

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tinjauan Umum

Perencanaan konstruksi jalur kereta api harus direncanakan sesuai persyaratan teknis sehingga dapat dipertanggungjawabkan secara teknis dan ekonomis. Secara teknis diartikan konstruksi jalur kereta api tersebut harus aman dilalui oleh sarana perkeretaapian dengan tingkat kenyamanan tertentu selama umur konstruksinya. Secara ekonomis diharapkan agar pembangunan dan pemeliharaan konstruksi tersebut dapat diselenggarakan dengan tingkat harga yang sekecil mungkin dengan *output* yang dihasilkan memiliki kualitas terbaik dan tetap menjamin keamanan dan kenyamanan.

Pada tahap kegiatan disain teknis ini, akan dilakukan analisis serta perhitungan lebih lanjut yang lebih komprehensif dan mendalam yang ditujukan untuk mendapatkan disain teknis jalur kereta api ganda berdasarkan persyaratan teknis dan peraturan-peraturan yang berlaku di Kementerian Perhubungan maupun PT. Kereta Api Indonesia.

B. Kriteria Desain

Berdasarkan pada Landasan Teori dan peraturan yang digunakan dalam perancangan, maka ketentuan-ketentuan atau kriteria disain untuk jalur kereta api ganda antara Stasiun Nagreg-Stasiun Lebakjero telah ditentukan sebagai berikut:

1. Lebar dan Jarak Jalan Rel
 - a. Persyaratan teknis untuk lebar jalan rel kereta api yang digunakan adalah 1067 mm, sebagaimana lebar jalan rel kereta api yang umum digunakan di Indonesia.
 - b. Jarak minimum antar as pada jalur KA adalah 4,00 m.
 - c. Jarak minimum antar as pada lengkung horisontal disesuaikan dengan radius lengkung.
 - d. Ruang bebas yang digunakan untuk jalur dengan lebar 1067 mm pada jalur lurus dan tikungan sesuai dengan PM No. 60 Tahun 2012.

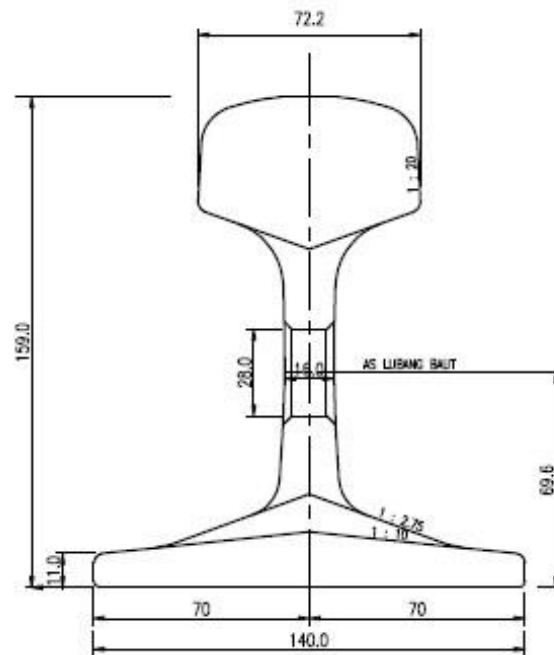
2. Kecepatan dan Beban Gandar
 - a. Kecepatan maksimum : 120 km/jam
 - b. Kecepatan di emplasmen (*sliding track*) : 45 km/jam
 - c. Beban maksimum gandar : 18 ton
3. Geometrik Jalan Rel
 - a. Jari-jari minimum pada lengkung vertikal yang digunakan adalah 6000 m.
 - b. Pada lintasan datar, kelandaian jalan rel kereta api terletak pada petak jalan adalah 0‰-10‰.
 - c. Khusus pada lintasan pegunungan, kelandaian jalan rel pada petak jalan dapat dibuat >10‰ sampai dengan maksimum 40‰.
 - d. Kelandaian maksimum di emplasmen adalah 1,5‰.
4. Material
 - a. Kelas jalan yang terpasang adalah jalan rel kelas I dengan jenis rel yang digunakan adalah R-54 dengan karakteristik dan spesifikasi yang memenuhi ketentuan yang berlaku.
 - b. Alat penambat yang digunakan adalah penambat rel tipe elastik dengan persyaratan bahan sesuai dengan Peraturan Bahan Jalur Kereta Api atau Peraturan yang berlaku.

C. Perancangan Struktur Jalan Rel

Susunan jalan kereta api harus mengacu pada ketentuan-ketentuan yang berlaku di Perkeretaapian Indonesia. Dalam perencanaan jalan kereta api ini, akan mengacu pada Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012. Struktur jalan kereta api terdiri atas komponen yang menyusun struktur atas hingga struktur bawahnya. Beberapa komponen penyusun jalan kereta api yang dibahas dalam disain kali ini yaitu:

1. Rel

Melihat dari kondisi eksisting jalan yang sudah ada saat ini, maka dalam proses pembangunan Jalur Ganda Kereta Api antara Stasiun Nagreg-Stasiun Lebakjero digunakan konstruksi rel baru dengan tipe rel R-54 dengan pertimbangan pemanfaatan dan usia pemakaiannya dalam jangka panjang. Untuk tipe rel R-54 dapat disajikan pada Gambar 5.1 dimensi akan diuraikan pada Tabel 5.1.



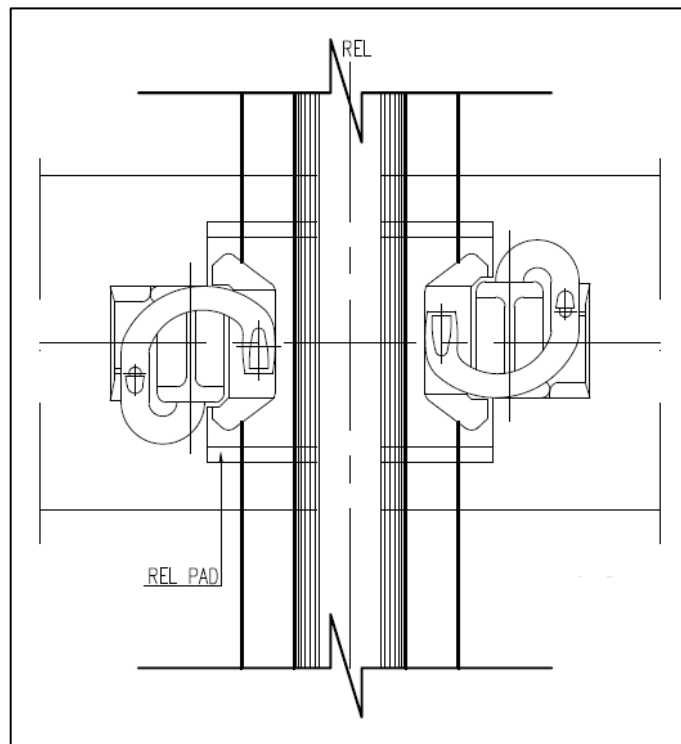
Gambar 5.1. Tipikal rel tipe R-54.

