

BAB III
GEOMETRI JALAN REL

3.1 Umum

Geometri jalan rel direncanakan berdasar pada kecepatan rencana serta ukuran-ukuran kereta yang melewatinya dengan memperhatikan faktor keamanan, kenyamanan dan keserasian dengan lingkungan sekitarnya.

3.2 Lengkung Horisontal

Alinemen horisontal adalah proyeksi sumbu jalan rel pada bidang horisontal, terdiri dari garis lurus (daerah tangen) dan tikungan (daerah lengkungan).

a. Lengkung Lingkaran

Dua bagian lurus, yang perpanjangannya saling membentuk sudut harus dihubungkan dengan lengkung yang berbentuk lingkaran, dengan atau tanpa lengkung-lengkung peralihan. Untuk berbagai kecepatan rencana, besar jari-jari minimum yang diijinkan, dihitung dengan rumus :

$$R_{min} = 0,054 \cdot V^2 \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan : R_{min} = jari-jari lengkung horisontal (m)

V = kecepatan rencana (km/jam)

Tabel 3.1 Hubungan antara V rencana dengan R ijin

Kecept. Rencana (Km/Jam)	R min. lengkung lingkaran tanpa lengkung peralihan (m)	R min. lengkung lingkaran 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 : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986

b. Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan adalah suatu lengkung dengan jari-jari yang berubah beraturan. Lengkung peralihan dipakai sebagai peralihan antara bagian yang lurus dan bagian lingkaran dan sebagai peralihan antara dua jari-jari lingkaran yang berbeda. Lengkung peralihan dipergunakan pada jari-jari tikungan yang relatif kecil.

Panjang minimum dari lengkung peralihan ditetapkan dengan rumus berikut :

$$L_h = 0,01 \cdot c \cdot V \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan : L_h = panjang minimum lengkung peralihan (m)

c = ketinggian relatif antara dua bagian yang dihubungkan
(mm)

V = kecepatan rencana (km/jam)

c. Lengkung Spiral (S)

Lengkung spiral terjadi bila dua tikungan dari suatu lintas yang berbeda arah lengkungnya terletak berdekatan. Antara kedua tikungan yang berbeda arah ini harus, ada bagian lurus sepanjang paling sedikit 20 meter.

3.3 Lengkung Vertikal

Alinemen vertikal adalah proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel tersebut, alinemen vertikal terdiri dari garis lurus dengan atau tanpa kelandaian, dan lengkung vertikal yang berupa busur lingkaran.

Besar jari-jari minimum dari lengkung vertikal tergantung pada besar kecepatan rencana dan adalah seperti tercantum dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jari-jari minimum lengkung vertikal

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari minimum Lengkung vertikal (m)
> 100	8000
≤ 100	6000

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986

Panjang lengkung vertikal berupa busur lingkaran yang menghubungkan kedua kelandaian lintas yang berbeda, ditentukan berdasarkan besarnya jari-jari lengkung vertikal, perbedaan kelandaian dihitung berdasarkan rumus :

$$L = i \cdot R \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan : L = panjang lengkung vertikal (m)

i = kelandaian (‰)

R = jari-jari kelengkungan (m)

Persamaan panjang busur lengkung vertikal berupa parabola :

$$Y = \frac{x^2}{2R} \dots\dots\dots(3.4)$$

3.4 Landai Penentu

Landai penentu adalah suatu kelandaian (pendakian) yang terbesar yang ada pada suatu lintas lurus. Besar landai penentu terutama berpengaruh pada kombinasi daya tarik lokomotif dan rangkaian yang dioperasikan. Untuk masing-masing kelas jalan rel, besar landai penentu adalah seperti tercantum dalam tabel 3.3 berikut :

Tabel 3.3 Besar landai Penentu Maksimum

Kelas Jalan rel	Besar Landai Penentu
1	10 %.
2	10 %.
3	20 %.
4	23 %.
5	25 %.

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986

Sedangkan bila didasarkan pada kelandaian dari sumbu dan rel dapat dibedakan menjadi empat kelompok :

Tabel 3.4 Pengelompokan lintas berdasar pada kelandaian

Kelompok	Kelandaian
Lintas datar	0 ‰ sampai dengan 10 ‰
Lintas pegunungan	10 ‰ sampai dengan 40 ‰
Lintas dengan rel gigi	40 ‰ sampai dengan 80 ‰

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986

Untuk emplasemen kelandaianya adalah 0 sampai 1,5 ‰.

