

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.

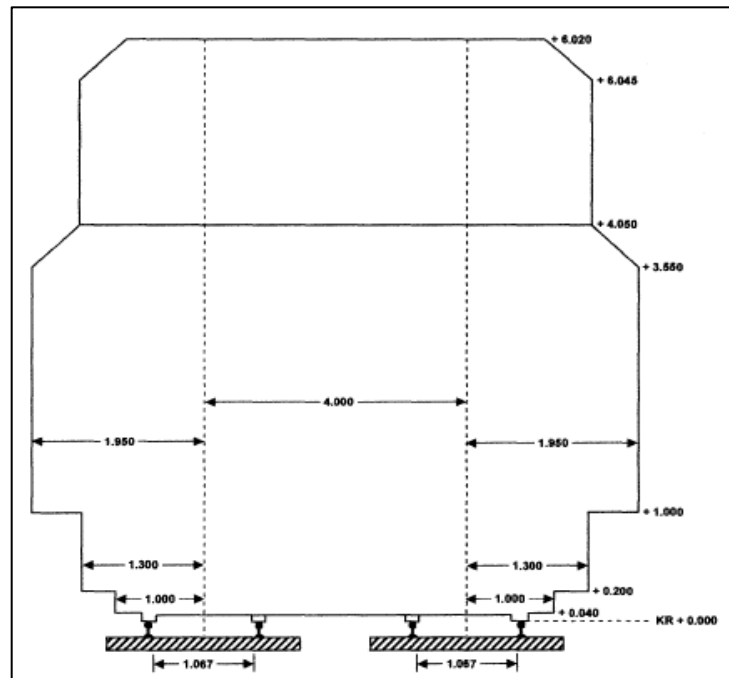
Pada tahap kegiatan desain teknis ini, akan dilakukan analisis serta perhitungan lebih lanjut yang lebih komprehensif dan mendalam yang ditujukan untuk mendapatkan desain teknis jalur kereta api ganda berdasarkan persyaratan teknis dan peraturan-peraturan yang berlaku di Kementerian Perhubungan maupun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

B. Kriteria Desain

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

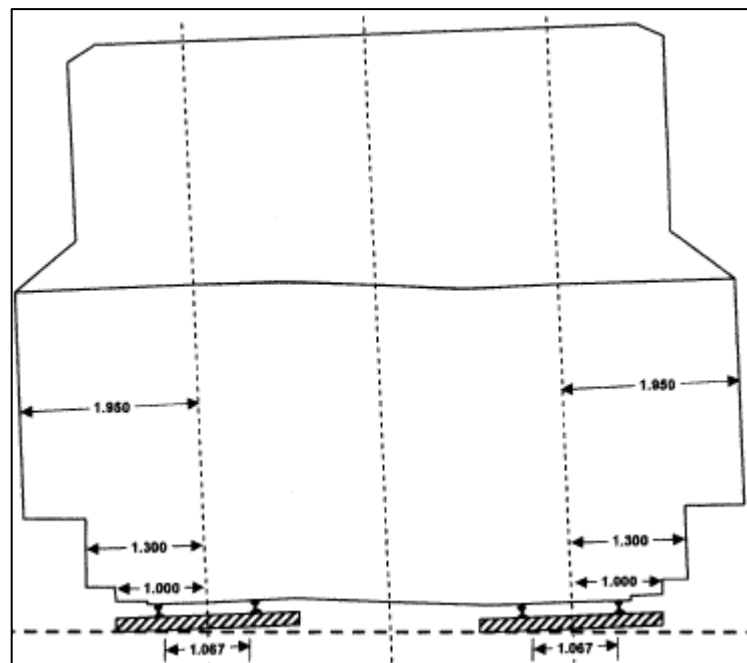
1. Lebar dan Jarak Jalan Rel
 - a. Persyaratan teknis untuk lebar jalan rel KA yang digunakan adalah 1067 mm yang diukur pada 0-14 mm di bawah permukaan teratas rel, sebagaimana lebar jalan rel KA yang umum digunakan di Indonesia.
 - b. Jarak minimum antar as pada jalur KA adalah 4,00 m.
 - c. Jarak minimum pada lengkung disesuaikan dengan radius lengkung.

- d. Ruang bebas yang digunakan untuk jalur dengan lebar 1067 mm pada jalur lurus dan di tikungan dijelaskan pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**1 Ruang bebas lebar rel 1067 mm pada jalur lurus untuk jalur ganda

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)



Gambar **Error! No text of specified style in document.**2 Ruang bebas lebar rel 1067 mm pada lengkung untuk jalur ganda

(Sumber : PM. No. 60 tahun 2012)

2. Kecepatan dan Beban Gandar

- a. Kecepatan maksimum : 120 km/jam.
- b. Kecepatan di emplasemen (*sliding track*) : 45 km/jam.
- c. Beban maksimum gandar : 18 ton

3. Geometrik Jalan Rel

- a. Jari-jari minimum lengkung lingkaran yang diijinkan dengan lengkung peralihan pada lengkung horisontal adalah 780 m.
- b. Jari-jari minimum pada lengkung vertikal adalah 6000 m.
- c. Pada lintas datar, kelandaian jalan rel kereta api pada petak jalan adalah antara 0 ‰ – 10 ‰.
- d. Khusus pada lintasan pegunungan, kelandaian jalan rel pada petak jalan dapat dibuat > 10 ‰ sampai dengan maksimum 40 ‰.
- e. Kelandaian maksimum di emplasemen adalah 1,5 ‰.

4. Material

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. Alat penambat yang digunakan adalah penambat rel tipe elastik dengan persyaratan bahan sesuai dengan Peraturan Bahan Jalur KA atau Peraturan yang berlaku.

C. Perancangan Struktur Jalan Rel

Perancangan susunan jalan kereta api harus mengacu pada ketentuan-ketentuan yang berlaku di Sistem Perkeretaapian di Indonesia. Dalam hal perancangan struktur jalan kereta api ini mengacu pada Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Struktur jalan kereta api terdiri atas berikut ini :

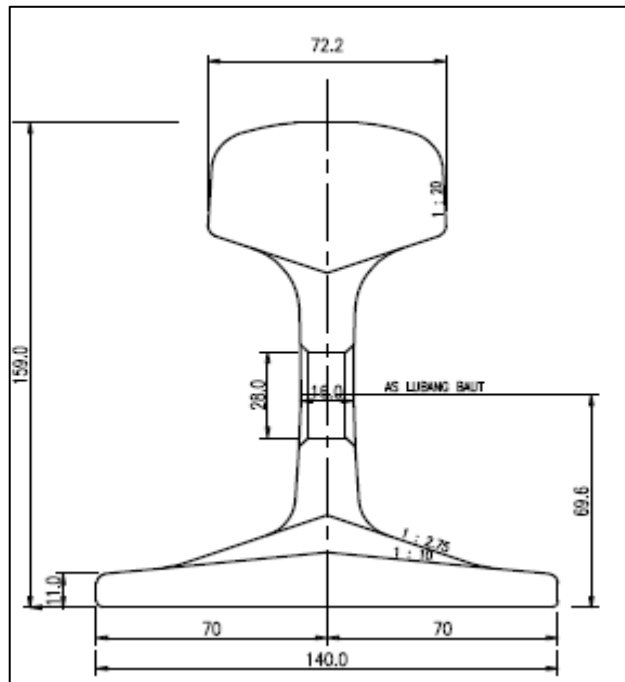
1. Struktur Bangunan Atas

Struktur bangunan atas jalan kereta api terdiri atas :

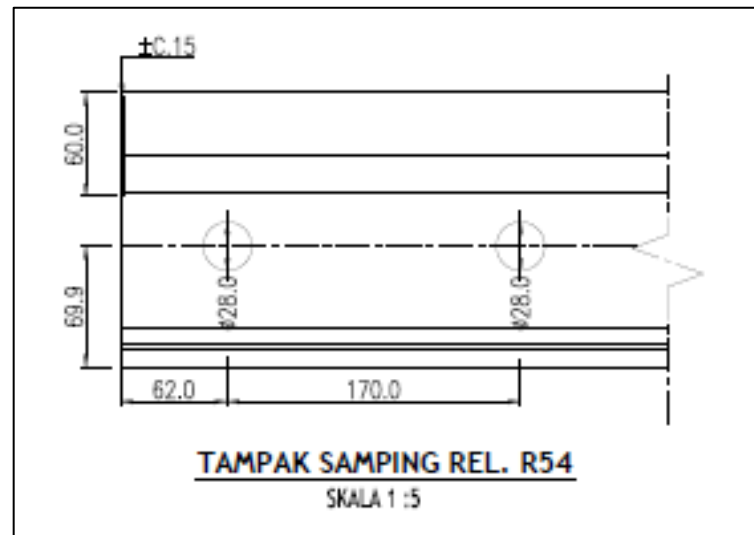
a. Rel

Dilihat dari kondisi eksisting jalan yang sudah ada saat ini, maka dalam proses pembangunan Jalur Ganda Kereta Api antara Cicalengka-

Nagreg Lintas Bandung Kroya (Tahap 1) maka digunakan konstruksi rel baru dengan tipe rel R-54 dengan pertimbangan pemanfaatan dan usia pemakaiannya dalam jangka panjang. Untuk detail tipe rel R-54 ditampilkan pada Gambar 5.3 dan 5.4 di bawah ini :



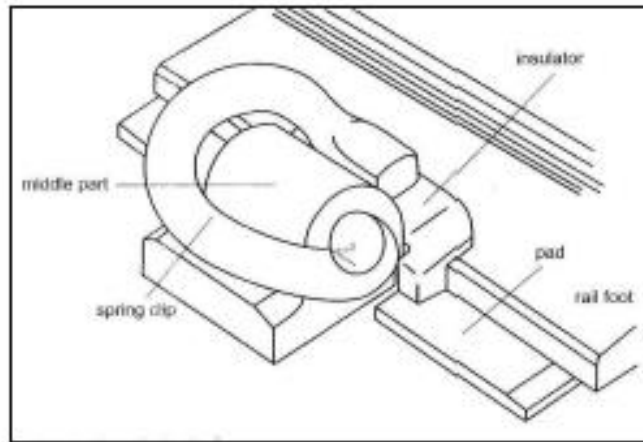
Gambar **Error! No text of specified style in document..3** Ukuran penampang rel tipe R-54



