

BAB II

Landasan Teori

2.1 Kondisi Tata Guna Lahan

Secara umum, wilayah yang dilalui oleh pembangunan rel kereta api jalur Cirebon – Kadipaten memiliki topografi dataran yang relatif datar dan kondisi geometri juga relatif mudah. Tata guna lahan di sepanjang trase jalur kereta api dari Cirebon – Kadipaten mencakup berbagai jenis, seperti tanah kosong, tanah bangunan yang digunakan untuk industri dan pergudangan, pemukiman warga, dan didominasi oleh lahan pertanian/persawahan. Status kepemilikan lahan juga beragam, termasuk tanah yang dimiliki secara perorangan oleh masyarakat, tanah milik badan usaha swasta yang digunakan untuk perindustrian, serta tanah milik badan usaha swasta yang digunakan untuk perumahan.

2.2 Susunan Jalan Rel

Susunan jalan rel mengacu pada susunan atau struktur fisik dari jalur rel.

2.2.1 Rel

a. Umum

Rel merupakan komponen utama dalam perencanaan dan pembangunan jalur kereta api. Terdapat tiga jenis rel yang umum digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. Rel untuk jalan (jalan rel). Rel kereta api dibagi berdasarkan beratnya menjadi dua kategori: rel berat, yang memiliki berat lebih dari 30 kg/m, dan rel ringan yang memiliki berat kurang dari 30 kg/m.
2. Rel untuk keram.
3. Rel untuk elevator.

b. Tipe dan karakteristik penampang

Klasifikasi tipe rel dalam sistem kereta api juga bisa dikelompokkan berdasarkan kelas jalan, yang terdiri dari 5 kelas. Setiap kelas jalan memiliki tipe rel yang berbeda, dengan karakteristik dan aplikasi yang bervariasi, tergantung pada kebutuhan dan persyaratan dari jalur kereta api tersebut. Pemilihan tipe rel yang sesuai sangat penting untuk memastikan keamanan, kenyamanan, dan efisiensi perjalanan. Rel

merupakan salah satu komponen utama dalam sistem kereta api. Klasifikasi tipe rel berdasarkan kelas jalan dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah.

Tabel 2.1 Tipe Rel

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 43
V	R 42

Karakteristik dari penampang jalan rel merupakan aspek yang sangat penting dalam sistem kereta api. Penampang jalan rel dikategorikan berdasarkan geometri jalan yang disesuaikan sesuai dengan tipe rel yang digunakan, seperti tercantum dalam tabel 2.2 dibawah.

Tabel 2.2 Karakteristik Penampang Rel

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R. 42	R. 50	R. 54	R. 60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	72,20	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,97	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
Yb (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
Ix (cm ⁴)	1,263	1,860	2,345	3,066
A : Luas Penampang				
W : Berat rel per meter				
Yb : Momen inersia terhadap sumbu X				
Ix : Jarak tepi bawah rel ke garis netral				

Rel berdasarkan panjangnya dapat dibedakan menjadi tiga jenis rel, yaitu:

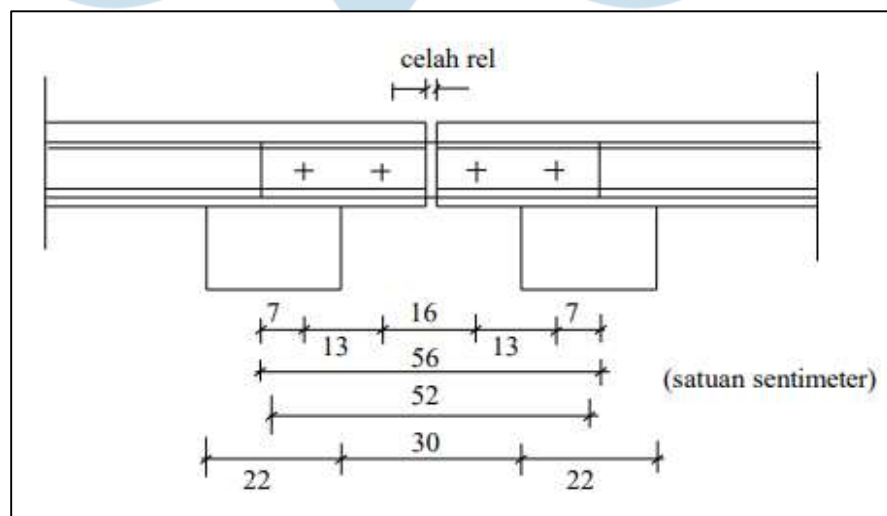
1. Rel standar merupakan rel dengan panjang 25 m.
2. Rel pendek merupakan rel dengan panjang maksimal 100 m.
3. Rel panjang merupakan rel dengan panjang tercantum minimumnya.

