

2 LANDASAN TEORI

2.1 Definisi Jalan Rel

Jalan rel adalah suatu kesatuan konstruksi yang terbuat dari baja, beton, atau konstruksi lainnya yang terletak di permukaan, di bawah, dan di atas tanah atau tergantung beserta pengaitnya yang mengarahkan jalannya kereta api. Jalan rel berfungsi sebagai pijakan berputarnya roda kereta api dan untuk meneruskan beban kereta api kepada struktur bantalan di bawahnya rel. (Hafizh Afif Rinanto, 2022)

2.2 Perencanaan Trase Jalan Rel

Dalam merencanakan jalan rel, menarik trase jalan adalah hal yang pertama dilakukan. Trase jalan rel atau bisa disebut sumbu jalan rel yaitu berupa garis-garis lurus yang saling berhubungan pada peta topografi suatu muka tanah yang telah diketahui titik-titik koordinatnya. Trase jalan digunakan untuk acuan membentuk lengkung jalan rel hingga struktur jalan rel. (M. Hafidz ALI, 2018)

2.2.1 Pemilihan Trase Jalan Rel

Pemilihan trase jalan rel kereta api dilakukan atas prakarsa dari Menteri, Gubernur atau/Walikota sesuai kewenangannya atau dari badan usaha. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia No.60 Tahun 2012 menyatakan trase jalan rel kereta api paling sedikit memuat :

1. Titik koordinat,
2. Lokasi stasiun,
3. Rencana kebutuhan lahan, dan
4. Skala gambar,

2.3 Geometrik Jalan Rel

Geometrik jalan rel adalah bentuk dan ukuran jalan rel, baik pada arah memanjang maupun arah melebar yang meliputi lebar jalur, kelandaian, lengkung horizontal, lengkung vertikal, peninggian rel dan pelebaran jalur. Geometrik jalan rel direncanakan pada kecepatan rencana serta ukuran kereta yang melewatinya dan dapat mencapai hasil yang efisien, aman, nyaman dan ekonomis. (Haris & dkk, n.d.)

2.3.1 Lebar Jalan Rel

Dalam Peraturan Kementrian Perhubungan No. 60 Tahun 2012 lebar jalan rel yang terdapat di Indonesia dikelompokkan menjadi dua yaitu 1067 mm dan 1435 mm.

a. Kelas Jalan Rel Lebar 1067 mm

Tabel 2.1 Kelas Jalan Rel untuk Lebar Jalan Rel 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lalu 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 (cm)			
I	>20.10 ⁶	120	18	R.60/6.54	Beton	Elastis Ganda	30	60
					60			
II	10.10 ⁶ - 20.10 ⁶	110	18	R.54/R.50	Beton/Kayu	Elastis Ganda	30	50
					60			
III	5.10 ⁶ - 10.10 ⁶	100	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja	Elastis Ganda	30	40
					60			
IV	2,5.10 ⁶ - 5.10 ⁶	90	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja	Elastis Ganda/ Elastis Tunggal	25	40
					60			
V	<2,5.10 ⁶	80	18	R.42	Kayu/Baja	Elastis Tunggal	26	35
					60			

(Sumber : Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

b. Kelas Jalan Ler Lebar Jalan 1435 mm

Tabel 2.2 Kelas Jalan Rel untuk Lebar Jalan Rel 1435 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lalu 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 (cm)			
I	>20.10 ⁶	160	18	R.60	Beton	Elastis Ganda	30	60
					60			
II	10.10 ⁶ - 20.10 ⁶	140	18	R.60	Beton	Elastis Ganda	30	50
					60			
III	5.10 ⁶ - 10.10 ⁶	120	18	R.60/R.54	Beton	Elastis Ganda	30	40
					60			
IV	5.10 ⁶	100	18	R.60/R.54	Beton	Elastis Ganda	30	40
					60			

(Sumber : Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

2.3.2 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang digunakan untuk merencanakan konstruksi jalan rel. Kementrian Perhubungan Republik Indonesia No.60 Tahun 2012.

- a. Kecepatan Perencanaan Struktur Jalan rel

$$V_{rencana} = 1,25 \times V_{maks} \quad (2.1)$$

- b. Kecepatan Perencanaan Peninggian

$$V_{rencana} = cx \Sigma NiVi / \Sigma Ni \quad (2.2)$$

- c. Kecepatan Perencanaan Jari-jari Lengkung Peralihan

$$V_{rencana} = V_{maks} \quad (2.3)$$

2.3.3 Beban Gandar

Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 18 ton, beban gandar untuk lebar jalan rel 1435 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 22,5 ton.