Gambar **Error! No text of specified style in document..4** Tampak samping rel R-54

b. Penambat

Penambat yang digunakan pada adalah penambat jenis elastis ganda tipe pandrol e-clips. Komponen penambat terdiri dari shoulder/insert, clip, insulator, dan rubberpad. Seperti tampak pada Gambar 5.5 di bawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document..5** Komponen penambat rel elastis pandrol
(Sumber : Rosyidi, 2015)

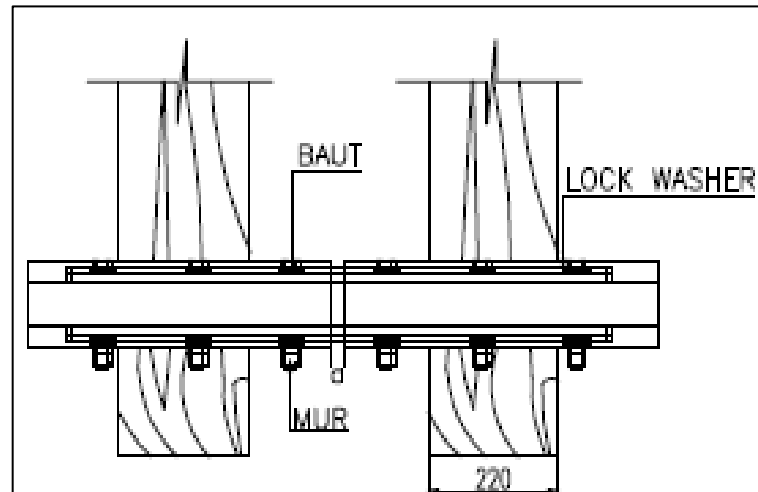
c. Pelat Sambung, Mur, dan Baut

Penyambung rel ialah konstruksi yang mengikat dua ujung rel dengan menggunakan pelat sambung, baut serta mur sedemikian rupa sehingga operasi KA tetap aman dan nyaman dengan celah sambungan 11-16 mm. Jenis sambungan yang digunakan pada proyek ini seperti tampak pada Gambar 5.6 dan 5.7 di bawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document..6** Penyambung rel *fishplate*

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)



Gambar **Error! No text of specified style in document..7** Tampak atas pemasangan sambungan rel

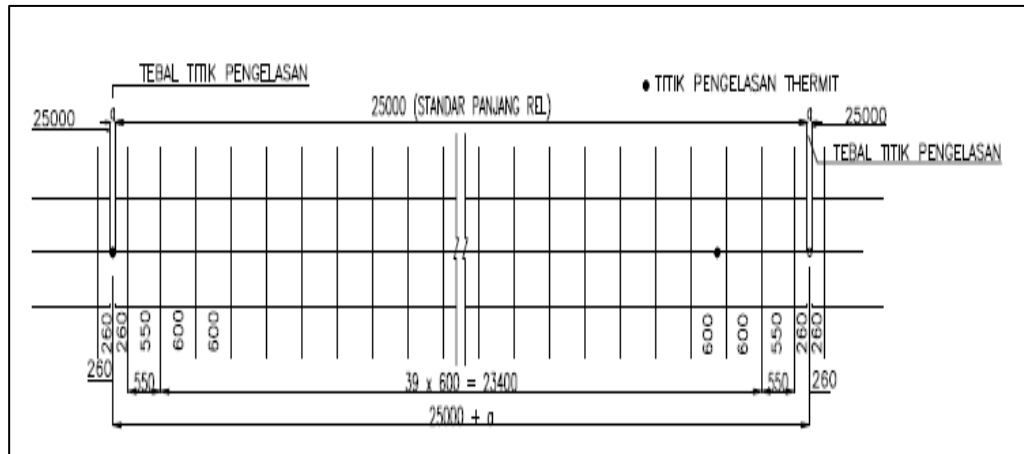
(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

d. Bantalan

Bantalan yang digunakan pada proyek pembangunan Jalur Ganda Kereta Api antara Cicalengka-Nagreg Lintas Bandung Kroya (Tahap 1) adalah bantalan beton dengan jarak pemasangan antar bantalan 60 cm. Jarak antar pemasangan bantalan beton dapat dilihat pada Gambar 5.8.

Untuk lebar jalan rel 1067 mm, material beton yang digunakan kuat tekan karakteristiknya tidak kurang dari 500 kg/cm, dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (tensile strength) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.665 Mpa). Dimensi bantalan beton untuk lebar jalan rel 1067 mm :

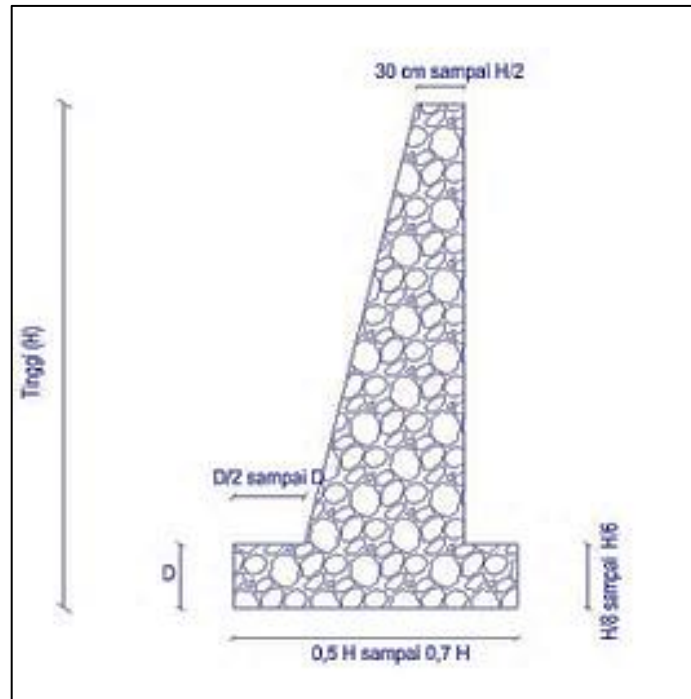
- 1) Panjang = 2.000 mm
- 2) Lebar maksimum = 260 mm
- 3) Tinggi maksimum = 220 mm



Gambar **Error! No text of specified style in document.**8 Jarak pemasangan bantalan beton pada rel dengan panjang 25 m

e. Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*)

Konstruksi dinding penahan tanah (*retaining wall*) biasanya dibangun pada daerah yang merupakan timbunan dan galian, daerah sekitar pangkal jembatan, ROW yang terbatas, dan dapat dijadikan sebagai alternatif untuk menanggulangi longsor. Material yang digunakan dapat berupa pasangan bata (*masonry walls*), pasangan batu, gabion/bronjong maupun beton bertulang. Dalam hal mekanisme menahan tanah, dinding penahan tanah terbagi atas dua macam: *gravity wall* dan *cantilever wall*. *Gravity wall* menahan tanah di belakangnya dengan mengandalkan berat sendiri dari dinding, sedangkan *cantilever wall* mengandalkan menggunakan struktur beton bertulang sebagai materialnya. Tipe dinding penahan tanah yang digunakan pada proyek ini adalah tipe *gravity wall* seperti tampak pada Gambar 5.9 di bawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document..9** Desain tipikal *retaining wall* tipe *gravity wall*

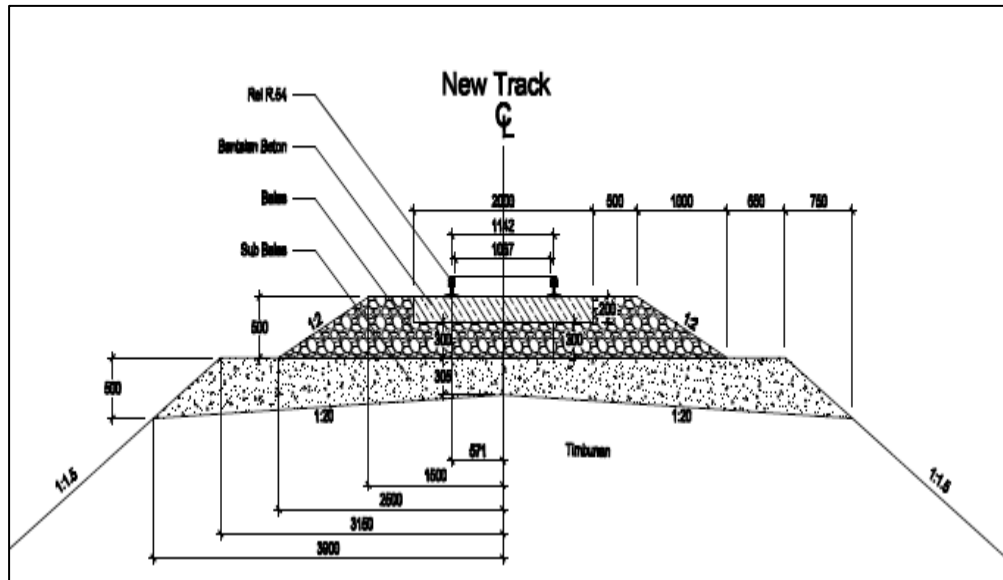
2. Struktur Bangunan Bawah

Berdasarkan ketentuan pada bab sebelumnya (landasan teori) bahwa pemilihan material struktur bangunan bawah mengacu pada peraturan yang berlaku. Adapun bagian dari struktur bagian bawah, yaitu :

a. Balas dan Subbalas

Lapisan balas dan subbalas pada dasarnya adalah terusan dari lapisan tanah dasar dan terletak di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan yang terbesar akibat lalu lintas kereta api pada jalan rel, oleh karena itu material pembentuknya harus merupakan material terpilih berkualitas baik dan didesain sedemikian rupa agar mampu menahan beban lalu lintas yang diterima.

Adapun untuk desain balas dan subbalas mengacu pada Peraturan Menteri No 60 tahun 2012 dan Peraturan daerah No. 10 tahun 1986. Untuk lebih jelasnya desain balas dan subbalas ditampilkan pada Gambar 5. 10 di bawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**10 Detail struktur balas dan subbalas pada jalur baru kereta api

b. Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)

Tanah dasar merupakan lapisan yang harus mampu mendukung konstruksi jalan rel dengan aman dan bebas dari penurunan yang berlebihan. Tanah dasar terdapat dua jenis, yaitu tanah timbunan dan tanah galian.

