

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Perencanaan jalur rel kereta api perlu dirancang dengan memperhatikan aspek-aspek teknis yang penting guna memastikan keselamatan dan kenyamanan dalam operasional. Dari segi teknis, jalur rel harus memiliki daya tahan yang maksimal untuk mendukung pergerakan kereta api secara stabil dan efisien sepanjang masa penggunaannya. Beberapa faktor utama yang menjadi pertimbangan dalam perancangan konstruksi jalur rel meliputi kapasitas beban yang mampu ditahan, batas kecepatan operasional, kemungkinan adanya beban ganda, serta pola operasi yang akan diterapkan. Dengan menganalisis faktor-faktor tersebut, dilakukan klasifikasi jalur rel untuk menghasilkan perencanaan yang sesuai dengan kebutuhan dan standar yang berlaku.

2.1.1 Batasan Wilayah Riau

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 2015 tentang Pembentukan Kabupaten Kepulauan Meranti di Provinsi Riau dan peraturan terkait lainnya, Provinsi Riau merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki peran strategis dalam sektor ekonomi, industri, dan perdagangan. Secara administratif, Provinsi Riau terbagi menjadi 12 kabupaten/kota, yang mencakup sejumlah kecamatan, kelurahan, dan desa yang tersebar di seluruh wilayahnya.

Dari posisi geografis, Provinsi Riau terletak pada koordinat antara 01°31' - 02°25' Lintang Selatan dan 100°00' - 105°00' Bujur Timur. Adapun batas-batas wilayah Provinsi Riau adalah sebagai berikut:

- Batas Barat: Provinsi Sumatera Barat.
- Batas Timur: Provinsi Kepulauan Riau dan Selat Malaka.
- Batas Utara: Provinsi Sumatera Utara.
- Batas Selatan: Provinsi Jambi.

Luas wilayah Provinsi Riau mencapai kurang lebih 87.023,66 km², atau sekitar 4,55% dari total luas wilayah Indonesia. Provinsi Riau

didominasi oleh daratan yang terdiri dari hutan, perkebunan kelapa sawit, serta kawasan industri minyak dan gas bumi. Di samping itu, Riau juga memiliki beberapa pulau kecil di wilayah pesisirnya, seperti Pulau Rupat, Pulau Bengkalis, Pulau Rangsang, dan beberapa pulau lain yang termasuk dalam gugusan kepulauan di Selat Malaka. Provinsi ini juga memiliki wilayah perairan yang cukup luas, terutama di daerah pesisir timur yang berbatasan langsung dengan Selat Malaka.

2.1.2 Perkeretaapian

Berdasarkan Peraturan Menteri Nomor 22 Tahun 2011, ada beberapa ketentuan umum terkait Perkeretaapian, seperti berikut:

1. Perkeretaapian adalah sistem terpadu yang terdiri dari prasarana, sarana, sumber daya manusia, serta norma, kriteria, persyaratan, dan prosedur untuk penyelenggaraan transportasi kereta api.
2. Kereta api adalah sarana perkeretaapian dengan tenaga penggerak, baik yang berjalan sendiri maupun yang dirangkaikan dengan sarana perkeretaapian lainnya, yang akan atau sedang bergerak di jalur rel yang terkait dengan perjalanan kereta api.
3. Prasarana perkeretaapian meliputi jalur kereta api, dan fasilitas operasi yang diperlukan agar kereta api dapat dioperasikan dengan baik.
4. Jalur kereta api adalah lintasan yang terdiri dari rangkaian petak jalur rel, mencakup ruang manfaat, ruang milik, dan ruang pengawasan jalur kereta api, termasuk bagian atas dan bawahnya, termasuk bagian atas dan bawahnya yang diperuntukkan bagi lalu lintas kereta api.
5. Jalur rel adalah konstruksi yang terbuat dari baja, beton, atau bahan lain, yang terletak dipermukaan, di bawah, atau di atas tanah, atau dalam posisi menggantung, termasuk perangkatnya yang mengarahkan pergerakan kereta api.
6. Sarana perkeretaapian adalah kendaraan yang dapat bergerak di atas jalur rel.

7. Pengguna jasa adalah individu atau badan hukum yang memanfaatkan layanan angkutan kereta api, baik untuk mengangkut orang maupun barang.
8. Angkutan kereta api adalah aktivitas memindahkan orang atau barang dari satu tempat ke tempat lain menggunakan kereta api.
9. Penyelenggara prasarana perkeretaapian adalah pihak yang bertugas mengelola infrastruktur perkeretaapian.

2.1.3 Pemilihan Trase Jalur Rel

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 11 Tahun 2012 Tentang Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api. Pembangunan jalur kereta api harus didasarkan pada studi kelayakan yang mencakup beberapa aspek analisis, yaitu:

1. Kebutuhan pelayanan jasa angkutan kereta api
2. Kebutuhan prasarana dan sarana
3. Ketersediaan jasa angkutan modal lainnya
4. Kelestarian lingkungan
5. Finansial dan ekonomi
6. Rencana tapak jalur kereta api yang telah diketahui titik-titik koordinatnya.
7. Trase jalur kereta api paling sedikit mumuat titik-titik koordinat, lokasi stasiun, rencana kebutuhan lahan dan skala gambar.
8. Pola angkutan
9. Pola operasi
10. Menetapkan Trase yang sesuai dengan rencana induk perkeretaapian.

2.2 Persyaratan Teknis Jalur Rel

2.2.1 Kecepatan

Dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, pemerintah menetapkan ketentuan dasar yang mengatur standar perencanaan geometrik jalur rel. Pengaturan tentang teori kecepatan ini, menjadi pedoman utama untuk memastikan bahwa desain jalur kereta api

sesuai dengan aspek-aspek penting. Dengan penjelasannya seperti dibawah ini:

1. Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang digunakan untuk merencanakan kontruksi jalur rel.

