sebagai *Pandroll Clip*. Salah satu kelemahan dari sistem ini mudah untuk dicuri, cukup dengan menggunakan palu sudah bisa mencabut klip ini, untuk menghindari permasalahan ini dipasang suatu anti vandalisme. Beberapa keunggulan dari Penambat e adalah:

- Komponen sedikit dan sederhana
- Elastis sehingga tetap mencengkeram rel walaupun bergetar
- Tahan lama
- Tingkat keselamatan dan keamanan tinggi
- Bisa digunakan pada berbagai bantalan maupun trak tanpa balast
- Bisa digunakan di wesel atau persilangan
- Dapat dilengkapi dengan mekanisme anti *vandal*, untuk menghindari pencurian ataupun pencopotan oleh orang-orang yang tidak bertanggung jawab
- Dapat dengan mudah diterapkan di segala bentuk bantalan
- Bebas perawatan
- Penggunaan mudah seperti pada waktu pergantian rel

#### 2. Penambat tipe F

Penambat rel Tipe F bila dilihat sekilas tampak sederhana dan bentuknya mirip dengan Penambat Klip, namun komponen penambatnya relatif banyak sehingga membutuhkan ketelitian dalam pemasangan dan pemeliharaan. Kuat jepit yang dihasilkan dapat mencapai 500 kgf, dan penambat ini dianggap tidak cepat longgar karena mampu meredam getaran. Penambat ini banyak digunakan di Jepang.

### 3. Penambat KA Clip

Dikembangkan oleh PT Kereta Api Indonesia, yang mudah dipasang ataupun dibongkar dengan alat yang diciptakan khusus untuk itu. Penambat ini merupakan pengembangan dari *F Type* dan dibuat oleh PT. Pindad. Beberapa keunggulan penambat KA *clip* adalah:

- Komponen sedikit dan sederhana
- Pemasangan mudah
- Efektif untuk penggunaan kembali bila penggantian rel
- Hampir tidak membutuhkan perawatan
- Gaya jepit 750 sampai dengan 1300 Kgf (sesuai dengan standart : SNI 11-3677-1995)
- Dapat mereda getaran karena klip elastis
- Dapat menahan beban longitudinal and lateral
- Dapat menahan beban dari *axle load*
- Mengunci sendiri (anti vandal)
- Dapat digunakan pada track lurus, lengkung, persilangan maupun sambungan
- Dapat digunakan pada *bermacam-macam type* rel
- Dilengkapi dengan insulator listrik untuk melindungi system sinyal & pelacakan.
- Dapat digunakan untuk upgrading rel tanpa mengganti bantalan

### 4. Penambat Kupu-Kupu

Merupakan penambat yang disebut juga sebagai *fast clip*, merupakan perkembangan dari *e-clip* berbentuk seperti kupu-kupu yang waktu pemasangan cepat, mudah dirawat, dan harga murah. Penambat seperti ini belum digunakan di Indonesia.

### 5. Penambat DE klip

Merupakan penambat elastis yang dikembangkan di Belanda dan di Indonesia dibuat juga oleh PT Pindad dan digunakan secara luas pada jaringan jalan rel, khususnya di wilayah pulau Jawa. Beberapa keunggulan dari DE klip adalah:

- Komponen sedikit dan sederhana
- Mudah saat pemasangan dan penggantian di *track/lintas*
- Sangat handal dapat digunakan kembali pada penggantian Rel

- Hampir tidak membutuhkan perawatan
- Gaya jepit antara 750 - 1300 Kgf (sesuai SNI 11-3677-1995)
- Mudah dipasang pada berbagai jenis bantalan dan ukuran rel
- Dapat digunakan untuk *upgrading* rel tanpa mengganti bantalan
- Tidak mudah dirusak dan tidak memerlukan perawatan khusus
- Dapat digunakan pada jalur lurus, lengkung, persilangan maupun sambungan
- Dilengkapi dengan insulator listrik untuk melindungi sistem sinyal & pelacakan
- Ketahanan tinggi
- Resistensi dari *ballast section* memberikan stabilitas penuh terhadap rel
- Mampu mengunci sendiri

#### 6. Penambat Paku Ulir

Merupakan penambat yang digunakan pada bantalan kayu, yang berupa paku ulir yang disekrup di atas pelat baja kedalam bantalan kayu sehingga mengikat rel ke bantalan.