1) Tanah Timbunan

Material timbunan harus mudah dipadatkan, stabil melawan beban kereta api, curah hujan dan gempa serta bebas dari penurunan yang berlebihan. Material timbunan yang berasal dari daerah galian di lokasi harus diuji kualitasnya dengan pengujian tanah. Kekuatan CBR material timbunan ditentukan menurut SNI 03-1744-1989, dengan nilai minimal CBR adalah 6% setelah dipadatkan.

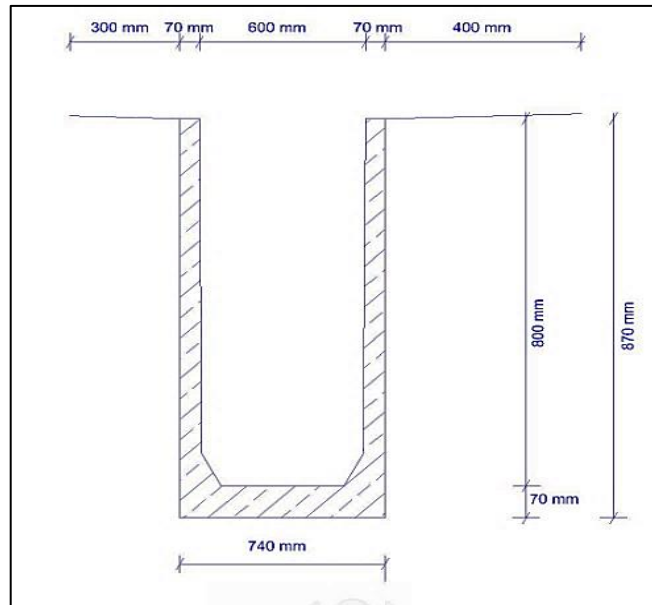
2) Tanah Galian

Tanah dasar berupa galian harus mampu memikul lapis dasar (subgrade) dan bebas dari masalah penurunan (*settlement*). Permukaan tanah dasar harus mempunyai kemiringan ke arah luar badan jalan sebesar 5 % dan dengan daya dukung tanah dasar dengan nilai minimal CBR sebesar 6%.

c. Sistem Drainase

Pada proyek pembangunan Jalur Ganda Kereta Api antara Cicalengka-Nagreg Lintas Bandung Kroya (Tahap 1), akan digunakan drainase *U-Ditch* (Precast). Untuk jalan kereta api ganda dengan jarak as ke as 4-8 m, drainase dapat dibuat hanya pada salah satu sisi, dan sisi lainnya digunakan dinding penahan tanah. Untuk jalan kereta api ganda dengan jarak as ke as > 8 m, drainase harus dibuat di tengah dan di kedua sisi. Drainase melintang (*Cross-Drain*) dibuat untuk galian yang memiliki muka air tinggi, sedangkan untuk timbunan drainase melintang tidak diperlukan, karena drainase melintang dapat melemahkan timbunan ketika drainase melintang tidak dibuat dengan cara yang benar (kemiringan arah luar) yang akan menyebabkan terbentuknya kantong air. Drainase melintang pada timbunan juga mengakibatkan pemborosan, karena tidak memberikan manfaat yang berarti. Drainase bawah tanah (*Sub Drain*) lebih dimaksudkan untuk menjaga agar elevasi muka air tanah tidak akan mendekati permukaan tanah tubuh jalan yang harus dilindungi, sehingga konsistensi dan kepadatan tubuh jalan di bawah balas kondisinya tetap baik.

Di beberapa daerah galian yang lahannya tidak memungkinkan, terdapat saluran samping yang dibuat dengan saluran tanah, namun untuk perencanaan jalur ganda pada lahan khusus yang diperkirakan akan terjadi longsor ataupun erosi karena kemiringan tanah yang curam, maka saluran samping dibuat dari struktur *U-Ditch*. Detail dari penampang drainase tipe *U-Ditch* ditampilkan pada Gambar 5.11 di bawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**11 Detail penampang drainase tipe *U-Ditch*

D. Perancangan Geometrik Jalan Rel

1. Ketentuan Umum Perancangan Jalan Rel

Perancangan geometrik jalan rel pada Tugas akhir ini akan dibahas mengenai perancangan alinemen horisontal, perancangan alinemen vertikal, dan perancangan potongan melintang yang semuanya mengacu pada Peraturan Menteri No 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, Peraturan Daerah No. 10 Tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel, dan Buku Rekayasa Jalan Kereta Api.

2. Perancangan Alinemen Horisontal

Pada perancangan *DED* dari Stasiun Cicalengka – Stasiun Nagreg (8,50 km) terdapat 19 tikungan dengan jenis tikungan adalah S-C-S (*Spiral-Circle-Spiral*), hal ini dikarenakan tikungan yang terbentuk mempunyai jari-jari < 8000 m. Adapun hasil perhitungan untuk mencari R rencana di bawah ini merupakan

salah satu contoh perhitungan dari beberapa tikungan yang kemudian dilampirkan melalui Tabel 5.1.

a. Data Kecepatan Rencana :

Kelas jalan rel	: Kelas jalan 1
Kecepatan maksimum (V_{maks})	: 74 km/jam
Kecepatan rencana	: 74 km/jam

b. Perencanaan jari-jari tikungan (R)

$$R_{min} = 0,076 (V_{maks})^2 = 0,076 \times (74)^2 = 416,176 \approx 420 \text{ m}$$

$$R_{min} = 0,054 V_{maks}^2 = 0,054 \times (74)^2 = 295,704 \approx 300 \text{ m}$$

Pada Tabel Peraturan Menteri No 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api didapatkan sebesar 300 m.

Sehingga didapatkan :

$$R_{rencana} = 300 \text{ m}$$

Berdasarkan nilai R_{min} di atas maka dapat ditentukan nilai R_{min} rencana untuk proses perhitungan berikutnya, pada perancangan kali ini R_{min} rencana yang dipakai 300 m dengan lengkung peralihan.

c. Perencanaan Tikungan

1) Peninggian Rel

a) Peninggian Rel Minimum

Diketahui :

$$V_r = 74 \text{ km/jam}$$

$$R_r = 300 \text{ m}$$

Rumus :

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

Perhitungan :

$$h_{\min} = \frac{8,8(74^2)}{300} - 53,5 = 107 \text{ mm}$$

b) Peninggian normal

Diketahui :

$$V_r = 74 \text{ km/jam}$$

$$R_r = 300 \text{ m}$$

Rumus :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \times \frac{V^2}{R}$$

Perhitungan :

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \times \frac{74^2}{300} = \text{mm} \approx 109 \text{ mm}$$

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 (h_{maksimum}) dibatasi sampai 110 mm.

Hasil yang diperoleh dari perhitungan antara lain $h_{\min} = 107 \text{ mm}$, $h_{\text{normal}} = 109 \text{ mm}$, dan $h_{\text{maks}} = 110 \text{ mm}$, hal ini berarti $h_{\min} = 107 \text{ mm} < h_{\text{normal}} = 109 \text{ mm} < h_{\text{maks}} = 110 \text{ mm}$. Maka, nilai h yang dipakai adalah $h_{\text{normal}} = 109 \text{ mm}$ karena dianggap paling stabil, dan aman.

2) Pelebaran Sepur

Untuk mengetahui nilai pelebaran sepur yang digunakan, maka dapat langsung merujuk pada Tabel 5.1 Untuk lebar sepur 1067 mm.

Tabel **Error! No text of specified style in document..1** Pelebaran sepur untuk lebar rel 1067 mm

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

Karena nilai R_{min} rencana pada tikungan horisontal adalah mm, maka berdasarkan Tabel 5. di atas didapatkan pelebaran sepur sebesar 20 mm.

3) Perhitungan Lengkung Horisontal

Perhitungan di bawah ini adalah salah satu contoh perhitungan tikungan pada perancangan jalan rel antara Stasiun Cicalengka-Stasiun Nagreg, yaitu :

Tikungan 1

Diperoleh data perencanaan :

Kelas jalan : I

Kecepatan maksimum : 120 km/jam

Kecepatan rencana : 74 km/jam

$R_{rencana}$: 300

Sudut belok (Δ) : 17,527 °

a) Menghitung Panjang Lengkung

$$\begin{aligned} L_s &= 0,01 \times h \times v = 0,01 \times 109 \times 74 \\ &= 80,37 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\theta_s = \frac{90 + L_s}{\pi \times R} = \frac{90 + 80,37}{\pi \times 300} = 7,675^\circ$$

$$\theta_c = \Delta_s - (2 \theta_s) = 17,527 - (2 \times 7,675) = 2,178^\circ$$

$$L_c = \frac{\theta_c}{360^\circ} \times 2\pi R = \frac{2,178}{360} \times 2\pi \times 300 = 11,402 \text{ m}$$

$$L = 2 L_s + L_c = 2 \times 80,37 + 11,402 = 172,14 \text{ m}$$

b) Menghitung X_c , Y_c , k , dan p

$$X_c = L_s - \frac{L_s^3}{40 \times R^2} = 80,37 - \frac{80,37^3}{40 \times 300^2} = 80,225 \text{ m}$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6 \times R} = \frac{80,37^2}{6 \times 300} = 3,588 \text{ m}$$