- a. Untuk perencanaan struktur jalur rel

$$V_{rencana} = 1,25 \times V_{maks}$$

- b. Untuk perencanaan peninggian

$$V_{rencana} = c \times \frac{\sum N_i V_i}{\sum N_i}$$

- c. Untuk perencanaan jari-jari lengkung peralihan

$$V_{rencana} = V_{maks}$$

2. Kecepatan Maksimum

Kecepatan maksimum adalah kecepatan tertinggi yang diijinkan untuk operasi suatu rangkaian kereta pada lintas tertentu. Berikut pada Tabel 2.1 adalah kecepatan Maksimum Kereta Api dengan lebar rel 1435 mm.

Tabel 2.1 Kecepatan Maksimum Kereta Api lebar rel 1435 mm

Kelas Jalur Rel	Kecepatan Maksimum (Km/jam)
I	160
II	140
III	120
IV	100

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012)

3. Kecepatan Operasi

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

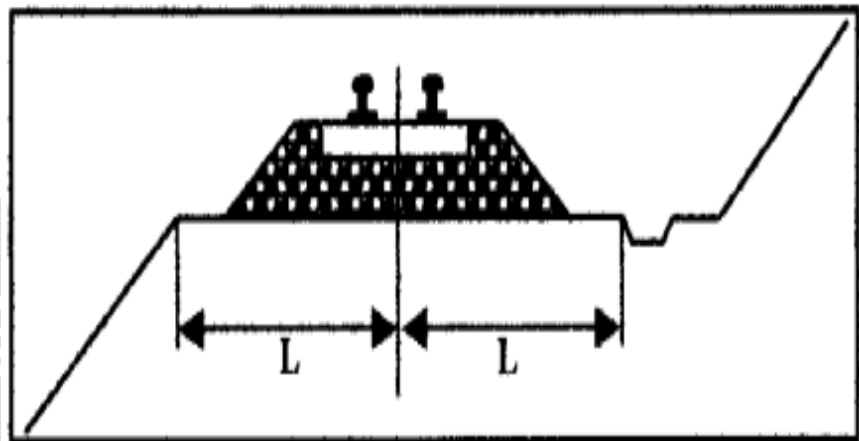
4. Kecepatan Komersial

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

2.2.2 Jumlah Jalur

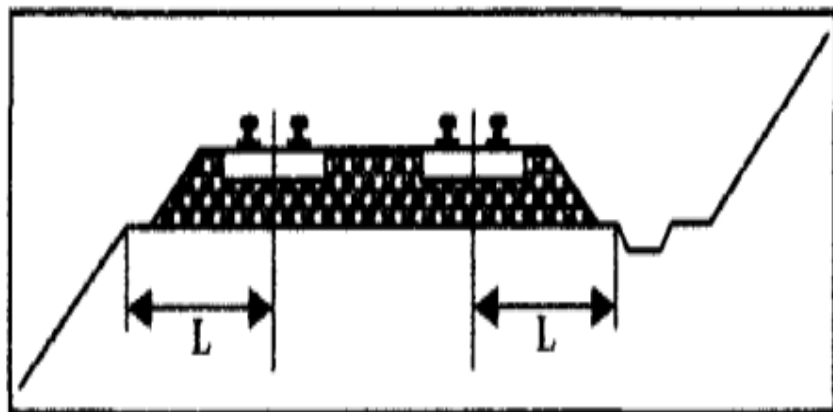
Jumlah jalur yang di maksud di sini merujuk pada jumlah jalur di lintas bebas, jalur pada lintas bebas dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Jalur Tunggal (*Single Track*) adalah jenis jalur yang hanya memiliki satu lintasan, dan dapat digunakan untuk melayani arus kereta api dari dua arah, seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 *Single Track*

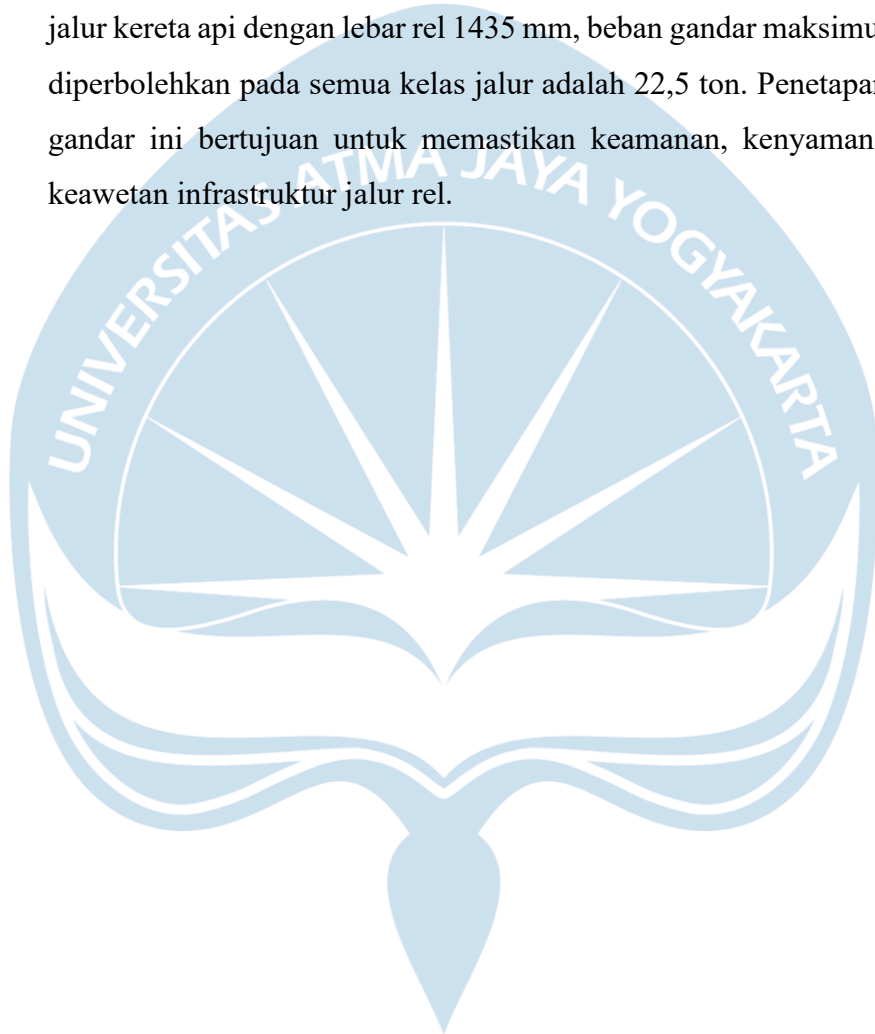
- b. Jalur Ganda (*Double Track*) adalah jalur yang terdiri dari dua lintasan, di mana masing-masing lintasan digunakan untuk melayani arus kereta api dari satu arah saja, seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 *Double Track*