2.3.4 Ruang Bebas dan Ruang Bangunan

Kementrian Perhubungan Republik Indonesia (2012) suatu jalur kereta api harus memiliki pengaturan ruang yang terdiri dari ruang bebas dan ruang bangun, ruang bebas adalah ruang di atas jalan rel yang senantiasa harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang.

Sedangkan ruang bangun adalah ruang di sisi jalan rel yang senantiasa harus bebas dari segala bangunan tetap. Batas ruang bangun diukur dari sumbu jalan rel pada tinggi satu meter sampai 3,55 meter. Jarak ruang bangun tersebut ditetapkan pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Jarak Ruang Bangun

Segmen Jalur	Lebar Jalan Rel 1067 mm dan 1435 mm	
	Jalur Lurus	Jalur Lengkung R<800
Lintas Bebas	2,35 m sampai 2,53 m di kiri kanan sumbu sepur	R<300, minimal 2,55 m R>300, minimal 2,45 m di kiri kanan sumbu sepur

Segmen Jalur	Lebar Jalan Rel 1067 mm dan 1435 mm	
	Jalur Lurus	Jalur Lengkung R<800
Emplasemen	1,95 m sampai 2,35 m di kiri kanan sumbu sepur	Minimal 2,15 m di kiri kanan sumbu sepur
Jembatan, Terowongan	2,15 m di kiri kanan sepur	2,15 m di kiri kanan sumbu sepur

(Sumber : Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

2.3.5 Lengkung Horizontal

Berdasarkan perencanaan trase yang sudah dibuat dapat ditentukan jari-jari tikungan yang menghasilkan desain geometrik yang berada di dalam koridor acuan trase. Dalam lengkung horizontal terdapat lengkung lingkaran dan lengkung peralihan. (Sari & dkk, 2021)

1. Lengkung Lingkaran.

Dua bagian lurus yang perpanjangnya saling membentuk sudut PI (*Point Intersection*) harus dihubungkan dengan lengkung yang berbentuk lingkaran, atau tanpa lengkung-lengkung peralihan. Untuk berbagai kecepatan rencana, besar jari-jari minimum yang diizinkan adalah seperti yang tercantum dalam tabel berikut. (Haris & dkk, n.d.)

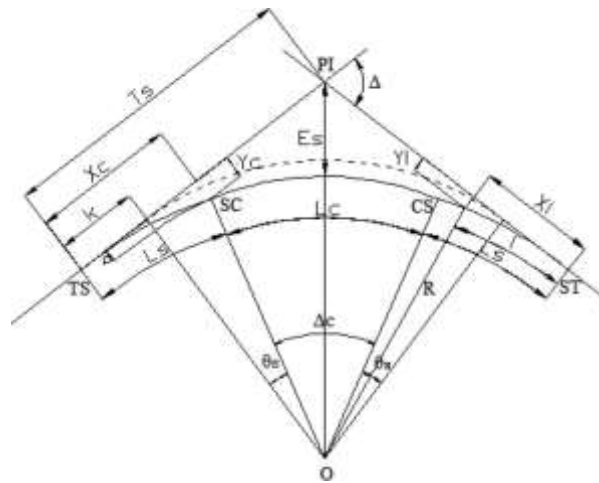
Tabel 2.4 Jari-jari Minimum yang di Izinkan

Kecepatan Rencana (Km/jam)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran tanpa lengkung peralihan (m)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran yang diizinkan 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 : Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

2. Lengkung Horizontal dengan Lengkung Peralihan (SCS)

Merupakan tikungan yang digunakan pada saat tikungan peralihan, lengkung *Spiral-Circle-Spiral* adalah tikungan yang terdiri atas satu lengkung *Circle* dan dua lengkung *Spiral*. Lengkung peralihan ini disisipkan di antar bagian lurus jalan rel dan bagian lingkaran jalan. Lengkung *Spiral* berfungsi untuk mengantisipasi perubahan alinyemen jalan dari bentuk lurus sampai bagian lengkung jalan berjari-jari tetap, lengkung pada tikungan ini merupakan jenis lengkung yang mempunyai jari-jari serta sudut tangen Δ sedang, perubahan dari tangen ke tangen *Spiral* dihubungkan oleh lengkung peralihan (L_s)



