

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Peraturan Menteri 60 Tahun 2012

Peraturan Menteri 60 Tahun 2012 mengatur tentang pedoman teknis untuk penyelenggara perkeretaapian dalam pembangunan jalur kereta api yang menjamin keamanan dan keselamatan.

Dalam penyelenggaraan perkeretaapian, hal yang pertama dilakukan yaitu perencanaan. Faktor – faktor yang mempengaruhi perancangan yaitu beban, kecepatan maksimum, beban gandar kereta, dan pola operasi kereta api.

Kecepatan dalam perkeretaapian terdiri dari kecepatan rencana, kecepatan maksimum, kecepatan operasi, dan kecepatan komersial. Besar dari kecepatan kereta api juga ditentukan dari kelas jalan rel yang akan digunakan.

Setelah merencanakan kecepatan, maka perlu melakukan perencanaan teknis. Persyaratan teknis mengatur agar jalan rel harus dapat dilalui sarana perkeretaapian dengan aman, dengan suatu tingkat kenyamanan. Perencanaan teknis dalam sistem jalan rel terdiri dari konstruksi lapisan atas dan konstruksi lapisan bawah.

2.1.1 Konstruksi Jalan Rel Bagian Atas

Konstruksi lapisan atas meliputi geometri jalan rel, dan penampang melintang. Geometri jalan rel meliputi lebar jalan rel, kelandaian, lengkung vertikal, lengkung horizontal, pelebaran jalan rel, dan peninggian jalan rel.

a. Lebar jalan rel

Bagian pertama dari geometri jalan rel yaitu lebar jalan rel. Lebar jalan rel di Indonesia ada 2 jenis yaitu 1067 mm dan 1435 mm. Penyimpangan lebar untuk rel ukuran 1067 mm yaitu +2 mm dan -0 mm untuk jalan rel baru dan +4 mm dan -2 mm

untuk jalur yang telah dioperasikan.

b. Kelandaian

Bagian kedua dari geometri jalan rel yaitu kelandaian. Syarat dari kelandaian yang perlu dipenuhi yaitu landai penentu, landai curam, dan landai emplasemen. Landai emplasemen yaitu besar kelandaian yang diperlukan di daerah emplasemen. Besar kelandaian emplasemen maksimum sebesar 1,5 per mil. Landai penentu adalah besar kelandaian yang terbesar yang ada di suatu lintas lurus. Syarat kelandaian yaitu seperti yang terdapat di tabel 2.1

Tabel 2. 1 Landai Penentu Maksimum

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

Sumber : PM 60 TAHUN 2012

c. Lengkung vertikal

Bagian ketiga dari geometri jalan rel yaitu lengkung vertikal. Lengkung vertikal adalah proyeksi dari sumbu jalan rel di bidang vertikal yang melintasi sumbu jalan rel. Pengukuran lengkung vertikal dilakukan di titik awal peralihan kelandaian suatu jalan rel. Besar jari-jari minimum lengkung vertikal dinyatakan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Besar Jari-jari Minimum Lengkung Vertikal

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

Sumber : PM 60 TAHUN 2012

Bila terdapat 2 lengkung vertikal dengan arah lengkung

yang berbeda, maka jarak transisi minimal sebesar 20 m.

Lengkung vertikal merupakan proyeksi umbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel. Sesar jari-jari minimum lengkung vertikal bergantung pada kecepatan rencana, sebagaimana dinyatakan dalam tabel 2.3

Tabel 2. 3 Jari-jari Minimum Lengkung Vertikal

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

Sumber : PM 60 TAHUN 2012

Pengukuran lengkung vertikal dilakukan pada titik awal peralihan kelandaian. Kemudian dua lengkung vertikal yang berdekatan harus memiliki transisi lurus sekurang-kurangnya sepanjang 20 m.

d. Lengkung horizontal

Lengkung horizontal merupakan proyeksi horizontal dari jalan rel. Gambaran dari lengkung horizontal yaitu lengkung peralihan. Lengkung peralihan adalah lengkung dengan jari-jari yang berubah secara beraturan. Besar jari – jari minimum lengkung peralihan dinyatakan pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Jari-jari Minimum Lengkung Horizontal

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 60 TAHUN 2012

Panjang minimum dari lengkung peralihan dapat diketahui dengan menghitung rumus:

Tabel 2. 5 Rumus Panjang Minimum Lengkung Peralihan

$L_n = 0,01 h V$
L_n = panjang minimum lengkung (m)
H = pertinggian relatif antara dua bagian yang dihubungkan (mm)
V = kecepatan rencana untuk lengkung peralihan (km/jam)

Sumber: PM 60 TAHUN 2012

e. Pelebaran jalan rel

Pelebaran jalan rel adalah pekerjaan yang dilakukan agar roda kereta api dapat melewati lengkungan tanpa mengalami hambatan. Besar pelebaran jalan rel untuk ukuran 1067 mm yaitu:

Tabel 2. 6 Pelebaran Sepur

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: PM 60 TAHUN 2012

Syarat dalam pemasangan pelebaran rel yaitu:

1. Jika ada lengkung peralihan, pengurangan dilakukan pada lengkung peralihan.
2. Jika tidak ada lengkung peralihan, pengurangan dilakukan sedapatnya dengan panjang pengurangan yang sama.

f. Peninggian jalan rel

Peninggian jalan rel yaitu tindakan membuat rel luar lebih tinggi dari rel bagian dalam agar dapat mengimbangi gaya sentrifugal pada kereta api. Besar peninggian untuk lebar jalan

rel 1067 mm yaitu dihitung dengan rumus :

$$h_{normal} = \frac{5,95 \times (V_{rencana})^2}{jari - jari}$$

Besar peninggian untuk lebar jalan rel 1067mm pada berbagai kecepatan tercantum dalam Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Peninggian Jalan Rel

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	50	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

Lanjutan Tabel 2. 7 Peninggian Jalan Rel

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pas (km/hr)						
	120	110	100	90	80	70	60
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 60 TAHUN 2012

Besar peninggian maksimum untuk lebar jalan rei 1067 mm adalah 110 mm dan untuk lebar jalan rei 1435 mm adalah 150 mm.

2.1.2 Penampang Melintang Jalan Rel

Penampang melintang adalah potongan jalur rel dengan arah tegak lurus sumbu jalan rel sehingga terlihat bagian dan ukuran jalan rel dalam arah melintang.

2.1.3 Konstruksi Jalan Rel Bagian Bawah

a. Lebar formasi badan jalan

Lebar formasi badan jalan (tidak termasuk pam tepi) adalah jarak dari sumbu jalan rei ke tepi terluar formasi badan jalan. Jarak ini harus diambil lebih besar dari yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.8 Lebar Badan Jalan

Kecepatan Maksimum Desain	L	
	Rel 1067 mm (cm)	Rel 1067 mm (cm)
120 km/jam dan 110 km/jam	315 (300)	426 (396)
100 km/jam jalur	295 (285)	396 (366)
90 km/jam jalur	285 (275)	366 (336)
80 km/jam jalur	250 (240)	335 (305)

Sumber: PM 60 TAHUN 2012

Angka dalam kurung memiliki arti jarak yang digunakan dalam topografi yang tidak dapat dielakkan. Besaran L harus ditambah nilai yang lebih besar dari y dengan rumus :

$$y = 3,35 C$$

Keterangan dari rumus tersebut yaitu:

y : Besar pelebaran (mm), satuan pelebaran adalah 50 mm

C : Peninggian rel yang tersedia (mm)

Lebar badan jalan rel untuk jalan rel layang harus lebih dari sama dengan 2,75 m dari as jalan rel untuk jalan lurus dan pada jalan lengkung ditambah dengan pelebaran ruang bebas sesuai besar jari-jari lengkung.

b. Konstruksi badan jalan

Persyaratan dari konstruksi badan jalan yaitu:

1. Badan jalan harus mampu memikul beban kereta api dan stabil terhadap bahaya kelongsoran.
2. 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.
3. Daya dukung tanah dasar harus lebih besar dari seluruh beban yang berada di atasnya, termasuk beban kereta api, beban konstruksi jalan rel bagian atas dan beban tanah timbunan untuk badan jalan di daerah timbunan.