2.2.3 Beban Gandar

Dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 dijelaskan bahwa, beban gandar adalah beban maksimum yang dapat diterima oleh jalur rel dari satu gandar kereta api. Besaran beban gandar ini ditentukan berdasarkan lebar jalur rel (*gauge*) yang digunakan. Pada jalur kereta api dengan lebar rel 1067 mm, beban gandar maksimum yang diizinkan untuk semua kelas jalur adalah 18 ton. Sementara itu, untuk jalur kereta api dengan lebar rel 1435 mm, beban gandar maksimum yang diperbolehkan pada semua kelas jalur adalah 22,5 ton. Penetapan beban gandar ini bertujuan untuk memastikan keamanan, kenyamanan, dan keawetan infrastruktur jalur rel.



2.2.4 Kelas Jalur Rel

Pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 diberikan pembagian kelas jalur rel beserta lebarnya yang dikategorikan dalam Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Kelas Jalur Rel dengan Lebar Jalan 1067 mm

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 (cm)			
I	$>20.10^6$	120	18	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	$10.10^6 - 20.10^6$	110	18	R.54/R.50	Beton Kayu 60	Elastis Ganda	30	50
III	$5.10^6 - 10.10^6$	100	18	R.54/R.50/R.42	Beton Kayu Baja 60	Elastis Ganda	30	40
IV	$2.5.10^6 - 5.10^6$	90	18	R.54/R.50/R.42	Beton Kayu Baja 60	Elastis Ganda/Tunggal	25	40
V	$<2.5.10^6$	80	18	R.42	Kayu Baja 60	Elastis Tunggal	25	35

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

Tabel 2.3 Kelas Jalur Rel dengan Lebar Jalan 1435 mm

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 (cm)			
I	$20 \cdot 10^6$	160	22,5	R. 60	$\frac{\text{Beton}}{60}$	Elastis Ganda	30	40
II	$10 \cdot 10^6 - 20 \cdot 10^6$	140	22,5	R. 60	$\frac{\text{Beton}}{60}$	Elastis Ganda	30	40
III	$5 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6$	120	22,5	R. 60/R. 54	$\frac{\text{Beton}}{60}$	Elastis Ganda	30	40
IV	$5 \cdot 10^6$	100	22,5	R. 60/R. 54	$\frac{\text{Beton}}{60}$	Elastis Ganda	25	40

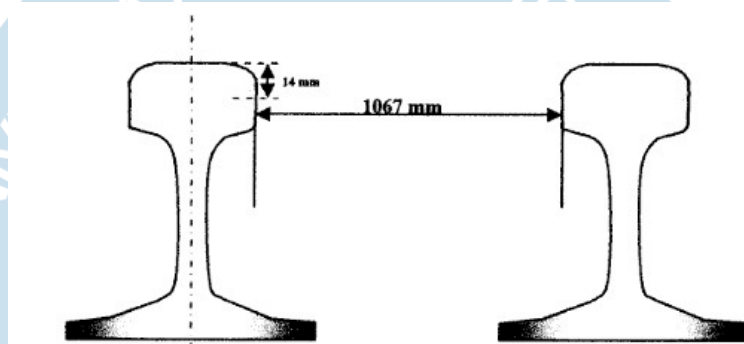
(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

2.3 Geometrik Jalur Rel

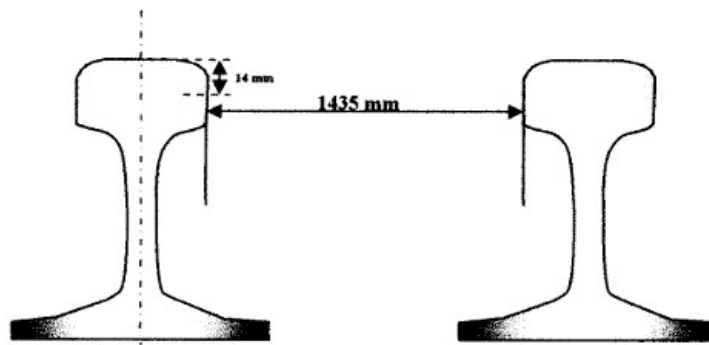
Geometrik jalur rel direncanakan berdasarkan pada kecepatan rencana serta ukuran kereta yang melewatinya dengan memperhatikan faktor keamanan, kenyamanan, ekonomi dan keserasian dengan lingkungan sekitar.

2.3.1 Lebar Jalur Rel

Pada Peraturan Menteri no. 60 Tahun 2012, dijelaskan bahwa lebar jalur rel terdiri dari dua ukuran, yaitu 1067 mm dan 1435 mm. Lebar jalur rel merupakan ukuran minimum antara kedua sisi kepala rel yang diukur pada titik 0–14 mm di bawah permukaan teratas rel, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.



Gambar 2. 3 Lebar Jalur Rel 1067 mm



Gambar 2. 4 Lebar Jalur Rel 1435 mm

Pada perancangan jalur rel ini, digunakan lebar rel 1435 mm. Dimana untuk lebar rel 1435 mm, menetapkan toleransi pelebaran -3 mm dan $+3$ mm. Ketentuan ini berfungsi untuk menjamin keamanan, kestabilan, dan kualitas operasi perkeretaapian sesuai standar teknis yang berlaku.