Tabel 5.1 Dimensi penampang rel tipe R-54

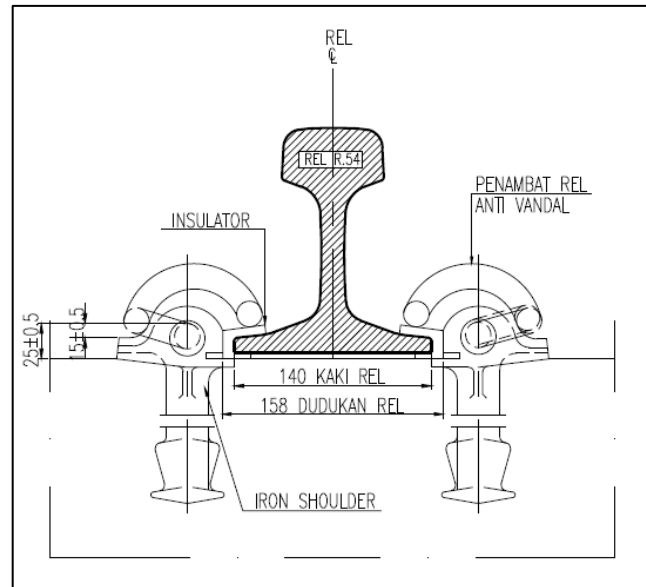
Besaran Geometri Rel	Tipe Rel
	R-54
H (mm)	159,00
B (mm)	140,00
C (mm)	70,00
D (mm)	16,00
E (mm)	49,40
F (mm)	30,20
G (mm)	74,79
R (mm)	508,00
A (cm ²)	69,34
W (kg/m)	54,43
I _x (cm ⁴)	2346
Y _b (mm)	76,20
A = luas penampang	
W = berat rel permeter	
I _x = momen inersia terhadap sumbu x	
Y _b = jarak tepi bawah rel ke garis netral	

2. Penambat

Pada perencanaan ini digunakan penambat jenis elastis ganda tipe Pandrol *e – clips* 1800 dengan gaya jepit mencapai 1100 kgf sesuai dengan PM No. 60 Tahun 2012. Komponen yang ada pada penambat terdiri dari *soulder/insert*, *clip*, *insulator*, dan *rubberpad*. Pemasangan dilakukan dengan menggunakan alat bantu *small jack* dan *pan satter*. Untuk tipikal penambat tipe Pandrol *e – clips* tampak disajikan pada Gambar 5.2.



(a)

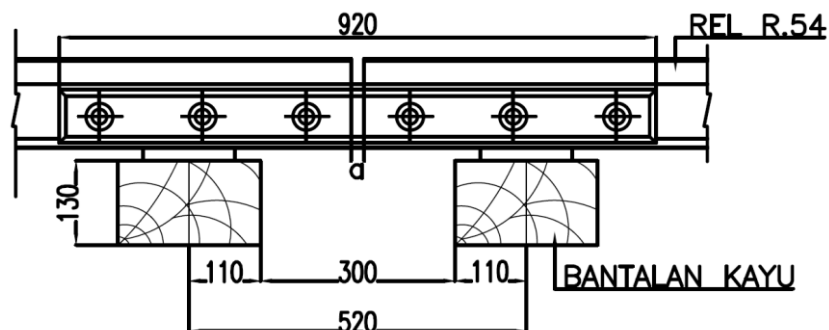


(b)

Gambar 5.2 Tampak atas penambat (a) dan Tampak potongan penambat (b) tipe Padrol *e - clips*.

3. Pelat Sambung, Mur, dan Baut

Sambungan rel adalah konstruksi yang mengikat dua ujung rel dengan menggunakan pelat sambung, baut dan mur. Pada perencanaan ini sambungan didisain sedemikian rupa sehingga operasi kereta tetap nyaman dan aman dengan celah sambungan 11 - 16 mm. Pada pekerjaan penyambungan rel dilakukan pengelasan rel pada sambungan standar 25 m dan digunakan *fishplate* pada setiap panjang 300 m dengan tipe pemasangan sambungan adalah sambungan melayang. Skema penyambungan rel disajikan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Skema sambungan rel dengan Mur dan Baut.

4. Bantalan

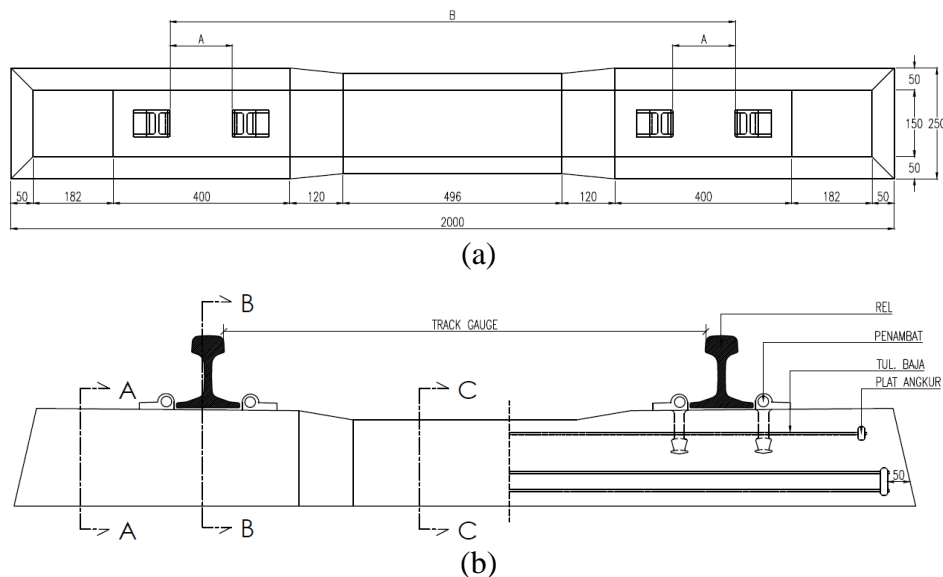
Dalam perencanaan jalur rel kereta api ini digunakan bantalan beton. Untuk lebar jalan rel 1067 mm material beton yang digunakan memiliki karakteristik kuat tekan beton tidak kurang dari 500 kg/cm dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.655 Mpa). Dimensi bantalan beton untuk lebar jalan rel 1067 mm sebagai berikut:

- a. Panjang bantalan : 2.000 mm
- b. Lebar maksimum bantalan : 260 mm
- c. Tinggi maksimum bantalan : 220 mm

Pada perencanaan ini digunakan dimensi sebagai berikut:

- a. Panjang bantalan : 2.000 mm
- b. Lebar atas bantalan : 150 mm
- c. Lebar bawah bantalan : 250 mm
- d. Tinggi bantalan : 215 mm

Skema bantalan yang digunakan pada perencanaan ini tersaji pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Bantalan beton.

5. Lapisan Pondasi Atas (*Ballast*)

Lapisan balas berfungsi untuk meneruskan dan menyebarkan beban ke tanah dasar, mengokohkan kedudukan bantalan dan meloloskan air sehingga tidak terjadi penggenangan air di sekitar bantalan rel.

Material pembentuk balas memenuhi persyaratan berikut:

- a. Tebal lapisan balas yang digunakan adalah 30 cm.
- b. Kemiringan lereng lapisan balas atas 1 : 2.
- c. Balas terdiri dari batu pecah (25-60) mm dan memiliki kapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek yang tinggi dan mudah dipadatkan.
- d. Material balas harus bersudut banyak dan tajam.
- e. Porositas maksimum 3 %.
- f. Kuat tekan rata-rata maksimum 1000 kg/cm^2 .
- g. *Specific gravity* minimum 2,6.
- h. Kandungan tanah, lumpur, dan organik maksimum 0,5%.
- i. Kandungan minyak maksimum 0,2%.
- j. Keausan balas sesuai dengan *test Los Angeles* tidak boleh lebih dari 25%.

6. Lapisan Pondasi Bawah (*Subballast*)

Lapisan sub balas berfungsi sebagai lapisan penyaring (*filter*) antara tanah dasar dan lapisan balas dan harus dapat mengalirkan air dengan baik.

Materi sub balas memenuhi persyaratan berikut:

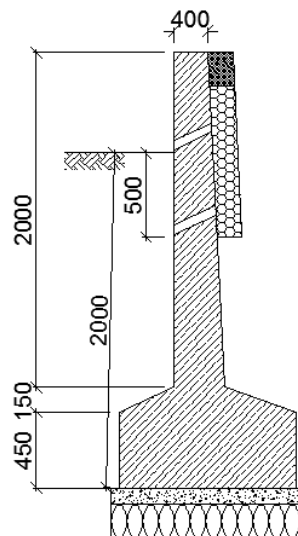
- a. Tebal lapisan sub balas yang digunakan adalah 50 cm.
- b. Kemiringan lereng lapisan sub balas 1 : 2.
- c. Material sub balas dapat berupa campuran kerikil (*gravel*) atau kumpulan agregat pecah dan pasir.
- d. Material sub balas tidak boleh memiliki kandungan material organik lebih dari 5%.
- e. Untuk material sub balas yang merupakan kumpulan agregat pecah dan pasir, maka harus mengandung sekurang-kurangnya 30% agregat pecah.
- f. Lapisan sub balas harus dipadatkan sampai mencapai 100%.