$$P = Y_c - R(1 - \cos \theta_s) = 3,588 - 300(1 - \cos 7,675) = 0,9 \text{ m}$$

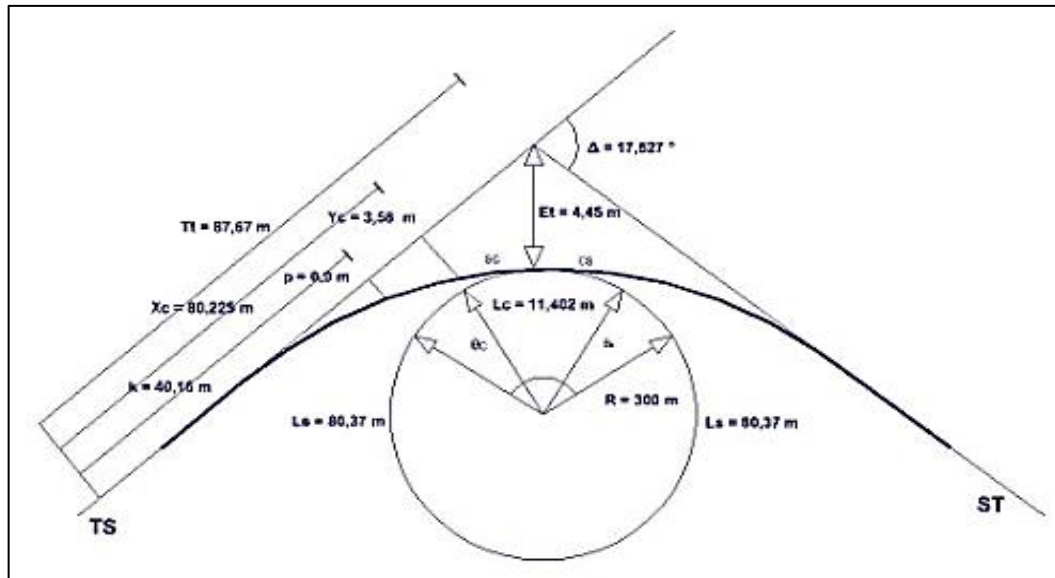
$$K = X_c - R \sin \theta_s = 80,225 - 300 \sin 7,675 = 40,16 \text{ m}$$

c) Menghitung T_t dan E_t

$$T_t = (R + P) \operatorname{tg} \frac{\Delta_s}{2} + K = (300 + 0,9) \operatorname{tg} \frac{17,527}{2} + 40,16 = 87,675 \text{ m}$$

$$E_t = (R + P) \operatorname{sec} \frac{\Delta_s}{2} - R = (300 + 0,9) \operatorname{sec} \frac{17,527}{2} - 300 = 4,45 \text{ m}$$

Proyeksi lengkung horisontal ditunjukkan dalam gambar 5.12 di bawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**12 Skematik alinemen horizontal pada tikungan 1

Berikut ini ditampilkan Tabel 5. Hasil perhitungan pada tikungan yang terdapat di alinemen horizontal, yaitu :

Tabel **Error! No text of specified style in document.**2 Hasil perhitungan pada alinemen horisontal

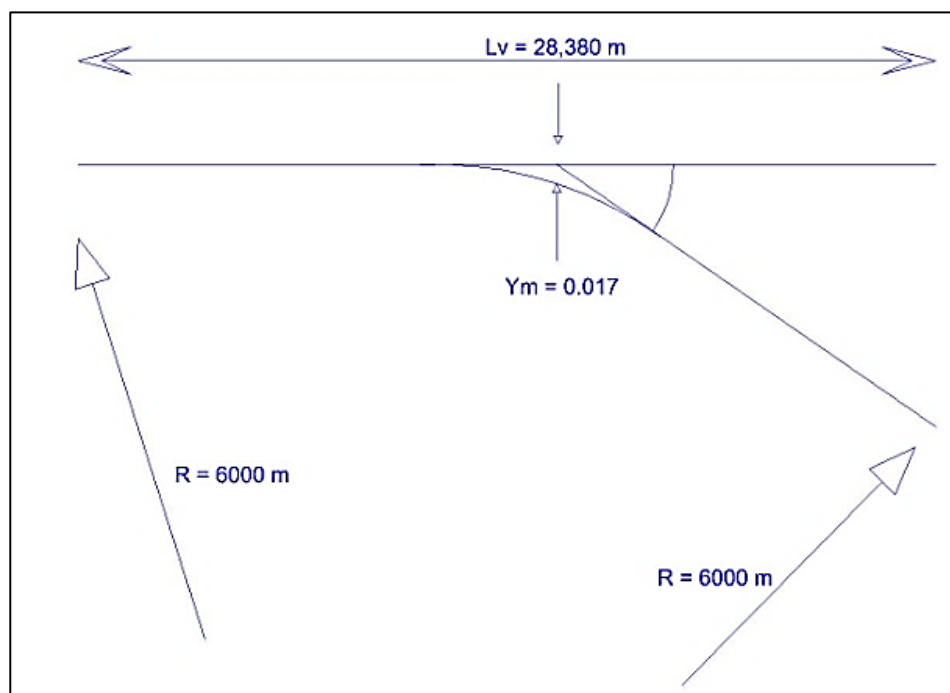
Tikungan	Δ (°)	Vr (km/jam)	R (m)	h (mm)	Θ_s (°)	Θ_c (°)	Ls (m)	Lc (m)	Ltotal (m)	Xc (m)	Yc (m)	P (m)	K (m)	Tt (m)	Et (m)
1	17,527	74	300	109	7,675	2,178	80,37	11,402	172,141	80,225	3,58	0,9	40,16	87,67	4,45
2	36,218	68	250	110	8,575	19,07	74,83	83,2	233	74,67	3,73	0,94	37,4	129,3	14
3	18,256	96	500	110	6,03	6,2	105,3	54	264,6	105,2	3,7	0,93	52,6	135,2	7,35
4	78,258	60	200	107	9,2	59,8	64,3	209	337,4	64	3,4	0,87	32	515,3	59
5	104,84	60	200	107	9,2	86,4	64,3	302	430	64,1	3,4	0,87	32	-347	129,35
6	73,4	60	200	107	9,2	55	64,3	192	320,5	64	3,4	0,87	32	369	50,5
7	65,57	60	200	107	9,2	47,2	64,3	165	293	64	3,4	0,87	32	253	39
8	21,89	96	500	110	6135,2	9,8	105,3	85,7	296	105	3,7	0,93	52,6	153	10,2
9	39,09	60	200	107	9,2	20,7	64,3	72,2	200,7	64	3,4	0,87	32	113,7	13,15
10	49,147	60	200	107	9,2	30,7	64,3	107,3	235,8	64	3,4	0,87	32	148,2	20,8
11	118,96	60	200	110	9,5	100	66	350	481	66	3,6	0,9	33	-148,5	195,6
12	54,257	60	200	110	9,5	35,3	66	123	255,5	66	3,6	0,9	33	172,6	25,75
13	32,026	60	200	110	9,5	13,1	66	45,7	178	66	3,6	0,9	33	95,86	9
14	29,67	60	200	110	9,5	10,7	66	37,5	170	66	3,6	0,9	33	90,3	7,8
15	15,417	60	200	110	9,5	-3,5	66	-12,3	119,93	66	3,6	0,9	33	60,7	2,75
16	82,2	74	300	110	7,8	66,6	81,5	348,8	511,9	81,4	3,7	0,9	40,7	1139	99,3
17	99,1	60	200	110	9,5	80	66	279,8	412	66	3,6	0,9	33	-594,15	109,7
18	16,92	65	250	110	8,207	0,5	71,6	2,2	145,4	71,5	3,4	0,86	35,8	73,9	3,6
19	33,846	96	500	110	6,1	21,7	105,78	189,6	401	105,6	3,7	0,9	52,87	220,8	23,6

3. Perancangan Alinemen Vertikal

Di dalam perancangan alinemen vertikal jalan rel antara Stasiun Cicalengka – Stasiun Nagreg digunakan beberapa data yang digunakan, yaitu :

- Untuk perencanaan alinemen vertikal pada jalan rel ini digunakan R_{min} 6000 m.
- Pada jalur rel tingkat kelandaian yang digunakan antara 0‰ - 20‰.
- Pada daerah stasiun tingkat kelandaian yaitu 0‰.

Di dalam pengukuran tinggi rendahnya suatu jalan kereta api umumnya terdapat dataran, turunan maupun tanjakan. Perubahan dari datar ke turunan maupun datar ke tanjakan ini menyebabkan adanya perbedaan jenis lengkung pada alinemen vertikal yaitu tipe cembung dan tipe cekung. Skematik pada lengkung alinemen vertikal dapat dijelaskan pada Gambar 5. 13 di bawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**13 Skematik pada lengkung vertikal

Perencanaan Pada Tikungan Vertikal

Perhitungan :

Diperoleh data rencana, sebagai berikut :

IPV 01

Awal Stasiun = 182+000

Elevasi awal = 688,104

Akhir Kemiringan = 182+050

Elevasi akhir = 688.362

a. Horizontal kemiringan = $(182+050) - (182+000) = 50$ m**b. Beda elevasi** = $688,362 - 688,104 = 0,258$ m**c. Permil kemiringan** = $(2,58/50) \times 1000 = 5,160$ ‰**IPV 02**

Awal Stasiun = 182+050

Elevasi awal = 688,362

Akhir Kemiringan = 182+485

Elevasi akhir = 688,549

a. Horizontal kemiringan = $(182+485) - (182+050) = 435$ m**b. Beda elevasi** = $688,549 - 688,362 = 0,187$ m**c. Permil kemiringan** = $(0,187/435) \times 1000 = 0,430$ ‰**d. Menghitung Panjang lengkung (Xm, Ym, L) :**

$$\begin{aligned} X_m &= \frac{R}{2} \times (\varphi) \\ &= \frac{6000}{2} \times (5,160 \text{ ‰} - (0,430 \text{ ‰})) \\ &= 14,190 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_m &= \frac{R}{8} \times (\varphi)^2 \\ &= \frac{6000}{8} \times (5,160 \text{ ‰} - (0,430 \text{ ‰}))^2 \end{aligned}$$

$$= 0,0168 \text{ m}$$

$$L = \varphi \times R$$

$$= ((5,160 - 0,430) \times 1000) \times 6000$$

$$= 28,3807 \text{ m}$$

Untuk lebih jelasnya jumlah lengkung dan nilai pada masing-masing komponen lengkung vertikal yang terdapat pada perencanaan jalan rel kereta api antara Stasiun Cicalengka – Stasiun Nagreg dapat dilihat pada Tabel 5.3 di bawah ini :

Tabel **Error! No text of specified style in document..**3 Hasil perhitungan pada alinemen vertikal