2.3.2 Kelandaian

Penentuan besaran kecepatan perancangan jalur rel sangat dipengaruhi oleh faktor kelandaian (*gradien*). Kelandaian yang terlalu curam dapat membatasi kecepatan maksimum yang aman dan dapat dicapai oleh kereta api. Sebaliknya, kelandaian yang lebih landai atau datar memungkinkan kereta api untuk mencapai kecepatan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, lintasan jalur rel dikelompokkan berdasarkan tingkat kelandaiannya untuk memastikan kesesuaian dengan kecepatan operasional yang dirancang. Dalam Peraturan Dinas No.10 Tahun 1986 dibuat pengelompokan lintasan jalur rel berdasarkan kelandaian, yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kelompok Lintas Jalur Rel menurut Kelandaian

Kelompok Lintas Jalur Rel	Kelandaian (%)
Lintas Datar	0 sampai 10%
Lintas Pegunungan	10% sampai 40%
Lintas dengan Rel Gigi	40% sampai 80%

(Sumber: Peraturan Dinas No.10 tahun 1986)

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012, persyaratan kelandaian yang harus dipenuhi meliputi persyaratan landai penentu, persyaratan landai curam dan persyaratan landai emplasemen. Landai penentu adalah suatu kelandaian (pendakian) yang terbesar pada suatu lintas lurus. Persyaratan untuk landai penentu dinyatakan seperti pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Landai Penentu

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

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012)

2.3.3 Lengkung Horizontal

Lengkung horizontal merupakan proyeksi sumbu jalaur rel pada bidang datar, yang terdiri dari segmen-segmen garis lurus serta busur. Dua bagian lurus, yang perpanjangnya saling membentuk sudut harus dihubungkan dengan lengkung yang berbentuk lingkaran, dengan atau tanpa lengkung-lengkung peralihan (PM no. 60 tahun 2012). Adapun pembagian besar jari-jari minimum berdasarkan kecepatan rencananya, seperti yang dicantumkan pada Tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 Jari-Jari Minimum Yang Diiijinkan

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran tanpa lengkung peralihan (m)	Jari-jari minimu lengkung lingkaran yang diijinkan dengan lengkung peralihan (m)
200	6560	2160
120	2370	780
110	1990	660
100	1650	550
90	1330	440
80	1050	350
70	810	270
60	600	200

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

2.3.4 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal adalah proyeksi sumbu jalur rel yang ada pada bidang vertikal melalui sumbu jalur rel (PM no. 60 tahun 2012). Berikut adalah tabel jari-jari minimum lengkung vertikal berdasarkan kecepatan rencana dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal

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

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

2.3.5 Pelebaran Jalur Rel

Pelebaran jalur rel dilakukan agar roda kendaraan rel dapat melewati lengkung tanpa mengalami hambatan. Dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 telah ditentukan besar pelebaran jalur rel berdasarkan lebar sepur, yaitu 1067 mm dan 1435 mm untuk berbagai jari-jari tikungan seperti yang tercantum pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 dibawah ini.

Tabel 2.8 Pelebaran sepur 1067 mm

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

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

Tabel 2.9 Pelebaran sepur 1435 mm

Jari-Jari Tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$R > 400$	0
$350 < R \leq 400$	5
$300 < R < 350$	10
$250 < R \leq 300$	15
$100 < R \leq 250$	20

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

2.3.6 Peninggian Jalur Rel

Pada bagian lengkungan, elevasi rel luar dibuat lebih tinggi dari pada rel dalam untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang dialami oleh rangkaian kereta saat melaju dengan kecepatan tertentu. Peninggian rel dicapai dengan menempatkan rel dalam pada tinggi semestinya dan rel luar lebih tinggi. Dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012, ditetapkan besar peninggian maksimum untuk lebar jalur rel 1067

mm adalah 110 mm, sedangkan untuk lebar jalur rel 1435 mm adalah 150 mm. Besar peninggian rel yang diterapkan untuk lebar jalur rel 1.067 mm pada berbagai kecepatan rencana telah ditetapkan dan tercantum di Tabel 2.10. Jika yang digunakan adalah lebar jalur rel 1067 mm, maka rumus untuk mendapatkan peninggian rel adalah:

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

Tabel 2.10 Peninggian Jalur Rel 1067 mm

Jari-jari (m)	Peninggian (m) 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
1.000	90	75	60	50	40	30	25
1.100	80	70	55	45	35	30	20
1.200	75	60	55	45	35	25	20
1.300	70	60	50	40	30	25	20
1.400	65	55	45	35	30	25	20
1.500	60	50	40	35	30	20	15
1.600	55	45	40	35	25	20	15
1.700	55	45	35	30	25	20	15
1.800	50	40	35	30	25	20	15
1.900	50	40	35	30	25	20	15
2.000	45	40	30	25	20	15	15
2.500	35	30	25	20	20	15	10

Jari-jari (m)	Peninggian (m) pas (km/hr)						
	120	110	100	90	80	70	60
3.000	30	25	20	20	15	10	10
3.500	25	25	20	15	15	10	10
4.000	25	20	15	15	10	10	10

