

BAB III

PERHITUNGAN KONSTRUKSI

3.1 Penentuan Trase Jalan

Dalam proses perencanaan konstruksi diperlukan keakuratan dan kecukupan data untuk memberikan alternatif yang terbaik. Sebelum melakukan perhitungan awal dilakukan penentuan trase jalan untuk menentukan rute jalan yang akan dibuat. Data-data yang didapatkan harus diolah dengan baik sesuai standar perencanaan yang dipakai. Adapun perhitungan yang akan diuraikan pada bab ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan parameter perencanaan
 - a) Penentuan titik koordinat
 - b) Penentuan panjang garis *tangen*
 - c) Penentuan sudut *azimuth* dan sudut *bearing*
 - d) Penentuan medan jalan
 - e) Penentuan kriteria perencanaan
2. Perhitungan alinyemen horizontal
 - a) Perhitungan tikungan
 - b) Perhitungan kontrol *overlapping*
 - c) Perhitungan pelebaran perkerasan pada tikungan
 - d) Perhitungan kebebasan samping pada tikungan
 - e) Penentuan titik *stationing*
3. Perhitungan alinyemen vertikal
4. Perhitungan tebal perkerasan jalan kaku (*rigid pavement*)
5. Perhitungan *box culvert* dan drainase.
6. Perhitungan volume galian dan timbunan

3.2 Penentuan Parameter Perencanaan

3.2.1 Penentuan titik koordinat

Berdasarkan trase rencana yang telah dibuat dan mempertimbangkan panjang jalan trase, maka dapat ditentukan titik koordinat dari trase tersebut.

Adapun titik koordinat dari Jalan Pampangan sampai Lebung Batang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

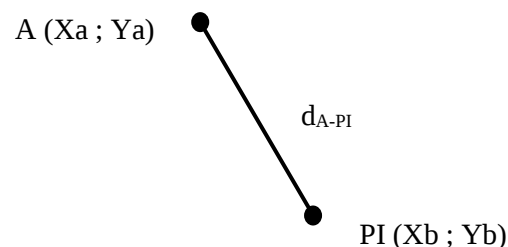
Tabel 3.1 Pembacaan Titik Koordinat

Titik	Koordinat	
	X	Y
A	530194,1257	9645641,5607
PI.1	530201,7587	9645243,8297
PI.2	530430,7013	9644810,6964
PI.3	531017,5718	9644394,9761
PI.4	530748,3954	9643583,3379
PI.5	531483,4298	9643557,3484
PI.6	532080,4650	9643229,0407
PI.7	532934,2053	9643413,2226
PI.8	533892,1432	9643378,2973
B	534232,0351	9643957,0185

(Sumber: Hasil Pembacaan Gambar, 2019)

3.2.2 Penentuan panjang garis *tangen*

Dalam perencanaan geometrik, perlu dihitung besar nilai panjang garis *tangen* yang kemudian akan digunakan untuk perhitungan pada tikungan. Dengan mengetahui titik-titik koordinat disetiap tikungan, kita dapat menentukan jarak trase dari titik A (awal proyek) sampai ke titik B (akhir proyek).



Gambar 3.1 Jarak antar Tikungan

$$d_{A-PI} = \sqrt{(Xb-Xa)^2 + (Yb-Ya)^2} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

d_{A-PI} = Jarak antar tikungan

Xb = Koordinat titik PI.1 pada sumbu X

Xa = Koordinat titik A pada sumbu X

Yb = Koordinat titik PI.1 pada sumbu Y

Ya = Koordinat titik A pada sumbu Y

Perhitungannya:

1. Jarak titik A ke titik P1

$$\begin{aligned} d1 &= \sqrt{(X_{PI.1} - X_A)^2 + (Y_{PI.1} - Y_A)^2} \\ &= \sqrt{(530201,7587 - 530194,1257)^2 + (9645243,8297 - 9645641,5607)^2} \\ &= 397,80\text{m} \end{aligned}$$

2. Jarak titik P1 ke titik P2

$$\begin{aligned} d2 &= \sqrt{(X_{PI.2} - X_{PI.1})^2 + (Y_{PI.2} - Y_{PI.1})^2} \\ &= \sqrt{(530430,7013 - 530201,7587)^2 + (9644810,6964 - 9645243,8297)^2} \\ &= 489,92\text{m} \end{aligned}$$

3. Jarak titik P2 ke titik P3

$$\begin{aligned} d3 &= \sqrt{(X_{PI.3} - X_{PI.2})^2 + (Y_{PI.3} - Y_{PI.2})^2} \\ &= \sqrt{(531017,5718 - 530430,7013)^2 + (9644394,9761 - 9644810,6964)^2} \\ &= 719,19\text{m} \end{aligned}$$

4. Jarak titik P3 ke titik P4

$$\begin{aligned} d4 &= \sqrt{(X_{PI.4} - X_{PI.3})^2 + (Y_{PI.4} - Y_{PI.3})^2} \\ &= \sqrt{(530748,3954 - 531017,5718)^2 + (9643583,3379 - 9644394,9761)^2} \\ &= 855,11\text{m} \end{aligned}$$

5. Jarak titik P4 ke titik P5

$$\begin{aligned} d5 &= \sqrt{(X_{PI.5} - X_{PI.4})^2 + (Y_{PI.5} - Y_{PI.4})^2} \\ &= \sqrt{(531483,4298 - 530748,3954)^2 + (9643557,3484 - 9643583,3379)^2} \\ &= 735,49\text{m} \end{aligned}$$

6. Jarak titik P5 ke titik P6

$$d6 = \sqrt{(X_{PI.6} - X_{PI.5})^2 + (Y_{PI.6} - Y_{PI.5})^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{(532080,4650 - 531483,4298)^2 + (9643229,0407 - 9643557,3484)^2} \\
&= 681,35\text{m}
\end{aligned}$$

7. Jarak titik P6 ke titik P7

$$\begin{aligned}
d7 &= \sqrt{(X_{\text{Pl.7}} - X_{\text{Pl.6}})^2 + (Y_{\text{Pl.7}} - Y_{\text{Pl.6}})^2} \\
&= \sqrt{(532934,2053 - 532080,4650)^2 + (9643413,2226 - 9643229,0407)^2} \\
&= 873,38 \text{ m}
\end{aligned}$$

8. Jarak titik P7 ke titik P8

$$\begin{aligned}
d8 &= \sqrt{(X_{\text{Pl.8}} - X_{\text{Pl.7}})^2 + (Y_{\text{Pl.8}} - Y_{\text{Pl.7}})^2} \\
&= \sqrt{(533892,1432 - 532934,2053)^2 + (9643378,2973 - 9643413,2226)^2} \\
&= 958,57\text{m}
\end{aligned}$$

9. Jarak titik P8 ke titik B

$$\begin{aligned}
d9 &= \sqrt{(X_{\text{B}} - X_{\text{Pl.8}})^2 + (Y_{\text{B}} - Y_{\text{Pl.8}})^2} \\
&= \sqrt{(534232,0351 - 533892,1432)^2 + (9643957,0185 - 9643378,2973)^2} \\
&= 671,15\text{m}
\end{aligned}$$

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan Panjang *Tangen*

Titik	Jarak (m)
A – P1	397,80
P1 – P2	489,92
P2 – P3	719,19
P3 – P4	855,11
P4 – P5	735,49
P5 – P6	681,35
P6 – P7	873,38
P7 – P8	958,57
P8 – B	671,15
Total	6376,92

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

3.2.3 Penentuan sudut *azimuth* dan sudut *bearing*

Dalam perencanaan geometrik, perlu dihitung besar nilai sudut antara dua *tangen* (Δ) yang kemudian digunakan untuk perhitungan tikungan. Dalam

perhitungan sudut antara dua *tangen* (Δ), terdapat sudut-sudut yang harus diketahui terlebih dahulu, yaitu sudut jurusan (α).

$$\alpha_A = \arctg \frac{(X_1 - X_A)}{(Y_1 - Y_2)} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\Delta_1 = \alpha_1 - \alpha_A \dots \dots \dots (3.3)$$

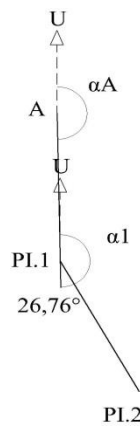
Keterangan:

α_A = Sudut jurusan titik A

Δ_1 = Sudut *azimuth* pada titik PI 1

Perhitungannya:

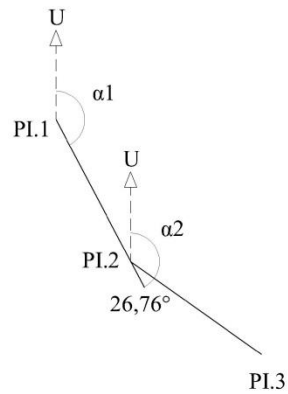
1. Sudut Δ pada titik PI.1



Gambar 3.2 Sudut Δ pada titik PI.1

$$\begin{aligned} \alpha_A &= \arctg \frac{(X_A - X_{pi.1})}{(Y_A - Y_{pi.1})} \\ &= \arctg \frac{(530194,1257 - 530201,7587)}{(9645641,5607 - 9645243,8297)} \\ &= -1,099^\circ + 180^\circ = 178,9^\circ \\ \alpha_1 &= \arctg \frac{(X_{pi.1} - X_{pi.2})}{(Y_{pi.1} - Y_{pi.2})} \\ &= \arctg \frac{(530201,7587 - 530430,7013)}{(9645243,8297 - 9644810,6964)} \\ &= -27,86^\circ + 180^\circ = 152,14^\circ \\ \Delta_1 &= \alpha_A - \alpha_1 \\ &= 178,9^\circ - 152,14^\circ \\ &= 26,76^\circ \end{aligned}$$

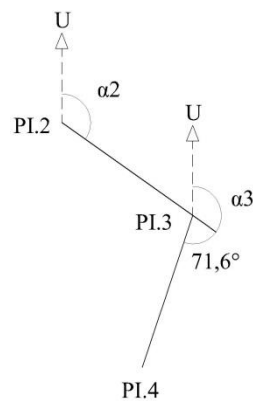
2. Sudut Δ pada titik PI.2



Gambar 3.3 Sudut Δ pada titik PI.2

$$\begin{aligned}\alpha_2 &= \arctg \frac{(X_{pi.2} - X_{pi.3})}{(Y_{pi.2} - Y_{pi.3})} \\ &= \arctg \frac{(530430,7013 - 531017,5718)}{(9644810,6964 - 9644394,9761)} \\ &= -54,69^\circ + 180^\circ = 125,31^\circ \\ \Delta 2 &= \alpha_1 - \alpha_2 \\ &= 152,14^\circ - 125,31^\circ \\ &= 26,83^\circ\end{aligned}$$

3. Sudut Δ pada titik PI.3

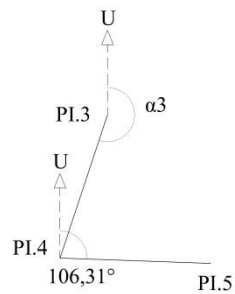


Gambar 3.4 Sudut Δ pada titik PI.3

$$\begin{aligned}\alpha_3 &= \arctg \frac{(X_{pi.3} - X_{pi.4})}{(Y_{pi.3} - Y_{pi.4})} \\ &= \arctg \frac{(531017,5718 - 530748,3954)}{(9644394,9761 - 9643583,3379)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 18,34^\circ \\
 \Delta 3 &= 90^\circ - \alpha_3 \\
 &= 90^\circ - 18,34^\circ \\
 &= 71,6^\circ
 \end{aligned}$$

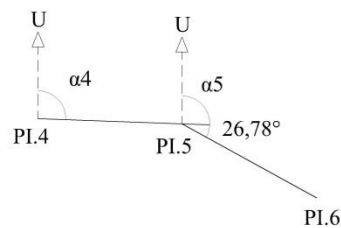
4. Sudut Δ pada titik PI.4



Gambar 3.5 Sudut Δ pada titik PI.4

$$\begin{aligned}
 \alpha_4 &= \arctg \frac{(X_{pi.4} - X_{pi.5})}{(Y_{pi.4} - Y_{pi.5})} \\
 &= \arctg \frac{(530748,3954 - 531483,4298)}{(9643583,3379 - 9643557,3484)} \\
 &= 87,97^\circ \\
 \Delta 4 &= \alpha_4 - \alpha_3 \\
 &= 87,97^\circ + 18,34^\circ \\
 &= 106,31^\circ
 \end{aligned}$$

5. Sudut Δ pada titik PI.5



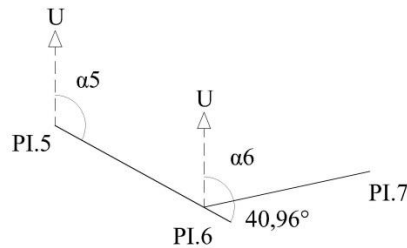
Gambar 3.6 Sudut Δ pada titik PI.5

$$\begin{aligned}
 \alpha_5 &= \arctg \frac{(X_{pi.5} - X_{pi.6})}{(Y_{pi.5} - Y_{pi.6})} \\
 &= \arctg \frac{(531483,4298 - 532080,4650)}{(9643557,3484 - 9643229,0407)} \\
 &= 61,19^\circ \\
 \Delta 5 &= \alpha_4 - \alpha_5
 \end{aligned}$$

$$= 87,97^\circ - 61,19^\circ$$

$$= 26,78^\circ$$

6. Sudut Δ pada titik PI.6



Gambar 3.7 Sudut Δ pada titik PI.6

$$\alpha_6 = \arctg \frac{(X_{pi.6} - X_{pi.7})}{(Y_{pi.6} - Y_{pi.7})}$$

$$= \arctg \frac{(532080,4650 - 532934,2053)}{(9643229,0407 - 9643413,2226)}$$

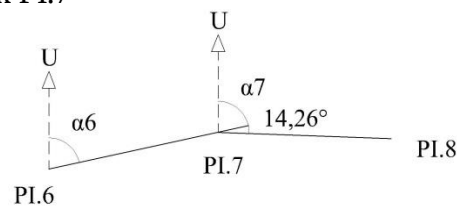
$$= 180^\circ - 77,83^\circ = 102,17^\circ$$

$$\Delta_6 = \alpha_5 - \alpha_6$$

$$= 102,17^\circ - 61,19^\circ$$

$$= 40,98^\circ$$

7. Sudut Δ pada titik PI.7



Gambar 3.8 Sudut Δ pada titik PI.7

$$\alpha_7 = \arctg \frac{(X_{pi.7} - X_{pi.8})}{(Y_{pi.7} - Y_{pi.8})}$$

$$= \arctg \frac{(532934,2053 - 533892,1432)}{(9643413,2226 - 9643378,2973)}$$

$$= -87,91^\circ + 180^\circ$$

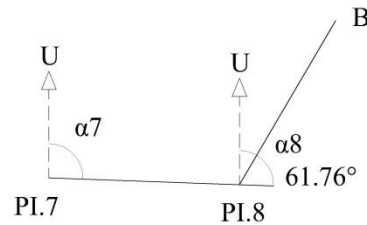
$$= 92,09^\circ$$

$$\Delta_7 = \alpha_7 - \alpha_6$$

$$= 102,17^\circ - 92,09^\circ$$

$$= 14,26^\circ$$

8. Sudut Δ pada titik PI.8



Gambar 3.9 Sudut Δ pada titik PI.8

$$\begin{aligned}\alpha_8 &= \arctg \frac{(X_{pi.8} - X_{pi.B})}{(Y_{pi.8} - Y_{pi.B})} \\ &= \arctg \frac{(533892,1432 - 534232,0351)}{(9643378,2973 - 9643957,0185)} \\ &= 30,42^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_8 &= \alpha_8 - \alpha_7 \\ &= 92,09^\circ - 30,42^\circ \\ &= 61,67^\circ\end{aligned}$$