Data Lengkung	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	S(%o)	Xm (m)	Ym (m)	Lv (m)	Jenis Lengkung
IPV 01	6000	45	4.730	14.190	0.017	28.381	Tipe Cembung
IPV 02	6000	45	13.083	39.249	0.128	78.499	Tipe Cekung
IPV 03	6000	45	6.339	19.016	0.030	38.031	Tipe Cekung
IPV 04	6000	45	2.398	7.195	0.004	14.391	Tipe Cekung
IPV 05	6000	45	2.400	7.200	0.004	14.400	Tipe Cekung
IPV 06	6000	45	0.075	0.225	0.000	0.450	Tipe Cekung
IPV 07	6000	45	0.008	0.025	0.000	0.050	Tipe Cekung
IPV 08	6000	45	0.267	0.800	0.000	1.600	Tipe Cekung
IPV 09	6000	45	0.420	1.260	0.000	2.520	Tipe Cembung
IPV 10	6000	45	7.087	21.260	0.038	42.520	Tipe Cembung
IPV 11	6000	45	5.778	17.333	0.055	34.667	Tipe Cembung
IPV 12	6000	45	8.588	25.765	0.055	51.531	Tipe Cekung
IPV 13	6000	45	1.536	4.608	0.002	9.216	Tipe Cekung
IPV 14	6000	45	3.104	9.312	0.007	18.624	Tipe Cekung
IPV 15	6000	45	3.338	10.015	0.008	20.030	Tipe Cembung
IPV 16	6000	45	2.866	8.599	0.006	17.198	Tipe Cekung
IPV 17	6000	45	2.625	7.876	0.005	15.752	Tipe Cembung
IPV 18	6000	45	0.599	1.797	0.000	3.594	Tipe Cekung
IPV 19	6000	45	1.928	5.783	0.003	11.566	Tipe Cekung

Tabel 5.3 Lanjutan

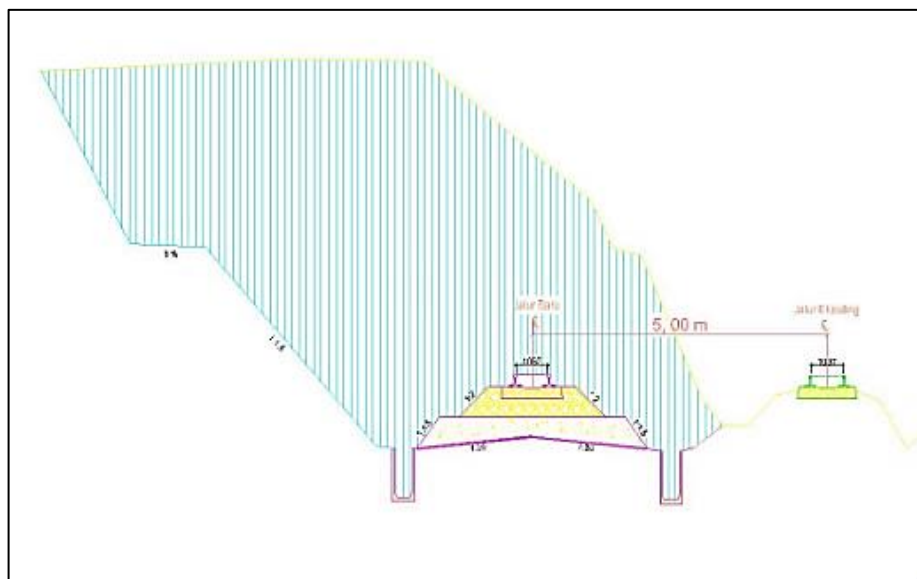
Data Lengkung	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	S(%o)	Xm (m)	Ym (m)	Lv (m)	Jenis Lengkung
IPV 20	6000	45	0.413	1.240	0.000	2.480	Tipe Cekung
IPV 21	6000	45	0.162	0.486	0.000	0.971	Tipe Cekung
IPV 22	6000	45	0.439	1.316	0.000	2.631	Tipe Cembung
IPV 23	6000	45	2.523	7.570	0.005	15.140	Tipe Cembung
IPV 24	6000	45	1.453	4.360	0.002	8.720	Tipe Cekung
IPV 25	6000	45	1.680	5.040	0.002	10.080	Tipe Cembung
IPV 26	6000	45	2.700	8.100	0.005	16.200	Tipe Cekung
IPV 27	6000	45	3.284	9.852	0.008	19.704	Tipe Cembung
IPV 28	6000	45	3.376	10.128	0.009	20.256	Tipe Cekung
IPV 29	6000	45	0.676	2.028	0.000	4.056	Tipe Cembung
IPV 30	6000	45	2.576	7.728	0.005	15.456	Tipe Cembung
IPV 31	6000	45	2.645	7.935	0.005	15.870	Tipe Cekung
IPV 32	6000	45	1.039	3.118	0.001	6.236	Tipe Cembung
IPV 33	6000	45	1.952	5.857	0.003	11.715	Tipe Cekung
IPV 34	6000	45	5.938	17.815	0.026	35.629	Tipe Cembung
IPV 35	6000	45	10.447	31.340	0.082	62.680	Tipe Cembung
IPV 36	6000	45	10.048	30.145	0.076	60.290	Tipe Cembung
IPV 37	6000	45	3.332	8.010	0.0053	16.0200	Tipe Cekung
IPV 38	6000	45	4.056	9.995	0.0083	19.9900	Tipe Cekung
IPV 39	6000	45	6.906	23.823	0.0473	47.6457	Tipe Cekung

Tabel 5.3 Lanjutan

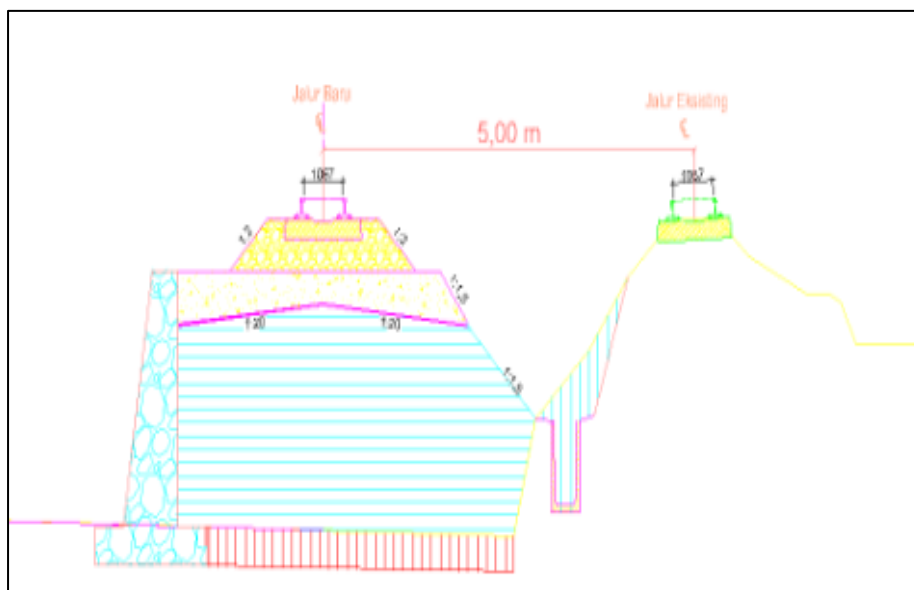
Data Lengkung	Rmin (m)	Vrencana (km/jam)	S(%o)	Xm (m)	Ym (m)	Lv (m)	Jenis Lengkung
IPV 40	6000	45	3.075	8.293	0.0057	16.5863	Tipe Cekung
IPV 41	6000	45	2.592	7.776	0.0050	15.5520	Tipe Cembung
IPV 42	6000	45	6.74	20.220	0.0341	40.4400	Tipe Cembung
IPV 43	6000	45	5.80	16.680	0.0232	33.3600	Tipe Cembung

4. Perancangan Potongan Melintang

Penampang melintang jalan rel adalah potongan pada jalan rel, dengan arah tegak lurus sumbu jalan rel, di mana terlihat bagian-bagian dan ukuran-ukuran jalan rel dalam arah melintang. Pada tempat-tempat khusus, seperti di perlintasan, penampang melintang dapat disesuaikan dengan keadaan setempat. Potongan melintang pada proyek kali ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu potongan melintang dengan tanah timbunan dan potongan melintang dengan tanah galian. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan 5.15 di bawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**14 Potongan melintang pada daerah galian



Gambar Error! No text of specified style in document..15 Potongan melintang pada daerah timbunan

E. Estimasi Volume Pekerjaan

1. Pengadaan Material

Pada pekerjaan DED Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda antara Cicalengka-Nagreg Lintas Bandung-Kroya (Tahap 1), dilakukan pekerjaan pengadaan material berupa :

- a. Tanah subgrade timbunan,
- b. Sirtu (Sub Balas) di site,
- c. Balas batu pecah dengan ukuran 2-6 cm di site.
- d. Bantalan beton lengkap dengan penambat elastis rel 54,
- e. Rel yang diangkut dari *stockpile*

2. Pelaksanaan Pekerjaan

a. Pekerjaan Sipil dan Badan Jalan Kereta Api

1) Pekerjaan Persiapan

Adapun lingkup pekerjaan persiapan pada pembangunan Jalur Kereta Api Ganda antara Cicalengka-Nagreg adalah :

- a) Mobilisasi peralatan kerja,
- b) Pengukuran, pasang patok profil track dan gambar,
- c) Gambar *shop drawing* dan *as built drawing*,

- d) Pembuatan direksi keet dan gudang material,
- e) Pembuatan papan nama proyek,
- f) Penerangan lengkap peralatan direksi,
- g) Penjagaan keamanan lengkap peralatan direksi,

2) Pekerjaan Pembebasan Lahan

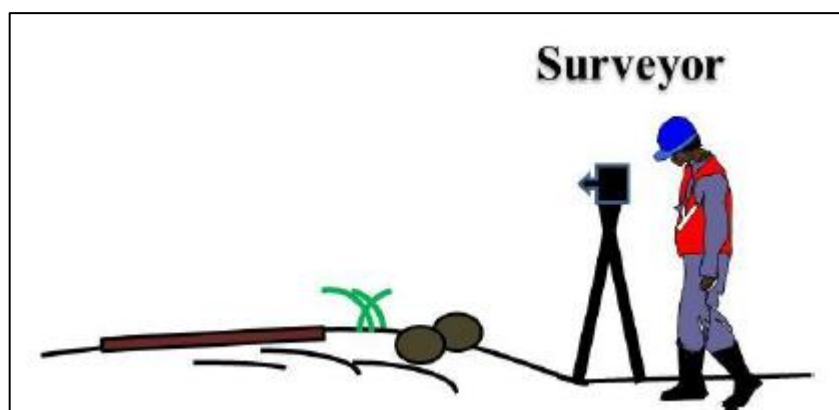
Pekerjaan pembebasan lahan yang utamanya merupakan bagian dari pembangunan jalan kereta api ganda ini disesuaikan dengan kondisi trase desain berupa penggantian biaya bongkar dan ganti rugi tanam tumbuh.