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

Besar peninggian rel untuk lebar jalur rel 1435 mm pada berbagai kecepatan rencana disajikan pada Tabel 2.11. Jika yang digunakan adalah lebar jalur rel 1435 mm, maka rumus untuk mendapatkan peninggian rel adalah:

$$h_{normal} = 8,1 \times \frac{(V_{rencana})^2}{jari - jari}$$

Tabel 2.11 Peninggian Jalur Rel 1435 mm

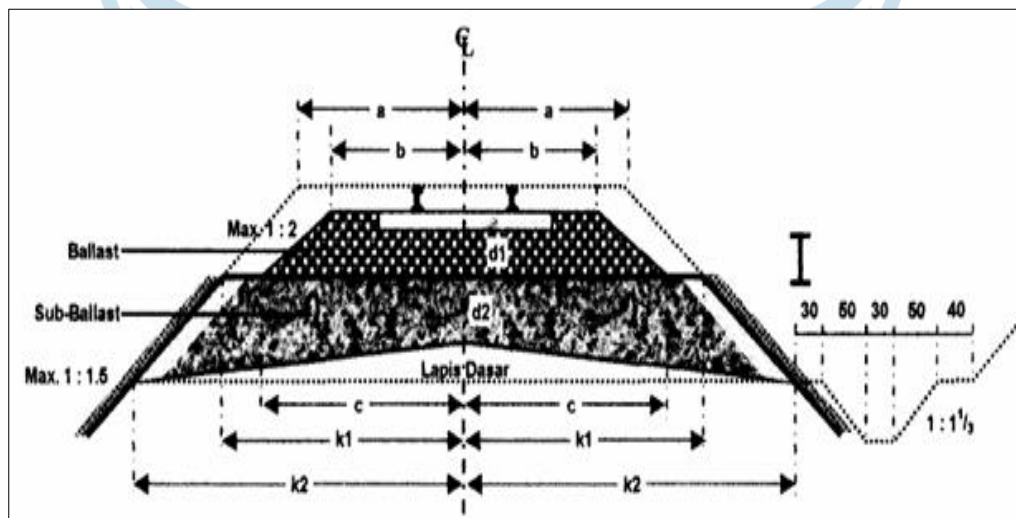
Jari-jari (m)	Peninggian (m) pada Setiap Kecepatan Rencana (km/jam)										
	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60
100											
150											
200											150
250											120
300										135	100
350									150	115	85
400									130	100	75
450								150	120	90	65
500								135	105	80	60
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
1.000				140	120	100	85	70	55	40	30
1.100			145	125	110	90	75	60	50	40	30
1.200			135	115	100	85	70	55	45	35	25
1.300		145	125	110	90	80	65	55	40	35	25
1.400	150	135	115	100	85	75	60	50	40	30	25
1.500	140	125	110	95	80	70	55	45	35	30	20

Jari-jari (m)	Peninggian (m) pada Setiap Kecepatan Rencana (km/jam)										
	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60
1.600	130	115	100	90	75	65	55	45	35	25	20
1.700	125	110	95	85	70	60	50	40	35	25	20
1.800	120	105	90	80	65	55	45	40	30	25	20
1.900	110	100	85	75	65	55	45	35	30	25	20
2.000	105	95	80	70	60	50	45	35	30	20	15
2.500	85	75	65	55	50	40	35	30	25	20	15
3.000	70	65	55	50	40	35	30	25	20	15	10
3.500	60	55	50	40	35	30	25	20	15	15	10
4.000	55	50	40	35	30	25	25	20	15	10	10

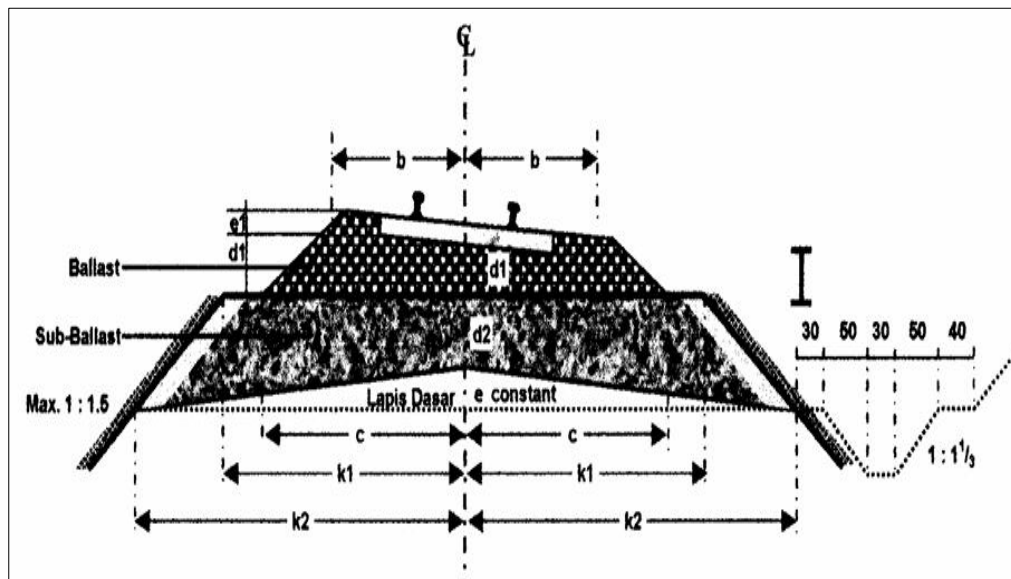
(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

2.4 Penampang Melintang Jalur Rel

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, Penampang Melintang jalur rel merupakan potongan tegak lurus terhadap sumbu jalur rel yang memperlihatkan susunan elemen-elemen pembentuk jalur beserta ukuran-ukurannya dalam arah melintang. Penampang melintang digunakan pada kondisi lintasan lurus maupun lengkung, dengan ketentuan dimensi yang ditetapkan agar mampu mendukung beban statis dan dinamis yang ditimbulkan oleh pergerakan rangkaian kereta. Ketentuan tersebut dijabarkan lebih lanjut dalam Tabel 2.12, serta gambar penampang melintang jalur rel, baik pada bagian lintasan lurus maupun tikungan, ditampilkan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Penampang Melintang Jalur Rel Pada Bagian Lurus



Gambar 2.6 Penampang Melintang Jalur Rel Pada Bagian Lurus

Tabel 2.12 Ketentuan Dimensi Penampang Melintang Jalur Rel

Kelas Jalan	Vmaks (km/jam)	d ₁ (cm)	b (cm)	c (cm)	k ₁ (cm)	d ₂ (cm)	e (cm)	k ² (cm)
I	120	30	150	235	265	15-50	25	375
II	110	30	150	235	265	15-50	25	375
III	100	30	140	225	240	15-50	22	325
IV	90	25	140	215	240	15-35	20	300
V	80	25	135	210	240	15-35	20	300