7. Lapisan Tanah Dasar

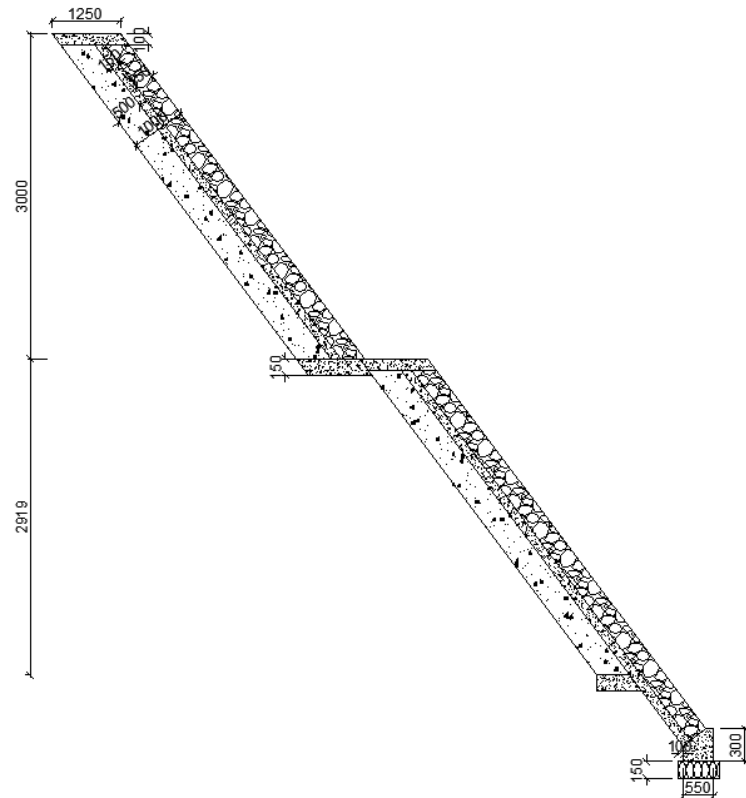
Pada perencanaan ini digunakan material tanah asli/tanah kelas baik apabila pada kondisi tanah pada titik tertentu mendapatkan jenis tanah kurang baik. Menurut ketentuan PT. Kereta Api (persero), kuat dukung tanah dasar (nilai CBR) minimum adalah sebesar 8%, dengan ketebalan tanah dasar minimal 30 cm

8. Perkuatan

Pada studi ini perkuatan dinding penahan tanah menggunakan metode *retaining wall*. Kontruksi dinding penahan tanah biasanya dipasang pada daerah yang merupakan area urugan tanah ataupun pada daerah galian, lebar lahan yang terbatas serta pada daerah kelongsoran. Material yang digunakan dapat berupa pasangan batu bata, pasangan batu kali, beronjong maupun beton bertulang. Pada studi ini digunakan dinding penahan tanah pada lereng timbunan yang memiliki ketinggian timbunan lebih dari 3 m. Tipikal bentuk dinding penahan tanah tersaji pada Gambar 5.5 dan tipikal *retaining wall* tersaji pada Gambar 5.6.



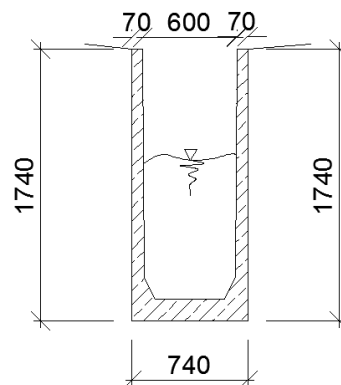
Gambar 5.5 Tipikal dinding penahan tanah.



Gambar 5.6 Tipikal dinding penahan tanah pada lereng timbunan.

9. Sistem Drainasi

Pada perencanaan ini digunakan drainasi *case in situ* dengan bentuk – U. Untuk jalan kereta api ganda dengan jarak as 4 – 8 m, drainase dapat dibuat hanya pada salah satu sisi namun untuk jalan kereta api dengan jarak as > 8 m, drainase harus dibuat di tengah dan kedua sisi jalan rel. Bentuk tipikal disain drainasi tersaji pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Tipikal Drainasi

D. Perancangan Geometri Jalan Rel

1. Ketentuan Umum Perancangan Jalan Rel

Pada Tugas Akhir ini membahas tentang disain alinemen horisontal, alinemen vertikal, dan disain potongan melintang pada perancangan geometrik jalan rel yang mengacu pada Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, Peraturan Daerah No. 10 Tahun 1986 tentang Perancangan Konstruksi Jalan Rel, dan Buku Rekayasa Jalan Kereta Api. Pada perancangan ini menggunakan anggapan bahwa trase terpilih merupakan trase terbaik yang akan dilakukan disain lebih lanjut.

2. Perancangan Alinemen Horisontal

Pada disain DED dari Stasiun Nagreg-Stasiun Lebakjero dengan panjang jalur 5,809 km, terdapat 14 tikungan dengan jenis tikungan S-C-S (*Spiral-Circle-Spiral*), dikarenakan tikungan yang terbentuk mempunyai jari-jari < 800 m. Adapun hasil perhitungan dibawah ini merupakan satu contoh perhitungan yang kemudian dilampirkan melalui Tabel 5.3.

a. Data Kecepatan Rencana

Kelas jalan rel = Kelas Jalan I (> 20 x 10² ton/tahun).

Kecepatan Rencana ($V_{rencana}$) = 96 km/jam

b. Perencanaan jari-jari tikungan (R)

1) Gaya sentrifugal diimbangi sepenuhnya oleh gaya berat.

$$R_{min} = 0,076(V_{rencana})^2 = 0,076 \times (96)^2 = 700,42 \text{ m}$$

2) Gaya sentrifugal diimbangi oleh gaya berat dan daya dukung komponen jalan rel.

$$R_{min} = 0,054(V_{rencana})^2 = 0,054 \times (96)^2 = 497,66 \approx 500 \text{ m}$$

3) Jari-jari minimum untuk lengkung yang tidak memerlukan busur peralihan jika tidak ada peninggian rel yang harus dicapai ($h=0$)

$$R_{min} = 0,164 (V_{rencana})^2 = 0,164 \times (96)^2 = 1511,42 \text{ m}$$

Berdasarkan nilai R_{min} diatas maka dapat ditentukan nilai R_{min} rencana untuk proses perhitungan berikutnya, pada perancangan kali ini R_{min} rencana yang dipakai 500 m dengan lengkung peralihan.

c. Perencanaan tikungan

1) Peninggian Rel

a) Peninggian Rel Minimum

Diketahui :

$$V_{\text{rencana}} = 96 \text{ km/jam}$$

$$R_{\text{disain}} = 500 \text{ m}$$

Rumus :

$$h_{\text{min}} = \frac{8,8V^2}{R} - 53,5 \text{ (dalam satuan mm)}$$

Perhitungan :

$$h_{\text{min}} = \frac{8,8(96)^2}{500} - 53,5 = 108,70 \text{ mm}$$

b) Peninggian Rel Normal

Diketahui :

$$V_{\text{rencana}} = 96 \text{ km/jam}$$

$$R_{\text{disain}} = 500 \text{ m}$$

Rumus :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \times \frac{V^2}{R_r} \text{ (dalam satuan mm)}$$

Perhitungan :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \times \frac{96^2}{500} = 109,67 \text{ mm}$$

c) Peninggian Rel Maksimum

Peninggian rel maksimum berdasarkan stabilitas kereta api pada saat berhenti di bagian lengkung, digunakan faktor keamanan (safety factor, SF) = 3,0 sehingga kemiringan maksimum dibatasi sampai 10% atau $h_{\text{maksimum}} = 110 \text{ mm}$

Dari hasil perhitungan, diperoleh $h_{\text{min}} = 108,70 \text{ mm}$, $h_{\text{normal}} = 109,67 \text{ mm}$ dan, $h_{\text{maks}} = 110 \text{ mm}$, memenuhi syarat = $h_{\text{minimum}} < h_{\text{normal}} < h_{\text{maksimum}}$, maka peninggian rel yang direncanakan = $108,70 \text{ mm} \approx 110 \text{ mm}$.