Gambar 2. 1 Lengkung Peralihan (SCS)
(sumber : Suryo Hapsoro Tri Utomo, 2009)

Rumus:

$$L_h = 0,01 h V \quad (2.4)$$

$$\theta_s = 28,648 L_s / R \quad (2.5)$$

$$\theta_s = L_s / (2 \cdot R_c) \quad (2.6)$$

$$Y_c = L_h^2 / 6 \cdot R \quad (2.7)$$

$$X_c = L_s - L_s^3 / 40 R \quad (2.8)$$

$$k = X_c - R \cdot \sin \theta_s \quad (2.9)$$

$$p = Y_c - R (1 - \cos \theta_s) \quad (2.10)$$

$$T_s = (R + p) \tan \Delta/2 - k \quad (2.11)$$

$$E_s = (R + p) \sec \Delta/2 - R \quad (2.12)$$

$$L_{tot} = L_c + 2 \cdot L_h \quad (2.13)$$

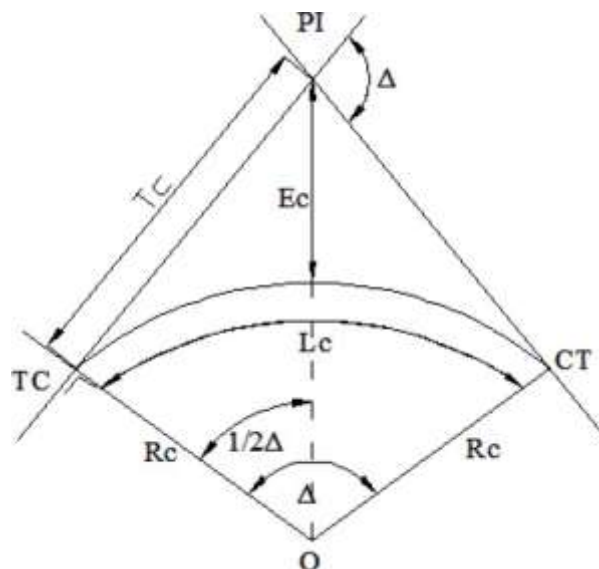
Dimana:

PI = titik perpotongan garis tangen utama

- T_s = titik perubahan dari tangen ke *Spiral*
 S_c = titik perubahan dari *Spiral* ke *Circle*
 C_s = titik perubahan dari *Circle* ke *Spiral*
 R = jari-jari lengkung lingkaran
 L_h = panjang lengkung peralihan
 T_s = jarak dari T_s ke PI
 E_s = panjang eksternal total dari PI ke tengah busur lingkaran
 L_c = panjang lengkung lingkaran
 k = jarak dari T_s ke titik proyeksi pusat lingkaran pada tangen
 p = jarak dari busur lingkaran tergeser terhadap garis tangen
 Δ = sudut pertemuan antara tangen utama
 θ_s = sudut *Spiral*

3. Lengkung Horinzontal Tanpa Lengkung Peralihan (FC)

Lengkung yang hanya terdiri dari bagian satu lingkuran saja, tikungan ini merupakan tikungan berbentuk busur lingkaran secara penuh. Tikungan FC hanya digunakan untuk jari-jari tikungan yang besar agar tidak terjadi patahan. Tipe tikungan FC jika di terapkan jari-jari yang kecil menyebabkan superelevasi bernilai besar penentuan tipe tikungan.



Gambar 2. 2 Lengkung Tanpa Peralihan

(Suryo Hapsoro Tri Utomo, 2009)

Rumus:

$$T_c = R \cdot \tan (\Delta / 2) \quad (2.14)$$

$$L_c = (\Delta^2 \cdot \pi \cdot R) / 360 \quad (2.15)$$

$$E_c = T_c \cdot \tan 1/4\Delta \quad (2.16)$$

Sta. T_c = titik awal lengkung

$$\text{Sta. } C_t = T_c + L_c$$

Dimana:

Δ = sudut luar di PI = sudut pusat lingkaran di O

T_c = panjang tangen = jarak dari T_c ke PI

L_c = panjang busur lingkaran

E_c = jarak luar

R = jari-jari lingkaran

2.3.6 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal merupakan proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel. Dalam perancangan besar jari-jari minimum lengkung vertikal bergantung pada besar kecepatan rencananya. Pengukuran lengkung vertikal dilakukan pada titik awal peralihan kelandaian. (Sari & dkk, 2021)

Dua lengkung vertikal yang berdekatan harus memiliki transisi lurus sekurang-kurangnya sepanjang 20 m. Besar jari-jari minimum lengkung vertikal bergantung pada kecepatan rencana, sebagaimana dinyatakan dalam tabel berikut.