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

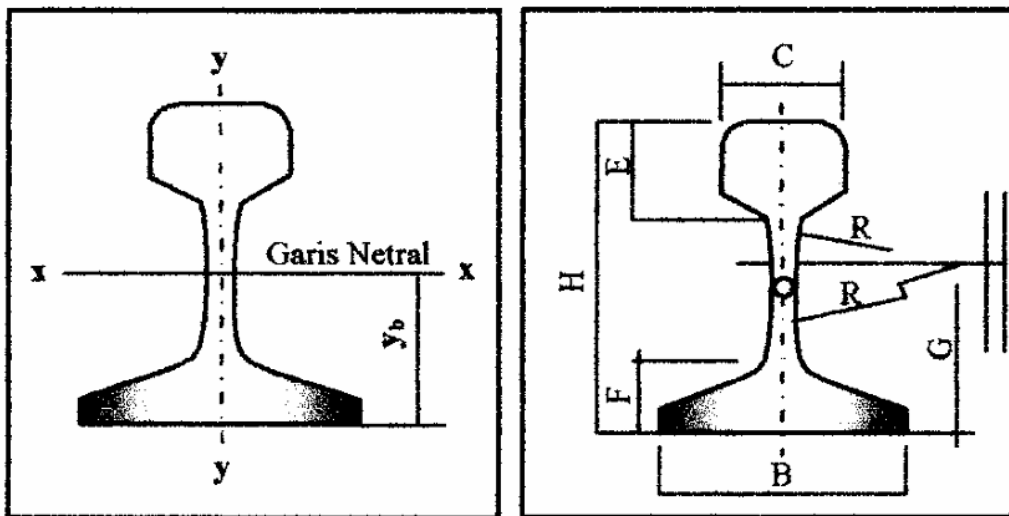
2.5 Rel

Penampang rel dirancang untuk memenuhi persyaratan kekuatan dan daya tahan agar mampu menahan beban dinamis dari rangkaian kereta. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, setiap tipe rel memiliki dimensi yang berbeda-beda, meliputi tinggi rel (H), lebar kepala rel (B), lebar badan rel (C), dan tinggi leher rel (D). Dimensi-dimensi ini menentukan kemampuan rel dalam menahan tekanan vertikal maupun gaya lateral yang muncul selama operasi kereta.

Selain itu, lebar kaki rel (E) dan ketebalannya (F) berfungsi untuk memastikan kestabilan rel saat dipasang pada bantalan serta mendistribusikan beban secara merata ke struktur di bawahnya. Rel juga dilengkapi dengan jari-

jari lengkung pada bagian transisi kepala dan badan (G), yang dirancang untuk mengurangi konsentrasi tegangan dan memperpanjang umur rel. Setiap tipe rel memiliki nilai luas penampang (A), berat per meter (W), momen inersia terhadap sumbu x (I_x), dan jarak dari tepi bawah ke garis netral (Y_b), yang semuanya menentukan kekuatan struktural rel terhadap beban.

Setiap jenis rel memiliki standar ukuran penampang yang harus memenuhi ketentuan dimensi penampang rel, bisa dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Penampang Rel

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

Ketentuan dimensi rel berdasarkan tipenya dapat dilihat pada Tabel 2.13 dibawah ini:

Tabel 2.13 Dimensi Penampang Rel

Besaran Geometri 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 (cm ²)	54,26	64,2	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,4	54,43	60,34

I_x (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y_b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
A = Luas penampang				
W = Berat rel per meter				
I_x = Momen inersia terhadap sumbu x				
Y_b = Jarak tepi bawah rel ke garis netral				

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012)

2.6 Bantalan Rel

Dalam Peraturan Menteri Perhubungan no. 60 tahun 2012 dituliskan fungsi dari bantalan rel itu sendiri, yaitu untuk mendistribusikan beban kereta api dan berat struktur jalur rel ke balas, serta menjaga lebar jalur rel dan stabilitas dalam arah luar jalur. Bantalan dapat dibuat dari berbagai material, seperti kayu, baja dan beton. Pemilihan jenis bantalan ditentukan oleh kelas, kondisi lokasi, dan ketersediaan material. Spesifikasi untuk setiap jenis bantalan harus merujuk pada persyaratan teknis yang berlaku. Jenis bantalan dibagi menjadi tiga yaitu bantalan kayu, bantalan beton pratekan balok tunggal dengan proses praktekan (*Pretension*), dan bantalan baja. Dari ketiga jenis bantalan tersebut mempunyai keunggulannya masing-masing tergantung penggunaannya.

2.7 Penambat Rel

Penambat rel adalah komponen krusial dalam pembangunan jalur rel kereta api yang memiliki fungsi untuk menjaga posisi rel agar tetap diatas bantalan. Posisi rel dapat tergeser apabila ada pergerakan dinamis dari roda kereta api yang dapat menciptakan gaya lateral secara signifikan. Maka dibutuhkan sistem penambat rel yang efisien untuk memastikan rel tetap terhubung dengan bantalan serta menjaga lebar trek (*track gauge*) agar stabil dan sesuai dengan standar yang ditetapkan. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan no. 60 tahun 2012, terdapat dua jenis penambat rel yaitu penambat rel kaku dan penambat rel elastis.