Alat penambat yang digunakan yaitu jenis penambat elastis ganda (*pandrol*), karena tipe ini mempunyai daya jepit yang besar untuk menahan gaya merambat dari rel (*creep forces*) akibat pemuaian rel dan tidak memerlukan perawatan setelah pemasangan.

#### 2.3.4. Bantalan

Bantalan berfungsi meneruskan beban kereta api dan berat konstruksi jalan rel ke balas, menahan lebar sepur dan stabilitas ke arah luar jalan rel. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja ataupun beton. Pemilihan didasarkan pada kelas yang sesuai dengan klasifikasi jalan rel Indonesia. Baik bantalan beton, baja maupun kayu pada jalan lurus jumlah bantalan yang dipergunakan adalah 1.667 buah tiap kilometer panjang. Pada lengkungan, jarak bantalan diambil sebesar 60 cm diukur pada rel luar. Bantalan harus diuji kekuatannya dengan pengujian uji beban statis, uji beban dinamis dan uji cabut. Dalam perancangan jalan rel ini akan digunakan 2 jenis bantalan yaitu bantalan kayu dan bantalan beton. Bantalan kayu digunakan pada konstruksi jembatan baja. Jenis kayu yang digunakan adalah kayu kulim,

bangkirai, giam dan merbabu. Ukuran bantalan kayu ini adalah 200x220x180 mm. Sedangkan bantalan beton digunakan di atas balas di sepanjang jalan rel. Mutu beton yang digunakan untuk bantalan ini adalah mutu K-500.

### **2.3.5. Balas**

Lapisan balas pada dasarnya adalah terusan dari lapisan tanah dasar, dan terletak di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan yang terbesar akibat lalu lintas kereta pada jalan rel, oleh karena itu material pembentuknya harus sangat terpilih.

Fungsi utama balas adalah :

1. meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar,
2. mengokohkan kedudukan bantalan,
3. meluruskan air sehingga tidak terjadi penggenangan air di sekitar bantalan rel.

Untuk menghemat biaya pembuatan jalan rel maka lapisan balas dibagi menjadi dua, yaitu lapisan balas atas dengan material pembentuk yang sangat baik dan lapisan alas bawah dengan material pembentuk yang tidak sebaik material pembentuk lapisan balas atas. Lapisan balas atas terdiri dari batu pecah yang keras, dengan bersudut tajam (*angular*) dengan salah satu ukurannya antara 2-6 cm. Lapisan ini harus dapat meneruskan air dengan baik. Lapisan balas bawah terdiri dari kerikil halus, kerikil sedang atau pasir kasar. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan penyaring (*filter*) antara tanah dasar dan lapisan balas atas dan harus dapat mengalirkan air dengan baik. Balas direncanakan dari batu pecah (*crushed rock*) yang keras dan bersudut tajam. Ketebalan balas dibawah bantalan direncanakan minimum 30 cm dan lebar bahu balas disamping bantalan 50 cm. Secara menyeluruh material pembentuk balas harus memenuhi persyaratan :

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
3. Porositas maksimum 3%
4. Kuat tekan rata-rata maksimum 1.000 kg/cm<sup>2</sup>
5. *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 *Test Los Angeles* tidak lebih dari 25%