Tabel 2.5 Jari-jari Minimum Lengkung Vertikal

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari Minimum Lengkung Vertikal (m)
Lebih besar dari 100	8000
Sampai 100	6000

(Sumber : Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

2.3.7 Kelandaian

Persyaratan kelandaian yang harus dipenuhi meliputi persyaratan landai penentu, persyaratan landai curam, dan persyaratan landai emplasemen.

1. Landai Penentu

Landai penentu adalah suatu kelandaian yang terbesar yang ada pada suatu lintas lurus (Sari & dkk, 2021). Besar landai penentu terutama berpengaruh pada kombinasi daya tarik lok dan rangkaian yang dioperasikan. Untuk masing-masing kelas jalan rel, besar landai penentu adalah seperti yang tercantum dalam tabel berikut :

Tabel 2.6 Landai Penentu Maksimum

Kelas jalan rel	Landai penentu maksimum
1	10 ‰
2	10 ‰
3	20 ‰
4	25 ‰
5	25 ‰

(Sumber : Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

2. Landai Curam

Pada kondisi khusus sering terdapat lintas dengan kelandaian yang lebih besar dari landai penentu. Kondisi khusus tersebut disebut sebagai landai curam dengan panjang landai yang harus memenuhi ketentuan yang berlaku. (Haris & dkk, n.d.) Panjang maksimal landai curam dapat ditentukan sebagai persamaan berikut.

$$\ell = (v_a^2 - v_b^2) / (2g S_k - S_m) \quad (2.17)$$

Keterangan:

ℓ = Panjang maximum landai curam (m)

V_a = Kecepatan minimum yang diizinkan 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 (‰)

Berdasarkan pada kelandaian sumbu jalan rel dapat dibedakan atas 4 (empat) kelompok seperti yang tercantum dalam tabel berikut :

Tabel 2.7 Pengelompokan Lintas Berdasarkan pada Kelandaian

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

(Sumber : Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

2.3.8 Pelebaran Sepur

Pelebaran sepur dilakukan agar roda kendaraan rel dapat melewati lengkung horizontal tanpa mengalami hambatan, dimana roda gandar muka bagian sisi terluar akan menekan rel. (Haris & dkk, n.d.)

Besar pelebaran sepur untuk berbagai jari-jari tikungan adalah seperti yang ada di tabel tersebut:

Tabel 2.8 Pelebaran Jalan Rel untuk 1067 mm

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

(Sumber : Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

2.3.9 Peninggian Jalan Rel

Pada lengkung, elevasi rel luar dibuat lebih tinggi daripada rel dalam untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang dialami oleh rangkaian kereta api saat memasuki suatu lengkung horizontal. (Haris & dkk, n.d.) Untuk menentukan nilai peninggian normal digunakan persamaan berikut :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 (V^2/R) \quad (2.6)$$

Keterangan

H_{normal} = Peninggian normal

V = Kecepatan rencana (km/jam)

R = Jari-jari lengkung horizontal (m)

Besar peninggian untuk lebar jalan rel 1067 mm, untuk besar peninggian maksimum untuk lebar jalan rel 1067 mm adalah 110 mm dan untuk lebar jalan rel 1435 mm adalah 150 mm. pada berbagai kecepatan rencana tercantum pada tabel berikut

Tabel 2.9 Peninggian Jalan Rel 1067 mm

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pas (km/hr)						
	120	110	100	90	80	70	60
100							
150							
200							100
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

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pas (km/hr)						
	120	110	100	90	80	70	60
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 : Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

Besar peninggian normal untuk lebar jalan rel 1435 mm pada berbagai kecepatan rencana tercantum pada tabel berikut :