3.5 Landai Curam

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

$$l = \frac{Va^2 - Vb^2}{2g \cdot (S_k - S_m)} \dots \dots \dots (3.5)$$

- dengan :
- l = panjang maksimum landai (m)
 - V_a = kecepatan yang diijinkan di kaki landai curam (m/det)
 - V_b = kecepatan terkecil yang dapat diterima di puncak landai curam (m/det), $V_b \geq \frac{1}{2} V_a$
 - g = percepatan gravitasi
 - S_k = besar landai curam (%)
 - S_m = besar landai penentu (%)

3.6 Perlintasan Sebidang

Pada perlintasan sebidang jalan rel dan jalan raya harus tersedia jarak pandang bebas yang memadai bagi kedua pihak, terutama bagi pengendara kendaraan. Daerah pandan bebas pada perlintasan merupakan daerah pandangan segitiga dengan jarak-jaraknya ditentukan berdasarkan pada kecepatan rencana kedua belah pihak. Daerah pandangan segitiga harus bebas dari benda-benda penghalang setinggi 1,25 m atau lebih.

Pengemudi kendaraan dapat melihat kereta api yang mendekat sedemikian rupa sehingga kendaraan dapat menyeberangi perlintasan sebelum kereta api tiba. Selain itu pengemudi kendaraan harus dapat melihat kereta api yang mendekat sedemikian rupa sehingga kendaraan dapat dihentikan sebelum memasuki daerah perlintasan.

Daerah segitiga mempunyai dua komponen utama, yaitu jarak pandang d_H sepanjang jalan raya dan jarak pandang d_T sepanjang jalan rel. Untuk kedua kejadian tersebut, jarak pandang dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$d_H = 1,1 \cdot (1,4667 \cdot V_r \cdot t + \frac{V_v^2}{30f} + D + de) \dots\dots\dots(3.6)$$

penambahan 10 % jarak pandangan bebas digunakan untuk faktor keamanan

$$d_T = \frac{V_r}{V_r} (1,667 \cdot V_r \cdot t + \frac{V_v^2}{30f} + 2D + L + W) \dots\dots\dots(3.7)$$

dengan :

d_H = jarak pandangan sepanjang jalan raya yang memungkinkan suatu kendaraan dengan kecepatan V_v menyeberang lintasan dengan selamat,

meskipun sebuah kereta api tampak mendekat pada jarak d_T dari perlintasan. Atau memungkinkan kendaraan bersangkutan berhenti sebelum daerah perlintasan (feet)

d_T = jarak pandang sepanjang jalan rel, untuk memungkinkan pergerakan yang dijelaskan pada d_H (feet)

V_v = kecepatan kendaraan (mil/jam)

V_r = kecepatan kereta api

t = waktu reaksi, diambil sekitar 2,5 detik

f = koefisien geser (lihat tabel 3.5)

D = jarak dari garis henti, atau ujung depan kendaraan ke rel terdekat.

Diambil sekitar 15 feet.

d_e = jarak pengemudi ke ujung depan kendaraan. Diambil sekitar 10 feet

L = panjang kendaraan (feet)

W = jarak antara rel terluar (feet)

Hasil perhitungan untuk d_H dan d_T di konversikan ke satuan meter

Besaran yang diambil terdapat dalam tabel dibawah ini :