### **2.3.6. Perancangan Tubuh Jalan Rel**

Tubuh jalan rel merupakan lapisan tanah, baik dalam keadaan asli maupun dalam bentuk diperbaiki ataupun dalam bentuk buatan yang memikul beban yang dikerjakan oleh lapisan balas atas dan balas bawah. Secara umum jalan rel bisa berada di dataran, perbukitan atau pegunungan. Tubuh jalan biasa berada di daerah galian atau timbunan, bisa menumpu pada endapan tanah atau endapan batuan (*rock*). Tubuh jalan pada timbunan terdiri dari tanah dasar (*subgrade*). Tanah timbunan asli, sedangkan badan jalan pada galian terdiri dari tanah dasar (*subgrade*) dari tanah asli. Pada umumnya jalan rel akan melintasi suatu daerah yang sangat panjang dimana keadaan tanah dan formasi geologisnya bisa sangat bervariasi. Oleh karena itu, penelaah geologi pada penyelidikan tanah yang terperinci sangat diperlukan untuk perancangan geometrik dan tubuh jalan. Selain faktor geoteknik, harus juga ditelaah faktor hidrologinya. Hal ini penting, tidak hanya untuk kebaikan tubuh jalan itu sendiri, melainkan juga bagi daerahdaerah di kedua sisi tubuh jalan, terutama bertalian dengan kemungkinan terjadinya penggenangan akibat dibangunnya jalan rel. Perancangan tanah dasar dan tubuh jalan selalu dikaitkan dengan perancangan balas.

### **2.4. Drainase**

Sistem drainase, yaitu sistem pengaliran pembuangan air di suatu daerah jalan rel agar tidak sampai terjadi penggenangan. Sistem drainase berfungsi :

- a. Mengurangi pengaruh air yang dapat merubah konsistensi tanah sehingga tubuh jalan rel selalu dalam kondisi *firm* (mantap, keras dan padat). Akibatnya pembentukan kantong-kantong balas tidak terjadi.
- b. Tidak ada genangan air pada jalan rel (baik mengenai daerah balas maupun tubuh jalan), di mana ini akan menyebabkan terjadinya pembuangan lempung dan gaya (efek) pompa disaat kereta api lewat yang bisa makin memperlemah kestabilan dan kekuatan jalan rel.

- c. Perjalanan kereta api tidak terganggu. Perancangan drainase harus dikonsultasikan secara seksama ke staf perancangan jalan K.A.

Ada 3 (tiga) macam drainase, yaitu:

1. Drainase permukaan (*Surface Drainage*)
2. Drainase bawah tanah (*Sub- Drainage*)
3. Drainase lereng (*Drainage of Slope*)

Diperlukan tidaknya salah satu atau semua dari ketiga macam drainase tersebut harus dianalisa dengan seksama.

#### **2.4.1. Drainase Permukaan**

Perlu atau tidaknya drainase permukaan bergantung pada topografi dari daerah yang diperhatikan. Drainase permukaan terdiri dari dua macam yaitu drainase memanjang (*side-ditch*) dan drainase melintang (*cross drainage*). Pembuangan air ditentukan sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu pihak luar PT. KAI. Data yang diperlukan untuk perancangan drainase permukaan yaitu:

1. Data curah hujan dalam jam, harian maupun tahunan.
2. Keadaan permukaan tanah (topografi) dan tata guna (*landuse*) setempat.
3. Jenis tanah setempat.

Drainase memanjang bisa berupa saluran terbuka atau saluran tertutup, dengan bentuk penampang trapesium, lingkaran atau segitiga terbalik. Sedangkan drainase melintang berupa gorong-gorong (*culvert*) tunggal atau banyak. Aliran airnya bisa berupa aliran terbuka atau aliran tertutup / penuh. Kemiringan saluran tanah harus direncanakan berdasarkan keadaan lapangan dan kecepatan aliran sehingga saluran tetap stabil. Kecepatan aliran pembuangan air (V) tidak boleh terlalu besar untuk mencegah erosi, dan juga tidak boleh terlalu lambat untuk mencegah terjadinya pengendapan secara cepat. Kecepatan aliran juga bergantung pada bahan pembentuk saluran, **Tabel 2.9.** dibawah dapat digunakan sebagai pedoman analisis.

Ukuran penampang saluran harus cukup besar sehingga mampu membuang debit air hujan yang menuju padanya (*strom water runoff*). Bila dinyatakan dengan rumus, maka :

**Tabel 2.9.** Kecepatan Aliran Air Terhadap Bahan

Bahan	Kecepatan Aliran V (m/detik)
Beton	0,6 – 3,0
Aspal	0,6 – 1,5
Pemasangan batu/bata	0,6 – 1,8
Kerikil, atau lempung yang sangat kompak	0,6 – 1,0
Pasir kasar, atau tanah berkerikil atau berpasir	0,3 – 0,6
Lempung dan sedikit pasir	0,2 – 0,3
Tanah berpasir halus atau berlanau	0,1 – 0,2