Tabel 3.3 Hasil Perhitungan *Azimuth* (α) dan *Bearing* (Δ)

Titik	<i>Azimuth</i> ($^\circ$)	<i>Bearing</i> ($^\circ$)
A	178,9	-
PI.1	152,14	26,76
PI.2	125,31	26,83
PI.3	18,34	71,6
PI.4	87,97	106,31
PI.5	61,19	26,78
PI.6	102,17	40,98
PI.7	92,09	14,26
PI.8	30,42	61,67

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

3.2.4 Penentuan medan jalan

Perhitungan kelas medan jalan dilakukan dengan memperhitungkan sebagian besar kemiringan medan yang diukur tegak lurus garis kontur. Adapun hasil perhitungannya pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perhitungan Kemiringan Medan

Titik	Elevasi Kanan	Elevasi Kiri	Jarak (m)	Kemiringan (%)
1	24,1	24,2	100	0,1
2	16,2	24,2	100	8
3	16,5	17	100	0,5
4	14,8	18,9	100	4,1
5	9	17	100	8,0
6	13	18,2	100	5,2
7	19,7	17,9	100	1,8
8	19,8	16,1	100	3,7
9	14,9	11	100	3,9
10	14,5	11	100	3,5
11	15,5	15	100	0,5
12	18,7	10,1	100	8,6
13	19	11,9	100	7,1
14	19,9	14,7	100	5,2
15	21	16,5	100	4,5
16	16,1	15	100	1,1
17	22,1	17,4	100	4,7
18	17,9	17	100	0,9
19	17	16,9	100	0,1
20	14	16	100	2,0
21	17,8	11,6	100	6,2
22	18,1	9,6	100	8,5
23	20,8	15,8	100	5,0
24	17,8	10,5	100	7,3
25	20,3	23	100	2,7
26	18,7	20,1	100	1,4
27	12,5	21	100	8,5
28	12,1	12,2	100	0,1
29	19	11,4	100	7,6
30	25	15,8	100	9,2
31	17,8	12,5	100	5,3
32	16,6	15,9	100	0,7
33	16,2	15	100	1,2

Lanjutan...

34	15	17,8	100	2,8
35	17,7	22,1	100	4,4
36	14,9	11,9	100	3,0
37	14,2	13	100	1,2
38	13,5	13,9	100	0,4
39	16,8	16	100	0,8
40	19	11	100	8
41	18,5	7,9	100	10,6
42	17	8	100	9,0
43	16,9	10	100	6,9
44	18,5	12	100	6,5
45	15,8	9,8	100	6,0
46	8,5	7	100	1,5
47	10,1	9	100	1,1
48	7,5	17	100	9,5
49	7	9	100	2
50	6	11,8	100	5,8
51	6,5	12	100	5,5
52	8,2	7	100	1,2
53	12,5	8,2	100	4,3
54	10,5	11	100	0,5
55	7	11	100	4,0
56	12,8	8,2	100	4,6
57	16,2	9	100	7,2
58	7,9	7,8	100	0,1
59	7,4	9	100	1,6
60	7	11	100	4,0
61	7	9	100	2,0

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

Berdasarkan Pedoman Perencanaan Geometrik Jalan Raya Antar Kota 1997 tentang kelas medan jalan dan hasil perhitungan kemiringan di atas, maka untuk perencanaan ruas Jalan Pampangan Ogan Komering Ilir digolongkan pada jenis medan perbukitan dengan kemiringan medan rata-rata sebesar 4,13%.

3.2.5 Penentuan kriteria perencanaan

Menentukan kriteria perencanaan dilakukan dengan menetapkan:

a. Penentuan Fungsi dan Kelas Jalan

Data lalu lintas harian rata-rata ruas Jalan Pampangan sampai ke Lebung Batang Kabupaten Ogan Komering Ilir pada tahun 2018, direncanakan untuk

menentukan kelas jalan baik berdasarkan fungsi jalan maupun volume Lalulintas Harian Rata-rata (LHR).

Tabel 3.5 LHR Ruas Jalan Pampangan sampai ke Lebung Batang Kabupaten Ogan Komering Ilir

No.	Jenis Kendaraan	Tahun 2018		
		Banyak Kend./hari	Emp	Smp/hari
1	Sepeda Motor (MC)	2458	0,4	983,2
2	Kendaraan Ringan (Lv)	1309	1	1309
3	Kend. Berat Menengah (MHV)	290	1,8	522
4	Truk Besar (LT)	85	4,8	408
5	Bus Besar (LB)	225	1,6	360
Total		4367		3582,2

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

Perencanaan ruas Jalan Pampangan- Lebung Batang Kabupaten Ogan Komering Ilir data lalulintas tahun 2018 lalu diolah dengan memasukkan angka pertumbuhan lalulintas selama 2 tahun dari tahun 2018 ke tahun 2020 (awal umur rencana) sebesar 4% per tahun. Umur rencana pelayanan ditetapkan 40 tahun dengan pertumbuhan lalulintas sebesar 5% pada akhir umur rencana yaitu pada tahun 2060. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Data Lalulintas Perencanaan Jalan pada Akhir Umur Pelayanan

No.	Karakteristik Kendaraan	LHR 2018 (SMP/hari)	LHR 2020 (SMP/hari) $i = 4\%$ $n = 2$	LHR 2060 (SMP/hari) $i = 5\%$ $n = 40$
1	2	3	$4 = 3 \cdot (1+i)^n$	$5 = 3 \cdot (1+i)^n$
1	Sepeda Motor (MC)	983,2	1063,43	4720,36
2	Kend. Ringan (LV)	1309	1415,81	9215,34
3	Kend. Berat Menengah (MHV)	522	564,59	3674,87
4	Truk Besar (LT)	408	441,29	1958,82
5	Bus Besar (LB)	360	389,38	2534,39
Jumlah		3862	3874,5	22103,78

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

b. Penentuan kecepatan rencana

Kecepatan rencana (V_r) dipilih untuk menjadi dasar dalam perencanaan geometrik jalan. Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.38/TBM/1997, kecepatan rencana dibagi menurut fungsi jalan dapat dilihat pada Tabel 2.10. Berdasarkan penentuan kelas dan fungsi jalan yang telah ditentukan di atas, jalan yang direncanakan berfungsi sebagai jalan arteri dan berdasarkan hasil perhitungan medan jalan lokasi jalan yang direncanakan termasuk ke dalam medan perbukitan. Berdasarkan tabel kecepatan rencana berkisar antara 60 – 80 km/jam, maka kecepatan rencana (V_r) diambil 60 km/jam.

d. Pemilihan tipe jalan

Diketahui kondisi jalan yang direncanakan adalah sebagai berikut:

Fungsi jalan	= Arteri kelas I
Medan	= Bukit
Volume Lalulintas Harian Rencana(VLHR)	= 22103,78smp/jam
Pertumbuhan lalulintas (i), pada saat pelaksanaan	= 4%
setelah jalan dibuka	= 5 %

1) Perhitungan Arus Jam Rencana

$$\begin{aligned}
 VJR &= VLRH \times k \\
 &= 22103,78 \times 8\% \\
 &= 1768,3 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

Dimana:

VJR	= Arus jam rencana
VLHR	= Volume Lalulintas Harian Rencana
K	= Faktor volume arus lalu lintas jam sibuk

2) Kapasitas Jalan

Direncanakan lebar jalur 2(2x3,5 m) dan lebar bahu 2,0 m⁴/2 UD. Rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas jalan luar kota berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997

$$\begin{aligned}
 C &= C_o \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF} \\
 &= 1650 \text{ smp/jam} \times (1 \times 4) \times 1 \times 0,98
 \end{aligned}$$

$$= 6468 \text{ smp/jam}$$

Dimana:

C = Kapasitas (smp/jam)

C_0 = Kapasitas dasar (smp/jam), jalan 4 lajur tak terbagi (bukit),
maka diambil = 1650 smp/jam

FC_W = Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas, jalan 2 lajur
terbagi, lebar jalan efektif 7 m total lebar maka diambil = 1

FC_{SP} = Faktor penyesuaian pemisah arah, jalan 2 lajur (50-50),
maka diambil = 1

FC_{SF} = Faktor penyesuaian hambatan samping, jalan 2 lajur, lebar
bahu jalan efektif ≥ 2 m, maka diambil = 0,98

3) Derajat Kejenuhan (DS) pada tahun rencana

Dengan membandingkan arus rencana dan kapasitas di atas:

$$DS = \frac{Q}{C} = \frac{1768,3}{6468} = 0,27 \leq 0,80$$

Dari hasil perhitungan nilai parameter tingkat kinerja jalan di atas besarnya DS memenuhi persyaratan (DS ideal adalah $\leq 0,80$), maka tipe jalan 4/2 UD dapat dipergunakan, nilai di atas menunjukkan bahwa ruas jalan yang direncanakan mampu menampung volume lalu lintas sampai akhir tahun umur rencana.

3.3 Perhitungan Alinyemen Horizontal

3.3.1 Perhitungan tikungan

Tikungan yang diambil pada perencanaan ini berjumlah 8 buah, yaitu 4 buah tikungan *Full Circle*, 3 buah tikungan *Spiral - Circle - Spiral* dan 1 buah tikungan *Spiral - Spiral*. Selanjutnya perhitungan tikungan untuk semua jenis tikungan akan ditampilkan dalam bentuk tabel.

a. Tikungan 1

Jenis tikungan *Full Circle (FC)*

Dengan:

- Kecepatan rencana (V_r) = 60 km/jam
- Miring tikungan normal (e_n) = 2%
- Miring tikungan maksimum ($e_{\max}$) = 10%
- Jari-jari (R) = 700 m
- Sudut *bearing* (Δ_4) = 26,76°
- Koefisien gesek (f_m), $f_{\max} = -0,00065 \cdot V_R + 0,192$
 $= -0,00065(60) + 0,192$
 $= 0,153$

Perhitungan:

$$R_{\min} = \frac{V_r^2}{127 (e_{\max} + f_{\max})} = \frac{60^2}{127 (0,1 + 0,153)} = 112,04 \text{ m}$$

$\therefore R_{\text{desain}} > R_{\min}$ (OK)

$$D = \frac{1432,39}{R} = \frac{1432,39}{700} = 2,05^\circ$$

$$D_{\max} = \frac{181913,53 (e_{\max} + f_{\max})}{V^2} = \frac{181913,53 (0,1 + 0,153)}{60^2} = 12,78^\circ$$

$$\begin{aligned} e_p &= -\left[\frac{e_{\max}}{D_{\max}^2} \cdot D^2 \right] + \left[\frac{2 e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D \right] \\ &= -\left[\frac{0,1}{12,78^2} \cdot 2,05^2 \right] + \left[\frac{2 \cdot 0,1}{12,78} \cdot 2,05 \right] \\ &= 0,0294 \\ &= 2,94\% \end{aligned}$$

Menghitung jarak TC-PI atau PI-CT:

$$\begin{aligned} T_c &= R \cdot \tan \frac{\Delta}{2} \\ &= 700 \text{ m} \cdot \tan \frac{26,76^\circ}{2} \\ &= 166,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung jarak PI ke puncak busur lingkaran:

$$\begin{aligned} E_c &= T_c \cdot \tan \frac{\Delta}{4} \\ &= 166,5 \text{ m} \cdot \tan \frac{26,76^\circ}{4} \end{aligned}$$

$$= 19,53 \text{ m}$$

Menghitung panjang lengkung CT – TC:

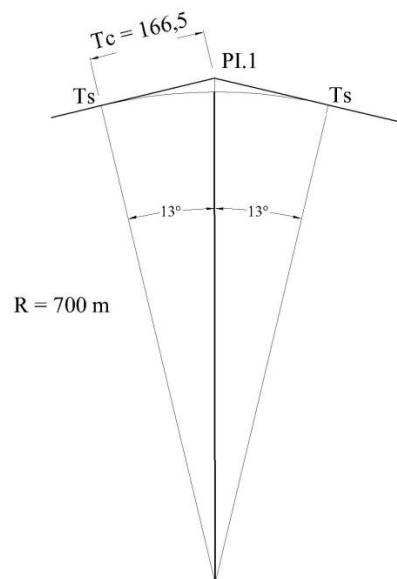
$$\begin{aligned} L_c &= \frac{\Delta}{180^\circ} \cdot \pi \cdot R \\ &= \frac{26,76^\circ}{180^\circ} \cdot \pi \cdot 700 \text{ m} \\ &= 326,93 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung nilai x:

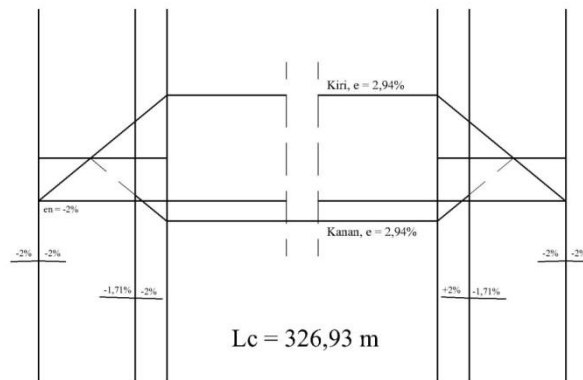
$$\frac{\frac{3}{4}Ls'}{Ls'} = \frac{(x+en)}{(en+ep)}$$

$$x = \frac{(en+ep) \times \frac{3}{4}Ls}{Ls'} - en$$

$$x = \frac{(0,02 + 0,0294) \times \frac{3}{4} \times 60}{60} - 0,02 = 0,0171 = 1,71\%$$



Gambar 3.10 Tikungan ke-1 *Full Circle*



Gambar 3.11 Diagram Superelevasi Tikungan ke-1 *Full Circle*

b. Tikungan 2

Jenis tikungan *Full Circle (FC)*

Dengan:

- Kecepatan rencana (V_r) = 60 km/jam
- Miring tikungan normal (e_n) = 2%
- Miring tikungan maksimum (e_{max}) = 10%
- Jari-jari (R) = 700 m
- Sudut *bearing* (Δ_4) = $26,83^\circ$
- Koefisien gesek (f_m), $f_{max} = -0,00065 \cdot V_R + 0,192$
 $= -0,00065(60) + 0,192$
 $= 0,153$

Perhitungan:

$$R_{min} = \frac{V_r^2}{127 (e_{max} + f_{max})} = \frac{60^2}{127 (0,1 + 0,153)} = 112,04 \text{ m}$$

$\therefore R_{desain} > R_{min}$ (OK)

$$D = \frac{1432,39}{R} = \frac{1432,39}{700} = 2,05^\circ$$

$$D_{max} = \frac{181913,53 (e_{max} + f_{max})}{V^2} = \frac{181913,53 (0,1 + 0,153)}{60^2} = 12,78^\circ$$

$$e_p = - \left[\frac{e_{max}}{D_{max}^2} \cdot D^2 \right] + \left[\frac{2 e_{max}}{D_{max}} \cdot D \right]$$

$$\begin{aligned}
&= -\left[\frac{0,1}{12,78^2} \cdot 2,05^2\right] + \left[\frac{2 \cdot 0,1}{12,78} \cdot 2,05\right] \\
&= 0,0294 \\
&= 2,94\%
\end{aligned}$$

Menghitung jarak TC-PI atau PI-CT:

$$\begin{aligned}
Tc &= R \cdot \tan \frac{\Delta}{2} \\
&= 700 \text{ m} \cdot \tan \frac{26,83^\circ}{2} \\
&= 166,96 \text{ m}
\end{aligned}$$

Menghitung jarak PI ke puncak busur lingkaran:

$$\begin{aligned}
Ec &= Tc \cdot \tan \frac{\Delta}{4} \\
&= 155,89 \text{ m} \cdot \tan \frac{26,83^\circ}{4} \\
&= 18,33 \text{ m}
\end{aligned}$$

Menghitung panjang lengkung CT – TC:

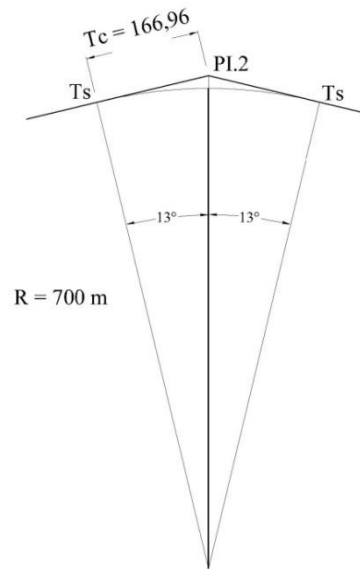
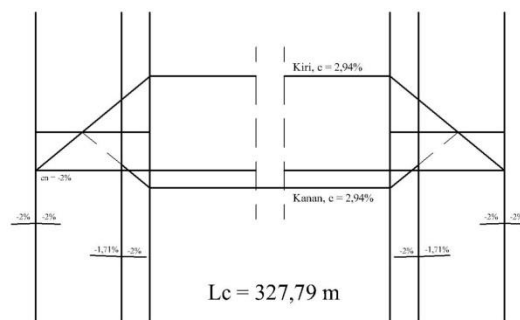
$$\begin{aligned}
Lc &= \frac{\Delta}{180^\circ} \cdot \pi \cdot R \\
&= \frac{26,83^\circ}{180^\circ} \cdot \pi \cdot 700 \text{ m} \\
&= 327,79 \text{ m}
\end{aligned}$$

Menghitung nilai x:

$$\frac{\frac{3}{4}Ls'}{Ls'} = \frac{(x+en)}{(en+ep)}$$

$$x = \frac{(en+ep) \times \frac{3}{4}Ls}{Ls'} - en$$

$$x = \frac{(0,02 + 0,0294) \times \frac{3}{4} \times 60}{60} - 0,02 = 0,0171 = 1,71\%$$

Gambar 3.12 Tikungan ke-2 *Full Circle*Gambar 3.13 Diagram Superelevasi Tikungan ke-2 *Full Circle*

c. Tikungan 3

Jenis tikungan *Spiral - Circle - Spiral (SCS)*

Dengan:

- Kecepatan rencana (V_r) = 60 km/jam
- Miring tikungan normal (e_n) = 2%
- Miring tikungan maksimum (e_{max}) = 10%
- Jari-jari (R) = 150m
- Sudut *bearing* (Δ_3) = $71,6^\circ$
- Koefisien gesek (f_m), $f_{max} = -0,00065 \cdot V_R + 0,192$
 $= -0,00065(60) + 0,192$
 $= 0,153$

Perhitungan:

$$R_{\min} = \frac{V_r^2}{127 (e_{\max} + f_{\max})} = \frac{60^2}{127 (0,1+0,153)} = 112,04 \text{ m}$$

$\therefore R_{\text{desain}} > R_{\min}$ (OK)

$$D = \frac{1432,39}{R} = \frac{1432,39}{150} = 9,55^\circ$$

$$D_{\max} = \frac{181913,53 (e_{\max} + f_{\max})}{V^2} = \frac{181913,53 (0,1+0,153)}{60^2} = 12,78^\circ$$

$$\begin{aligned} e_p &= -\left[\frac{e_{\max}}{D_{\max}^2} \cdot D^2\right] + \left[\frac{2 e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D\right] \\ &= -\left[\frac{0,1}{12,78^2} \cdot 9,55^2\right] + \left[\frac{2 \cdot 0,1}{12,78} \cdot 9,55\right] \\ &= 0,0936 \\ &= 9,36\% \end{aligned}$$

Mencari nilai L_s (lengkung peralihan):

(1) Berdasarkan Tabel 2.25, L_s minimum = 60 m $\rightarrow$ L_s terbesar yang dipakai.

(2) Berdasarkan waktu tempuh 3 detik

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{V_R}{3,6} \cdot T \\ &= \frac{60}{3,6} \cdot 3 \\ &= 50,00 \text{ m} \end{aligned}$$

(3) Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal

$$\begin{aligned} L_s &= 0,022 \cdot \frac{V^3}{R_c \cdot C} - 2,727 \cdot \frac{V \cdot e}{C} \\ &= 0,022 \cdot \frac{60^3}{160 \cdot 0,4} - 2,727 \cdot \frac{60 \cdot 0,0936}{0,4} \\ &= 35,96 \text{ m} \end{aligned}$$

(4) Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian

$$\begin{aligned}
 L_s &= \frac{(e_m - e_n)}{3,6 \cdot \Gamma_e} \cdot V_R \\
 &= \frac{0,1-0,02}{3,6 \cdot 0,025} \cdot 60 \\
 &= 38,10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung sudut lengkung spiral:

$$\theta_s = \frac{90^\circ}{\pi} \cdot \frac{L_s}{R} = \frac{90^\circ}{3,14} \cdot \frac{60}{165} = 10,42^\circ$$

Menghitung sudut lengkung circle:

$$\begin{aligned}
 \Delta c &= \Delta - 2\theta_s \\
 &= 71,6^\circ - 2(10,42^\circ) \\
 &= 50,76^\circ
 \end{aligned}$$

Menghitung panjang busur lingkaran (jarak SC-CS):

$$\begin{aligned}
 L_c &= \frac{\Delta c}{180^\circ} \cdot \pi \cdot R \\
 &= \frac{50,76^\circ}{180^\circ} \cdot \pi \cdot 150 \\
 &= 132,89 \text{ m} \rightarrow L_c > 25 \text{ m (OK)}
 \end{aligned}$$

Menghitung ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen:

$$Y_s = \frac{L_s^2}{6R} = \frac{60^2}{6 \cdot 150} = 4 \text{ m}$$

Menghitung absis titik SC pada garis tangen (jarak TS-SC):

$$\begin{aligned}
 X_s &= L_s \left[1 - \frac{L_s^2}{40R^2} \right] \\
 &= 60 \left[1 - \frac{60^2}{40 \cdot 150^2} \right] \\
 &= 59,76 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung pergeseran tangen terhadap *spiral*:

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{L_s^2}{6R} - R (1 - \cos \theta_s) \\
 &= \frac{60^2}{6 \cdot 150} - 150 (1 - \cos 10,42^\circ)
 \end{aligned}$$

$$= 1,52\text{m}$$

Menghitung absis p pada garis tangen *spiral*:

$$\begin{aligned} k &= L_s - \frac{L_s^3}{40 \cdot R^2} - R \cdot \sin \theta_s \\ &= 60 - \frac{60^3}{40 \cdot 150^2} - 150 \cdot \sin 10,42^\circ \\ &= 32,63 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung jarak tangen dari PI ke TS atau ST:

$$\begin{aligned} T_s &= (R + p) \cdot \tan \frac{\Delta}{2} + k \\ &= (150 + 1,52) \cdot \tan \frac{71,6^\circ}{2} + 32,63 \\ &= 141,91 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung jarak dari PI ke puncak busur lingkaran:

$$\begin{aligned} E_s &= (R + p) \cdot \sec \frac{\Delta}{2} - R \\ &= (150 + 1,52) \cdot \frac{1}{\cos} \cdot \frac{71,6^\circ}{2} - 150 \\ &= 36,82 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung panjang tikungan SCS:

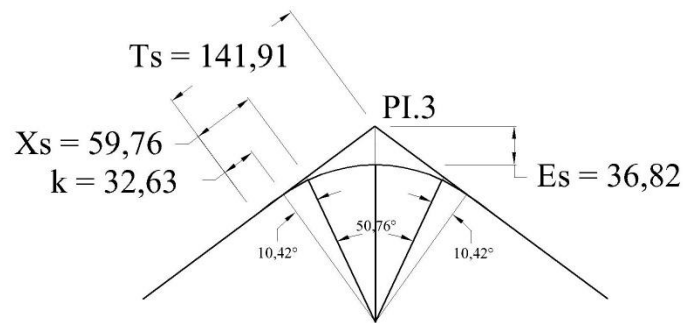
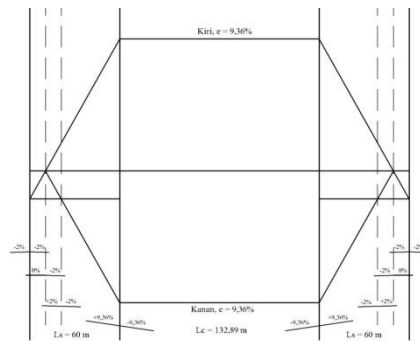
$$\begin{aligned} L &= L_c + 2L_s \\ &= 132,89 + 2(60) \\ &= 252,89\text{m} \end{aligned}$$

Kontrol:

- $L_c < 25\text{m}$, maka sebaiknya digunakan tikungan jenis SS.
- $L_c = 132,89 \text{ m} > 25 \text{ m}$ (SCS OK)
- $p = \frac{L_s^2}{24 \cdot R_c} < 0,25 \text{ m}$, maka digunakan tikungan jenis FC.

$$= \frac{60^2}{24 \cdot 165} > 0,25$$

$$p = 0,91 > 0,25 \text{ m (SCS OK)}$$

Gambar 3.14 Tikungan ke-3 *Spiral - Circle - Spiral*Gambar 3.15 Diagram Superelevasi Tikungan ke-3 *Spiral - Circle - Spiral*

d. Tikungan 4

Jenis tikungan *Spiral - Spiral* (SS)

Dengan:

- Sudut bearing (Δ_1) = 106,31°
- Kecepatan rencana (V_r) = 60 km/jam
- Jari-jari (R) = 160 m
- Superelevasi normal (e_n) = 2%
- Superelevasi maksimum (e_{max}) = 10%
- Koefisien gesek (f_m), $f_{max} = -0,00065 \cdot V_R + 0,192$
 $= -0,00065(60) + 0,192$
 $= 0,153$

Perhitungan:

$$R_{min} = \frac{V_r^2}{127 (e_{max} + f_{max})} = \frac{60^2}{127 (0,1 + 0,153)} = 112,04 \text{ m}$$

$\therefore R_{\text{desain}} > R_{\text{min}}$ (OK)

$$D = \frac{1432,39}{R} = \frac{1432,39}{160} = 8,95^\circ$$

$$D_{\text{max}} = \frac{181913,53 (e_{\text{max}} + f_{\text{max}})}{V^2} = \frac{181913,53 (0,1 + 0,153)}{60^2} = 12,78^\circ$$

$$\begin{aligned} e_p &= - \left[\frac{e_{\text{max}}}{D_{\text{max}}^2} \cdot D^2 \right] + \left[\frac{2 e_{\text{max}}}{D_{\text{max}}} \cdot D \right] \\ &= - \left[\frac{0,1}{12,78^2} \cdot 8,95^2 \right] + \left[\frac{2 \cdot 0,1}{12,78} \cdot 8,95 \right] \\ &= 0,091 \\ &= 9,1 \% \end{aligned}$$

Menghitung sudut lengkung spiral:

$$\begin{aligned} \theta_s &= \frac{1}{2} \Delta \\ &= \frac{1}{2} \cdot 106,31^\circ \\ &= 53,15^\circ \end{aligned}$$