c. Sambungan Rel

Sambungan rel merupakan struktur yang menghubungkan dua ujung rel secara kokoh sehingga operasi kereta api tetap aman dan nyaman. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, sambungan rel yang dimaksud dalam pasal tersebut adalah yang menggunakan pelat penyambung dan baut mur. Ada 2 jenis sambungan rel berdasarkan kedudukannya terhadap bantalan:

1. Sambungan melayang

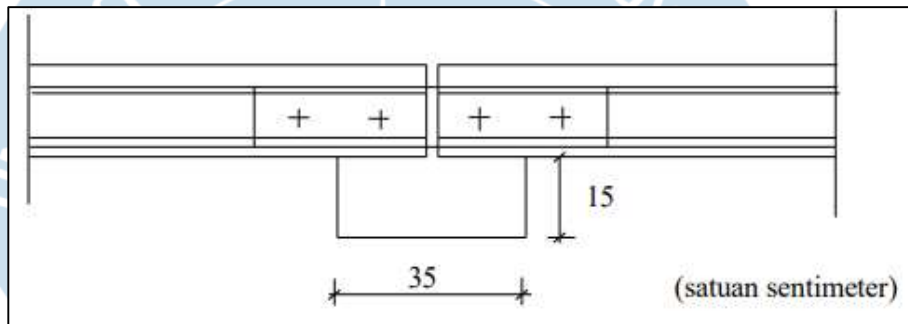
Sambungan melayang merupakan sistem di mana titik sambungan antara dua batang rel ditempatkan di antara dua bantalan, sehingga tidak mendapatkan dukungan langsung dari bantalan tersebut. Penempatan ini memungkinkan beban didistribusikan secara lebih merata ke bantalan di sekitarnya. Metode ini ideal untuk jalur rel berkecepatan tinggi karena mampu meredam getaran dan tekanan dinamis dengan baik. Meski demikian, sambungan melayang memerlukan pemasangan yang sangat presisi agar tetap kuat dan tidak menyebabkan keausan yang berlebihan. Sambungan melayang dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sambungan Melayang

2. Sambungan menumpu

Sambungan menumpu adalah metode di mana titik sambungan rel berada tepat di atas bantalan. Posisi ini memungkinkan beban kereta langsung diteruskan ke bantalan di bawahnya. Sambungan menumpu umumnya diterapkan pada jalur dengan kecepatan rendah hingga sedang, atau pada rel dengan bobot lebih ringan. Metode ini memberikan stabilitas tambahan pada sambungan karena ada dukungan langsung dari bantalan, tetapi kurang efektif dalam meredam getaran, terutama pada kecepatan tinggi. Selain itu, ujung rel pada sambungan ini lebih rentan mengalami keausan apabila bantalan tidak dipasang dengan baik. Sambungan menumpu dapat dilihat pada gambar 2.2.