b. Konstruksi badan jalan pada timbunan

Konstruksi badan jalan pada timbunan yaitu material timbunan harus mudah dipadatkan, stabil, serta dengan peraturan bagian atas timbunan setebal minimal 1 m harus material yang lebih baik dari material bagian bawah timbunan. 2. Kekuatan CBR material timbunan ditentukan menurut ASTM 0 1883 (pengujian CBR laboratorium) atau SNI 03-1744-1989 (SNI terbaru) haruslah tidak kurang dari 6% pada contoh tanah terendam (*soaked samples*) yang telah dipadatkan hingga 95% dari

berat isi kering maksimum sebagaimana diperoleh dari pengujian ASTM 0698 atau SNI 03-1742-1989.. Konstruksi badan jalan pada daerah galian yaitu kemiringan tanah dasar harus miring ke luar sebesar 5%. Tanah dasar harus berada minimum 0,75 m di atas elevasi muka air tanah tertinggi, dan bila badan jalan di tanah asli maka tanah dasar tidak boleh masuk di kategori tanah tidak stabil/kestabilan rendah.

Dalam konstruksi timbunan maupun galian yang cukup banyak maka diperlukan berm. Peraturan dalam penempatan berm yaitu:

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

Kemudian lapisan dasar harus miring ke luar sebesar 5%. Jika penurunan sisa tanah akibat pembebanan lebih besar dari 20 cm, tanah dasar harus diperbaiki. Bagian bawah lapis dasar harus terletak minimum 0,75 m di atas elevasi muka air tanah tertinggi. Bila tinggi timbunan lebih besar dari 6 m, maka setiap 6 m, harus dibuat berm selebar 1,5 m.

Bagian berikutnya dari konstruksi bagian bawah yaitu proteksi lereng. Proteksi lereng harus dibuat untuk mencegah erosi di permukaan lereng. Proteksi lereng yang biasa digunakan yaitu metode vegetasi. Metode lain dapat digunakan bila kondisi tidak memadai dari sisi material timbunan, bentuk lereng, konsentrasi air hujan, dan lain-lain.

c. Penghubung timbunan dengan struktur

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*).

d. Proteksi lereng

Proteksi lereng harus dibuat untuk mencegah terjadinya erosi di permukaan lereng. Kemudian proteksi lereng sebaiknya dilakukan dengan menggunakan metode vegetasi (menggunakan tumbuhan). Metode lain dapat dipertimbangkan jika metode vegetasi tidak memadai, dilihat dari lokasinya

e. Drainase

Bagian lainnya dari konstruksi bagian bawah yaitu drainase. Syarat pembuatan drainase yaitu:

1. Kemiringan minimum harus 0,3% agar endapan kecil
2. Diameter minimum saluran pipa harus 15 cm untuk memudahkan pembersihan.
3. Untuk badan jalan berupa timbunan, permukaan lapis dasar harus punya kemiringan 5% ke arah luar dan air hujan di sekitar rel harus mengalir dengan lancar ke lereng.
4. Dalam jalur ganda, diperlukan saluran di antara 2 jalur (Parit U atau *French Drain*) dan drainase melintang.
5. Pada daerah galian yang ada mata air, drainase dinding galian harus dilengkapi sulingan dengan ukuran pipa minimal 2 inch dengan jarak 0,5- 1 m.

6. Bila drainase pakai saluran pipa, diameter pipa minimal 6 inch.

2.1.4 Persyaratan Komponen Jalan Rel

Setelah menyusun konstruksi rel bagian atas dan bawah, maka diperlukan menyusun komponen – komponen yang terdapat di jalan rel. Komponen – komponen yang terdapat dalam jalan rel yaitu badan jalan, sub balas, balas, bantalan, alat penambat, rel, dan wesel.

Komponen pertama yaitu badan jalan. Dalam pembuatan badan jalan diperlukan tanah dasar. Syarat dari tanah dasar yang akan digunakan yaitu:

1. Tanah dasar harus mampu memikul lapis dasar dan bebas dari penurunan. Jika terdapat lapis tanah lunak berbutir halus alluvial dengan N-SPT kurang dari sama dengan 4 maka tidak boleh masuk dalam lapisan 3 m diukur dari permukaan formasi jalan. Permukaan tanah dasar harus miring ke luar sebesar 5%.
2. Daya dukung tanah dasar yang ditentukan dengan metode ASTM D1196 harus minimum 70 MN/m² pada pondasi daerah galian. Bila kurang maka tanah pondasi harus diperbaiki.