*Sumber: Peraturan Dinas No. 10*

$$Q_2 > 1.2 \times Q_1 \quad (2.4) \quad Q_2 = A_2 \times V_2 \dots\dots\dots (2.11)$$

$$V_2 = \frac{1}{n} \times R_2^{\frac{2}{3}} \times i_2^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$R_2 = \frac{A_2}{P_2} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

$Q_1$  = Debit air yang dibuang ( $m^3/detik$ )

$Q_2$  = Debit air rencana saluran

$V_2$  = Kecepatan aliran rencana dalam saluran (m/detik), besarnya harus masuk dalam harga batasnya

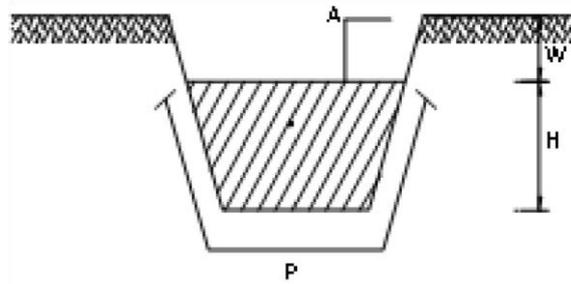
$R_2$  = Jari –jari hidrolik saluran rencana (m)

$A_2$  = Luas penampang basah saluran rencana (m)

$P_2$  = Keliling basah saluran rencana (m)

$i_2$  = Kemiringan muka aliran air dalam saluran rencana

$n$  = Koefisien kekasaran saluran rencana



**Gambar 2.4.** Ukuran Saluran (A, P dan H)

*Sumber: Peraturan Dinas No. 10*

Keterangan:

H = Tinggi air, bervariasi

W = Ambang bebas (*waking free board*)

Besaran koefisien kekasaran saluran ( $n$ ) harus ditentukan berdasarkan pada kondisi permukaan saluran.

**Tabel 2.10.** Nilai Koefisien Permukaan Saluran

Tipe drainase	Permukaan saluran	Koefisiensi	Kekasaran
Tidak diperkuat	Tanah	0,02	0,025
	Pasir dan kerikil	0,25	0,04
	Cadas	0,025	0,035
Dibuat ditempat	Plesteran semen	0,01	0,013
	Beton	0,013	0,018
	<i>Rubble Wet mortarmasonry</i>	0,015	0,03
	<i>Rubble Dry mortarmasonry</i>	0,025	0,035
Pracetak	Pipa beton betulang sentrifugal	0,01	0,014
	Pipa beton	0,012	0,016
	Pipa baja gelombang	0,016	0,025

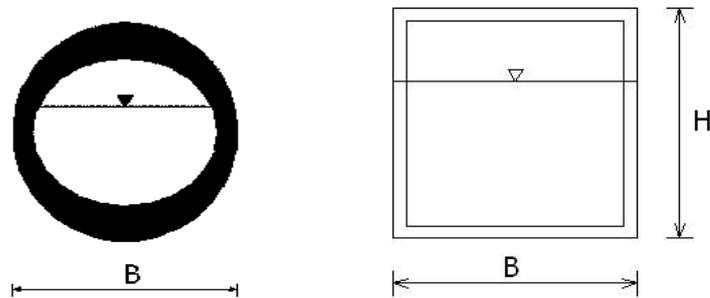
*Sumber: Peraturan Dinas No. 10*

Besarnya debit air yang harus dibuang,  $Q_1$  ( $m^3/detik$ ) tergantung pada luas daerah pengaliran air yang akan menyerang jalan rel,  $A$  ( $km^2$ ), intensitas hujan rata-rata maksimum di daerah yang dimaksud  $I$  ( $mm/jam$ ), koefisien pengaliran dari daerah yang dimaksud ( $C$ ). Dapat dinyatakan dengan rumus :

$$Q_1 = \frac{1}{3,6} \times C \times I \times A_1 \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

- $C$  = Koefisien aliran bergantung pada kondisi permukaan tanah (*terrain*) setempat dan tata gunanya.
- $A_1$  = Luas daerah pengaliran air yang akan menyerang jalan rel, atau air yang harus dibuang, besarnya ditentukan berdasarkan peta topografinya yang terbaru pengukuran luas bisa dengan alat planimeter.
- $I$  = Intensitas hujan rata-rata maksimum yang lamanya sama dengan lama waktu konsentrasi dengan masa ulang tertentu dinyatakan dalam satuan mm/jam.