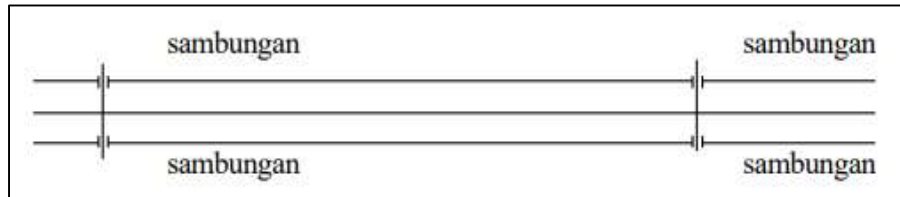


Gambar 2.2 Sambungan Menumpu

Penempatan sambungan dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain penempatan secara siku dan berselang-seling, di mana kedua sambungan berada pada satu garis tegak lurus terhadap sumbu sepur. Penempatan secara berselang - seling, di mana kedua sambungan tidak berada pada satu garis tegak lurus terhadap sambungan rel di jembatan.

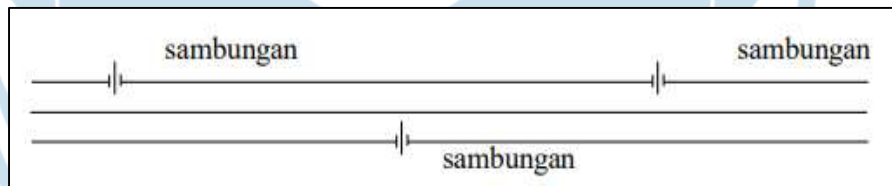
Sambungan siku adalah teknik penyambungan di mana ujung rel pada kedua sisi (kiri dan kanan) diposisikan sejajar atau berbeda pada satu garis lurus secara vertikal. Dengan kata lain, sambungan di kedua sisi rel ditempatkan di titik yang sama. Metode ini cukup mudah dipasang dan memungkinkan penyesuaian panjang rel dilakukan dengan lebih praktis. Namun, kelemahannya terletak pada distribusi beban yang kurang merata. Oleh karena itu, sambungan siku lebih cocok untuk jalur dengan kecepatan rendah atau untuk rel yang digunakan pada beban ringan, seperti jalur

kereta barang atau jalur industri. Sambungan siku dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sambungan siku

Sambungan berselang – seling adalah metode di mana ujung-ujung rel pada sisi kiri dan kanan tidak sejajar, melainkan ditempatkan secara bergantian dengan jarak tertentu. Dengan susunan ini, sambungan di satu sisi akan berada di antara dua sambungan di sisi lainnya. Teknik ini memungkinkan beban kereta didistribusikan lebih merata, sehingga saat roda melintasi sambungan di satu sisi, sisi lainnya tetap stabil. Sambungan berselang-seling sering digunakan pada jalur kereta berkecepatan tinggi atau jalur utama yang memerlukan stabilitas dan kenyamanan lebih baik bagi penumpang. Sambungan berselang-seling dapat dilihat pada gambar 2.4.

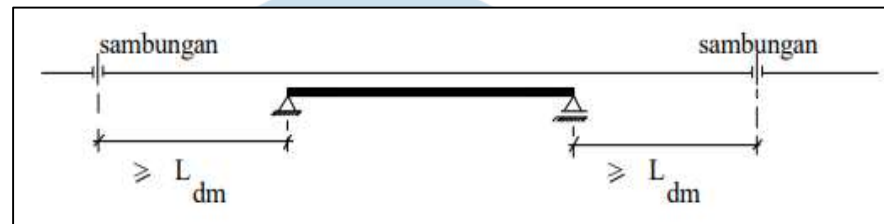


Gambar 2.4 Sambungan berselang-seling

Dalam daerah bentang jembatan, sebaiknya tidak ada sambungan rel. Rel yang terpasang pada bantalan harus bisa bergerak mengikuti getaran pemikulannya. Getaran pemikul adalah bagian dari konstruksi jembatan di mana bantalan menopang secara langsung. Jika menggunakan rel standar atau rel pendek, sambungan rel harus ditempatkan di luar pangkal jembatan. Jika menggunakan rel panjang, jarak antara ujung jembatan dengan daerah muai rel itu seperti pada tabel 2.3 dan gambar 2.5 dibawah.