Tabel 2.10 Peninggian Jalan Rel 1435 mm

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pada setiap kecepatan rencana										
	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60
100											
150											
200											150
250											120
300										135	100
350									150	115	85
400									130	100	75
450								150	120	90	65
500								135	105	80	60
550							150	120	95	75	55
600							135	110	90	70	50
650							125	105	80	65	45
700						145	120	95	75	60	45
750						135	110	90	70	55	40
800					150	125	105	85	65	50	40
850					140	120	100	80	65	50	35
900					130	110	90	75	60	45	35
950				145	125	105	90	70	55	45	35
1000				140	120	100	85	70	55	40	30
1100			145	125	110	90	75	60	50	40	30
1200			135	115	100	85	70	55	45	35	25
1300		145	125	110	90	80	65	55	40	35	25
1400	150	135	115	100	85	75	60	50	40	30	25
1500	140	125	110	95	80	70	55	45	35	30	20
1600	130	115	100	90	75	65	55	45	35	25	20
1700	125	115	95	85	70	60	50	40	35	25	20
1800	120	105	90	80	65	55	45	40	30	25	20

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pada setiap kecepatan rencana										
	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60
1900	110	100	85	75	65	55	45	35	30	25	20
2000	105	95	80	70	60	50	45	35	30	20	15
2500	85	75	65	55	50	40	35	30	25	20	15
3000	70	65	55	50	40	35	30	25	20	15	10
3500	60	55	50	40	35	30	25	20	15	15	10
4000	55	50	40	35	30	25	25	20	15	10	10

(Sumber : Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

2.4 Komponen Struktur Jalan Rel

Konstruksi jalan rel direncanakan berdasarkan kecepatan rencana yang sudah ada (Kementrian Perhubungan Republik indonesia 2012). Untuk perencanaan struktur jalan rel kereta api menggunakan persamaan 2.7, sedangkan untuk perencanaan peninggian jalan rel kereta api menggunakan persamaan 2.8

$$V_{rencana} = 1,25 \times V_{maks} \quad (2.18)$$

$$V_{rencana} = cx \sum NiVi / \sum Ni \quad (2.19)$$

Keterangan :

C = 1,25

Ni = Jumlah kereta api yang lewat

Vi = Kecepatan operasi

2.4.1 Rel

Rel merupakan baja *longitudinal*/ membujur sepanjang jalan kontak secara langsung dengan roda kereta api. Rel memberikan tumpuan kepada roda kereta api secara menurus. Kemampuan rel menerima beban sangat baik, karena nilai kekakuannya yang tinggi. Jenis rel di Indonesia merupakan rel tahan aus (*wear resisting rails*), yang dalam klasifikasi UIC disingkat WR tipe A. Penggunaan di Indonesia kemudian dimodifikasi sehingga memenuhi syarat komponen sesuai PM Nomor 60 Tahun 2012. Penamaan tipe rel di Indonesia disesuaikan dengan berat dalam kilogram untuk setiap 1 meter panjangnya.

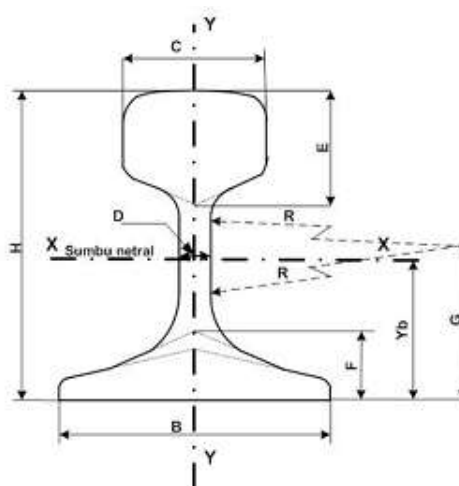
Masing-masing profil tipe rel memiliki nilai momen inersia, dimensi jarak terhadap garis netral, lebar, dan tinggi yang berbeda. Hal tersebut untuk memudahkan keperluan pemilihan profil yang cocok dalam penetapan struktur yang tepat.

Rel harus memenuhi persyaratan minimum perpanjangan (*elongation*) 10%, kekuatan tarik (*tensile strength*) minimum 1175 N/mm², dan kekerasan kepala rel tidak boleh kurang dari 320 BHN. Penampang rel harus memenuhi ketentuan dimensi rel seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.11 Ketentuan Dimensi Penampang Rel

Besaran Rel	Tipe Rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
H (mm)	138	153	159	172
B (mm)	110	127	140	150
C (mm)	68,5	65	70	74,3
D (mm)	13,5	15	16	16,5
E (mm)	40,5	49	49,4	51
F (mm)	23,5	30	30,2	31,5
G (mm)	72	76	74,79	80,95
R (mm)	320	500	508	120
A (mm)	54,26	64,2	69,34	76,86
W (mm)	42,59	50,4	54,43	60,34
I _x (CM ⁴)	1.369	1.960	2.346	3.055
Y _b (mm)	68,5	71,6	76,2	80,95