**Gambar 2.5.** Penampang Gorong – gorong

Khusus untuk drainase melintang atau gorong-gorong, maka :

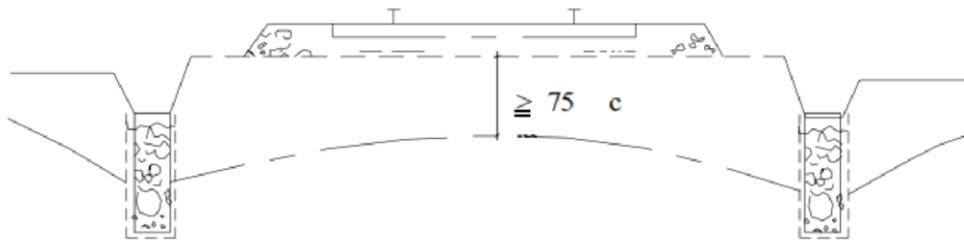
- Pada pertemuan antara drainase memanjang dengan drainase melintang harus dipasang bak penampung tanah (*sand trap*).
- Tanah di sekeliling bidang drainase melintang harus dipadatkan dengan baik dan benar, disesuaikan dengan usulan perancangan tubuh jalan.
- Aliran air didalam gorong-gorong sebaiknya berupa aliran terbuka, sehingga masalah hidrolika yang merugikan (seperti aliran jadi terhambat, atau timbul kavitasi) tidak terjadi.
- Ukuran penampang minimal berdiameter atau beralas 60 cm, agar memudahkan pemeliharaan/pembersihan endapan.

- Tidak boleh ada kebocoran air yang merembes melalui sambungan, karena air bocoran dapat melemahkan tubuh jalan (*subgrade*) dibawah saluran yang dapat membahayakan jalan rel.

#### **2.4.2. Drainase bawah tanah (*sub-drainage*)**

Drainase bawah tanah lebih dimaksudkan untuk menjaga agar elevasi muka air tanah tidak akan mendekati permukaan tanah tubuh jalan yang harus dilindungi, sehingga konsistensi dan kepadatan tubuh jalan dibawah balas kondisinya tetap baik. Elevasi muka air tanah dapat naik ke permukaan tanah tubuh jalan (yang bisa melemahkan kestabilan dan kemantapan tubuh jalan) secara kapilaritas dan rembesan (*seepage*) dari aliran air yang datang dari samping tubuh jalan (seperti daerah tebing yang ada disebelah tubuh jalan). Tubuh jalan yang dilindungi khususnya yang ada pada kondisi permukaan asli, atau daerah galian, dimana tebal tanah tubuh jalan yang harus tetap kering adalah lebih besar atau sama dengan 75 cm di bawah dasar balas. Bagi tubuh jalan yang merupakan tanah timbunan, maka konstruksi pematas bawah tanah tidak diperlukan, karena sudah ada lapisan filter. Bila pembuatan drainase semacam itu tidak dapat dilakukan, seperti dipinggir pantai, maka perlu dicarikan jalan keluar yang investasinya paling rendah.

Konstruksi drainase bawah tanah terdiri atas pipa berlubang (*perforated pipe*) yang dipasang dibawah tanah di pinggir kiri dan atau kanan tubuh jalan. Pipa berlubang ini menumpu pada lapisan pasir setebal + 10 cm, dan diatas pipa berlubang dihampar dan dipadatkan kerakal kasar dengan tebal lebih dari 15 cm, serta diatas kerakal ini dihamparkan material yang kedap air agar permukaan tida masuk ke dalam drainase dibawah tanah. Saluran pipa yang berlubang harus dilindungi oleh bahan penyaring butir halus tanah. Bahan penyaring yang dipilih disesuaikan dengan keadaan setempat.



**Gambar 2.6.** Drainase bawah tanah  
*Sumber: Peraturan Dinas No. 10*