Mencari nilai L_s desain:

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R}{90^\circ} \\ &= \frac{53,15^\circ \cdot \pi \cdot 160}{90^\circ} \\ &= 296,84\text{m} \end{aligned}$$

Mencari nilai L_s minimum:

(1) Berdasarkan Tabel 2.25, L_s minimum = 60 m $\rightarrow$ L_s minimum

(2) Berdasarkan waktu tempuh 3 detik

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{V_R}{3,6} \cdot T \\ &= \frac{60}{3,6} \cdot 3 \\ &= 50,00\text{m} \end{aligned}$$

(3) Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal

$$\begin{aligned}
L_s &= 0,022 \cdot \frac{V^3}{R_c \cdot C} - 2,727 \cdot \frac{V \cdot e}{C} \\
&= 0,022 \cdot \frac{60^3}{150 \cdot 0,4} - 2,727 \cdot \frac{60 \cdot 0,091}{0,4} \\
&= 41,97 \text{ m}
\end{aligned}$$

(4) Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian

$$\begin{aligned}
L_s &= \frac{(e_m - e_n)}{3,6 \cdot \Gamma_e} \cdot V_R \\
&= \frac{0,1 - 0,02}{3,6 \cdot 0,025} \cdot 60 \\
&= 38,10 \text{ m}
\end{aligned}$$

$\therefore L_s \text{ desain} > L_s \text{ min (OK)}$

Menghitung pergeseran tangen terhadap *spiral*:

$$\begin{aligned}
p &= \frac{L_s^2}{6R} - R(1 - \cos \theta_s) \\
&= \frac{296,84^2}{6 \cdot 160} - 160(1 - \cos 53,15^\circ) \\
&= 27,74 \text{ m}
\end{aligned}$$

Menghitung absis p pada garis tangen *spiral*:

$$\begin{aligned}
k &= L_s - \frac{L_s^3}{40 \cdot R^2} - R \cdot \sin \theta_s \\
&= 296,84 - \frac{296,84^3}{40 \cdot 160^2} - 160 \cdot \sin 53,15^\circ \\
&= 143,26 \text{ m}
\end{aligned}$$

Menghitung jarak tangen dari PI ke TS atau ST:

$$\begin{aligned}
T_s &= (R + p) \cdot \tan \frac{\Delta}{2} + k \\
&= (160 + 27,74) \cdot \tan \frac{106,31^\circ}{2} + 143,26 \\
&= 393,81 \text{ m}
\end{aligned}$$

Menghitung jarak dari PI ke puncak busur lingkaran:

$$E_s = (R + p) \cdot \sec \frac{\Delta}{2} - R$$

$$= (160 + 27,74) \cdot \frac{1}{\cos} \cdot \frac{106,31^\circ}{2} - 160$$

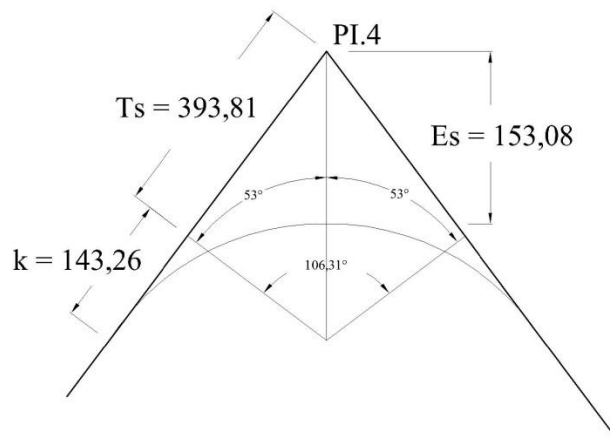
$$= 153,08\text{m}$$

Menghitung panjang tikungan SS:

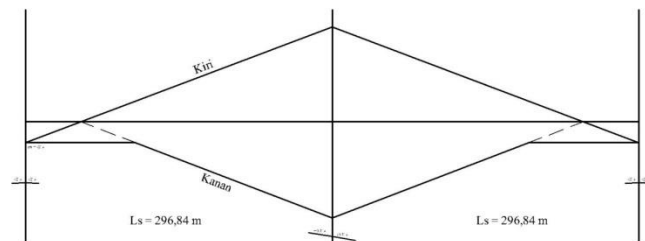
$$L = 2 \cdot L_s$$

$$= 2 \cdot 296,84$$

$$= 593,86\text{m}$$



Gambar 3.16 Tikungan ke-4 *Spiral - Spiral*



Gambar 3.17 Diagram Superelevasi Tikungan ke-4 *Spiral – Spiral*

e. Tikungan 5

Jenis tikungan *Full Circle (FC)*

Dengan:

- Kecepatan rencana (V_r) = 60 km/jam
- Miring tikungan normal (e_n) = 2%
- Miring tikungan maksimum (e_{max}) = 10%
- Jari-jari (R) = 700 m

- Sudut *bearing* (Δ_4) = 26,78°
- Koefisien gesek (fm), $f_{\max}$ = -0,00065.V_R + 0,192
= -0,00065(60) + 0,192
= 0,153

Perhitungan:

$$R_{\min} = \frac{V_r^2}{127 (e_{\max} + f_{\max})} = \frac{60^2}{127 (0,1+0,153)} = 112,04 \text{ m}$$

∴ R_{desain} > R_{min} (OK)

$$D = \frac{1432,39}{R} = \frac{1432,39}{700} = 2,05^\circ$$

$$D_{\max} = \frac{181913,53 (e_{\max} + f_{\max})}{V^2} = \frac{181913,53 (0,1+0,153)}{60^2} = 12,78^\circ$$

$$\begin{aligned} e_p &= -\left[\frac{e_{\max}}{D_{\max}^2} \cdot D^2\right] + \left[\frac{2 e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D\right] \\ &= -\left[\frac{0,1}{12,78^2} \cdot 2,05^2\right] + \left[\frac{2 \cdot 0,1}{12,78} \cdot 2,05\right] \\ &= 0,0294 \\ &= 2,94\% \end{aligned}$$

Menghitung jarak TC-PI atau PI-CT:

$$\begin{aligned} T_c &= R \cdot \tan \frac{\Delta}{2} \\ &= 700 \text{ m} \cdot \tan \frac{26,78^\circ}{2} \\ &= 166,63 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung jarak PI ke puncak busur lingkaran:

$$\begin{aligned} E_c &= T_c \cdot \tan \frac{\Delta}{4} \\ &= 166,63 \text{ m} \cdot \tan \frac{26,78^\circ}{4} \\ &= 19,56 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung panjang lengkung CT – TC:

$$L_c = \frac{\Delta}{180^\circ} \cdot \pi \cdot R$$

$$= \frac{26,78^\circ}{180^\circ} \cdot \pi \cdot 700 \text{ m}$$

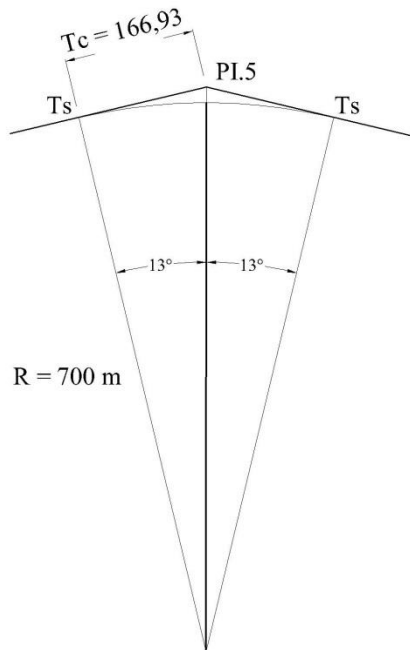
$$= 327,18 \text{ m}$$

Menghitung nilai x:

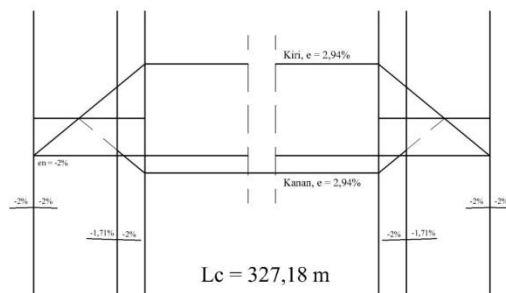
$$\frac{\frac{3}{4}Ls'}{Ls'} = \frac{(x+en)}{(en+ep)}$$

$$x = \frac{(en+ep) \times \frac{3}{4}Ls}{Ls'} - en$$

$$x = \frac{(0,02 + 0,0294) \times \frac{3}{4} \times 60}{60} - 0,02 = 0,0171 = 1,71\%$$



Gambar 3.18 Tikungan ke-5 *Full Circle*



Gambar 3.19 Diagram Superelevasi Tikungan ke-5 *Full Circle*

f. Tikungan 5

Jenis tikungan *Spiral - Circle - Spiral (SCS)*

Dengan:

- Kecepatan rencana (V_r) = 60 km/jam
- Miring tikungan normal (e_n) = 2%
- Miring tikungan maksimum ($e_{\max}$) = 10%
- Jari-jari (R) = 165 m
- Sudut *bearing* (Δ_3) = 40,98°
- Koefisien gesek (f_m), $f_{\max} = -0,00065 \cdot V_R + 0,192$
 $= -0,00065(60) + 0,192$
 $= 0,153$

Perhitungan:

$$R_{\min} = \frac{V_r^2}{127 (e_{\max} + f_{\max})} = \frac{60^2}{127 (0,1 + 0,153)} = 112,04 \text{ m}$$

$\therefore R_{\text{desain}} > R_{\min}$ (OK)

$$D = \frac{1432,39}{R} = \frac{1432,39}{165} = 8,68^\circ$$

$$D_{\max} = \frac{181913,53 (e_{\max} + f_{\max})}{V^2} = \frac{181913,53 (0,1 + 0,153)}{60^2} = 12,78^\circ$$

$$\begin{aligned} e_p &= - \left[\frac{e_{\max}}{D_{\max}^2} \cdot D^2 \right] + \left[\frac{2 e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D \right] \\ &= - \left[\frac{0,1}{12,78^2} \cdot 8,68^2 \right] + \left[\frac{2 \cdot 0,1}{12,78} \cdot 8,68 \right] = 0,0897 \\ &= 8,97\% \end{aligned}$$

Mencari nilai L_s (lengkung peralihan):

(3) Berdasarkan Tabel 2.25, L_s minimum = 60 m $\rightarrow$ L_s terbesar yang dipakai.

(4) Berdasarkan waktu tempuh 3 detik

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{V_R}{3,6} \cdot T \\ &= \frac{60}{3,6} \cdot 3 \end{aligned}$$

$$= 50,00 \text{ m}$$

(3) Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal

$$\begin{aligned} L_s &= 0,022 \cdot \frac{V^3}{R_c \cdot C} - 2,727 \cdot \frac{V \cdot e}{C} \\ &= 0,022 \cdot \frac{60^3}{165 \cdot 0,4} - 2,727 \cdot \frac{60 \cdot 0,0897}{0,4} \\ &= 35,31 \text{ m} \end{aligned}$$

(4) Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{(e_m - e_n)}{3,6 \cdot \Gamma e} \cdot V_R \\ &= \frac{0,1 - 0,02}{3,6 \cdot 0,025} \cdot 60 \\ &= 38,10 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung sudut lengkung spiral:

$$\theta_s = \frac{90^\circ}{\pi} \cdot \frac{L_s}{R} = \frac{90^\circ}{3,14} \cdot \frac{60}{165} = 10,42^\circ$$

Menghitung sudut lengkung circle:

$$\begin{aligned} \Delta c &= \Delta - 2\theta_s \\ &= 40,98^\circ - 2(10,42^\circ) \\ &= 20,14^\circ \end{aligned}$$

Menghitung panjang busur lingkaran (jarak SC-CS):

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{\Delta c}{180^\circ} \cdot \pi \cdot R \\ &= \frac{20,14^\circ}{180^\circ} \cdot \pi \cdot 165 \\ &= 57,99 \text{ m} \rightarrow L_c > 25 \text{ m (OK)} \end{aligned}$$

Menghitung ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen:

$$Y_s = \frac{L_s^2}{6R} = \frac{60^2}{6 \cdot 165} = 3,64 \text{ m}$$

Menghitung absis titik SC pada garis tangen (jarak TS-SC):

$$\begin{aligned}
 X_s &= L_s \left[1 - \frac{L_s^2}{40R^2} \right] \\
 &= 60 \left[1 - \frac{60^2}{40 \cdot 165^2} \right] \\
 &= 59,80 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung pergeseran tangen terhadap *spiral*:

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{L_s^2}{6R} - R (1 - \cos \theta_s) \\
 &= \frac{60^2}{6 \cdot 165} - 165 (1 - \cos 10,42^\circ) \\
 &= 0,91 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung absis p pada garis tangen *spiral*:

$$\begin{aligned}
 k &= L_s - \frac{L_s^3}{40 \cdot R^2} - R \cdot \sin \theta_s \\
 &= 60 - \frac{60^3}{40 \cdot 165^2} - 165 \cdot \sin 10,42^\circ \\
 &= 29,95 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung jarak tangen dari PI ke TS atau ST:

$$\begin{aligned}
 T_s &= (R + p) \cdot \tan \frac{\Delta}{2} + k \\
 &= (165 + 0,91) \cdot \tan \frac{40,98^\circ}{2} + 29,95 \\
 &= 91,95 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung jarak dari PI ke puncak busur lingkaran:

$$\begin{aligned}
 E_s &= (R + p) \cdot \sec \frac{\Delta}{2} - R \\
 &= (165 + 0,91) \cdot \frac{1}{\cos} \cdot \frac{49,01^\circ}{2} - 165 \\
 &= 12,11 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung panjang tikungan SCS:

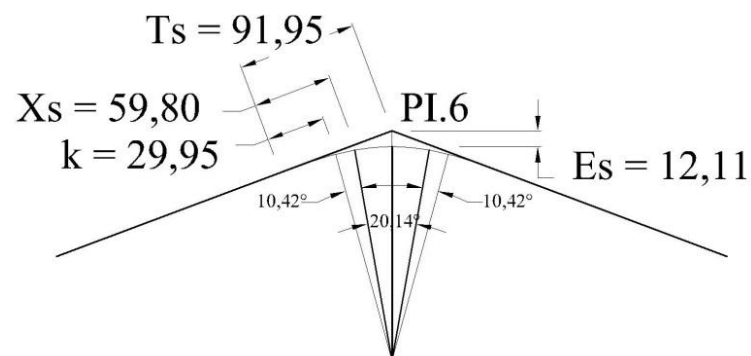
$$\begin{aligned}
 L &= L_c + 2L_s \\
 &= 57,99 + 2(60) \\
 &= 177,99 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