Tabel 2.3 Panjang daerah muai

Jenis bantalan	Tipe Rel			
	R. 42	R. 50	R. 54	R. 60
Bantalan Kayu	165 m	190 m	200 m	225 m
Bantalan Beton	100 m	115 m	125 m	140 m



Gambar 2.5 Penempatan sambungan rel panjang yang melintasi jembatan.

L_{dm} = Panjang daerah muai rel.

2.2.2 Wesel

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, fungsi utama dari wesel adalah untuk memungkinkan pengalihan kereta dari satu jalur rel ke jalur rel lainnya. Terdapat berbagai jenis wesel dalam sistem rel, termasuk wesel biasa, wesel tiga jalan, dan wesel Inggris. Komponen-komponen wesel meliputi lidah, jarum beserta sayapnya, rel lantak, rel paksa, dan sistem penggerak. Nomor dan kecepatan izin pada wesel dapat dilihat dalam tabel 2.4.

1. Nomor wesel, yang dilambangkan dengan n , mengindikasikan sudut simpang tangen, yaitu $tg = 1 : n$.
2. Kecepatan izin pada wesel.

Tabel 2.4 Nomor wesel beserta kecepatan izinnnya

tg	(1:8)	(1:10)	(1:12)	(1:14)	(1:16)	(1:20)
No. Wesel	W 8	W 10	W 12	W 14	W 16	W 20
Kecepatan Ijin (km/j)	25,00	35,00	45,00	50,00	60,00	70,00

2.2.3 Penambatan Rel

Dalam Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012, penambat rel merupakan suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan dengan sedemikian rupa, hingga posisi rel tetap, tidak bergeser, dan kokoh. Penambat elastik dan penambat kaku adalah jenis penambat yang digunakan (PM 60, 2012). Penambat elastik terbagi menjadi dua, yaitu penambat elastik tunggal dan penambat elastik ganda. Untuk penambat ganda itu sendiri terdiri dari pelat andas, batang atau pelat jepit elastik, alas, tarpon, mur, dan baut. Sedangkan penambat kaku sendiri terdiri atas tirpon, mur, dan baut. Dalam hal ini, pelat andas tidak dibutuhkan pada bantalan beton, akan tetapi karet las (*rubber pad*) rel harus dicocokkan dengan kecepatan maksimum.

Semua kelas jalan rel tidak dapat menggunakan penambat kaku. Jalan rel kelas 4 dan kelas 5 hanya dapat menggunakan penambat elastik tunggal. Jalan rel untuk semua kelas dapat menggunakan penambat elastik ganda, tetapi tidak disarankan untuk jalan rel kelas 5. Persyaratan bahan untuk penambat harus memenuhi persyaratan bahan yang ada pada Peraturan Dinas No. 10.

2.2.4 Bantalan

Bantalan berfungsi untuk meneruskan bahan dari rel ke *ballast*, menopang lebar sepur dan stabilitas kearah luar jalan rel (Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012). Untuk pemilihan bantalan itu sendiri dapat didasari dengan kelas yang sesuai dengan klasifikasi jalan rel Indonesia. Bantalan terbagi dalam berbagai jenis bantalan, yaitu bantalan beton, bantalan kayu, dan bantalan baja. Dalam hal ini, bantalan beton juga terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu bantalan beton tunggal depan, bantalan beton pratekan blok tunggal dengan proses *posttension*, dan bantalan beton blok ganda. Jarak yang digunakan untuk bantalan adalah 1.667 buah tiap kilometer panjang. Pada lengkungan, jarak bantalan yang digunakan sebesar 60 cm diukur dari rel luar.

2.2.5 Ballast

Lapisan *ballast* pada dasarnya adalah terusan dari lapisan tanah dasar dan terletak di tempat dengan konsentrasi tegangan tertinggi karena lalu lintas kereta di jalan rel. Karena itu, material yang digunakan untuk membentuknya harus sangat dipilih. Sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, *ballast* memiliki fungsi utama yaitu:

1. Meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar
2. Memperkuat kedudukan bantalan
3. Meluruskan air sehingga tidak terjadi penggenangan air di sekitar bantalan rel

Untuk mengurangi biaya pembuatan jalan rel, lapisan *ballast* dibagi menjadi dua. Lapisan atas terbuat dari material pembentuk yang sangat baik, dan lapisan bawah terbuat dari material pembentuk yang tidak sebaik lapisan atas.