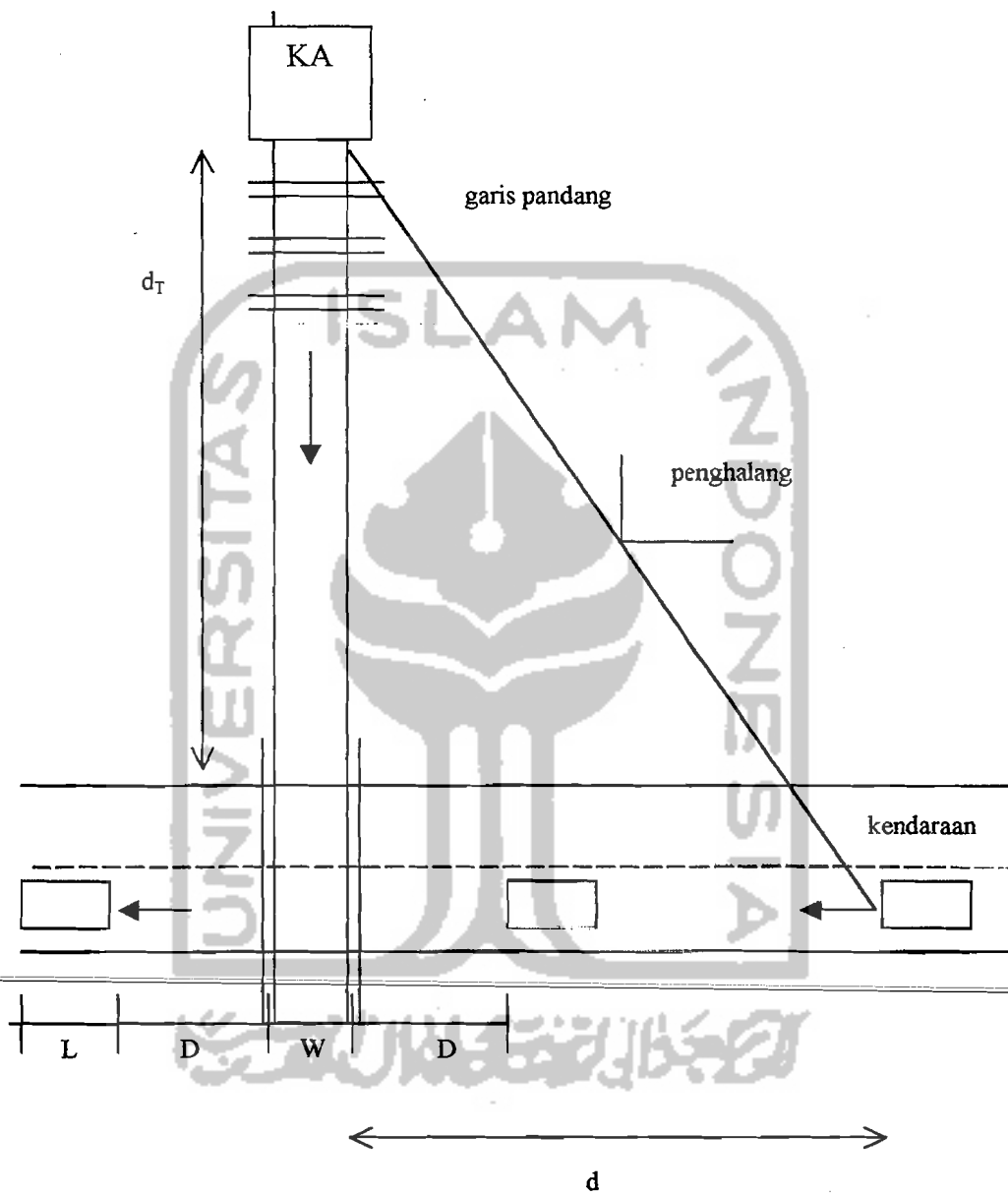
Tabel 3.5 Hubungan antara Kecepatan dengan Koefisien geser pada jalan

Kecepatan (Km/Jam)	20	40	60	80	90	100	110	120
Kec. (mil/jam)	12,43	24,00	37,28	49,71	55,92	62,14	68,35	74,57
Koef. Geser pada jalan	0,40	0,38	0,32	0,30	-	0,29	-	0,28

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986

Penjelasan dari perhitungan perlintasan sebidang dapat dilihat pada gambar 3.1 yaitu gambar Jarak Pandang yang terdapat pada halaman 22.

Lebar perlintasan sebidang bagi jalan raya dalam keadaan pintu terbuka atau tanpa pintu minimal sama dengan lebar perkerasan jalan raya yang bersangkutan. Perlintasan sebidang dilengkapi dengan rel-rel paksa untuk menjamin tetap adanya alur untuk flens roda. Lebar alur adalah sebesar 40 mm dan harus selalu bersih dari benda/kotoran penghalang. Panjang rel paksa adalah 0,8 m di luar perlintasan dan dibengkokkan ke dalam agar tidak terjadi tumbukkan paksa di ujung rel. Sambungan rel di dalam perlintasan harus dihindari.