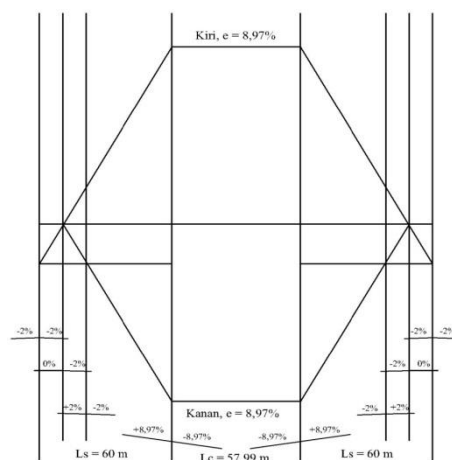
- $L_c < 25\text{m}$, maka sebaiknya digunakan tikungan jenis SS.
- $L_c = 57,99 \text{ m} > 25 \text{ m}$ (SCS OK)

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{L_s^2}{24 \cdot R_c} < 0,25 \text{ m, maka digunakan tikungan jenis FC.} \\
 &= \frac{60^2}{24 \cdot 165} > 0,25
 \end{aligned}$$

$$p = 0,91 > 0,25 \text{ m (SCS OK)}$$



Gambar 3.20 Tikungan ke-6 *Spiral – Circle – Spiral*



Gambar 3.21 Diagram Superelevasi Tikungan ke-6 *Spiral - Circle – Spiral*

g. Tikungan 7

Jenis tikungan *Full Circle(FC)*

Dengan:

- Kecepatan rencana (V_r) = 60 km/jam
- Miring tikungan normal (e_n) = 2%
- Miring tikungan maksimum ($e_{\max}$) = 10%
- Jari-jari (R) = 700 m
- Sudut *bearing* (Δ_4) = $14,26^\circ$
- Koefisien gesek (f_m), $f_{\max} = -0,00065 \cdot V_R + 0,192$
 $= -0,00065(60) + 0,192$
 $= 0,153$

Perhitungan:

$$R_{\min} = \frac{V_r^2}{127 (e_{\max} + f_{\max})} = \frac{60^2}{127 (0,1 + 0,153)} = 112,04 \text{ m}$$

$\therefore R_{\text{desain}} > R_{\min}$ (OK)

$$D = \frac{1432,39}{R} = \frac{1432,39}{700} = 2,05^\circ$$

$$D_{\max} = \frac{181913,53 (e_{\max} + f_{\max})}{V^2} = \frac{181913,53 (0,1 + 0,153)}{60^2} = 12,78^\circ$$

$$\begin{aligned} e_p &= - \left[\frac{e_{\max}}{D_{\max}^2} \cdot D^2 \right] + \left[\frac{2 e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D \right] \\ &= - \left[\frac{0,1}{12,78^2} \cdot 2,05^2 \right] + \left[\frac{2 \cdot 0,1}{12,78} \cdot 2,05 \right] \\ &= 0,0294 \\ &= 2,94\% \end{aligned}$$

Menghitung jarak TC-PI atau PI-CT:

$$\begin{aligned} T_c &= R \cdot \tan \frac{\Delta}{2} \\ &= 700 \text{ m} \cdot \tan \frac{14,26^\circ}{2} \\ &= 87,56 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung jarak PI ke puncak busur lingkaran:

$$\begin{aligned} E_c &= T_c \cdot \tan \frac{\Delta}{4} \\ &= 87,56 \text{ m} \cdot \tan \frac{14,26^\circ}{4} \\ &= 5,45 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung panjang lengkung CT – TC:

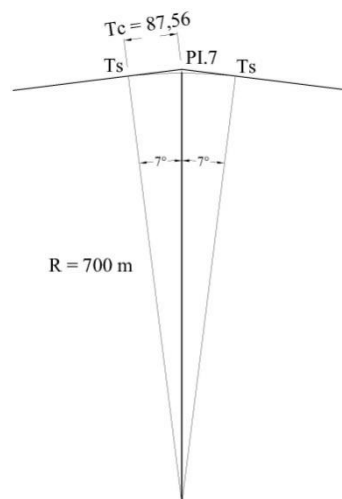
$$\begin{aligned} L_c &= \frac{\Delta}{180^\circ} \cdot \pi \cdot R \\ &= \frac{14,26^\circ}{180^\circ} \cdot \pi \cdot 700 \text{ m} \\ &= 174,22 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung nilai x:

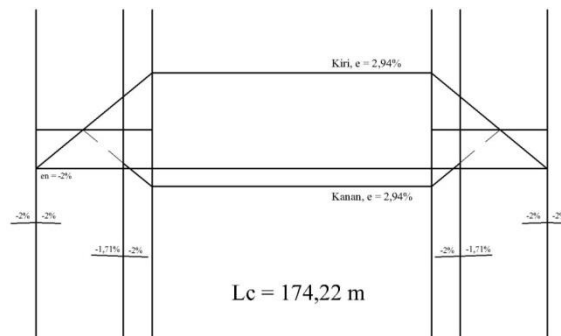
$$\frac{\frac{3}{4}Ls'}{Ls'} = \frac{(x+en)}{(en+ep)}$$

$$x = \frac{(en+ep) \times \frac{3}{4}Ls}{Ls'} - en$$

$$x = \frac{(0,02 + 0,0294) \times \frac{3}{4} \times 60}{60} - 0,02 = 0,0171 = 1,71\%$$



Gambar 3.22 Tikungan ke-7 *Full Circle*

Gambar 3.23 Diagram Superelevasi Tikungan ke-7 *Full Circle*

h. Tikungan 8

Jenis tikungan *Spiral - Spiral (SS)*

Dengan:

- Sudut *bearing* (Δ_1) = $61,67^\circ$
- Kecepatan rencana (V_r) = 60 km/jam
- Jari-jari (R) = 160 m
- Superelevasi normal (e_n) = 2%
- Superelevasi maksimum (e_{max}) = 10%
- Koefisien gesek (f_m), $f_{max} = -0,00065 \cdot V_R + 0,192$
 $= -0,00065(60) + 0,192$
 $= 0,153$

Perhitungan:

$$R_{min} = \frac{V_r^2}{127 (e_{max} + f_{max})} = \frac{60^2}{127 (0,1 + 0,153)} = 112,04 \text{ m}$$

 $\therefore R_{desain} > R_{min}$ (OK)

$$D = \frac{1432,39}{R} = \frac{1432,39}{160} = 8,95^\circ$$

$$D_{max} = \frac{181913,53 (e_{max} + f_{max})}{V^2} = \frac{181913,53 (0,1 + 0,153)}{60^2} = 12,78^\circ$$

$$e_p = - \left[\frac{e_{max}}{D_{max}^2} \cdot D^2 \right] + \left[\frac{2 e_{max}}{D_{max}} \cdot D \right]$$

$$\begin{aligned}
&= -\left[\frac{0,1}{12,78^2} \cdot 8,95^2\right] + \left[\frac{2 \cdot 0,1}{12,78} \cdot 8,95\right] \\
&= 0,091 \\
&= 9,1\%
\end{aligned}$$

Menghitung sudut lengkung spiral:

$$\begin{aligned}
\theta_s &= \frac{1}{2} \Delta \\
&= \frac{1}{2} \cdot 61,67^\circ \\
&= 30,83^\circ
\end{aligned}$$

Mencari nilai Ls desain:

$$\begin{aligned}
L_s &= \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R}{90^\circ} \\
&= \frac{30,83^\circ \cdot \pi \cdot 160}{90^\circ} = 172,19\text{m}
\end{aligned}$$

Mencari nilai Ls minimum:

(3) Berdasarkan Tabel 2.25, Ls minimum = 60 m → Ls minimum

(4) Berdasarkan waktu tempuh 3 detik

$$\begin{aligned}
L_s &= \frac{V_R}{3,6} \cdot T \\
&= \frac{60}{3,6} \cdot 3 = 50,00\text{m}
\end{aligned}$$

(3) Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal

$$\begin{aligned}
L_s &= 0,022 \cdot \frac{V^3}{R_c \cdot C} - 2,727 \cdot \frac{V \cdot e}{C} \\
&= 0,022 \cdot \frac{60^3}{150 \cdot 0,4} - 2,727 \cdot \frac{60 \cdot 0,091}{0,4} = 41,97 \text{ m}
\end{aligned}$$

(4) Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian

$$\begin{aligned}
L_s &= \frac{(e_m - e_n)}{3,6 \cdot \Gamma_e} \cdot V_R \\
&= \frac{0,1 - 0,02}{3,6 \cdot 0,025} \cdot 60 = 38,10 \text{ m}
\end{aligned}$$

∴ Ls desain > Ls min (OK)

Menghitung pergeseran tangen terhadap *spiral*:

$$\begin{aligned} p &= \frac{L_s^2}{6R} - R (1 - \cos \theta_s) \\ &= \frac{172,19^2}{6 \cdot 160} - 160 (1 - \cos 30,83) = 8,27\text{m} \end{aligned}$$

Menghitung absis p pada garis tangen *spiral*:

$$\begin{aligned} k &= L_s - \frac{L_s^3}{40 \cdot R^2} - R \cdot \sin \theta_s \\ &= 172,19 - \frac{172,19^3}{40 \cdot 160^2} - 160 \cdot \sin 30,83^\circ = 85,2\text{m} \end{aligned}$$

Menghitung jarak tangen dari PI ke TS atau ST:

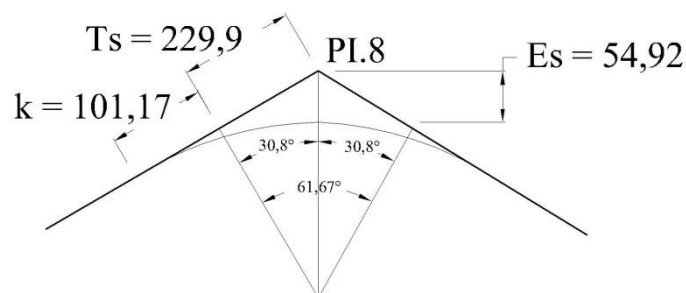
$$\begin{aligned} T_s &= (R + p) \cdot \tan \frac{\Delta}{2} + k \\ &= (160 + 8,27) \cdot \tan \frac{61,67^\circ}{2} + 85,2 = 185,65\text{m} \end{aligned}$$

Menghitung jarak dari PI ke puncak busur lingkaran:

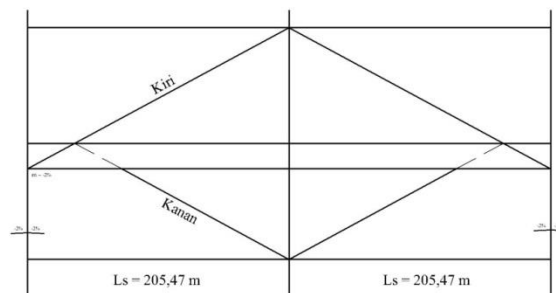
$$\begin{aligned} E_s &= (R + p) \cdot \sec \frac{\Delta}{2} - R \\ &= (160 + 8,27) \cdot \frac{1}{\cos} \cdot \frac{61,67^\circ}{2} - 160 = 35,97\text{m} \end{aligned}$$

Menghitung panjang tikungan SS:

$$\begin{aligned} L &= 2 \cdot L_s \\ &= 2 \cdot 172,19 = 344,38\text{m} \end{aligned}$$



Gambar 3.24 Tikungan ke-8 *Spiral – Spiral*

Gambar 3.25 Diagram Superelevasi Tikungan ke-8 *Spiral – Spiral*Tabel 3.7 Hasil Perhitungan Tikungan *Full Circle (FC)*

Uraian	Satuan	Tikungan			
		1	2	5	7
Sudut (Δ)	Derajat ($^{\circ}$)	26,76	26,83	26,78	14,26
Kecepatan rencana (V_r)	Km/jam	60	60	60	60
Jari-jari (R)	m	700	700	700	700
Superelevasi normal (e_n)	%	2	2	2	2
Superelevasi maksimum (e_{max})	%	10	10	10	10
Koefisien gesek (f_{max})		0,153	0,153	0,153	0,153
Jari-jari minimum (R_{min})	m	112,04	112,04	112,04	112,04
Derajat lengkung (D)	Derajat ($^{\circ}$)	2,05	2,05	2,05	2,05
Derajat lengkung maksimal (D_{max})	Derajat ($^{\circ}$)	12,78	12,78	12,78	12,78
Superelevasi penuh (e_p)	%	2,94	2,94	2,94	2,94
Panjang lengkung peralihan (L_s')	m	60,00	60,00	60,00	60,00
Jarak TC-PI atau PI-CT (T_c)	m	166,5	166,96	166,63	87,56
Jarak PI ke puncak busur lingkaran (E_c)	m	19,53	18,33	19,56	5,45
Panjang busur lingkaran (L_c)	m	326,93	327,79	327,18	174,22
Penampang melintang di TC (x)	%	1,71	1,71	1,71	1,71

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

Tabel 3.8 Hasil Perhitungan Tikungan *Spiral - Spiral(SS)*

Uraian	Satuan	Tikungan	
		4	8
Sudut (Δ)	Derajat ($^{\circ}$)	106,31	73,59
Kecepatan rencana (V_r)	Km/jam	60	60
Jari-jari (R)	M	160	160