Tanah dasar digunakan dalam timbunan badan jalan rel. Syarat dari tanah dasar yang digunakan untuk timbunan yaitu:

1. Tidak boleh mengandung material bahan organik, gambut, dan tanah mengembang.
2. Kepadatan tanah timbunan minimal 95% kepadatan kering maksimum dan memberikan minimal CBR 6% pada uji kondisi terendam.

Kemudian untuk tanah dasar yang asli dalam bagian galian dalam trase jalur rel harus memenuhi syarat:

1. Material lapis dasar tidak boleh mengandung material organik, gambut, dan tanah mengembang.
2. Material lapis dasar minimal 95% kepadatan kering maks dan

memberikan minimal CBR 8% pada uji kondisi terendam.

3. Lapis dasar harus terdiri dari lapisan tanah yang seragam dan punya cukup daya dukung. Kekuatan CBR ditemukan menurut ASTM D 1883 atau SNI 03-1744-1989 harus minimal 8% di contoh tanah dipadatkan hingga 95% dari berat isi kering maks dari uji ASTM D 698 atau SNI 03-1742-1989.
4. Lapis dasar harus menopang jalan rel dengan nyaman dan kecukupan elastisitas. Lapis dasar harus mampu menghindari tanah dari pengaruh cuaca. Bagian terbawah punya jarak minimal 0,75 m di atas muka air tanah tertinggi.
5. Lapis dasar terletak pada tanah asli atau tanah galian maka perlu drainase. Ketebalan drainase minimal 15 cm.
6. Ketebalan minimal lapis dasar 30 cm agar mencegah mud pumping akibat perubahan tanah isian atau tanah pondasi. Lebar lapis dasar harus sama dengan lebar badan jalan. Lapis dasar harus punya kemiringan ke luar 5%.

Bagian selanjutnya yaitu balas dan sub balas. Lapisan balas dan sub balas adalah lapisan yang berada di atas lapisan tanah dasar dan di daerah dengan tegangan terbesar akibat lalu lintas jalan rel. Fungsi dari lapisan balas dan subbalas yaitu:

1. Meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar.
2. Mengokohkan kedudukan bantalan.
3. Meluruskan air sehingga tidak ada genangan sekitar bantalan rel.

Sub balas adalah lapisan yang berfungsi untuk menyaring tanah dasar dan lapisan balas. Lapisan sub balas terdiri dari kerikil halus, kerikil sedang, dan pasir kasar. Lapisan sub balas harus dapat mengalirkan air dengan baik. Tebal minimum lapisan sub balas yaitu 15 cm. Syarat lapisan sub balas:

1. Material sub balas berupa campuran kerikil atau agregat pecah dan pasir.

2. Material sub-balas tidak boleh memiliki kandungan material organik lebih dari 5%.
3. Material sub-balas harus mengandung minimal 30% agregat pecah.
4. Lapisan sub-balas harus dipadatkan sampai 100% yd menurut ASTM D698.

Sedangkan Balas adalah terusan lapisan tanah dasar di daerah dengan konsentrasi tegangan besar. Fungsi balas yaitu meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar, mengokohkan bantalan, dan melancarkan aliran air.

Syarat material balas yaitu:

1. Terdiri dari batu pecah dan memiliki ketahanan baik, tahan gesek tinggi, dan mudah dipadatkan.
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 tes LA maksimal 25%.



Gambar 2. 1 Lapisan Balas dan sub balas

Bagian selanjutnya yaitu bantalan yang diamana memiliki fungsi untuk meneruskan beban kereta api dan konstruksi jalan rel ke balas, mempertahankan lebar jalan rel, dan stabilitas jalan rel.

Pemilihan jenis bantalan berdasarkan kelas dan kondisi lapangan.

Syarat bantalan beton yaitu:

1. Lebar rel 1067 mm, kuat tekan karakteristik beton minimal 500 kg/cm² dan mutu baja prategang dengan tegangan putus minimum 16,876 kg/cm². Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar 1500 kg m di bagian dukungan rel dan 930 kg m di bagian tengah bantalan.
2. Dimensi bantalan beton untuk lebar rel 1067 mm:
Panjang : 2000 mm
Lebar maksimum : 260 mm
Tinggi maksimum : 220 mm



Gambar 2. 2 Bantalan