3) Pembersihan dan Pengupasan

Secara umum, tubuh badan dapat dibangun di atas timbunan, di atas galian, ataupun di atas tanah asli.

a) *Survey* dan *Site Clearing*

Pada pekerjaan ini dilakukan *survey* terhadap lokasi dan pembersihan benda-benda yang dapat menghalangi konstruksi. Pelaksanaan *survey* dan *site clearing* ditampilkan pada Gambar 5.16 di bawah ini.

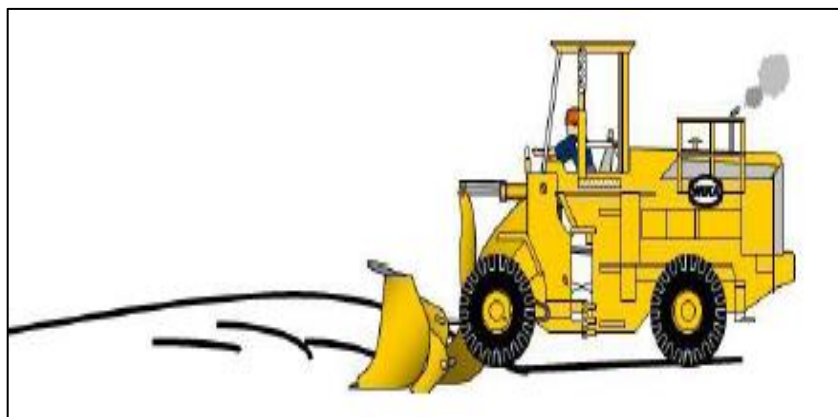


Gambar **Error! No text of specified style in document.**16 Pelaksanaan *survey* dan *site clearing*

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

b) Pengupasan Lapisan Atas Tanah (*Stripping*)

Pengupasan tanah dilakukan sampai kedalaman maksimum 50 cm dari tanah asli dengan menggunakan bulldozer. Pelaksanaan *stripping* ditampilkan pada Gambar 5.17 di bawah ini.

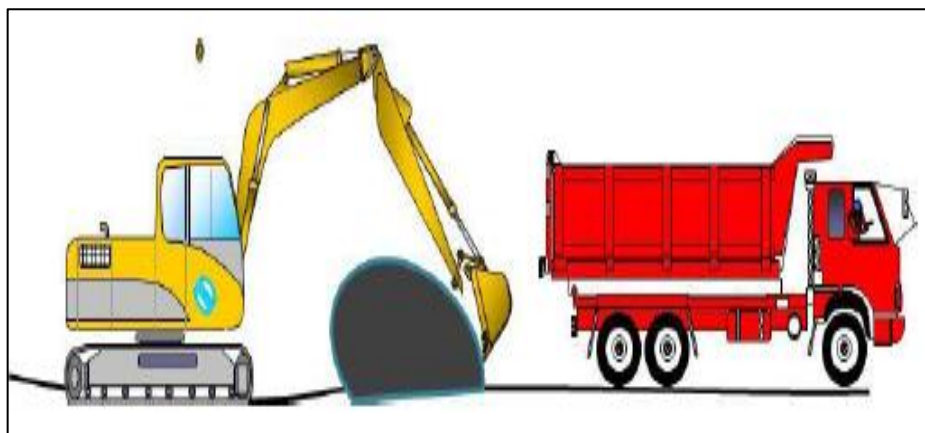


Gambar **Error! No text of specified style in document..17** Pelaksanaan pengupasan lapisan tanah (*stripping*)

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

c) Pembuangan Sisa Material Pengupasan

Sisa material pengupasan dibuang dengan menggunakan dumptruck dan excavator. Pelaksanaan pekerjaan ini ditampilkan pada Gambar 5.18.

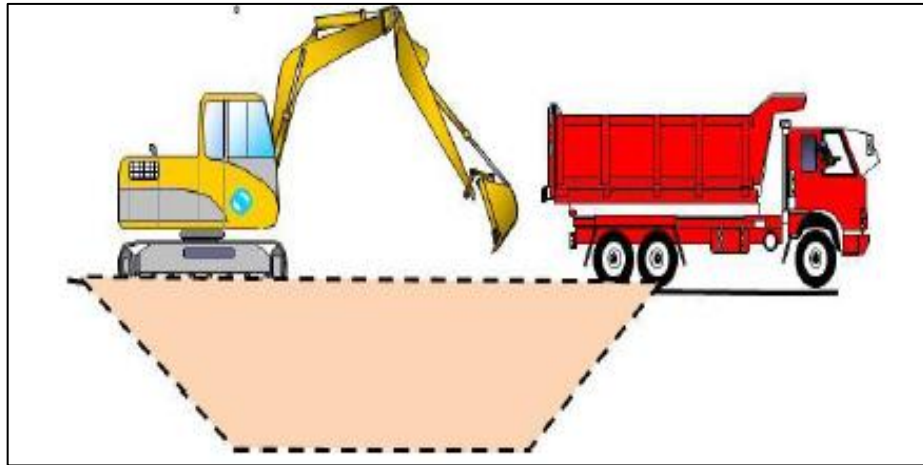


Gambar **Error! No text of specified style in document..18** Pelaksanaan pembuangan sisa material pengupasan

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

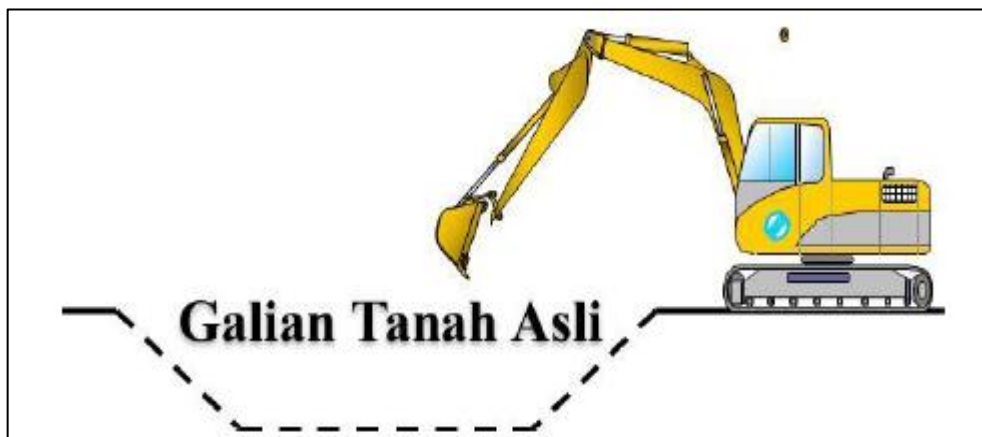
4) Perkuatan Tanah Dasar (Subgrade)

Setelah melakukan penggalian tanah asli, maka dilakukan pembersihan area galian dari keberadaan akar-akar pohon, dan lain-lain kemudian dipadatkan.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**19 Penggalian tanah asli

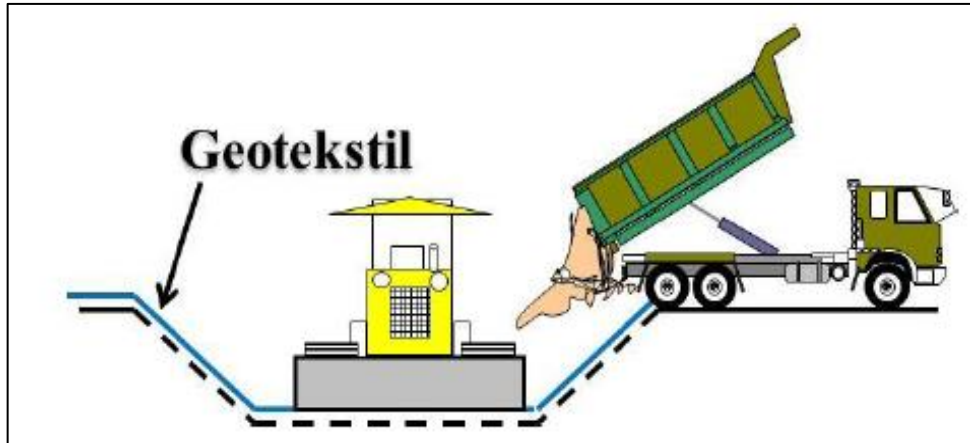
(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)



Gambar **Error! No text of specified style in document.**20 Hasil penggalian tanah asli

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

Setelah itu dilakukan penghambaran geotekstile. Kemudian penghambaran material sirtu (fondasi konstruksi).



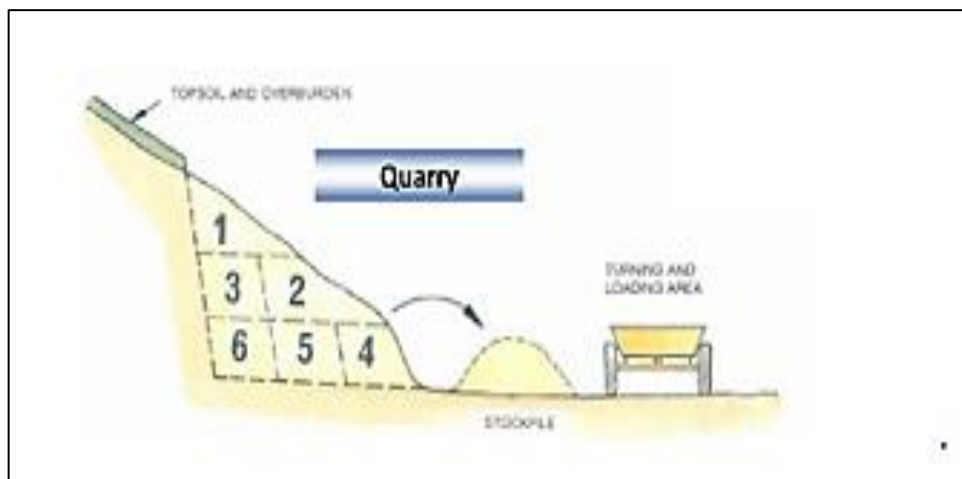
Gambar **Error! No text of specified style in document..21** Penghamparan geotekstile

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

5) Pengadaan Material Tanah Timbunan dan Bahan Tanah Urug

Material tanah timbunan dapat diperoleh dari :

- a) Berasal dari galian,
- b) Borrow material,
- c) Memenuhi syarat.