2.3 Geometri Jalan

Geometri jalan rel direncanakan berdasarkan pada kecepatan rencana serta ukuran kereta yang melewatinya dengan memperhatikan faktor keamanan, kenyamanan, ekonomi, dan keserasian dengan lingkungan sekitarnya (PM 60 Tahun 2012). Geometri jalan memiliki persyaratan yang wajib untuk dipenuhi, seperti lebar jalan rel, kelandaian, lengkung, pelebaran jalan rel, dan peninggian rel.

2.3.1 Lebar Jalan Rel

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, lebar jalan rel merupakan jarak yang terkecil dari kedua sisi kepala rel yang diukur pada 0-14 mm dibawah permukaan teratas rel. Pada perancangan jalan rel ini, lebar jalan rel yang digunakan adalah 1.067 mm. Kelas jalan rel dapat dilihat pada tabel 2.5 dibawah.

Tabel 2.5 Lebar Jalan Rel 1.067 mm

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

Tabel ini merinci spesifikasi teknis jalan rel berdasarkan lima kelas (I–V), yang ditentukan oleh kapasitas angkut dan kebutuhan operasional. Kelas I memiliki daya angkut lebih dari 20 juta ton per tahun dengan kecepatan maksimum 120 km/jam, sedangkan Kelas V memiliki kapasitas di bawah 2,5 juta ton per tahun dan kecepatan maksimum 80 km/jam. Beban maksimum gandar untuk semua kelas adalah 18 ton.

Jenis rel yang digunakan berbeda untuk setiap kelas, mulai dari R.60 pada Kelas I hingga R.42 pada Kelas V. Bantalan rel di Kelas I menggunakan beton, sementara kelas lainnya dapat menggunakan kombinasi beton, kayu, atau baja. Jarak antar bantalan seragam, yaitu 60 cm di semua kelas. Penambat yang digunakan adalah jenis elastis ganda untuk Kelas I–III, sedangkan Kelas IV dan V menggunakan elastis tunggal.

Ballast juga memiliki perbedaan, dengan ketebalan 30 cm untuk Kelas I–III dan 25 cm untuk Kelas IV–V. Lebar ballast bahu bervariasi, dari 60 cm pada Kelas I hingga 35 cm pada Kelas V. Spesifikasi ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan dan kemampuan tiap kelas jalan rel.

Penyimpangan lebar jalan rel untuk lebar 1.067 mm yang dapat diterima +2 mm dan -0 untuk jalan rel baru dan +4 mm dan -2 mm untuk jalan rel yang telah beroperasi.

2.3.2 Kelandaian

Sebuah kelandai harus memenuhi persyaratan landai penentu, landai curam, dan landai emplasemen. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, landai penentu adalah landai terbesar yang ada di lintas lurus. Landai penentu dan kelandain diklasifikasikan berdasarkan ketentuannya masing-masing. Emplasemen maksimum kelandaian adalah 1,5‰. Persyaratan landai penentu dapat dilihat pada tabel 2.6 dan tabel 2.7 dibawah.

Tabel 2.6 Landai Penentu

Kelas Jalan Rel	Landai Penentu Maksimum
1	10 ‰
2	10 ‰
3	20 ‰
4	25 ‰
5	25 ‰

Tabel diatas mengilustrasikan hubungan antara kelas jalan rel dengan batas kemiringan maksimum (landai penentu maksimum) yang diizinkan, dinyatakan dalam per-mil (‰). Setiap kelas rel memiliki tingkat kemiringan tertentu yang disesuaikan dengan fungsi dan kebutuhan operasionalnya.