Superelevasi normal (en)	%	2	2
Superelevasi maksimum (emax)	%	10	10
Koefisien gesek (fmax)		0,153	0,153
Jari-jari minimum (Rmin)	M	112,04	112,04
Derajat lengkung (D)	Derajat (°)	8,95	8,95
Derajat lengkung maksimal (Dmax)	Derajat (°)	12,78	12,78
Superelevasi penuh (ep)	%	9,1	9,1
Sudut lengkung <i>spiral</i> (θ_s)	Derajat (°)	53,15	36,79
Lengkung peralihan desain (Ls desain)	M	296,84	205,47
Ls minimum (berdasarkan Tabel 2.25)	M	60,00	60,00
Ls minimum (berdasarkan waktu tempuh 3 detik)	M	50,00	50,00
Ls minimum (berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal)	M	41,97	41,97
Ls minimum (berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian)	M	38,10	38,10
Pergeseran tangen terhadap <i>spiral</i> (p)	M	27,74	12,11
Absis p pada garis tangen <i>spiral</i> (k)	M	143,26	101,17
Jarak tangen dari PI ke TS atau ST (Ts)	M	393,81	229,9
Jarak dari PI ke puncak busur lingkaran (Es)	M	153,08	54,92
Panjang tikungan SS (L)	M	593,86	410,94

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

Tabel 3.9 Hasil Perhitungan Tikungan *Spiral – Circle - Spiral* (SCS)

Uraian	Satuan	Tikungan	
		3	6
Sudut (Δ)	Derajat (°)	71,6	40,98
Kecepatan rencana (Vr)	Km/jam	60	60
Jari-jari (R)	M	150	165
Superelevasi normal (en)	%	2	2

Superelevasi maksimum (emax)	%	10	10
Koefisien gesek (fmax)		0,153	0,153
Jari-jari minimum (Rmin)	M	112,04	112,04
Derajat lengkung (D)	Derajat (°)	9,55	8,68
Derajat lengkung maksimal (Dmax)	Derajat (°)	12,78	12,78
Superelevasi penuh (ep)	%	9,36	8,97
Sudut lengkung <i>spiral</i> (θ_s)	Derajat (°)	10,42	10,42
Sudut lengkung <i>circle</i> (Δ_c)	Derajat (°)	50,76	20,14
Lengkung peralihan desain (Ls desain)	M	60,00	60,00
Ls minimum (berdasarkan Tabel 2.25)	M	60,00	60,00
Ls minimum (berdasarkan waktu tempuh 3 detik)	M	50,00	50,00
Ls minimum (berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal)	M	35,96	35,31
Ls minimum (berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian)	M	38,10	38,10
Panjang busur lingkaran (jarak SC-CS) (Lc)	m	132,89	57,99
Ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen (Ys)	m	4,00	3,64
Menghitung absis titik SC pada garis tangen (jarak TS-SC) (Xs)	m	59,76	59,80
Pergeseran tangen terhadap <i>spiral</i> (p)	m	1,52	0,91
Absis p pada garis tangen <i>spiral</i> (k)	m	32,63	29,95
Jarak tangen dari PI ke TS atau ST (Ts)	m	141,91	91,95
Jarak dari PI ke puncak busur lingkaran (Es)	m	36,82	12,11
Panjang tikungan SS (L)	m	252,89	177,99

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

3.3.2 Perhitungan kontrol *overlapping*

Untuk mengetahui apakah hasil perencanaan geometrik alinyemen horizontal tidak terjadi *overlapping*, maka diperlukan perhitungan kontrol *overlapping* antara lengkung horizontal yang satu dengan lengkung horizontal berikutnya.

- a. Pertemuan antara titik A dan Tikungan 1 (FC)

$$A-PI.1 = Tc_1 + 30 \text{ m} \leq d_1$$

$$= 166,5 \text{ m} + (3/4.Ls') + 30 \text{ m} \leq 397,8 \text{ m}$$

$$= 241,5 \text{ m} \leq 397,8 \text{ m (OK)}$$

- b. Pertemuan antara Tikungan 1 (*FC*) dan Tikungan 2 (*FC*)

$$\begin{aligned}\text{PI.1-PI.2} &= T_{C1} + T_{C2} + 30 \text{ m} \leq d_2 \\ &= 166,5\text{m} + (3/4.Ls') + 166,96\text{m} + (3/4.Ls') + 30 \text{ m} \leq 489,92\text{m} \\ &= 453,46 \text{ m} \leq 489,92 \text{ m (OK)}\end{aligned}$$

- c. Pertemuan antara Tikungan 2(*FC*) dan Tikungan 3 (*SCS*)

$$\begin{aligned}\text{PI.2-PI.3} &= T_{C2} + T_{S3} + 30 \text{ m} \leq d_3 \\ &= 166,96\text{m} + (3/4.Ls') + 141,91 \text{ m} + 30 \text{ m} \leq 719,19 \text{ m} \\ &= 383,87\text{m} \leq 719,19\text{m (OK)}\end{aligned}$$

- d. Pertemuan antara Tikungan 3 (*SCS*) dan Tikungan 4 (*SS*)

$$\begin{aligned}\text{PI.3-PI.4} &= T_{S3} + T_{S4} + 30 \text{ m} \leq d_4 \\ &= 141,91\text{m} + 393,81 \text{ m} + 30 \text{ m} \leq 855,11 \text{ m} \\ &= 565,72 \text{ m} \leq 855,11 \text{ m (OK)}\end{aligned}$$

- e. Pertemuan antara Tikungan 4 (*SS*) dan Tikungan 5 (*FC*)

$$\begin{aligned}\text{PI.4-PI.5} &= T_{S4} + T_{C5} + 30 \text{ m} \leq d_5 \\ &= 393,81\text{m} + 166,63 \text{ m} + (3/4.Ls') + 30 \text{ m} \leq 735,49\text{m} \\ &= 635,44 \text{ m} \leq 735,49 \text{ m (OK)}\end{aligned}$$

- f. Pertemuan antara Tikungan 5 (*FC*) dan Tikungan 6 (*SCS*)

$$\begin{aligned}\text{PI.5-PI.6} &= T_{C5} + T_{S6} + 30 \text{ m} \leq d_6 \\ &= 166,63\text{m} + (3/4.Ls') + 91,95 \text{ m} + 30 \text{ m} \leq 681,35\text{m} \\ &= 333,58 \text{ m} \leq 681,35\text{m (OK)}\end{aligned}$$

- g. Pertemuan antara Tikungan 6 (*SCS*) dan Tikungan 7 (*FC*)

$$\begin{aligned}\text{PI.6-PI.7} &= T_{S6} + T_{C7} + (3/4.Ls') + 30 \text{ m} \leq d_7 \\ &= 91,95\text{m} + 87,56 \text{ m} + (3/4.60 \text{ m}) + 30 \text{ m} \leq 873,38 \text{ m} \\ &= 254,51\text{m} \leq 873,38 \text{ m (OK)}\end{aligned}$$

- h. Pertemuan antara Tikungan 7 (*FC*) dan Tikungan 8 (*SS*)

$$\begin{aligned}\text{PI.7-PI.8} &= T_{C7} + (3/4.Ls') + T_{C8} + 30 \text{ m} \leq d_8 \\ &= 87,56\text{m} + (3/4.60 \text{ m}) + 229,9 \text{ m} + 30 \text{ m} \leq 958,57\text{m} \\ &= 392,46 \text{ m} \leq 958,57\text{m (OK)}\end{aligned}$$

- i. Pertemuan antara Tikungan 8(SS) dan titik B (akhir)

$$\begin{aligned}
 \text{PI.8-PI.B} &= T_{s8} + 30 \text{ m} \leq d_{13} \\
 &= 229,9 \text{ m} + 30 \text{ m} \leq 671,15 \text{ m} \\
 &= 259,9 \text{ m} \leq 671,15 \text{ m (OK)}
 \end{aligned}$$

3.3.3 Pelebaran perkerasan pada tikungan

Pada perhitungan pelebaran perkerasan di bawah ini diambil 3 contoh tikungan yang mewakili, yaitu tikungan *Full Circle*, tikungan *Spiral - Circle - Spiral* dan tikungan *Spiral - Spiral*. Selanjutnya perhitungan pelebaran perkerasan pada tikungan untuk semua jenis tikungan akan ditambilkkan dalam bentuk tabel.

a. Tikungan 1

Jenis tikungan *Ful Circle (FC)*

Dengan:

- $V = 60 \text{ km/jam}$
- $R = 700 \text{ m}$
- $n = 4 \text{ lajur}$
- $B_n = 14,00 \text{ m}$
- $C = 1,00 \text{ m}$
- $b = 2,50 \text{ m}$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 R_c &= R - \frac{1}{2} B_n + \frac{1}{2} b \\
 &= 700 \text{ m} - \frac{1}{2} (14,00 \text{ m}) + \frac{1}{2} (2,50 \text{ m}) \\
 &= 694,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \sqrt{\left(\sqrt{R_c^2 - 64} + 1,25\right)^2 + 64} - \sqrt{(R_c^2 - 64) + 1,25} \\
 &= \sqrt{\left(\sqrt{694,25^2 - 64} + 1,25\right)^2 + 64} - \sqrt{(694,25^2 - 64) + 1,25} \\
 &= 2,546 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}}$$

$$= \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{700}}$$

$$= 0,238 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} B_t &= n(B + C) + Z \\ &= 4(2,546 \text{ m} + 1,00 \text{ m}) + 0,238 \text{ m} \\ &= 14,422 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta b &= B_t - B_n \\ &= 14,422 \text{ m} - 14,00 \text{ m} \\ &= 0,4220 \text{ m (Tidak perlu pelebaran karena } < 0,6 \text{ m)} \end{aligned}$$

b. Tikungan 3

Jenis tikungan *Spiral - Circle - Spiral (SCS)*

Dengan:

- $V = 60 \text{ km/jam}$
- $R = 150 \text{ m}$
- $n = 4 \text{ lajur}$
- $B_n = 14,00 \text{ m}$
- $C = 1,00 \text{ m}$
- $b = 2,50 \text{ m}$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} R_c &= R - \frac{1}{2} B_n + \frac{1}{2} b \\ &= 150 \text{ m} - \frac{1}{2} (14,00 \text{ m}) + \frac{1}{2} (2,50 \text{ m}) \\ &= 144,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{\left(\sqrt{R_c^2 - 64} + 1,25\right)^2 + 64} - \sqrt{(R_c^2 - 64) + 1,25} \\ &= \sqrt{\left(\sqrt{144,25^2 - 64} + 1,25\right)^2 + 64} - \sqrt{(144,25^2 - 64) + 1,25} \\ &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Z = \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}}$$

$$= \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{150}}$$

$$= 0,51 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} B_t &= n(B + C) + Z \\ &= 4(2,5 \text{ m} + 1,00 \text{ m}) + 0,51 \text{ m} \\ &= 14,51 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta b &= B_t - B_n \\ &= 14,51 \text{ m} - 14,00 \text{ m} \\ &= 0,51 \text{ m (Tidak perlu pelebaran karena } < 0,6 \text{ m)} \end{aligned}$$

c. Tikungan 4

Jenis tikungan *Spiral - Spiral(SS)*

Dengan:

- $V = 60 \text{ km/jam}$
- $R = 160 \text{ m}$
- $n = 4 \text{ lajur}$
- $B_n = 14,00 \text{ m}$
- $C = 1,00 \text{ m}$
- $b = 2,50 \text{ m}$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} R_c &= R - \frac{1}{2} B_n + \frac{1}{2} b \\ &= 160 \text{ m} - \frac{1}{2} (14,00 \text{ m}) + \frac{1}{2} (2,50 \text{ m}) \\ &= 154,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{\left(\sqrt{R_c^2 - 64} + 1,25\right)^2 + 64} - \sqrt{(R_c^2 - 64) + 1,25} \\ &= \sqrt{\left(\sqrt{154,25^2 - 64} + 1,25\right)^2 + 64} - \sqrt{(154,25^2 - 64) + 1,25} \\ &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Z = \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}}$$

$$= \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{160}}$$

$$= 0,498 \text{ m}$$

$$B_t = n(B + C) + Z$$

$$= 4(2,5\text{m} + 1,00 \text{ m}) + 0,498 \text{ m}$$

$$= 14,498 \text{ m}$$

$$\Delta b = B_t - B_n$$

$$= 14,498 \text{ m} - 14,00 \text{ m}$$

$$= 0,498 \text{ m (Tidak perlu pelebaran karena } < 0,6 \text{ m)}$$

Untuk hasil perhitungan pelebaran perkerasan pada tikungan lainnya dapat dilihat pada Tabel 3.10:

Tabel 3.10 Hasil perhitungan pelebaran pada ptikungan

Tikungan ke-	V _r (km/jam)	R (m)	n	B _n (m)	C (m)	b (m)	R _c (m)	B (m)	Z (m)	B _t (m)	Δb (m)	Keterangan
1	60	700	4	14,00	1	2,50	694,25	2,546	0,238	14,422	0,422	Tidak Perlu Pelebaran
2	60	700	4	14,00	1	2,50	694,25	2,546	0,238	14,422	0,422	Tidak Perlu Pelebaran
3	60	150	4	14,00	1	2,50	144,25	2,5	0,51	14,51	0,51	Tidak Perlu Pelebaran
4	60	160	4	14,00	1	2,50	154,25	2,5	0,498	14,498	0,49	Tidak Perlu Pelebaran
5	60	700	4	14,00	1	2,50	694,25	2,546	0,238	14,422	0,422	Tidak Perlu Pelebaran
6	60	165	4	14,00	1	2,50	159,25	2,701	0,490	15,295	1,295	Perlu Pelebaran
7	60	700	4	14,00	1	2,50	694,25	2,546	0,238	14,422	0,422	Tidak Perlu Pelebaran
8	60	160	4	14,00	1	2,50	154,25	2,5	0,498	14,498	0,49	Tidak Perlu Pelebaran

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

3.3.4 Perhitungan kebebasan samping pada tikungan

Kebebasan samping pada tikungan dapat ditinjau berdasarkan:

- a. Berdasarkan jarak pandang henti (J_h)

Perhitungan berdasarkan jarak pandang henti ini diambil 3 jenis tikungan yang mewakili, yaitu tikungan *Full Circle*, tikungan *Spiral - Circle - Spiral* dan tikungan *Spiral - Spiral*. Selanjutnya perhitungan kebebasan samping berdasarkan jarak pandang henti pada tikungan untuk semua jenis tikungan akan ditambihkan dalam bentuk tabel.