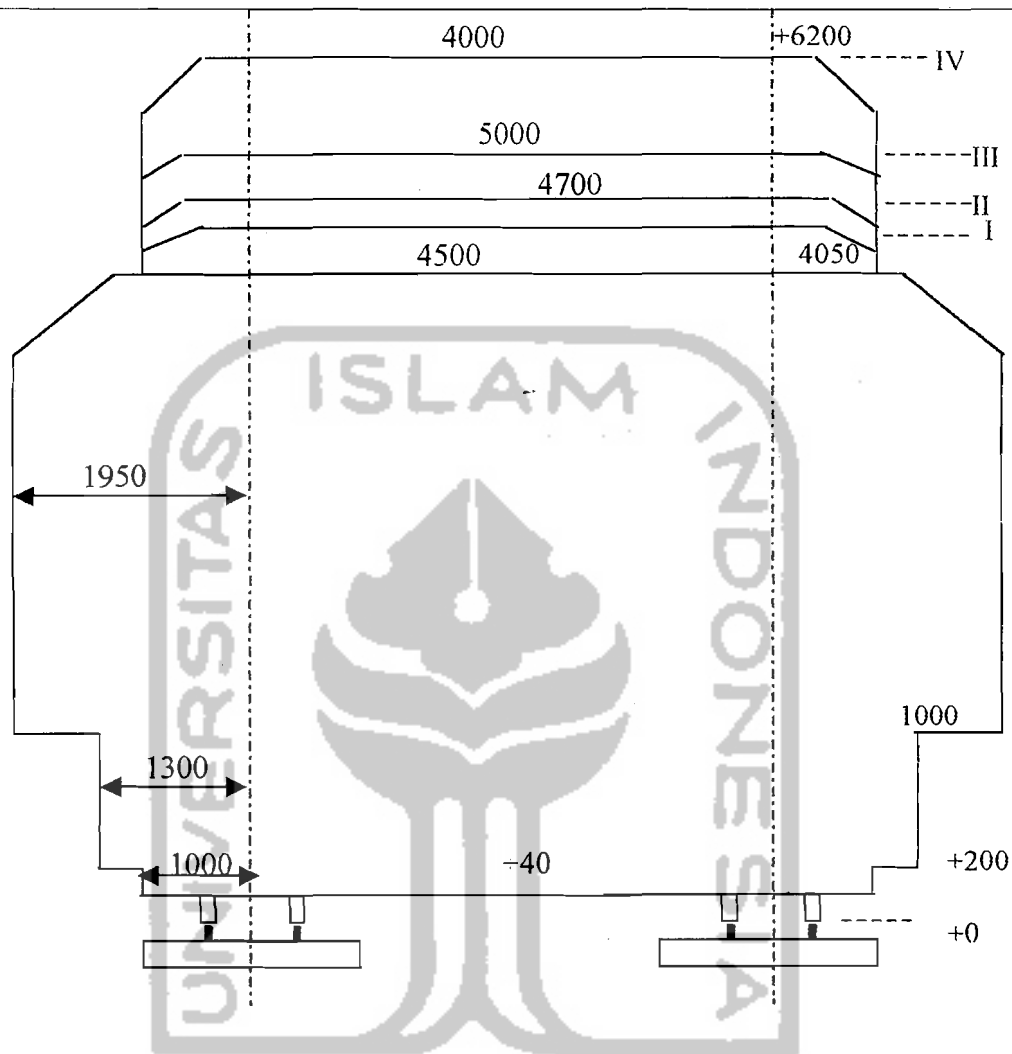
Gambar 3.1 Jarak Pandang
(Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986)

3.7 Ruang Bebas

Ruang bebas adalah ruang di atas sepur yang senantiasa harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang, ruang ini disediakan untuk melewati rangkaian kereta api. Untuk jalur ganda jarak antara sumbu-sumbu rel untuk jalur lurus dan lengkung sebesar 4,00 meter.

Pada lintas antara stasiun Solo Balapan – Yogya Tugu , jenis kereta yang akan dilayani antara lain gerbong penumpang, gerbong barang, gerbong peti kemas, dan gerbong tangki minyak.