2) Pelebaran Sepur

Untuk mendapatkan pelebaran sepur maka dapat merujuk pada Tabel 5.2 yang merupakan penggolongan pelebaran sepur berdasarkan jari-jari lengkung untuk lebar sepur 1067 mm.

Tabel 5.2 Pelebaran sepur untuk 1067 mm

Jari-jari Tikungan (m)	Pelebaran Sepur (mm)
$R > 600$	0
$550 < R \leq 600$	5
$400 < R \leq 500$	10
$350 < R \leq 400$	15
$100 < R \leq 350$	20

(Sumber: PM No.60 tahun 2012)

Karena nilai Rmin rencana pada tikungan horisontal 500 m, maka berdasarkan tabel 5.2 diatas didapatkan pelebaran sepur sebesar 10 mm.

3) Perhitungan Lengkung Horisontal

Berikut ini penulis sertakan salah satu contoh perhitungan tikungan horisontal pada perencanaan jalan rel Stasiun Nagreg-Stasiun Lebakjero,

a) Tikungan 1

Data perencanaan :

Kelas Jalan	= I
Kecepatan maksimum	= 120 km/jam
Kecepatan desain	= 96 km/jam
R desain	= 500 m
Sudut belok, Δ	= 25,475°

i) Menghitung Panjang Lengkung Lingkaran

$$L_s = 0,01 \times h \times V = 0,01 \times 110 \text{ mm} \times 96 \text{ km/jam} \\ = 105,284 \text{ m}$$

$$\theta_s = \frac{90 + L_s}{\pi \times R} = \frac{90 + 105,284 \text{ m}}{\pi \times 500} = 6,032^\circ$$

$$\theta_c = \Delta_1 \times 2\theta_s = 25,48^\circ \times 2(6,03) = 13,41^\circ$$

$$L_c = \frac{\theta_c}{360^\circ} \times 2\pi R = \frac{13,41}{360^\circ} \times 2\pi \times (500) = 117,028 \text{ m}$$

$$L = 2L_s + L_c = 2(105,284) + 117,028 = 327,595 \text{ m}$$

ii) Menghitung Komponen Lengkung Lingkaran

$$X_c = L_s - \frac{L_s^2}{40 \times R^2} = 105,284 - \frac{105,284^2}{40 \times 500^2} = 105,167 \text{ m}$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6 \times R^2} = \frac{105,284^2}{6 \times 500^2} = 3,695 \text{ m}$$

$$p = Y_c - R(1 - \cos \theta_c) \\ = 3,695 - 500(1 - \cos 13,41^\circ) = 0,926 \text{ m}$$

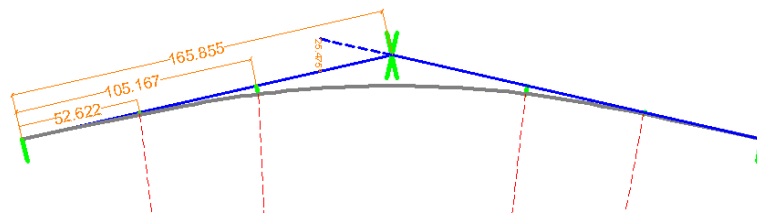
$$k = X_c - R \sin \theta_s \\ = 105,167 - 500(\sin 6,032^\circ) = 52,622 \text{ m}$$

iii) Menghitung Tt dan Et

$$T_t = (R + p) \operatorname{tg} \frac{\Delta_s}{2} + k \\ = (500 + 0,926) \operatorname{tg} \frac{25,475^\circ}{2} + 52,622 = 165,855 \text{ m}$$

$$k_j E_t = (R + p) \operatorname{sec} \frac{\Delta_s}{2} - R \\ = (500 + 0,926) \operatorname{sec} \frac{25,475^\circ}{2} - 500 = 13,565 \text{ m}$$

Proyeksi lengkung horizontal ditunjukkan dalam gambar 5.8



Gambar 5.8 Proyeksi tikungan I pada alinemen horisontal.

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh beberapa lengkung dengan jari – jari terkecil yaitu 130 m dengan kecepatan rencana 46 km/jam, melihat dari kondisi tersebut perlu adanya pembatasan kecepatan di lokasi tertentu sehingga dapat mencegah kereta anjlok. Agar mendapatkan pembatasan kecepatan atau kecepatan yang diijinkan perlu dilakukan kajian pola operasi (Setiawan, 2016).

Tabel 5.3 Hasil perhitungan pada Alinemen Horisontal.

DATA	TIKUNGAN 1	TIKUNGAN 2	TIKUNGAN 3	TIKUNGAN 4	TIKUNGAN 5	TIKUNGAN 6	TIKUNGAN 7
Δ (°)	25.475	58.471	80.288	16.643	23.04	18.037	125.264
V (km/jam)	76.8	44	44	59.2	57.6	72	38.4
Vr (km/jam)	96	55	55	74	72	90	48
α_s (°)	6.032	7.090	7.458	7.675	7.069	6.136	10.343
α_c (°)	13.410	44.291	65.372	1.294	8.902	5.764	104.577
Ls (m)	105.284	49.497	50.766	80.369	74.028	96.390	48.742
Lc (m)	117.028	154.606	222.486	6.773	46.610	45.272	246.404
Tt (m)	165.855	136.961	190.296	84.173	98.295	119.735	286.570
Et (m)	13.565	29.782	60.817	4.103	6.947	6.506	160.275
Xc (m)	105.167	x49.421	50.680	80.225	73.915	96.279	48.584
Yc (m)	3.695	2.042	2.203	3.588	3.044	3.441	2.933
k (m)	52.622	24.736	25.368	40.161	36.995	48.177	24.345
p (m)	0.926	0.512	0.553	0.901	0.764	0.863	0.739
R (m)	500	200	195	300	300	450	135
L (m)	165.855	136.961	190.296	84.173	98.295	119.735	286.570

Tabel 5.3 Lanjutan.

DATA	TIKUNGAN 8	TIKUNGAN 9	TIKUNGAN 10	TIKUNGAN 11	TIKUNGAN 12	TIKUNGAN 13	TIKUNGAN 14
Δ (°)		21.357	51.991	120.566	129.272	50.679	62.277
V (km/jam)	65.541	36.8	38.4	44	46.4	56	46
Vr (km/jam)	36.8	46	48	55	58	70	57.5
α_s (°)	46	9.104	11.154	7.090	6.997	6.496	10.002
α_c (°)	9.817	3.150	29.682	106.386	115.278	37.687	42.274
Ls (m)	45.906	42.900	50.617	49.497	47.627	68.028	62.842
Lc (m)	44.550	7.421	67.347	371.358	392.336	197.326	132.807
Tt (m)	104.158	46.996	89.073	376.029	436.164	176.367	140.693
Et (m)	106.350	2.961	15.555	204.490	261.352	32.650	31.376
Xc (m)	25.368	42.792	50.425	49.421	47.556	67.941	62.650
Yc (m)	44.419	2.272	3.285	2.042	1.939	2.571	3.657
k (m)	2.544	21.432	25.276	24.736	23.802	34.000	31.389
p (m)	22.253	0.572	0.829	0.512	0.486	0.645	0.921
R (m)	0.641	135	130	200	195	300	180
L (m)	130	46.996	89.073	376.029	436.164	176.367	140.693
	106.350						

3. Perancangan Alinemen Vertikal

Pada perancangan alinemen vertikal jalan rel antara Stasiun Nagreg-Stasiun Lebakjero diambil beberapa syarat dari PM No. 60 tahun 2012, yaitu:

- a. Untuk rencana jalan rel kelas I digunakan R min sebesar 6000 m.
- b. Pada jalur rel tingkat kelandaian yang digunakan antara 0%-10%.
- c. Pada daerah stasiun tingkat kelandaian yaitu 0%.