- Kelas 1 dan 2: Memiliki kemiringan maksimum 10‰ dan umumnya diterapkan pada jalur utama untuk kereta berkecepatan tinggi atau dengan beban berat, karena kemiringan yang rendah menjamin kestabilan dan efisiensi.
- Kelas 3: Memungkinkan kemiringan hingga 20‰, sesuai untuk jalur dengan kecepatan menengah dan kapasitas beban yang lebih ringan.
- Kelas 4 dan 5: Dapat mencapai kemiringan maksimum 25‰ dan biasanya digunakan di jalur sekunder atau pegunungan dengan intensitas lalu lintas yang lebih rendah.

Penentuan landai maksimum ini sangat penting untuk memastikan kestabilan jalur dan efisiensi operasional kereta, dengan pertimbangan jenis jalur serta kondisi geografis lokasi rel.

Tabel 2.7 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%

Tabel diatas menunjukkan batas kelandaian yang diperbolehkan pada berbagai jenis jalur rel. Pada emplasemen, kelandaian sangat rendah (0% hingga 1,5%) untuk menjaga kestabilan kereta ketika berhenti. Lintas datar memiliki kelandaian maksimal 10%, sesuai untuk medan yang relatif datar. Lintas pegunungan memiliki kelandaian antara 10% hingga 40%, yang memerlukan lokomotif lebih kuat untuk mengatasi medan berbukit. Sementara itu, lintas dengan rel gigi dirancang untuk kemiringan ekstrem (40% hingga 80%) dengan sistem rel khusus untuk meningkatkan traksi. Tingkat kelandaian ini disesuaikan dengan kebutuhan teknis sesuai dengan kondisi medan.

2.3.3 Lengkung Vertikal

- lh : Panjang minimum lengkung peralihan (m)
h : Peninggian relatif antara dua bagian yang dihubungkan (m)
v : Kecepatan rencana untuk lengkung peralihan (km/jam)

Alinemen vertikal terdiri dari proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel yang dimaksudkan adalah:

- Garis lurus dengan atau tanpa kelandaian
- Lengkung vertikal

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, lengkung vertikal dimaksudkan untuk melakukan transisi dari kelandaian ke kelandaian berikutnya, sehingga perubahan kelandaian dapat dilakukan secara bertahap dan teratur. Selain itu, lengkung vertikal dimaksudkan untuk memberikan pandangan yang cukup, keamanan, dan keselamatan

kereta api. Proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal harus memiliki jari-jari yang paling sedikit, berdasarkan kecepatan yang direncanakan. Jari-jari minimum lengkung vertikal dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Jari-jari minimum lengkung vertikal

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

Pada perencanaan alinemen lengkung vertikal ditetapkan menggunakan rumus

$$G1 : 1000 \times \text{Grade in}$$

$$G2 : 1000 \times \text{Grade out}$$

$$R : 8000 \text{ (kecepatan rencana lebih dari 100 km/jam)}$$

$$A : [G1-G2]$$

$$X_m : \frac{R}{2} \times \left(\frac{A}{1000}\right)$$

$$Y_m : \frac{R}{8} \times \left(\frac{A}{1000}\right)^2$$

2.3.4 Lengkung Horizontal

Alinemen horizontal merupakan sudut pandang sumbu rel pada bidang horizontal, alinemen horizontal sendiri terdiri dari lengkungan dan garis lurus. Klasifikasi lengkung horizontal didasarkan dengan kecepatan rencana (km/jam). Jari-jari minimum yang diijinkan dapat dilihat pada tabel 2.9 dibawah.

Tabel 2.9 Jari-Jari Minimum yang Diijinkan

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

Lengkung peralihan adalah lengkung dengan jari-jari yang berubah. Ini digunakan untuk beralih antara bagian yang lurus atau lingkaran dan antara dua jari-jari yang berbeda.

$$V_{maks} : 120 \text{ km/jam}$$

$$V_{rencana} : 1.25 \times 120 \text{ km/jam} = 150 \text{ km/jam}$$

$$R_{min \text{ FC}} : 2370 \text{ m}$$

$R_{min} \text{ SCS} : 780 \text{ m}$

2.3.5 Pelebaran Jalan Rel

Berdasarkan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012, pelebaran jalan rel dilaksanakan agar roda kendaraan rel bisa melintasi lengkung tanpa mengalami hambatan. Pelebaran jalan rel tiap jari-jari tikungan dapat dilihat pada tabel 2.10.