Karena jenis gerbong yang akan dilayani bermacam-macam maka sebagai perencanaan ruang bebas di dasarkan pada ukuran gerbong peti kemas dengan standar ISO (“Standart Height”). Standar ini dipakai karena telah banyak negara yang menggungkannya dan cenderung untuk dipakai pada masa-masa yang akan datang. Gambar ruang bebas dapat dilihat pada gambar 3.2 pada halaman 24.



Gambar 3.2 Ruang Bebas

(Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986)

Keterangan Gambar :

Batas I = + 4500 mm, untuk jembatan dengan kecepatan sampai 60 km/jam

Batas II = + 4700 mm, untuk viaduk lama dan terowongan dengan kecepatan sampai 60 km/jam dan untuk jembatan dengan kecepatan > 60 km/jam

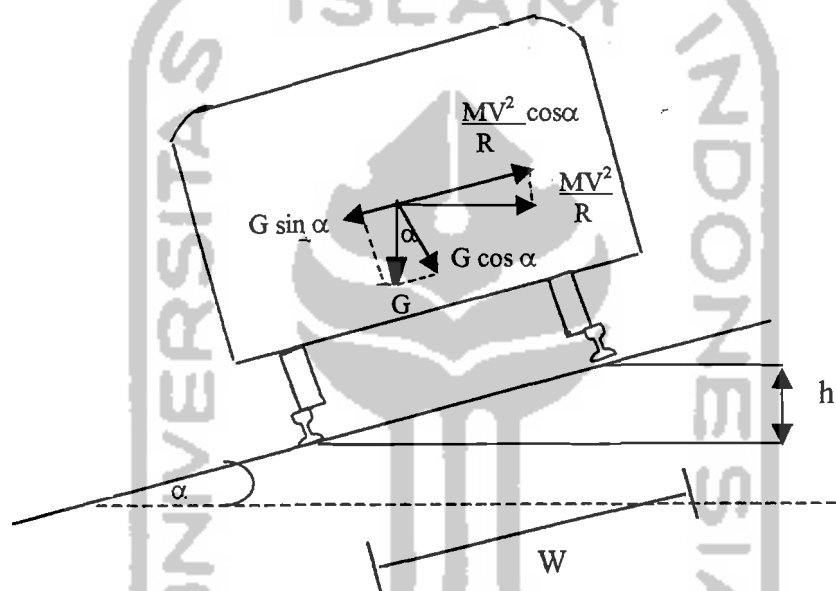
Batas III = + 5000 mm, untuk viaduk baru dan pekerjaan bangunan kecuali terowongan dan jembatan.

Batas IV = + 6200 mm, untuk lintas kereta listrik

3.8 Analisa Kenyamanan Perjalanan KA

Analisa ini dimaksudkan untuk menjaga agar penumpang dan barang yang dimuat oleh kereta aman dari gangguan akibat jalan kereta api. Analisa perjalanan ini meliputi, tinjauan terhadap bahaya penggulingan gaya ke arah luar jalur rel pada KA.

a. Tinjauan terhadap Bahaya Gulingan



Gambar 3.3 Gaya yang terjadi pada tikungan.

(Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986)

Keterangan Gambar :

m = massa kereta (Ton)

G = Berat gerbong (Ton)

h = peninggian rel (mm)

V = kecepatan KA (m/det)

R = jari-jari tikungan (m)

α = sudut kemiringan sepur/rel ($^{\circ}$)

W = lebar sepur (1067 mm)

$$h_{mak} = 5,94 \cdot \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots(3.8)$$

- Gaya guling akibat tikungan (H)

$$H = \frac{m.V^2}{R} - \frac{h.g}{w} \cdot G \dots\dots\dots(3.9)$$

- Gaya guling akibat tikungan ijin (Hi)

$$H_i = a \cdot G \dots\dots\dots(3.10)$$

- Syarat aman $H < H_i$

b. Tinjauan Terhadap pelemparan gaya ke luar sepur, $a = 5 \%$, dari berat KA

$$H_i = 5\% \cdot G \dots\dots\dots(3.11)$$

- Kenyamanan di dalam gerbong :

$$H_g = \frac{m.V^2}{R} - \frac{h.g}{w} \cdot G \dots\dots\dots(3.12)$$

- syarat aman $H_g < H_i$

3.9 Daya Tarik KA di lintasan

Untuk dapat memenuhi kelayakan operasi KA, maka trase jalan KA harus ditinjau dari kemampuannya dalam melayani perjalanan KA. Keadaan ini akan mempengaruhi kemampuan KA dalam menentukan kapasitas maupun kualitas perjalanan KA. Untuk mencapai hal ini perlu ditinjau keadaan sebagai berikut :

a. Kekuatan lokomotif

$$Tr = \frac{\delta \cdot 270 \cdot N}{V} \dots\dots\dots(3.13)$$

dengan : $\delta =$ angka redam (0,8)