Didalam pengukuran tinggi-rendahnya suatu jalan kereta api umumnya terdapat dataran maupun landai. Perubahan dari datar ke landai atau sebaliknya yang berurutan akan terjadi titik patah atau perpotongan sehingga membentuk sudut. Berikut ini adalah contoh perhitungan lengkung vertikal pada perencanaan ini.

Perhitungan Tikungan Vertikal.

Perhitungan :

Diperoleh data rencana pada lengkung vertikal I (IPV 1)

a. Data Kelandaian I

$$\text{Elevasi Awal} = 846,92 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Akhir} = 846,92 \text{ m}$$

$$\text{Jarak titik A - IPV 1} = 249,985 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Kelandaian } d1 &= \frac{\text{Elv. Awal} - \text{Elv. Akhir}}{\text{Jarak titik}} \times 1000 \\ &= \frac{846,92 - 846,92}{249,985} \times 1000 = 0 \text{ ‰.} \end{aligned}$$

b. Data Kelandaian II

$$\text{Elevasi Awal} = 846,92 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Akhir} = 847,884 \text{ m}$$

$$\text{Jarak titik A - IPV 1} = 100,015 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Kelandaian } d2 &= \frac{\text{Elv. Awal} - \text{Elv. Akhir}}{\text{Jarak titik}} \times 1000 \\ &= \frac{846,92 - 847,88}{100,015} \times 1000 = 9,639 \text{ ‰.} \end{aligned}$$

$$\text{c. Beda kelandaian } (\varphi) = d2 - d1 = 9,639 \text{ ‰.}$$

d. Menghitung nilai X_m , Y_m , dan L_v .

$$X_m = \frac{R}{2} \times (\varphi)$$

$$= \frac{6000}{2} \times (9,639 \text{ ‰})$$

$$= 28,916 \text{ m}$$

$$Y_m = \frac{R}{8} \times (\varphi)^2$$

$$= \frac{6000}{8} \times (9,639 \text{ ‰})^2$$

$$= 0,0697 \text{ m}$$

$$L = \varphi \times R$$

$$= 9,639 \text{ ‰} \times 6000$$

$$= 57,8313 \text{ m}$$

Pada Tabel 5.4 disajikan jumlah dan nilai lengkung vertikal yang terdapat pada perencanaan jalan rel kereta api antara Stasiun Nagreg - Stasiun Lebakjero.

Tabel 5.4 Hasil perhitungan alinemen vertikal

IPV	Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	Jarak (m)	Kelandaian (%o)	S (%o)	$X_m = R/2*\phi$ (m)	$Y_m = R/8*\phi^2$ (m)	$L_v = \phi*R$ (m)	Keterangan
1	846.92	846.92			249.985	0.000					
			6000	100			9.639	28.916	0.0697	57.8313	cekung
	846.92	847.884			100.015	9.639					
2	846.92	847.884			100.015	9.639					
			6000	100			14.515	43.544	0.1580	87.0887	cekung
	847.884	851.507			150	24.153					
3	847.884	851.507			150	24.153					
			6000	100			0.847	2.540	0.0005	5.0800	cekung
	851.507	855.257			150	25.000					
4	851.507	855.257			150	25.000					
			6000	100			0.007	0.021	0.0000	0.0429	cembung
	855.257	872.752			700	24.993					
5	855.257	872.752			700	24.993					
			6000	100			1.133	3.399	0.0010	6.7971	cembung
	872.752	875.138			100	23.860					

Tabel 5.4 Lanjutan

IPV	Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	Jarak (m)	Kelandaian (%)	S (%)	$X_m = R/2*\phi$ (m)	$Y_m = R/8*\phi^2$ (m)	$L_v = \phi*R$ (m)	Keterangan
6	872.752	875.138			100	23.860					
			6000	100			14.927	44.780	0.1671	89.5600	cembung
	875.138	876.478			150	8.933					
7	875.138	876.478			150	8.933					
			6000	100			23.733	71.200	0.4225	142.4000	cembung
	876.478	873.518			200	-14.800					
8	876.478	873.518			200	-14.800					
			6000	100			7.917	23.752	0.0470	47.5050	cembung
	873.518	864.431			400	-22.718					
9	873.518	864.431			400	-22.718					
			6000	100			4.162	12.487	0.0130	24.9750	cembung
	864.431	859.055			200	-26.880					
10	864.431	859.055			200	-26.880					
			6000	100			2.300	6.900	0.0040	13.8000	cekung
	859.055	852.91			250	-24.580					

Tabel 5.4 Lanjutan

IPV	Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	Jarak (m)	Kelandaian (%o)	S (%o)	$X_m = R/2*\phi$ (m)	$Y_m = R/8*\phi^2$ (m)	$L_v = \phi*R$ (m)	Keterangan
11	859.055	852.91			250	-24.580					
			6000	100			4.630	13.890	0.0161	27.7800	cekung
	852.91	848.92			200	-19.950					
12	852.91	848.92			200	-19.950					
			6000	100			2.306	6.918	0.0040	13.8360	cembung
	848.92	843.356			250	-22.256					
13	848.92	843.356			250	-22.256					
			6000	100			0.000	0.000	0.0000	0.0000	cekung
	843.356	840.574			125	-22.256					
14	843.356	840.574			125	-22.256					
			6000	100			18.692	56.077	0.2621	112.1542	cekung
	840.574	839.594			275	-3.564					
15	840.574	839.594			275	-3.564					
			6000	100			5.380	16.139	0.0217	32.2778	cekung
	839.594	839.821			125	1.816					

Tabel 5.4 Lanjutan

IPV	Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	Jarak (m)	Kelandaian (%)	S (%)	$X_m = R/2*\phi$ (m)	$Y_m = R/8*\phi^2$ (m)	$L_v = \phi*R$ (m)	Keterangan
16	839.594	839.821			125	1.816					
			6000	100			19.504	58.512	0.2853	117.0240	cembung
	839.821	837.610			125	-17.688					
17	839.821	837.61			125	-17.688					
			6000	100			10.808	32.424	0.0876	64.8480	cekung
	837.61	836.922			100	-6.880					
18	837.61	836.922			100	-6.880					
			6000	100			7.190	21.570	0.0388	43.1400	cekung
	836.922	837.015			300	0.310					
19	836.922	837.015			300	0.310					
			6000	100			7.403	22.210	0.0411	44.4200	cembung
	837.015	836.483			75	-7.093					
20	837.015	836.483			75	-7.093					
			6000	100			9.573	28.720	0.0687	57.4400	cekung
	836.483	836.669			75	2.480					

Tabel 5.4 Lanjutan

IPV	Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	Jarak (m)	Kelandaian (‰)	S (‰)	$X_m = R/2*\phi$ (m)	$Y_m = R/8*\phi^2$ (m)	$L_v = \phi*R$ (m)	Keterangan
21	836.483	836.669			75	2.480					
			6000	100			2.904	8.712	0.0063	17.4240	cembung
	836.669	836.616			125	-0.424					
22	836.669	836.616			125	-0.424					
			6000	100			3.624	10.872	0.0099	21.7440	cekung
	836.616	837.016			125	3.200					
23	836.616	837.016			125	3.200					
			6000	100			2.234	6.703	0.0037	13.4057	cembung
	837.016	837.185			175	0.966					
24	837.016	837.185			175	0.966					
			6000	100			3.526	10.577	0.0093	21.1543	cembung
	837.185	837.057			50	-2.560					
25	837.185	837.057			50	-2.560					
			6000	100			7.840	23.520	0.0461	47.0400	cembung
	837.057	836.277			75	-10.400					