Penambat rel kaku terdiri dari komponen seperti paku rel, tirpon (*tirefond*), atau mur dan baut yang dipasang dengan atau tanpa pelat landas (*base plate*). Untuk penambat rel elastis ini sendiri lebih umum dipakai pada jalur modern, karena kemampuannya dalam menyerap getaran dan meningkatkan daya tahan terhadap gaya dinamis yang dihasilkan oleh roda kereta api. Jenis penambat rel

ini juga terbagi menjadi dua tipe yaitu elastis ganda dan elastis tunggal. Penambat elastis tunggal menggunakan satu elemen elastis yang langsung mengikat rel pada bantalan. Sedangkan penambat elastis ganda memanfaatkan dua elemen elastis yang bekerja secara bersamaan, seperti kombinasi klip dan pegas tambahan. Pemilihan jenis penambat yang digunakan disesuaikan dengan kelas jalur rel yang diterapkan, seperti yang tercantum pada Tabel 2.14 guna memastikan performa lintasan yang optimal dan ketahanan terhadap beban yang ditimbulkan oleh kereta api.

Tabel 2.14 Penggunaan Penambat

Kelas Jalan	Tipe Penambat yang Diijinkan
I	Elastik Ganda
II	Elastik Ganda
III	Elastik Ganda
IV	Elastik Ganda, Elastik Tunggal
V	Elastik Ganda (tidak dianjurkan), Elastik Tunggal

(Sumber : Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986)

2.8 Balas dan Sub balas

2.8.1 Balas

Lapisan balas pada dasarnya merupakan lanjutan dari lapisan tanah dasar dan berada di area dengan konsentrasi tegangan tertinggi akibat lalu lintas kereta pada jalur rel (PM No.60 tahun 2012). Oleh karena itu, material yang digunakan untuk lapisan ini harus sangat selektif. Fungsi utama lapisan balas adalah untuk mentransfer dan mendistribusikan beban dari bantalan ke tanah dasar, menstabilkan posisi bantalan, serta mengalirkan air untuk mencegah genangan di sekitar bantalan dan rel. Kemiringan lereng lapisan balas bagian atas tidak boleh lebih curam dari 1:2. Bahan untuk lapisan atas harus disebarakan hingga mencapai elevasi yang setara dengan bantalan.

Material pembentuk lapisan balas harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut:

1. Terdiri dari batu pecah (25-60) mm dan memiliki kapasitas ketahanan gesek yang baik, tinggi dan mudah dipadatkan.

2. Material balas harus banyak yang bersudut dan tajam.
3. Porositas maksimum sebanyak 3%.
4. Kuat tekan rata-rata dengan maksimum 1000 kg/cm²
5. Berat jenis dengan minimum 2,6
6. Kandungan tanah, lumpur dan zat organik maksimum 0,5%
7. Kandungan minyak maksimum 0,2%
8. Keausan balas harus sesuai dengan test Los Angeles dan boleh lebih dari 25%.

2.8.2 Sub Balas

Lapisan Sub Balas berfungsi sebagai filter antara tanah dasar dan lapisan balas, serta harus memiliki kemampuan yang baik dalam mengalirkan air untuk menjaga stabilitas jalur rel (PM no.60 tahun 2012). Lapisan ini berperan dalam mencegah campuran antara material balas dengan tanah dasar yang lebih halus, sehingga dapat mengurangi risiko deformasi akibat pergerakan tanah. Selain itu, Sub Balas juga membantu mendistribusikan beban dari bantalan ke tanah dasar dengan lebih merata, yang dapat meningkatkan daya dukung lintasan terhadap beban kereta api. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan PM No.60 tahun 2012, tebal minimum lapisan balas bawah adalah 15 cm. Namun dalam situasi tertentu pada tanah lunak atau daerah dengan curah hujan tinggi, ketebalannya dapat disesuaikan untuk tetap efektif dalam menjaga drainase dan kestabilan jalur rel.

Dalam material pembentuk Sub Balas harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut:

1. Material berupa campuran kerikil (*gravel*) atau kumpulan agregat kasar pecah dan pasir.
2. Material tidak boleh memiliki kandungan organik lebih dari 5%.
3. Untuk material Sub Balas yang merupakan kumpulan agregat kasar pecah dan pasir, maka harus mengandung sekurang-kurangnya 30% agregat kasar pecah.

4. Lapisan Sub Balas harus dipadatkan hingga mencapai 100% γ_d berdasarkan percobaan ASTM D 698.

2.9 Badan Jalur Rel

Dalam Peraturan Menteri Perhubungan no. 60 tahun 2012, telah dijelaskan fungsi dari badan jalur rel yaitu untuk menopang beban kereta api, sehingga harus memiliki stabilitas yang tinggi agar terhindar dari bahaya longsor.

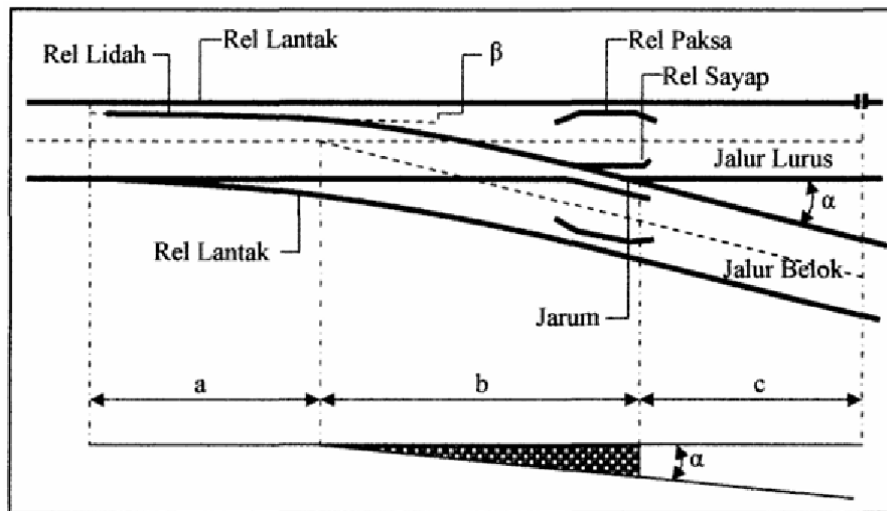
2.10 Emplasemen

Emplasemen adalah bagian dari stasiun yang terdiri dari jalur-jalur rel yang digunakan untuk operasional kereta api. Perencanaan jalur rel di emplasemen ini mempertimbangkan faktor ekonomi dan permintaan layanan kereta api. Jalur siding memiliki panjang efektif minimum 400 meter.