Tabel 2.10 Pelebaran Jalan Rel

Jari-Jari Tikungan (m)	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

2.3.6 Peninggian Jalan Rel

Untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang dialami oleh rangkaian kereta di lengkungan, rel luar ditinggikan lebih tinggi dari rel dalam. Ini dilakukan dengan menempatkan rel dalam pada tinggi semestinya dan rel luar lebih tinggi. Peninggian jalan rel diatur berdasarkan pengelompokan seperti tabel 2.11.

Tabel 2.11 Peninggian Jalan Rel 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

2.4 Teknik Jalur Kereta Api

Berdasarkan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012, untuk lebar jalan rel 1067 mm dan 1435 mm merupakan persyaratan teknis jalur kereta api. Jalur kereta api yang dimaksud adalah prasarana kereta api yang terdiri dari rangkaian petak jalan rel yang meliputi ruang milik jalur kereta api, ruang manfaat jalur kereta api, serta ruang pengawasan jalur kereta api. Lebar jalan rel adalah jarak minimum antara kedua sisi kepala rel, yang diukur pada 0-14 mm dibawah permukaan teratas rel. Konstruksi jalan rel dibagi menjadi dua bagian, yaitu konstruksi jalan rel bagian atas dan konstruksi jalan rel bagian bawah. Toleransi pelebaran jalan rel untuk lebar jalan rel 1067 mm adalah +2 mm dan 0 untuk jalan rel baru dan untuk jalan rel yang telah dioperasikan adalah +4 mm dan -2 mm.

2.4.1 Konstruksi Badan Jalan

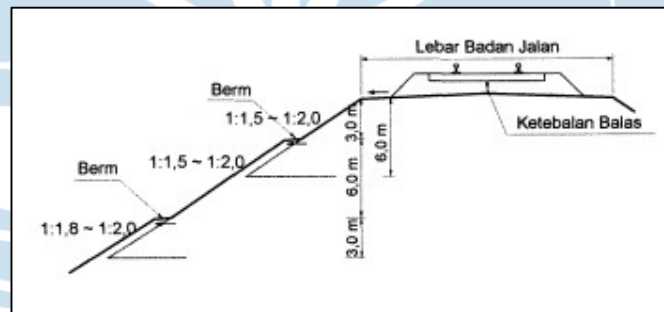
Badan jalan harus mampu memikul beban kereta api dan stabil terhadap bahaya kelongsoran. Stabilitas lereng badan jalan dinyatakan dengan faktor keamanan (FK) yang mengacu pada kekuatan geser tanah di lereng tersebut, sekurang-kurangnya sebesar 1,5 untuk beban statis dan sekurang-kurangnya 1,1 untuk beban gempa (PM 60, 2012).

2.4.2 Konstruksi Badan Jalan Pada Timbunan

Berdasarkan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012, bagian atas timbunan setebal minimum 1 m harus merupakan material yang lebih baik dari bagian bawah timbunan. Pada kaki lereng badan jalan harus ada *berm* lebar paling sedikit 1,50 m dan permukaannya memiliki kemiringan 5%. Lokasi *berm* harus mengikuti hal-hal seperti tercantum pada gambar dibawah, menunjukkan penampang standar untuk konstruksi timbunan:

1. Terletak pada batas antara timbunan atas dan timbunan bawah (pada kedalaman 3 m dari permukaan formasi).
2. Pada setiap kedalaman 6 m dari batas antara timbunan atas dan timbunan bawah. Jika tinggi timbunan kurang dari 6 m, *berm* dapat ditiadakan.