Tabel 5.4 Lanjutan

IPV	Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	Jarak (m)	Kelandaian (%o)	S (%o)	$X_m = R/2*\phi$ (m)	$Y_m = R/8*\phi^2$ (m)	$L_v = \phi*R$ (m)	Keterangan
26	837.057	836.277			75	-10.400					
			6000	100			6.536	19.608	0.0320	39.2160	cembung
	836.277	834.160			125	-16.936					
27	836.277	834.16			125	-16.936					
			6000	100			5.563	16.688	0.0232	33.3760	cekung
	834.16	833.307			75	-11.373					
28	834.16	833.307			75	-11.373					
			6000	100			7.467	22.400	0.0418	44.8000	cembung
	833.307	831.423			100	-18.840					
29	833.307	831.423			100	-18.840					
			6000	100			5.182	15.547	0.0201	31.0933	cembung
	831.423	826.018			225	-24.022					
30	831.423	826.018			225	-24.022					
			6000	100			1.674	5.021	0.0021	10.0419	cekung
	826.018	822.107			175	-22.349					

Tabel 5.4 Lanjutan

IPV	Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	Jarak (m)	Kelandaian (%o)	S (%o)	$X_m = R/2*\phi$ (m)	$Y_m = R/8*\phi^2$ (m)	$L_v = \phi*R$ (m)	Keterangan
31	826.018	822.107			175	-22.349					
			6000	100			1.971	5.914	0.0029	11.8286	cembung
	822.107	818.459			150	-24.320					
32	822.107	818.459			150	-24.320					
			6000	100			7.980	23.940	0.0478	47.8800	cekung
	818.459	816.825			100	-16.340					
33	818.459	816.825			100	-16.340					
			6000	100			13.320	39.960	0.1331	79.9200	cekung
	816.825	816.674			50	-3.020					

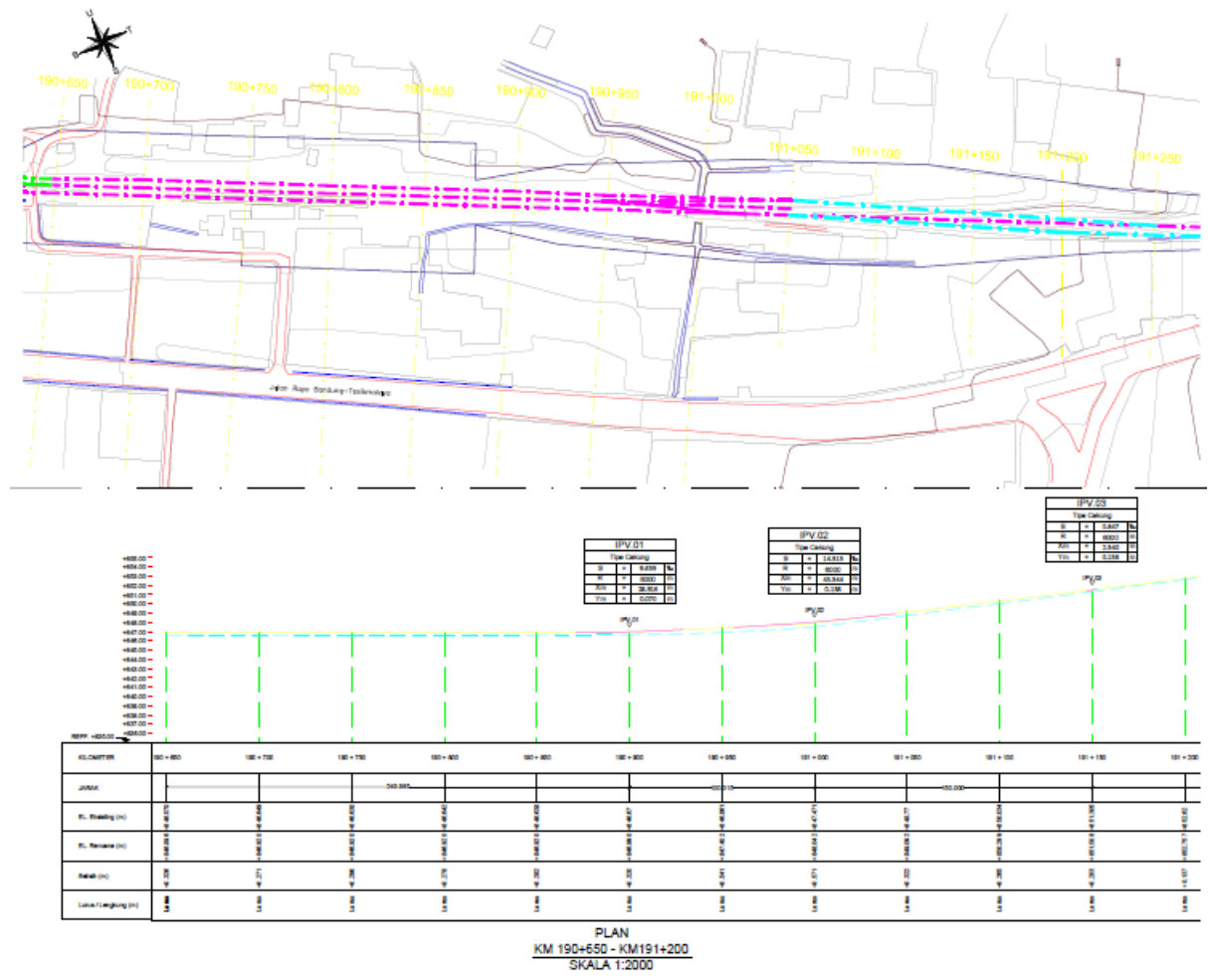
Tabel 5.4 Lanjutan

IPV	Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	Jarak (m)	Kelandaian (%o)	S (%o)	$X_m = R/2*\phi$ (m)	$Y_m = R/8*\phi^2$ (m)	$L_v = \phi*R$ (m)	Keterangan
34	816.825	816.674			50	-3.020					
			6000	100			3.020	9.060	0.0068	18.1200	cekung
	816.674	816.674			150	0.000					
35	816.674	816.674			150	0.000					
			6000	100			6.200	18.600	0.0288	37.2000	cembung
	816.674	816.054			100	-6.200					
36	816.674	816.054			100	-6.200					
			6000	100			8.110	24.330	0.0493	48.6600	cekung
	816.054	816.245			100	1.910					