(Sumber : Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)



Gambar 2.3 Karakteristik Penampang Rel

2.4.1.1 Tegangan Pada Rel

Beban kereta api merupakan beban lalu lantus yang akan diterima rel selama masa layanan, pembebanan pada jalan rel berguna untuk mengurangi resiko kerusakan pada jalan rel yang disebabkan respon jalan rel akibat beban yang terjadi. Perhitungan beban dan gaya ini perlu dipahami secara benar untuk dapat merencanakan dimensi, desain jalan rel, bantalan, dan ketebalan balas. Oleh karena itu, diperlukan transformasi gaya statik ke gaya dinamik untuk merencanakan beban yang lebih realistis. Persamaan TALBOT merupakan transformasi gaya berupa pengkali faktor dinamis sebagai berikut:

$$P_d = P_s [1 + 0,01(v/1,609) - 5] \quad (2.20)$$

Keterangan :

P_d = Beban dinamis roda

P_s = Beban roda statis

v = Kecepatan rencana

2.4.2 Alat Penambat

Alat penambat rel adalah pengikat rel ke bantalan rel kereta api. 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 (Hadi, n.d.). Alat penambat harus memenuhi persyaratan berikut :

1. Alat penambat harus mampu menjaga kedudukan kedua rel agar tetap dan kokoh berada di atas bantalan
2. *Clip* harus mempunyai gaya jepit 900 – 1100 kgf.
3. Pelat landas harus mampu memikul beban yang ada dengan ukuran sesuai jenis rel yang digunakan. Pelat landas terbuat dari baja dengan komposisi kimia sebagai berikut :

Carbon : 0,15 – 0,30%

Silicon : 0,35% max

Manganese : 0,40 – 0,80%

Phospor : 0,050% max

Sulphur : 0,05%

4. Alas rel (*rail pad*) dapat terbuat dari hujau *High Density Poly Ethylene* (HPDE) dan karet (*Rubber*) atau *Poly Urethane* (PU).
5. Seluruh komponen alat penambat harus memiliki identitas produk tercetak permanen sebagai berikut :
 1. Merek dagang;
 2. Identitas pabrik pembuat;
 3. Nomor komponen (*part number*);
 4. Dua angka terakhir tahun produksi.

2.4.3 Bantalan

Bantalan dipasang sebagai landasan dimana batang rel diletakan dan ditambahkan untuk meletakan dan menambat batang rel, menjaga kelebaran trek (*track gauge*, adalah ukuran lebar trek rel. Indonesia memiliki *track gauge* 1067 mm) agar selalu konstan, dengan kata lain agar batang rel tidak meregang atau menyempit, menumpu batang rel agar tidak melengkung ke bawah saat dilewati rangkaia kereta api. (Hadi, n.d.)

Bantalan terdiri dari bantalan beton, bantalan kayu, dan bantalan besi, bantalan harus memenuhi persyaratan berikut:

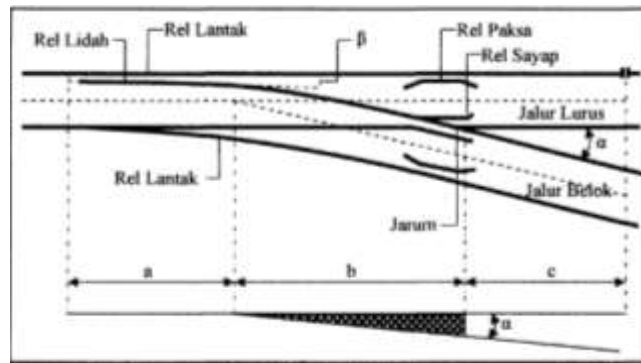
1. Bantalan beton merupakan struktur prategang:
 - a. Untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm^2 , dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm^2 (1.655 Mpa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kg m pada bagian dudukan rel dan -930 kg m pada bagian tengah bantalan.
 - b. Untuk lebar jalan rel 1435 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 600 kg/cm^2 , dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm^2 (1.655 Mpa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minium sesuai dengan desain beban gandar dan kecepatan
 - c. Dimensi bantalan beton