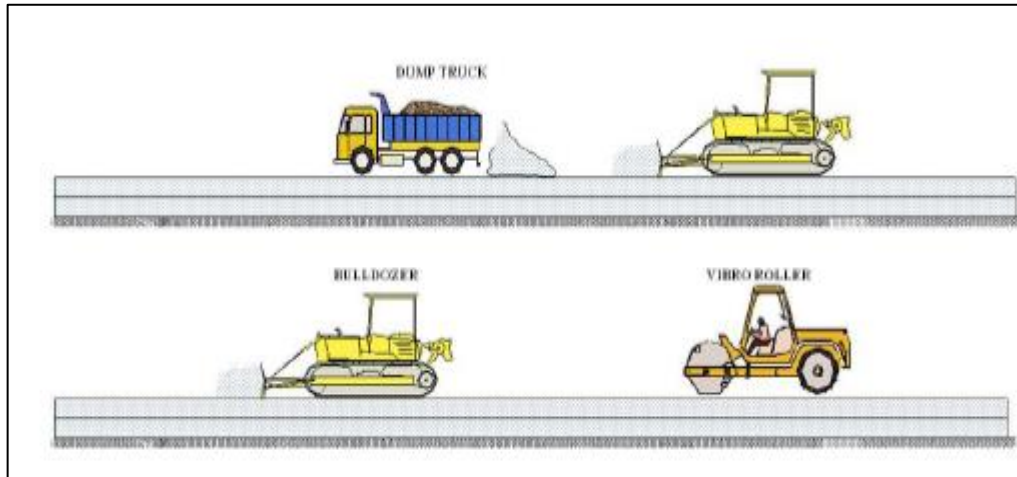
Gambar **Error! No text of specified style in document..22** Material timbunan berasal dari *quarry*

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

6) Penghamparan dan Pengurugan

Pekerjaan penghamparan dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :

- a) Material dihampar secara berlapis,
- b) Ketebalan maksimum perlapis adalah 30 cm setelah dipadatkan,
- c) Dilakukan pemadatan untuk tiap lapis,
- d) Dilakukan pengujian pemadatan untuk tiap lapis secara random.



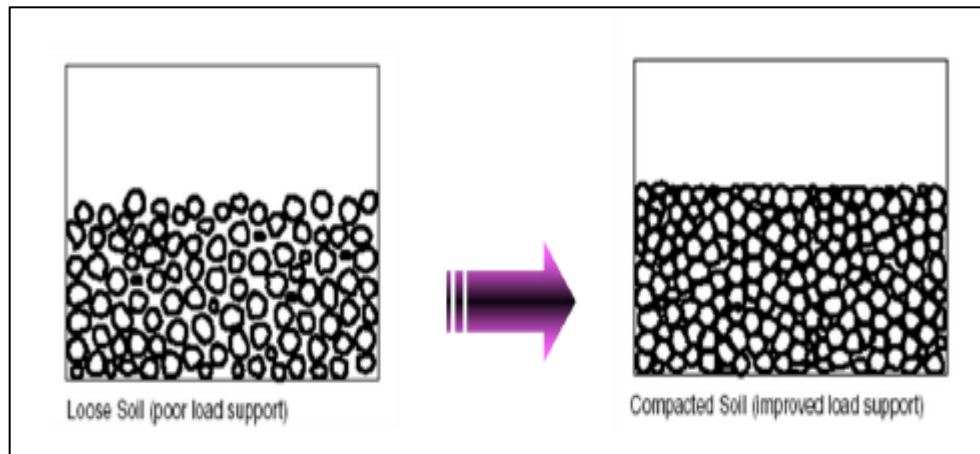
Gambar **Error! No text of specified style in document..23** Pelaksanaan penghamparan tanah dasar

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

7) Pemadatan Tanah Dasar

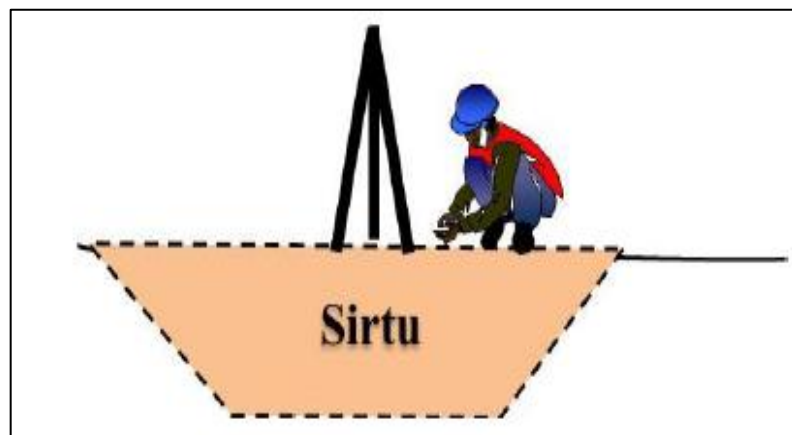
Pemadatan tanah dasar ialah sebuah proses dimana partikel-partikel tanah tersusun secara lebih rapat dengan berkurangnya volume pori, sebagai hasil dari pemakaian beban seperti *rolling* (gilas), *tamping* (menumbuk) atau getaran. Proses ini meliputi keluarnya udara dari pori tanpa perubahan yang signifikan terhadap kadar air. Adapun tujuan dilakukannya pemadatan ialah merubah sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik: *strength*, *compressibility*, *volume stability*, *hydraulic conductivity*, dan *erodibility*. Secara umum perubahan ini akan menyebabkan meningkatnya *soil density*. Setelah pemadatan, material sirtu tidak boleh tercampur dengan material lain. Setelah pengukuran levelling material sirtu tercapai, maka ditutup dengan geotekstile. Setelah melakukan perbaikan tanah asli, dilakukan tes CBR terhadap tanah fondasi

untuk mengetahui daya dukung tanah. Hasil proses pemadatan tanah dasar ditampilkan pada Gambar 5.24 dibawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**24 Hasil proses pemadatan tanah dasar

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)



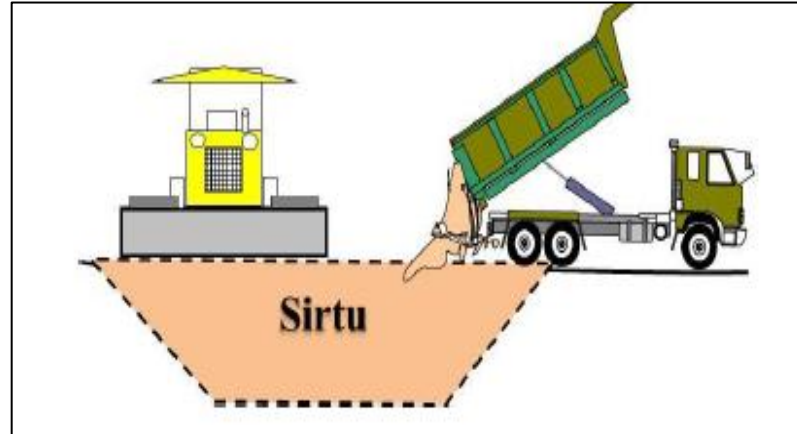
Gambar **Error! No text of specified style in document.**25 Tes CBR daya dukung tanah dasar

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

8) Pekerjaan Tanah Timbunan Subgrade

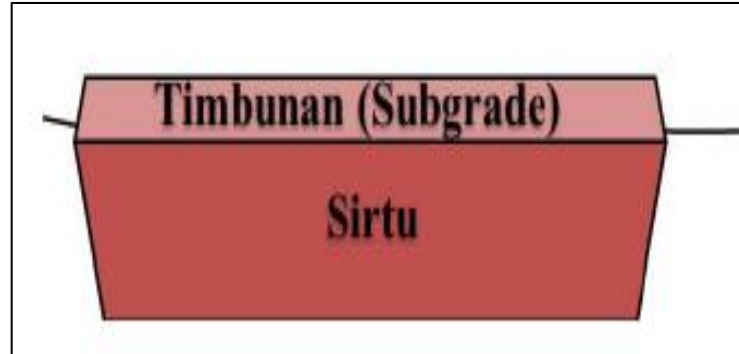
Ketebalan minimum lapis subgrade haruslah 30 cm untuk mencegah terjadinya mud pumping akibat terjadinya perubahan pada tanah pondasi. Lebar lapis dasar haruslah sama dengan lebar badan jalan, dan lapis dasar juga harus memiliki kemiringan sebesar 5% ke arah bagian luar

badan jalan. Jika tes CBR $> 6\%$ dan daya dukung tanah baik, maka bisa dilakukan pekerjaan timbunan. Penghamparan dilakukan dengan bulldozer dan dumptruck seperti tampak pada Gambar 5.26.



Gambar **Error! No text of specified style in document..26** Penghamparan tanah timbunan subgrade

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

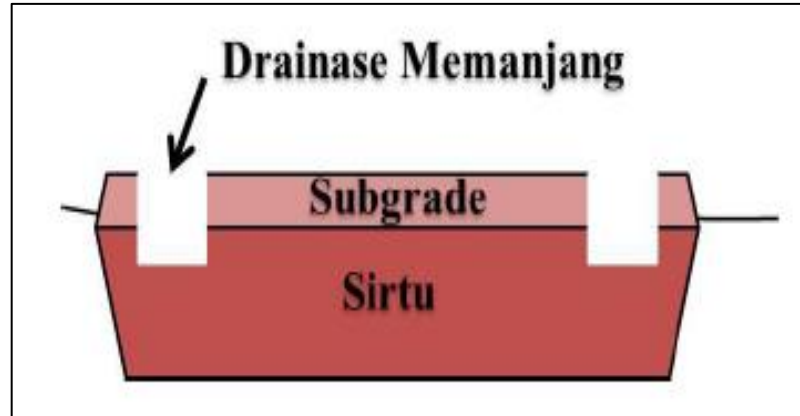


Gambar **Error! No text of specified style in document..27** Hasil penghamparan dan penimbunan tanah subgrade

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

9) Pembuatan drainase

Setelah pemadatan dan pemebersihan permukaan, dilakukan penggalian untuk *long drain* dan *cross drain* (jika diperlukan) setiap 6 m.