4. Perancangan Potongan Melintang

a. Potongan memanjang

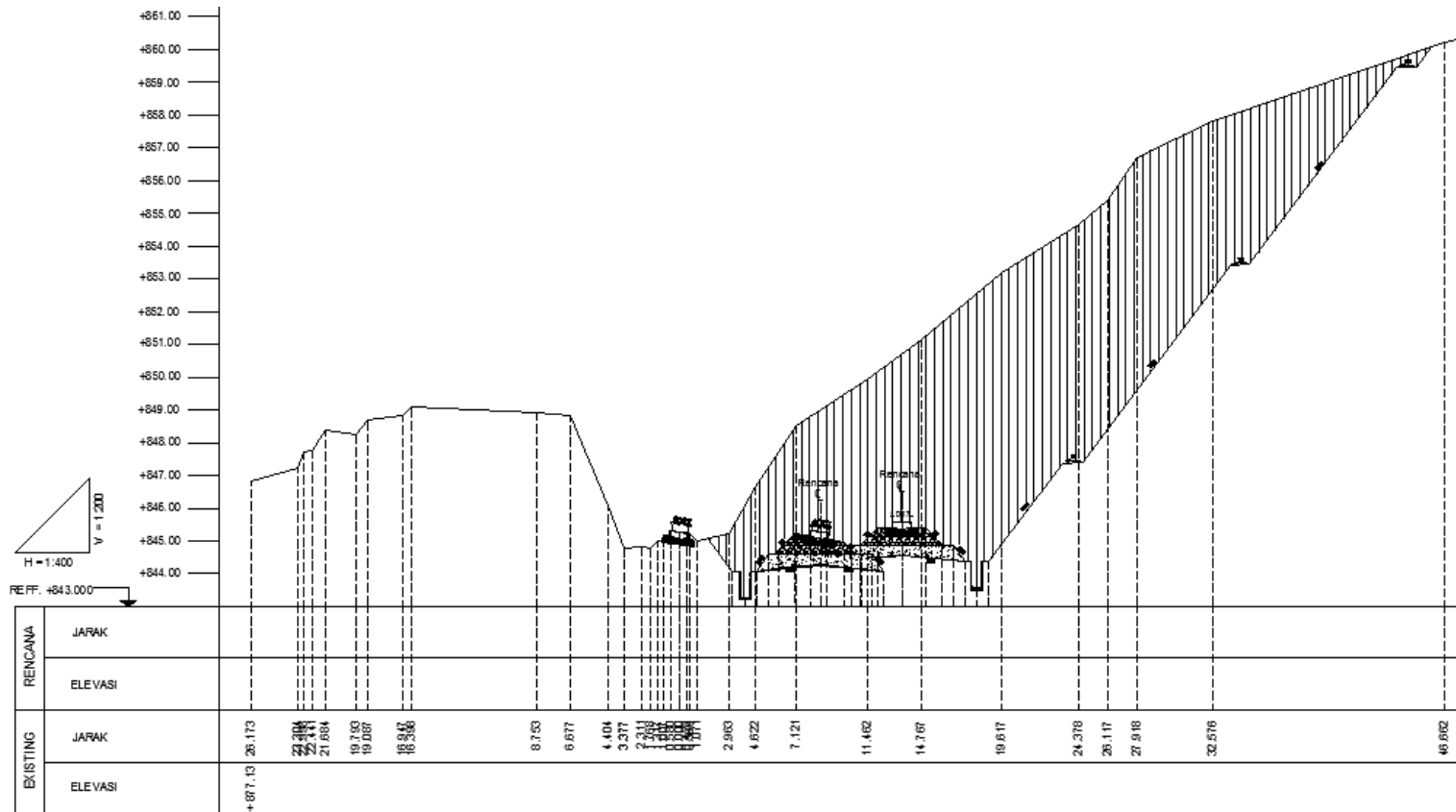
Potongan memanjang pada studi DED jalur kereta api ganda antara Stasiun Nagreg – Stasiun Lebakjero mempunyai panjang lintasan 5.804 km. Potongan memanjang digunakan setiap panjang lintasan 1 km. Potongan memanjang ini dilihat dari sisi samping jalan rencana yang pada umumnya terdapat bentuk trek lintasan, elevasi tanah asli, dan elevasi rel rencana. Pada potongan memanjang juga menampilkan jenis alinemen vertikal berupa lengkung cekung ataupun lengkung cembung. Tipikal potongan memanjang disajikan pada Gambar 5.9.



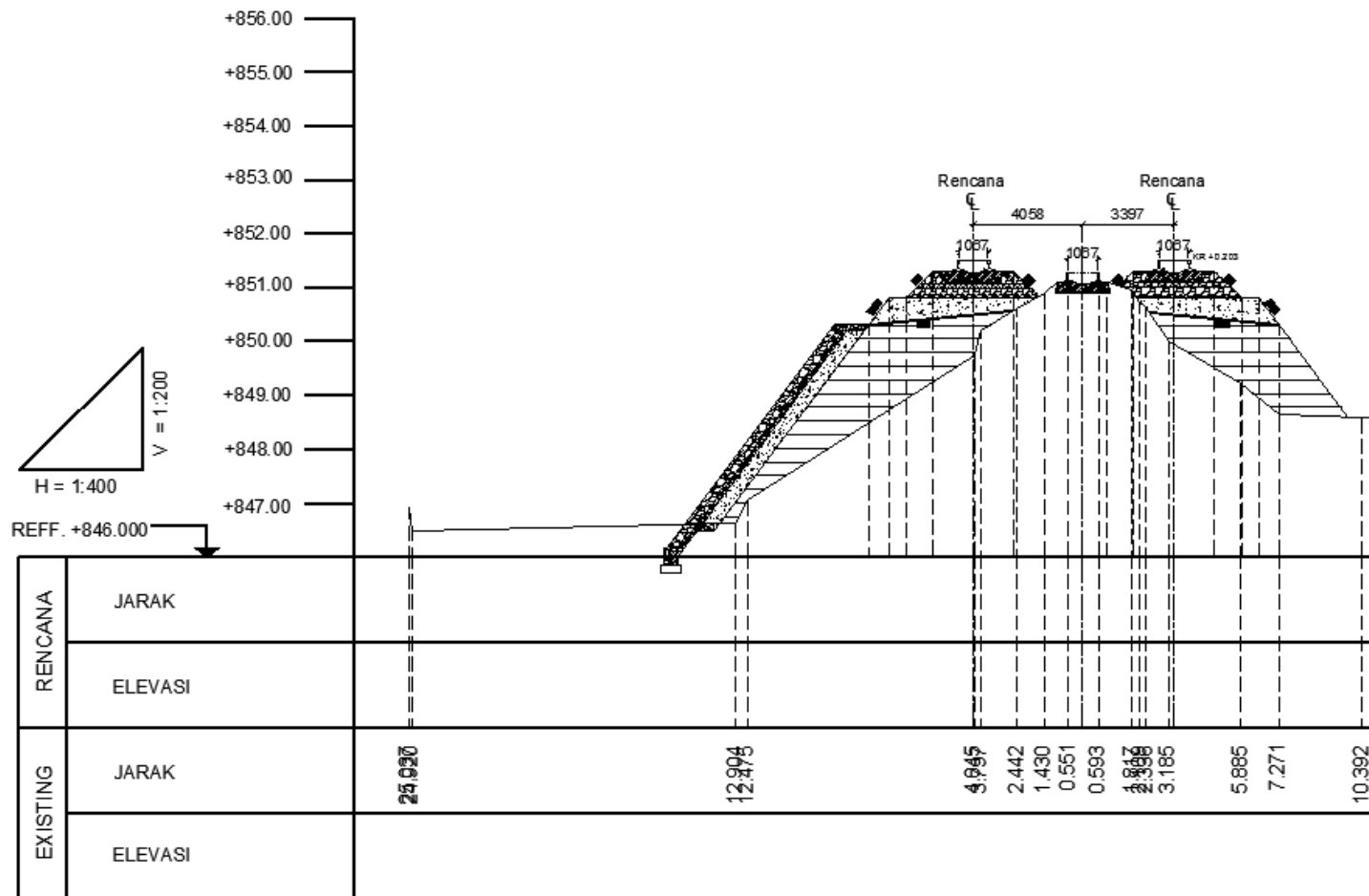
Gambar 5.9 Situasi dan potongan memanjang.

b. Potongan melintang

Potongan memanjang pada studi DED jalur kereta api ganda antara Stasiun Nagreg – Stasiun Lebakjero mempunyai panjang lintasan 5,804 km. Potongan melintang digunakan setiap 100 m. Pada potongan melintang ini dapat memberikan informasi galian dan timbunan pada struktur jalan rel. Potongan melintang memberikan informasi galian tersaji pada Gambar 5.10, sedangkan potongan melintang yang memberikan informasi timbunan tersaji pada Gambar 5.11.



Gambar 5.10 Potongan melintang pada galian.



Gambar 5.11 Potongan pada timbunan.

E. Estimasi Volume Pekerjaan

1. Pengadaan Material.

Pada pekerjaan jalur ganda kereta api antar Stasiun Nagreg-Stasiun Lebakjero, dilakukan pekerjaan pengadaan material berupa:

- a. Bantalan beton lengkap dengan penambat elastis rel 54;
- b. Sirtu (subbalas) di *site*;
- c. Balas batu pecah dengan ukuran 2-6 cm di *site*.

2. Pelaksanaan Pekerjaan.

a. Pelaksanaan persiapan.