1. Untuk lebar jalan rel 1067 mm:
 - Panjang : 2.000 mm
 - Lebar maksimum : 260 mm
 - Tinggi maksimum : 220 mm
2. Untuk lebar jalan rel 1435 mm:
 - Panjang : 2.440 mm untuk beban gandar sampai dengan 22,5 ton;
2.740 mm untuk beban gandar di atas 22,5 ton
 - Lebar maksimum : 320 mm
 - Tinggi di bawahudukan rel : 220 mm
2. Bantalan kayu, harus memenuhi persyaratan kayu mutu A kelas 1 dengan modulus elastisitas (E) minimum 125.000 kg/cm². Harus mampu menahan momen maksimum sebesar 800 kg m, lentur absolute tidak boleh kurang dari 46 kg/cm².
3. Bantalan besi harus memiliki kandungan *Carbon Mangabese Steel Grade* 900 A, pada bagian tengah bantalan maupun pada bagian bawah rel, mampu menahan momen maksimum sebesar 650 kg m, tegangan tarik 88 – 103 kg m. *Elongation A1 > 10%*.

2.4.4 Wesel

Berdasarkan Kementrian Perhubungan Republik Indonesia No.60 Tahun 2012 Wesel merupakan konstruksi jalan rel yang paling rumit dengan beberapa persyaratan dan ketentuan pokok yang harus dipatuhi. Untuk pembuatan komponen-komponen wesel yang penting khususnya mengenai komposisi kimia dari bahannya. Wesel terdiri dari atas komponen-komponen sebagai berikut :

1. Lidah
2. Jarum beserta sayap-sayapnya
3. Rel lantak
4. Rel paksa.
5. Sistem penggerak



Gambar 2.4 Komponen Wesel

(Sumber : Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

Wesel harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Kandungan mangan (Mn) pada jarum mono blok harus berada dalam rentang (11 – 12)%.
2. Kekerasan pada lidah dan bagian lainnya sekurang-kurangnya sama dengan kekerasan rel.
3. Celah antara lidah dan rel lantak harus dari 3 mm.
4. Celah antara lidah dan rel lantak pada posisi terbuka tidak boleh kurang dari 125 mm.
5. Celah (*gap*) antara rel lantak dan rel paksa pada ujung jarum 34 mm.
6. Jarak antara jarum dan rel paksa (*check rail*) untuk lebar jalan rel 1067 mm:
 - a. Untuk Wesel rel R 54 paling kecil 1031 mm dan paling besar 1043 mm.
 - b. Untuk wesel jenis rel yang lain, disesuaikan dengan kondisi wesel.
7. Pelebaran jalan rel di bagian lengkung dalam wesel harus memenuhi peraturan radius lengkung.
8. Desain wesel harus disesuaikan dengan sistem penguncian wesel.

2.4.5 Balas dan Sub-Balas

Lapisan balas dan sub-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 dan sub-balas adalah untuk :

- Meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar.

- Mengkokohkan kedudukan bantalan.
- Meluruskan air sehingga tidak terjadi penggenangan air di sekitar bantalan rel.

a. Balas

Lapisan balas memiliki fungsi untuk meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar, memperkokoh kedudukan bantalan dan mengalirkan air (hujan) sehingga tidak terjadi genangan air disekitarnya rel dan bantalan. Balas direncanakan dari batu pecah (*crushed rock*) yang keras dan bersudut tajam dengan ukuran antara 25 - 60 mm. (Sari & dkk, 2021)

Material pembentuk balas harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Balas harus terdiri dari batu pecah (25 – 60) mm dan memiliki kapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek yang tinggi dan mudah didapatkan.
2. Material balas harus bersudut banyak dan tajam.
3. Porositas maksimum 3%.
4. Kuat tekan rata-rata maksimum 1000 kg/cm².
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 boleh lebih dari 25%.

b. Sub-balas

Sub-balas terdiri dari kerikil halus, kerikil sedang atau pasir. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan penyaring (*filter*) antara tanah dasar dan lapisan balas dan harus mengalirkan air dengan baik. (Sari & dkk, 2021)

Lapisan sub-balas harus memenuhi syarat sebagai berikut :

Tabel 2.12 Lapisan Sub-balas

Standar Saringan ASTM	Presentase Lolos (%)
2 1/2"	100
3/4"	55 – 100
No. 4	25 – 95
No. 40	5 – 35
N0. 200	0 - 10

(Sumber : Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, 2012)