Gambar **Error! No text of specified style in document..28** Penggalan tanah untuk pembuatan *long-drain*

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

10) Pekerjaan Subbalas

Lapisan subbalas terdiri dari kerikil halus, sedang atau pasir kasar yang memenuhi syarat seperti yang dijelaskan pada landasan teori. Apabila tes pemadatan terpenuhi, maka dilanjutkan dengan penghamparan sirtu untuk subbalas dengan menggunakan dumptruck dan bulldozer seperti tampak pada Gambar 5.29 di bawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document..29**

Penghamparan sirtu subbalas

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

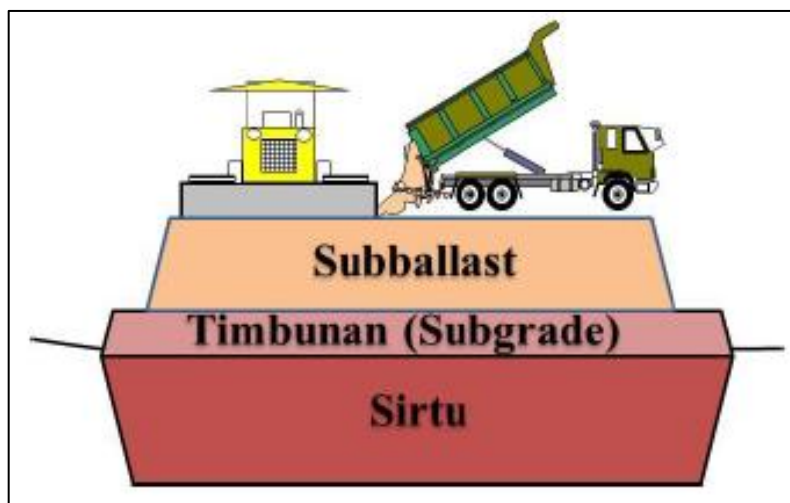
11) Pekerjaan Balas

Pekerjaan kemudian dilanjutkan dengan penghamparan material untuk balas dengan menggunakan dumptruck dan bulldozer seperti pada Gambar 5.30.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pekerjaan balas, yaitu :

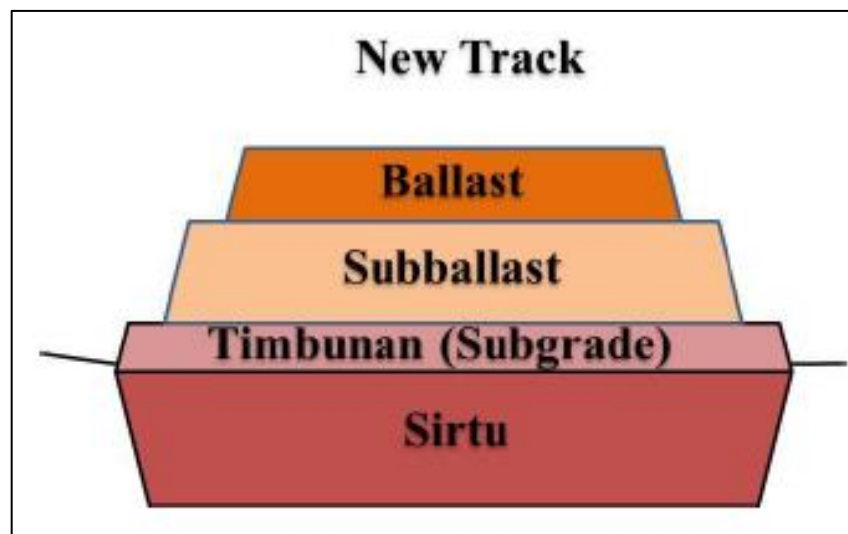
- a) *Quarry* (sumber bahan)
- b) Persyaratan material
- c) Tempat penimbunan (*stockpile*)

Pekerjaan balas dimulai dengan pengiriman *quarry* atau *stockpile* ke lokasi pekerjaan dengan dumptruck. Pergelaran balas dilakukan sebanyak dua kali, lapis pertama 20 cm dan lapis berikutnya sesuai *track laying* dengan menggunakan bulldozer.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**30 Pelaksanaan penghamparan balas

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)



Gambar **Error! No text of specified style in document..31** Hasil akhir penghambaran balas

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

b. Pekerjaan Struktur Atas Jalan Kereta Api

1) Bantalan

Pengangkutan bantalan ke lokasi pekerjaan, lalu bantalan diposisikan di atas balas dengan tenaga *man power* 4 orang setiap bantalan



Gambar **Error! No text of specified style in document..32** Pekerjaan pemasangan bantalan beton

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

2) Rel

Pengiriman rel ke lokasi proyek dari stockpile. Pemasangan rel dilakukan dengan *man power* menggunakan alat *yamakoshiki* (pengangkat rel)



Gambar **Error! No text of specified style in document..33** Pemasangan rel
(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

3) Penambat Rel

Pemasangan penambat rel dilakukan dengan menggunakan alat bantu small jack, dan pan satter dilakukan secara manual seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.34.



Gambar **Error! No text of specified style in document..34** Pemasangan penambat rel

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

4) Penyambung Rel

Untuk pekerjaan penyambungan rel, dilakukan pengelasan rel untuk sambungan standar 25 m dan penggunaan sambungan fishplate setiap 300 m.



Gambar **Error! No text of specified style in document..35** Hasil akhir pekerjaan peyambungan rel

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

5) Penghamparan *Upper Ballast*

Penyebaran *upper ballast* dilakukan setelah pemasangan rel selesai dilakukan dengan menggunakan trolley.



Gambar **Error! No text of specified style in document..36** Penghamparan upper-ballast

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

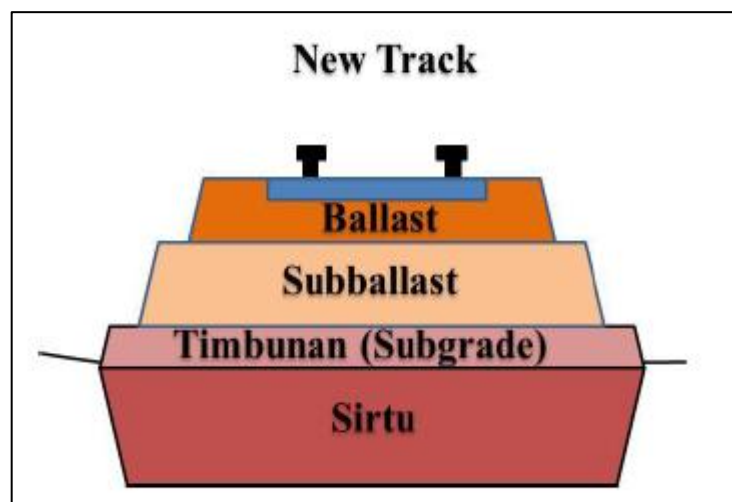
6) Pemadatan dan Tahap Akhir

Pada tahap ini pemadatan balas dilakukan dengan menggunakan (HTT), dan kemudian dilanjutkan dengan pengecekan elevasi dan alinyemen hingga tahap akhir pengecekan rel dengan MTT. Setelah dilakukannya pengecekan rel dengan MTT, maka konstruksi jalan kereta api selesai dilakukan.



Gambar **Error! No text of specified style in document..37** Pematatan *upper ballast*, pengecekan elevasi dan alinemen, dan pengecekan rel

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)



Gambar **Error! No text of specified style in document..38** Hasil akhir pekerjaan jalan kereta api

(Sumber : Laporan Proyek Pembangunan Jalur Kereta Api Ganda Antara Cicalengka-Cipeundeuy Lintas Bandung-Kroya)

3. Volume Galian dan Timbunan

Berdasarkan dari hasil perancangan daerah galian dan timbunan pada proyek ini, dengan panjang jalur 8,5 km diperoleh volume total galian sebesar 173572,74 m³ dengan volume galian terbesar terdapat pada sta 188+000 dengan total volume galian sebesar 6014,56 m³ dan volume timbunan terbesar

terdapat pada daerah di sta. 189+200 dengan total volume timbunan sebesar 2060,12 m³.

4. Pekerjaan Penyelesaian

Adapun lingkup pekerjaan penyelesaian pada pembangunan Jalur Ganda Kereta Api antara Cicalengka-Nagreg Lintas Bandung Kroya (Tahap 1), yaitu :

- a. Demobilisasi Alat Kerja
 - 1) Transport alat-alat kerja dan perlengkapan proyek lainnya diangkut sampai di 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 Peraturan Menteri No. 78 tahun 2014 sebagai acuan harga satuan yang digunakan dalam melakukan analisis perhitungan biaya pembangunan jalur kereta api ganda antara Stasiun Cicalengka- Stasiun Nareg.

Berdasarkan dari hasil analisis yang telah dilakukan, biaya terbesar dalam perencanaan ialah pada biaya pekerjaan sipil yang menghabiskan biaya sebesar Rp. 84.623.149.568,19 Milyar dengan biaya pekerjaan terbesar terdapat pada pekerjaan pembuatan dinding penahan tanah mutu beton K-250 yang menghabiskan dana sebesar Rp. 32.723.639.222,00 Milyar sehingga menyebabkan biaya operasional pembuatan jalan rel tersebut meningkat.

Biaya total yang dibutuhkan untuk pekerjaan pembangunan jalur baru kereta api ganda antara Stasiun Cicalengka-Stasiun Nagreg adalah sebesar Rp.- 132.130.320.000,00 dengan

rata-rata total biaya per km menghabiskan dana sebesar Rp.- 15.544.743.529, 41. Adapun untuk perhitungan secara mendetail dan keseluruhan ditampilkan pada lampiran studi ini.