Adapun lingkup pekerjaan persiapan pada pembangunan jalur kereta api ganda antara Stasiun Nagreg-Stasiun Lebakjero ialah:

- 1) Mobilisasi peralatan kerja.
- 2) Pengukuran, pasang patok profil track dan gambar.
- 3) Gambar *Shop drawing* dan *As built drawing*.
- 4) Pembuatan kantor direksi dan gudang material.
- 5) Pembuatan papan nama proyek.
- 6) Penerangan lengkap peralatan direksi.
- 7) Penjagaan keamanan lingkungan kerja.

b. Pekerjaan pembebasan lahan.

Pekerjaan pembebasan lahan merupakan bagian yang paling utama dari pembangunan jalan kereta api ganda ini, disesuaikan dengan kondisi trase disain berupa penggantian biaya bongkar dan ganti rugi tanam tumbuh.

c. Pekerjaan Sipil dan Badan Kereta Api.

Adapun lingkup pekerjaan badan jalan kereta api pada pembangunan jalur kereta api ganda antara stasiun Nagreg-stasiun Lebakjero ialah:

- 1) Menebang/membabat tanaman termasuk buang, untuk lokasi tubuh badan jalan rel.
- 2) Mengupas, menggali permukaan tanah humus pada lokasi timbunan dan membuat trap.
- 3) Membuang tanah lapisan atas pada lokasi timbunan dan bongkaran.
- 4) Pembuatan jalan masuk sementara.
- 5) Pembuatan perlintasan darurat.

- 6) Galian/keprasan tanah sesuai kemiringan lereng dan buangan tanah.
- 7) Mengeruk tanah sesuai normalisasi jalan kereta api dari tanah (merah) luar lokasi/badan jalan kereta api.
- 8) Menggilas, memadatkan tanah lapis demi lapis dengan mesin berat/*vibro*.
- 9) Biaya pengujian pekerjaan tanah.
- 10) Memperbaiki kondisi jalan masuk untuk kendaraan angkutan.
- 11) Pembongkaran rel *existing*.

d. Pekerjaan jalan rel

Adapun lingkup pekerjaan jalan rel pada pembangunan jalur kereta api ganda antara Stasiun Nagreg – Stasiun Lebakjero, yaitu:

- 1) Pengadaan rel.
- 2) Angkut, bongkar dan ecer bantalan beton lengkap dengan penambat elastis untuk rel R-54.
- 3) Muat, bongkar/ecer susun rel R-54 di lokasi.
- 4) Melangsir bantalan beton lengkap dengan alat penambat elastis termasuk muat/bongkar, susun sesuai jarak bantalan.
- 5) Pengelasan rel R-54 dengan *aluminothermit* termasuk bahannya.
- 6) Pemasangan rel R-54 dan bantalan beton lengkap dengan penambat elastis.
- 7) Menyambung rel baru.
- 8) Pembuatan skip semboyan.
- 9) Pembuatan dan pemasangan patok Km + Hm per 100 m.
- 10) Pembuatan dan pemasangan patok lengkung.
- 11) Penjagaan rel dan keamanan perjalanan kereta api.

e. Pekerjaan Balas dan Subbalas.

Adapun ruang lingkup pekerjaan balas pada pembangunan jalur kereta api ganda antara stasiun Nagreg- stasiun Lebakjero ialah:

- 1) Angkutan balas dengan kereta api.
- 2) Menghampar, meratakan/memasukkan sub balas sirtu ke dalam tubuh badan berikut pemadatan dengan mesin berat/gilas.
- 3) Mengerjakan menghampar/memasukkan batu balas ke dalam track

termasuk profil jalan kereta api.

- 4) Angkat listing track dengan *Hand Tie Tamper* (HTT) atau manual, sampai kecepatan 20 km/jam.
- 5) Angkat listing track dengan *Hand Tie Tamper* (HTT) atau manual, sampai kecepatan 40 km/jam.
- 6) Angkat listing track dengan *Hand Tie Tamper* (HTT) atau manual, sampai kecepatan 60 km/jam.
- 7) Angkat listing track dengan *Hand Tie Tamper* (HTT) sampai kereta api normal dan PBR (3 kali).
- 8) Pekerjaan switch over.

Rekapitulasi pekerjaan pembangunan jalur kereta api ganda antara Stasiun Nagreg – Stasiun Lebakjero disajikan pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi pekerjaan pembangunan jalan kereta api.

No	Jenis Prasarana	Rencana Pembangunan Prasarana
1.	Jalur rel KA	Kelas jalan : Kelas I
		Lebar Sepur : 1067 mm
		Tipe rel : R 54
		Jenis Bantalan : Bantalan Beton
		Jenis penambat : Padrol <i>e-clips</i>
		Jenis sambungan : Tipe melayang
		Balas
		Subbalas
		Subgrade
2.	Bangunan Pelengkap (drainase dan saluran terbuka)	Disesuaikan dengan kondisi lapangan
3.	Perkuatan tanah (<i>retaining wall</i>)	Disesuaikan dengan kondisi lapangan
4.	Penggunaan lahan untuk dibebaskan	Pemukiman, pembebasan lahan tumbuh
6.	Sinyal dan telekomunikasi	Perencanaan dipersiapkan untuk penggunaan persinyalan dan telekomunikasi elektrifikasi

3. Volume Galian dan Timbunan

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan pada perencanaan pembangunan jalur kerta api ganda antara Stasiun Nagreg – Stasiun Lebakjero, didapatkan volume galian sebanyak 1.042.030,69 m³ dan volume timbunan sebanyak 14.291,96 m³.

4. Volume Pekerjaan Drainasi.

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan pada perencanaan drainasi pada pembangunan jalur kereta api ganda antara Stasiun Nagreg – Stasiun Lebakjero, didapatkan volume untuk pekerjaan drainasi memanjang sebanyak 1.251,61 m³.

5. Volume Pekerjaan Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*).

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan pada perencanaan dinding penahan tanah pada pembangunan jalur kereta api ganda antara Stasiun Nagreg – Stasiun Lebakjero, didapatkan volume untuk pekerjaan dinding penahan tanah sebanyak 1.632,73 m³.

6. Pekerjaan penyelesaian

Adapun lingkup pekerjaan penyelesaian pada pembangunan jalur kereta api ganda antara Stasiun Nagreg – Stasiun Lebakjero ialah

a. Mobilisasi alat kerja.

- 1) Transpor alat – alat kerja dan perlengkapan proyek lainnya diangkut sampai lokasi gudang.
- 2) Penyediaan transport lokal dan alat komunikasi diperlukan untuk memudahkan pelaksanaan dan koordinasi pelaksanaan.

b. Pembersihan lokasi pekerjaan dari sisa – sisa pekerjaan.

- 1) Penyedia jasa wajib membersihkan di wilayah sepanjang lokasi pekerjaan dari sisa – sisa material bekas yang tidak terpakai sampai bersih dan rapi
- 2) Lokasi bekas bangunan sementara / *Direksi Keet* setelah dibongkar dikembalikan seperti keadaan semula.

c. Dokumentasi dan gambar akhir

F. Estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pekerjaan

Dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada studi ini, penulis menggunakan PM. 78 tahun 2014 tentang Standar Biaya di Lingkungan Kementerian Perhubungan sebagai acuan harga satuan yang digunakan dalam analisis perhitungan biaya pembangunan jalur kereta api ganda antara stasiun Nagreg sampai stasiun Lebakjero.

Berdasarkan hasil analisis, biaya keseluruhan untuk pembangunan jalur rel antara Stasiun Nagreg – Stasiun Lebakjero sebesar Rp 177.465.226.000-. Anggaran tersebut tidak termasuk didalamnya komponen pengerjaan sebuah jembatan baja. Apabila dirata-rata untuk kebutuhan setiap km maka akan didapat biaya sebesar Rp 30.576.365.000- per km. Adapun perhitungan secara keseluruhan ditampilkan pada lampiran studi.

Penjabaran secara detil estimasi RAB pekerjaan pembangunan kereta api ganda antara stasiun Nagreg-stasiun Lebakjero secara rinci terdapat pada tabel rencana anggaran biaya pada lampiran.