Penempatan jalur rel di emplasemen stasiun dirancang dengan memperhatikan kondisi perjalanan kereta api. Dalam sistem jalur ganda, pergerakan kereta api yang saling berlawanan tidak boleh saling mengganggu, kecuali dalam keadaan darurat. Namun, jika lahan untuk pembangunan jalur kereta api terbatas, jalur tambahan di emplasemen dapat digunakan untuk kereta api yang bergerak berlawanan arah.

2.11 Wesel

Wesel adalah komponen yang paling rumit karena memiliki berbagai bagian dengan fungsi mekanis yang presisi serta harus memenuhi sejumlah persyaratan teknis, termasuk ketentuan terkait kualitas bahan dan komposisi kimia yang. Wesel berfungsi sebagai titik pertemuan beberapa jalur (sepur), baik itu jalur yang bercabang maupun persilangan antara dua jalur. Berikut adalah penjelasan mengenai komponen-komponen utama wesel dan dapat dilihat juga pada Gambar 2.8 mengenai letak komponen tersebut:



Gambar 2.8 Komponen-komponen utama dalam Wesel

1. Lidah

Lidah adalah bagian wesel yang dapat bergerak dan berfungsi untuk mengarahkan kereta ke jalur yang diinginkan. Ujung lidah disebut akar wesel. Terdapat dua jenis lidah:

a. Lidah Putar

Lidah ini dilengkapi engsel pada bagian akarnya, sehingga memungkinkan pergerakan berputar dengan fleksibel.

b. Lidah Berpegas

Lidah ini memiliki akar yang dijepit, sehingga dapat melentur secara elastis saat digunakan.

2. Jarum Beserta Sayap

Bagian wesel yang memungkinkan roda kereta (flens) melewati persilangan antara dua rel. Sudut ketajaman jarum (α) dikenal sebagai sudut samping arah, yang menentukan arah pergerakan kereta.

3. Rel Lantak

Rel lantak adalah rel utama yang tetap dan berfungsi sebagai sandaran bagi rel lidah. Ketika satu lidah tersambung, lidah lainnya akan menunjukkan celah sebagai jalur untuk flens roda. Gerakan lidah dan rel lantak yang bersamaan disebut gerakan lidah. Celah antara rel lantak dan rel paksa di ujung jarum adalah 34 mm.

4. Rel Paksa

Rel paksa dibuat dari rel biasa dengan kedua ujungnya ditekuk ke dalam. Rel paksa luar biasanya dipasang ke rel lantak menggunakan baut dengan blok pemisah di antaranya. Pada wesel berkecepatan tinggi, rel paksa dipasang pada bantalan menggunakan alat penambat khusus. Jarak antara rel paksan dan rel lantak adalah 42 cm.

5. Sistem Penggerak Wesel

Sistem penggerak atau pembalik wesel adalah mekanisme yang digunakan untuk menggerakkan ujung lidah. Sistem ini dapat dioperasikan secara mekanik maupun elektrik, memastikan perpindahan jalur kereta berlangsung dengan lancar dan aman.

2.12 Stasiun Kereta Api

Stasiun Kereta Api merupakan prasarana kereta api sebagai tempat pemberangkatan dan pemberhentian kereta api (PM. 33 Tahun 2011). Stasiun memiliki fungsi yang beragam, termasuk sebagai tempat naik-turun penumpang, bongkar-muat barang, serta untuk pengoperasian dan pengaturan lalu lintas kereta api. Keberadaan stasiun sangat penting dalam sistem transportasi kereta api karena berfungsi sebagai penghubung antara jalur kereta dan pengguna jasa. Stasiun juga berkontribusi dalam memastikan kelancaran, keselamatan, dan efisiensi perjalanan kereta api. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan PM No. 33 Tahun 2011 Bab II Pasal 2, stasiun kereta api dibedakan menjadi tiga jenis utama:

1. Stasiun Penumpang

Stasiun ini diperuntukkan bagi keperluan naik dan turunnya penumpang. Stasiun ini merupakan titik krusial dalam sistem transportasi publik berbasis rel, baik untuk jarak dekat (commuter) maupun jarak jauh (antar kota).

2. Stasiun Barang

Stasiun ini digunakan untuk proses bongkar-muat barang, yang berperan penting dalam distribusi logistik melalui jalur kereta api, sering kali digunakan untuk pengiriman barang dalam volume besar dan untuk jarak jauh.

3. Stasiun Operasi

Stasiun ini digunakan untuk pengoperasian kereta api. Meskipun stasiun ini tidak selalu melayani penumpang atau barang, tetapi berfungsi untuk mengatur lalu lintas serta memfasilitasi kelancaran kereta api.

2.13 Jembatan

Pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, dijelaskan persyaratan sistem untuk Jembatan Kereta Api berdasarkan material untuk struktur jembatan, yang dibagi menjadi:

1. Jembatan Baja

Jembatan yang dibangun dengan struktur berbahan dasar baja. Secara umum, tipe jembatan baja dibagi menjadi 2 kelompok sebagaimana terdapat dalam Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Tipe Jembatan Baja

Tipe	Gelagar	Rangka
Dinding	Gelagar Dinding	Rangka Dinding
Rusuk	Gelagar Rusuk	Rangka Rusuk

(Sumber : Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986)

2. Jembatan Beton

Jembatan yang dibangun dengan menggunakan beton sebagai bahan struktur utamanya. Tipe jembatan beton terdiri dari, jembatan gelagar, jembatan portal kaku, dan jembatan busur.

3. Jembatan Komposit

Jembatan yang strukturnya menggabungkan atau mencampurkan beberapa bahan, umumnya antar baja dan beton atau material lainnya.