$V =$ kecepatan KA

$N =$ tenaga redaman

b. Perlawanan lokomotif itu sendiri (W_1)

$$W_1 = C_1 \cdot C_2 \cdot G_1 + C_3 \cdot F \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2 \dots\dots\dots(3.14)$$

dengan :

$W_1 =$ perlawanan total dari lokomotif (kg)

$G_1 =$ Berat siap dari lokomotif (kg)

$F =$ Luas penampang dari badan lokomotif (m²)

$V =$ kecepatan rencana KA (km:jam)

$C_1 = 1 \rightarrow$ untuk bahan yang terpelihara dengan baik

$C_2 = 2,5 - 3,5 \rightarrow$ untuk perbandingan-perbandingan konstanta yang Normal

$C_3 = 0,5 - 0,7 \rightarrow$ angka konstanta yang mempengaruhi besarnya

perlawanan angin dan tergantung pada bentuk badan

lokomotif, yaitu konvensional, setengah licin dan licin

sempurna (bentuk arus).

Pada tahun 1956 s/d 1958, diadakan "rolling test" yang menghasilkan

rumus empiris untuk perlawanan lokomotif sebagai berikut :

$$W_1 = 1.2,65 \cdot G_1 + 0,54 \cdot F \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2 \dots\dots\dots(3.15)$$

c. Perlawanan akibat lengkung (w_l)

Perlawanan akibat tikungan dengan jari-jari (R) dirumuskan :

$$W_l = Gr.W_{spec} \text{ (kg)} \dots\dots\dots(3.16)$$

dengan :

W_l = Perlawanan tikungan/lengkung

Gr = Berat total dari seluruh rangkaian KA

W_{spec} = Besarnya tergantung spesifikasi menurut formula dari "Hamelinks", untuk lebar sepur 1067 mm adalah :

$$W_{spec} = \frac{450}{R - 50} \dots\dots\dots(3.17)$$

d. Perlawanan akibat tanjakan (W_i)

Besarnya perlawanan akibat tanjakan ditentukan dengan persamaan :

$$W_i = G.i \dots\dots\dots(3.18)$$

dengan :

W_i = perlawanan akibat tanjakan (kg)

i = landai daerah tanjakan (%)

G = berat KA (kg)

e. Perlawanan total (W_{tot})

$$W_{tot} = W_1 + W_l + W_i \dots\dots\dots(3.19)$$

Jadi besarnya daya tarik lokomotif (T_k) adalah :

$$T_k = T_r - W_{tot} \dots\dots\dots(3.20)$$

Daya tarik lokomotif tergantung pada jenis dan spesifikasi dari pabrik pembuatnya. Berikut ini daftar lokomotif yang dioperasikan oleh Perumka di Indonesia.

Tabel 3.6 Spesifikasi Lokomotif

No	Tipe	Bahan Bakar	Berat Siap	Tekanan gandar	Kecepatan Mak (km/jam)	Tenaga Tarik (HP)
1	BB.200	HSD	75,60	12,40	120	875
2	BB.201	HSD	78,00	13,00	120	1425
3	BB.202	HSD	44,00	11,00	100	1000
4	BB.203	HSD	78,00	13,40	120	1300
5	BB.300	HSD	36,00	9,00	75	680
6	BB.301	HSD	52,00	13,00	120	1500
7	BB.302	HSD	66,00	11,00	90	1000
8	BB.303	HSD	52,00	10,70	90	1000
9	BB.304	HSD	72,00	13,00	120	1500
10	CC.200	HSD	72,00	12,00	90	1600
11	CC.201	HSD	81,00	13,58	120	1950
12	D.300	HSD	51,00	8,50	50	340
13	D.301	HSD	12,00	7,00	50	340

Sumber : Peraturan Dinas 10, PJKA, 1986