Berm merupakan bagian tepi dari badan jalur rel yang memiliki fungsi sebagai perlindungan untuk menahan erosi, mendukung kestabilan jalur rel, serta mengalirkan air hujan agar tidak merusak fondasi rel. Lokasi *berm* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Lokasi *berm*

2.5 Penghubung Timbunan Dengan Struktur

Berdasarkan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012, bagian timbunan yang mendekati struktur harus direncanakan tidak akan menyebabkan terjadinya penurunan beda (*differential settlement*). Stabilisasi dengan batu pecah, terak pecah (*crushed slag*), tanah semen dan lain-lain direkomendasikan sebagai material untuk blok yang menghampiri struktur (*approach block*).

2.6 Konstruksi Badan Jalan Pada Daerah Galian

Kemiringan tanah dasar harus miring ke arah luar sebesar 5%. Tanah dasar harus terletak minimum 0.75 m diatas elevasi m.a.t tertinggi. Bila kedalaman galian > 10 m, maka pada setiap kedalaman 6 m harus dibuat “*berm*” selebar 1.5 m.

2.7 Perbaikan Tanah Untuk Konstruksi Badan Jalan

Jika tanah tidak cukup kuat, atau *settlement* yang diperkirakan akan terjadi melebihi persyaratan, atau lereng timbunan tidak cukup stabil, maka tanah perlu perbaikan. Penurunan sisa yang diijinkan maksimum 10 cm. Perbaikan tanah dalam konstruksi jalan rel sangat vital untuk menjaga kestabilan dan kekuatan struktur jalan. Tanah yang tidak stabil dapat menurunkan kualitas dan kemampuan tanah dalam menopang jalan rel, sehingga perbaikan harus dilakukan dengan cermat. Salah satu metode yang umum digunakan adalah pemadatan tanah, yang bertujuan untuk meningkatkan kepadatan tanah, membuatnya lebih mampu menahan beban dari rel dan kereta api. Pemadatan ini dilakukan dengan alat seperti *vibrating roller* untuk mengurangi ruang pori tanah dan meningkatkan daya dukungnya.

Selain pemadatan, stabilisasi tanah juga merupakan teknik yang sering diterapkan untuk memperbaiki sifat mekanik tanah. Stabilisasi dapat dilakukan dengan menambahkan bahan kimia seperti kapur atau semen untuk meningkatkan ketahanan tanah, atau menggunakan material geosintetik, seperti geotekstil dan geomembran, yang memperkuat tanah dan mencegah pergerakan atau pemadatan yang tidak merata.

Untuk tanah yang sangat lemah, pemasangan pondasi dalam atau tiang pancang menjadi solusi yang efektif, berfungsi untuk mentransfer beban struktur jalan rel ke lapisan tanah yang lebih stabil. Selain itu, pengelolaan drainase sangat penting, karena drainase yang baik dapat mengalirkan air yang terakumulasi di sekitar rel dan mencegah tanah menjadi jenuh, yang dapat mengurangi kekuatan tanah.

Jika tanah yang ada terlalu buruk untuk diperbaiki, penggantian material tanah dengan bahan yang lebih stabil, seperti batu pecah atau agregat kasar, dapat dilakukan untuk meningkatkan daya dukung dan kestabilan rel. Beberapa kondisi juga memerlukan pengeringan tanah untuk mengurangi kadar air berlebih yang

dapat menurunkan stabilitas tanah. Pengeringan ini bisa dilakukan dengan menambah material pengering atau menggunakan alat khusus.

Terakhir, untuk tanah yang memiliki kadar air tinggi, teknik penurunan kelembaban dan konsolidasi dapat diterapkan untuk memperbaiki kepadatan dan struktur tanah. Teknik ini sering kali melibatkan pemberian beban berulang atau penggunaan sistem vakum untuk mengurangi kadar air.

Secara keseluruhan, perbaikan tanah yang tepat akan memastikan bahwa jalan rel dapat menahan beban operasional dengan aman dan efisien. Pilihan metode perbaikan tanah harus disesuaikan dengan kondisi geoteknik pada lokasi proyek untuk mencapai hasil yang optimal.