1) Tikungan 1

Jenis tikungan *Full Circle* (FC)

Dengan:

- $V_r = 60$ km/jam
- $R = 700$ m
- $J_h = 75$ m (berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997 Tabel II.10)
- $L_t = 326,93$ m

Perhitungan:

$$J_h < L_t \rightarrow 75 \text{ m} < 326,93 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} R' &= R - \frac{1}{4} B_n \\ &= 700 \text{ m} - \frac{1}{4} (14,00 \text{ m}) \\ &= 696,50 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= R' \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot J_h}{R'} \right) \\ &= 696,50 \text{ m} \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot 75}{696,50} \right) \\ &= 1,009 \text{ m} \end{aligned}$$

2) Tikungan 3

Jenis tikungan *Spiral - Circle - Spiral* (SCS)

Dengan:

- $V_r = 60$ km/jam
- $R = 150$ m

- $J_h = 75$ m (berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997 Tabel II.10)
- $L_t = 252,89$ m

Perhitungan:

$$J_h < L_t \rightarrow 75 \text{ m} < 252,89 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} R' &= R - \frac{1}{4} B_n \\ &= 150 \text{ m} - \frac{1}{4} (14,00 \text{ m}) \\ &= 146,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= R' \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot J_h}{R'} \right) \\ &= 146,5 \text{ m} \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot 75}{146,5} \right) \\ &= 4,77 \text{ m} \end{aligned}$$

3) Tikungan 4

Jenis tikungan *Spiral - Spiral (SS)*

Dengan:

- $V_r = 60$ km/jam
- $R = 160$ m
- $J_h = 75$ m (berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997 Tabel II.10)
- $L_t = 593,86$ m

Perhitungan:

$$J_h < L_t \rightarrow 75 \text{ m} < 593,86 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} R' &= R - \frac{1}{4} B_n \\ &= 160 \text{ m} - \frac{1}{4} (14,00 \text{ m}) \\ &= 156,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= R' \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot J_h}{R'} \right) \\ &= 156,5 \text{ m} \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot 75}{156,5} \right) \\ &= 4,47 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan kebebasan samping berdasarkan jarak pandang henti pada tikungan-tikungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 3.11:

Tabel 3.11 Kebebasan samping berdasarkan jarak pandang henti

Tikungan ke-	V _r (Km/jam)	B _n (m)	R (m)	R' (m)	J _h (m)	L _t (m)	E (m)
1	60	14,00	700	696,5	75	326,93	1,009
2	60	14,00	700	696,5	75	327,79	1,009
3	60	14,00	150	146,5	75	252,89	4,77
4	60	14,00	160	156,5	75	593,86	4,47
5	60	14,00	700	696,5	75	327,18	1,009
6	60	14,00	165	161,5	75	177,99	4,335
7	60	14,00	700	696,5	75	174,22	1,009
8	60	14,00	160	156,5	75	410,94	4,47

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

b. Berdasarkan jarak pandang mendahului (J_d)

Perhitungan berdasarkan jarak pandang mendahului ini diambil 3 jenis tikungan yang mewakili, yaitu tikungan *Full Circle*, tikungan *Spiral - Circle - Spiral* dan tikungan *Spiral - Spiral*. Selanjutnya perhitungan kebebasan samping berdasarkan jarak pandang mendahului pada tikungan untuk semua jenis tikungan akan ditambihkan dalam bentuk tabel.

1) Tikungan 1

Jenis tikungan *Full Circle*(FC)

Dengan:

- V_r = 60 km/jam
- R = 700 m
- J_d = 350 m (berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997 Tabel II.11)
- L_t = 326,93 m

Perhitungan:

$$J_d > L_t \rightarrow 350 \text{ m} > 136,28 \text{ m}$$

$$R' = R - \frac{1}{4} B_n$$

$$= 700 \text{ m} - \frac{1}{4} (14,00 \text{ m})$$

$$= 696,50 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} E &= R' \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot Jd}{R'} \right) + \left(\frac{Jd - Lt}{2} \cdot \sin \frac{28,65 \cdot Jd}{R'} \right) \\ &= 696,50 \text{ m} \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot 350}{696,50} \right) + \left(\frac{350 - 326,93}{2} \cdot \sin \frac{28,65 \cdot 350}{696,50} \right) \\ &= 24,741 \text{ m} \end{aligned}$$

2) Tikungan 3

Jenis tikungan *Spiral - Circle - Spiral (SCS)*

Dengan:

- $V_r = 60 \text{ km/jam}$
- $R = 150 \text{ m}$
- $Jd = 350 \text{ m}$ (berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997 Tabel II.11)
- $L_t = 252,89 \text{ m}$

Perhitungan:

$$Jd > L_t \rightarrow 350 \text{ m} > 252,89 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} R' &= R - \frac{1}{4} B_n \\ &= 150 \text{ m} - \frac{1}{4} (14,00 \text{ m}) \\ &= 146,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= R' \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot Jd}{R'} \right) + \left(\frac{Jd - Lt}{2} \cdot \sin \frac{28,65 \cdot Jd}{R'} \right) \\ &= 146,5 \text{ m} \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot 350}{146,5} \right) + \left(\frac{350 - 252,89}{2} \cdot \sin \frac{28,65 \cdot 350}{146,5} \right) \\ &= 137,84 \text{ m} \end{aligned}$$

3) Tikungan 4

Jenis tikungan *Spiral - Spiral (SS)*

Dengan:

- $V_r = 60 \text{ km/jam}$
- $R = 160 \text{ m}$
- $Jd = 350 \text{ m}$ (berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan

Antar Kota, 1997 Tabel II.11)

$$- \quad L_t = 593,86 \text{ m}$$

Perhitungan:

$$J_d < L_t \rightarrow 350 \text{ m} < 593,86 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} R' &= R - \frac{1}{4} B_n \\ &= 160 \text{ m} - \frac{1}{4} (14,00 \text{ m}) \\ &= 156,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= R' \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot J_d}{R'} \right) \\ &= 156,5 \text{ m} \left(1 - \cos \frac{28,65 \cdot 350}{156,5} \right) \\ &= 88,075 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan kebebasan samping berdasarkan jarak pandang mendahului pada tikungan-tikungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 3.12:

Tabel 3.12 Kebebasan Samping Berdasarkan Jarak Pandang Mendahului

Tikungan ke-	V _r (Km/jam)	B _n (m)	R (m)	R' (m)	J _d (m)	L _t (m)	E (m)
1	60	14,00	700	696,5	350	326,93	24,741
2	60	14,00	700	696,5	350	327,79	24,634
3	60	14,00	150	146,5	350	252,89	137,84
4	60	14,00	160	156,5	350	593,86	88,075
5	60	14,00	700	696,5	350	327,18	24,709
6	60	14,00	165	161,5	350	177,99	161,904
7	60	14,00	700	696,5	350	174,22	43,725
8	60	14,00	160	156,5	350	410,94	88,075

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

3.3.5 Penentuan titik *stationing*

Penentuan titik *stationing* (STA) bertujuan untuk mengetahui panjang jalan yang direncanakan.

a. Tikungan 1 (FC)

$$- \text{STA A} = 0+000$$

$$- \text{STA TC}_1 = \text{STA A} + (d_1 - \text{TC}_1) = 0+000 + (397,8 - 166,5)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0+231,3 \\
 - \text{STA CT}_1 &= \text{STA TC}_1 + L_1 &= 0+231,3+ 326,93 \\
 &= 0+558,23
 \end{aligned}$$

b. Tikungan 2 (*FC*)

$$\begin{aligned}
 - \text{STA TC}_2 &= \text{STA CT}_1 + (d_2 - \text{TC}_1 - \text{TC}_2) = 0+558,23 + (489,92 - 166,5 - 166,96) \\
 &= 0+714,69 \\
 - \text{STA CT}_2 &= \text{STA TC}_2 + L_2 &= 0+714,69 + 327,79 \\
 &= 1+042,48
 \end{aligned}$$

c. Tikungan 3 (*SCS*)

$$\begin{aligned}
 - \text{STA TS}_3 &= \text{STA ST}_2 + (d_3 - \text{TS}_2 - \text{TS}_3) = 1+042,48 + (719,19 - 166,96 - 141,91) \\
 &= 1+452,8 \\
 - \text{STA SC}_3 &= \text{STA TS}_3 + L_{S3} &= 1+452,8 + 60 \\
 &= 1+512,8 \\
 - \text{STA CS}_3 &= \text{STA SC}_3 + L_{C3} &= 1+512,8 + 132,89 \\
 &= 1+645,69 \\
 - \text{STA ST}_3 &= \text{STA SC}_3 + L_{S3} &= 1+645,69 + 60 \\
 &= 1+705,69
 \end{aligned}$$

d. Tikungan 4 (*SS*)

$$\begin{aligned}
 - \text{STA TS}_4 &= \text{STA ST}_3 + (d_4 - \text{TS}_3 - \text{TS}_4) = 1+705,69 + (855,11 - 141,91 - 393,81) \\
 &= 2+025,08 \\
 - \text{STA ST}_4 &= \text{STA TS}_4 + L_{S4} &= 2+025,08 + 593,86 \\
 &= 2+618,94
 \end{aligned}$$

e. Tikungan 5 (*FC*)

$$\begin{aligned}
 - \text{STA TC}_5 &= \text{STA ST}_5 + (d_5 - \text{TS}_4 - \text{TC}_5) = 2+618,94 + (735,49 - 393,81 - 166,63) \\
 &= 2+793,99 \\
 - \text{STA CT}_5 &= \text{STA TC}_5 + L_{C5} &= 2+793,99 + 327,18 \\
 &= 3+121,17
 \end{aligned}$$

f. Tikungan 6 (*SCS*)

$$\begin{aligned}
 - \text{STA TS}_6 &= \text{STA ST}_5 + (d_6 - \text{TS}_5 - \text{TS}_6) = 3+121,17 + (681,35 - 166,63 - 91,95) \\
 &= 3+543,94 \\
 - \text{STA SC}_6 &= \text{STA TS}_6 + L_{S6} &= 3+543,94 + 60
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3+603,94 \\
 - \text{STA } CS_6 &= \text{STA } SC_6 + L_{C6} &= 3+603,94 + 57,99 \\
 &= 3+661,93 \\
 - \text{STA } ST_6 &= \text{STA } SC_6 + L_{S6} &= 3+661,93 + 60 \\
 &= 3+721,93
 \end{aligned}$$

g. Tikungan 7(*FC*)

$$\begin{aligned}
 - \text{STA } TC_7 &= \text{STA } ST_6 + (d7-TS_6-TC_7) = 3+721,93 + (873,38-91,95-87,56) \\
 &= 4+415,8 \\
 - \text{STA } CT_7 &= \text{STA } TC_7 + L_{C7} &= 4+415,8 + 174,22 \\
 &= 4+590,02
 \end{aligned}$$

h. Tikungan 8 (*SS*)

$$\begin{aligned}
 - \text{STA } TS_8 &= \text{STA } ST_7 + (d12-TC_7-TS_8) &= 4+590,02 + (958,57-87,56-229,9) \\
 &= 5+231,13 \\
 - \text{STA } ST_8 &= \text{STA } TS_8 + L_8 &= 5+231,13 + 410,94 \\
 &= 5+642,07 \\
 - \text{STA } B &= \text{STA } ST_8 + (d13-TS_8) &= 5+642,07 + (671,15-229,9) \\
 &= 6+083,32
 \end{aligned}$$

3.4 Perhitungan Alinyemen Vertikal

a. Penentuan landai maksimum

Untuk penentuan landai maksimum dapat dilihat pada tabel 2.24 berdasarkan kriteria perencanaan diambil kecepatan rencana (V_r) 60 km/jam, maka kelandaian maksimum adalah 8%.

b. Penentuan panjang landai kritis

Untuk penentuan panjang landai kritis dapat dilihat pada tabel 2.25, dengan kondisi bahwa kecepatan kendaraan pada awal tanjakan sama dengan kecepatan rencana, yaitu 60 km/jam dengan kelandaian maksimum 8%, maka didapat panjang kritis 110 m.

c. Elevasi permukaan muka tanah asli

Adapun hasil penentuan elevasi permukaan tanah asli berdasarkan peta dasar dapat dilihat pada Tabel 3.13 adalah sebagai berikut:

Tabel 3.13 Hasil penentuan elevasi permukaan tanah asli

Muka Tanah Asli			
STA	Elevasi	STA	Elevasi
0+000	25	3+100	15,00
0+100	19,59	3+200	15,65
0+200	18,49	3+300	18,23
0+300	16,60	3+400	15,15
0+400	13,73	3+500	13,87
0+500	16,65	3+600	14,15
0+600	18,52	3+700	14,10
0+700	16,19	3+800	16,83
0+800	14,06	3+900	14,90
0+900	11,81	4+000	13,00
1+000	13,50	4+100	12,39
1+100	13,00	4+200	14,20
1+200	13,78	4+300	17,26
1+300	14,43	4+400	12,80
1+400	18,20	4+500	7,00
1+500	18,20	4+600	9,65
1+600	16,15	4+700	9,65
1+700	17,00	4+800	8,37
1+800	16,20	4+900	8,23
1+900	14,40	5+000	7,44
2+000	14,50	5+100	6,13
2+100	13,98	5+200	10,78
2+200	20,10	5+300	11,00
2+300	21,70	5+400	8,00
2+400	16,00	5+500	10,36
2+500	13,90	5+600	10,96
2+600	13,00	5+700	7,34
2+700	16,10	5+800	9,19
2+800	21,80	5+900	7,95
2+900	15,07	6+000	7,75
3+000	15,00	6+067	8,00

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

d. Penentuan nilai grade

Untuk penentuan nilai grade dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} g_1 &= \frac{\text{Elevasi PPV1-Elevasi A}}{\text{Jarak A-PPVI}} \times 100\% \\ &= \frac{17-24}{200} \times 100\% \\ &= -3,5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_2 &= \frac{\text{Elevasi PPV2-Elevasi PPV1}}{\text{Jarak PPVI - PPV2}} \times 100\% \\ &= \frac{15-17}{200} \times 100\% \\ &= -1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_3 &= \frac{\text{Elevasi PPV3-Elevasi PPV2}}{\text{Jarak PPV2 - PPV3}} \times 100\% \\ &= \frac{19-15}{300} \times 100\% \\ &= -1,3\% \end{aligned}$$

Adapun hasil perhitungan nilai grade lainnya dapat dilihat pada Tabel 3.14:

Tabel 3.14 Hasil perhitungan nilai gradian

Gradian	Titik	Elevasi (m)	Jarak (m)	Kemiringan (%)
g1	A	24	200	-3,5
	PPV1	17		
g2	PPV1	17	200	-1
	PPV2	15		
g3	PPV2	15	300	1,3
	PPV3	19		
g4	PPV3	19	200	-3
	PPV4	13		

Lanjutan...

g5	PPV4	13	400	0,5
	PPV5	14		
g6	PPV5	14	100	-2,1
	PPV6	18,2		
g7	PPV6	18,2	364	0,6
	PPV7	16		
g8	PPV7	16	336	0,9
	PPV8	13		
g9	PPV8	13	163	-3,06
	PPV9	18		
g10	PPV9	18	240	2,02
	PPV10	13,15		
g11	PPV10	13,15	260	-2,25
	PPV11	19		
g12	PPV11	19	255	1,56
	PPV12	15		
g13	PPV12	15	245	-0,8
	PPV13	17		
g14	PPV13	17	200	1,5
	PPV13	14		
g15	PPV14	14	300	-0,3
	PPV15	15		
g16	PPV15	15	300	0,6
	PPV16	13		
g17	PPV16	13	200	-1,5
	PPV17	16		
g18	PPV17	16	200	3,5
	PPV18	9		
g19	PPV18	9	500	0,2
	PPV19	8		
g20	PPV19	8	250	-0,8
	PPV20	10		
g21	PPV20	10	789	0,25
	PPV21	8		

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

e. Perhitungan lengkung vertikal

1) Lengkung vertikal cekung PPV1 STA 0+200

PPV1		PPV1		PPV1
------	--	------	--	------

Gambar 3.26 Lengkung Vertikal Cekung ke-1

Pada STA 0+200 digunakan lengkung vertikal cekung, dimana dalam perencanaan:

$$\begin{aligned} g_1 &= -3,5\% \\ g_2 &= -1\% \\ A &= |g_2 + g_1| \\ &= |-1\% - 3,5\%| \\ &= 4,5\% \end{aligned}$$

Dengan kecepatan rencana 60 km/jam dan $A = 4,5\%$, maka di dapat $L_v = 65\text{m}$ (dari grafik pada Gambar 2.15)

$$y' = \frac{(A)}{200 \cdot L_v} \cdot x^2$$

Menentukan elevasi lengkung:

(1) Menentukan elevasi lengkung dan STA PLV1

$$\begin{aligned} h &= g_1 \times \frac{1}{2} L_v \\ &= -3,5\% \times \frac{1}{2} (65) \\ &= -1,1375 \end{aligned}$$

$$y_1' = \frac{4,5}{200 \cdot 34} \cdot 0 = 0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi tangen PLV1} &= \text{Elevasi PPV1} + h \\ &= 17 \text{ m} + 1,1375 \text{ m} \\ &= 18,1375 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi lengkung PLV1} &= \text{Elevasi tangen PLV1} + y_1' \\
 &= 18,1375 \text{ m} + 0 \text{ m} \\
 &= 18,1375 \text{ m} \\
 \text{STA PLV1} &= \text{STA PPV1} - \frac{1}{2} L_v \\
 &= 0+200 - \frac{1}{2} (65) \\
 &= 0+167,5
 \end{aligned}$$

(2) Menentukan elevasi lengkung dan STA titik (a)

$$\begin{aligned}
 h &= g_1 \times \frac{1}{4} L_v \\
 &= 3,5\% \times \frac{1}{4} (65) \\
 &= 0,568 \\
 y_2' &= \frac{4,5}{200 \cdot 65} \cdot \frac{1}{4} (65)^2 = 0,046 \text{ m} \\
 \text{Elevasi tangen (a)} &= \text{Elevasi PPV1} + h \\
 &= 17 \text{ m} + 0,568 \text{ m} \\
 &= 17,568 \text{ m} \\
 \text{Elevasi lengkung (a)} &= \text{Elevasi tangen (a)} + y_2' \\
 &= 17,568 \text{ m} + 0,046 \text{ m} \\
 &= 17,614 \text{ m} \\
 \text{STA titik (a)} &= \text{STA PLV1} + \frac{1}{4} L_v \\
 &= 0+200 + \frac{1}{4} (65) \\
 &= 0+183,75
 \end{aligned}$$

(3) Menentukan elevasi lengkung dan STA PPV1

$$\begin{aligned}
 h &= g_1 \times 0 \\
 &= 3,5 \times 0 \\
 &= 0 \text{ m} \\
 y_3' &= \frac{4,5 \cdot 65^2}{800 \cdot 65} = 0,365 \text{ m} \\
 \text{Elevasi lengkung PPV1} &= \text{Elevasi PPV1} + y_3' \\
 &= 17 \text{ m} + 0,365 \text{ m} \\
 &= 17,365 \text{ m} \\
 \text{STA PPV1} &= 0+200
 \end{aligned}$$

(4) Menentukan elevasi lengkung dan STA titik (b)

$$\begin{aligned}
 h &= g^2 \times \frac{1}{4} L_v \\
 &= 1\% \times \frac{1}{4} (65) \\
 &= 0,1625
 \end{aligned}$$

$$y_4' = \frac{4,5}{200 \cdot 65} \frac{1}{4} (65)^2 = 0,365 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi tangen (b)} &= \text{Elevasi PPV1} + h \\
 &= 17 \text{ m} + 0,1625 \text{ m} \\
 &= 17,1625 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi lengkung (b)} &= \text{Elevasi tangen (b)} + y_4' \\
 &= 17,1625 \text{ m} + 0,365 \text{ m} \\
 &= 17,528 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{STA titik (b)} &= \text{STA PPV1} + \frac{1}{4} L_v \\
 &= 0+200 + \frac{1}{4} (65) \\
 &= 0+216,25
 \end{aligned}$$

(5) Menentukan elevasi lengkung dan STA PTV1

$$\begin{aligned}
 h &= g^2 \times \frac{1}{2} L_v \\
 &= 1\% \times \frac{1}{2} (65) \\
 &= 0,325 \text{ m}
 \end{aligned}$$

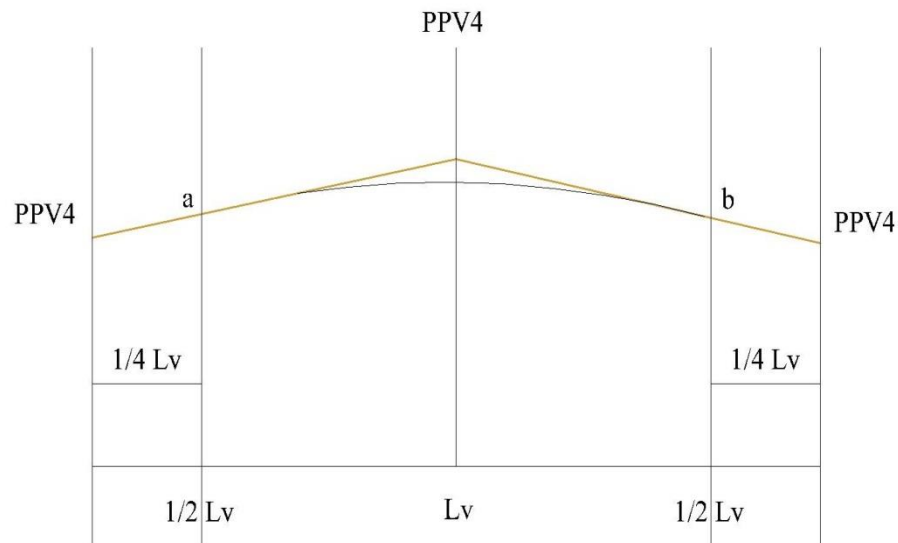
$$y_5' = \frac{4,5}{200 \cdot 65} \cdot 0 = 0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi tangen PTV1} &= \text{Elevasi PPV1} + h \\
 &= 17 \text{ m} + 0,325 \text{ m} \\
 &= 17,325 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi lengkung PTV1} &= \text{Elevasi tangen PTV1} + y_5' \\
 &= 17,325 \text{ m} + 0 \text{ m} \\
 &= 17,325 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{STA PTV1} &= \text{STA PPV1} + \frac{1}{2} L_v \\
 &= 0+200 + \frac{1}{2} (65) \\
 &= 0+232,5
 \end{aligned}$$

2) Lengkung vertikal cembung PPV3 STA 0+700



Gambar 3.27 Lengkung Vertikal Cembung ke-1

Pada STA 0+700 digunakan lengkung vertikal cembung, dimana dalam perencanaan:

$$g_2 = 1,3 \%$$

$$g_3 = 3 \%$$

$$A = |g_3 + g_2|$$

$$= |g_3 + g_2|$$

$$= 4,3 \%$$

Dengan kecepatan rencana 60 km/jam dan $A = 4,3\%$ maka didapatkan $L_v = 40\text{m}$ (dari grafik pada gambar 2.12)

$$y' = \frac{(A)}{200 \cdot L_v} \cdot x^2$$

Menentukan elevasi lengkung:

(1) Menentukan elevasi lengkung dan STA PLV3

$$h = g_2 \times \frac{1}{2} L_v$$

$$= 1,3\% \times \frac{1}{2} (52)$$

$$= 0,338 \text{ m}$$

$$y_1' = \frac{4,3}{200 \cdot 52} \cdot 0 = 0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi tangen PLV3} &= \text{Elevasi PPV3} - h \\ &= 19 \text{ m} - 0,338 \text{ m} \\ &= 18,662 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi lengkung PLV3} &= \text{Elevasi tangen PLV3} - y_1' \\ &= 18,662 \text{ m} - 0 \text{ m} \\ &= 18,662 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{STA PLV3} &= \text{STA PPV3} - \frac{1}{2} L_v \\ &= 0+700 - \frac{1}{2} (52) \\ &= 0+674 \end{aligned}$$

(2) Menentukan elevasi lengkung dan STA titik (a)

$$\begin{aligned} h &= g^2 \times \frac{1}{4} L_v \\ &= 1,3\% \times \frac{1}{4} (52) \\ &= 0,169 \text{ m} \end{aligned}$$

$$y_2' = \frac{4,3}{200 \cdot 52} \frac{1}{4} (52)^2 = 0,2795 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi tangen (a)} &= \text{Elevasi PPV2} - h \\ &= 19 \text{ m} - 0,169 \text{ m} \\ &= 18,831 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi lengkung (a)} &= \text{Elevasi tangen (a)} - y_2' \\ &= 18,831 \text{ m} - 0,2795 \text{ m} \\ &= 18,551 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{STA titik (a)} &= \text{STA PLV2} + \frac{1}{4} L_v \\ &= 0+674 + \frac{1}{4} (52) \\ &= 0+687 \end{aligned}$$

(3) Menentukan elevasi lengkung dan STA PPV3

$$h = g^2 \times 0 = 1,3 \times 0 = 0 \text{ m}$$

$$y_3' = \frac{4,3 \cdot 52^2}{800 \cdot 52} = 0,2795 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi lengkung PPV3} &= \text{Elevasi PPV3} - y_3' \\
 &= 19 \text{ m} - 0,2795 \text{ m} \\
 &= 18,7205 \text{ m} \\
 \text{STA PPV3} &= 0+700
 \end{aligned}$$

- (4) Menentukan elevasi lengkung dan STA titik (b)

$$\begin{aligned}
 h &= g^3 \times \frac{1}{4} L_v \\
 &= 3\% \times \frac{1}{4} (52) \\
 &= 0,39 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$y_4' = \frac{4,3}{200 \cdot 52} \cdot \frac{1}{4} (52)^2 = 0,2795 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi tangen (b)} &= \text{Elevasi PPV2} - h \\
 &= 19 \text{ m} - 0,2795 \text{ m} \\
 &= 18,61 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi lengkung (b)} &= \text{Elevasi tangen (b)} - y_4' \\
 &= 18,61 \text{ m} - 0,2795 \text{ m} \\
 &= 18,3305 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{STA titik (b)} &= \text{STA PPV3} + \frac{1}{4} L_v \\
 &= 0+700 + \frac{1}{4} (52) \\
 &= 0+713
 \end{aligned}$$

- (5) Menentukan elevasi lengkung dan STA PTV3

$$\begin{aligned}
 h &= g^3 \times \frac{1}{2} L_v \\
 &= 3\% \times \frac{1}{2} (52) \\
 &= 0,338 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$y_5' = \frac{4,3 \times 52^2}{200 \cdot 52} \cdot 0 = 0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi tangen PTV3} &= \text{Elevasi PPV3} - h \\
 &= 19 \text{ m} - 0,338 \text{ m} \\
 &= 18,662 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi lengkung PTV3} &= \text{Elevasi tangen PTV3} - y_5' \\
 &= 18,662 \text{ m} - 0 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 18,662 \text{ m} \\
 \text{STA PTV3} &= \text{STA PPV3} + \frac{1}{2} L_v \\
 &= 0+700 + \frac{1}{2} (52) \\
 &= 0+739
 \end{aligned}$$

3.5 Parameter Tebal Perkerasan

3.5.1 Parameter perencanaan tebal perkerasan

a. Volume dan Komposisi Lalulintas

Perencanaan perkerasan jalan raya pada skripsi ini menggunakan perkerasan kaku yang dihitung dengan menggunakan metode Bina Marga 2003. Berdasarkan data Lalulintas Harian Rata-rata pada Tahun 2018, diperkirakan secara keseluruhan jumlah kendaraan yang akan melewati ruas jalan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.15

Tabel 3.15 Volume dan Komposisi Lalulintas pada Tahun Pelaksanaan

No.	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan (buah)	Jumlah Sumbu
1	Mobil penumpang (1+1) ton	1309	2618
2	Bus (3+5) ton	225	450
3	Truk 2 as Kecil (2+4) ton	290	580
4	Truk 2 as Besar (6+8) ton	35	70
5	Truk 3 as (6+14) ton	30	60
6	Truk Gandengan (6+14+5+5)	15	60
	Total	1904	3838

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

Tabel 3.16 Hasil Perhitungan Lengkung Vertikal

Titik	Lengkung Vertikal	g1	g2	A	Vr	Lv	PLV					(a)				
		(%)	(%)	(%)	(km/jam)	(m)	h	y'	Elevasi Tangen	Elevasi Lengkung	STA	H	y'	Elevasi Tangen	Elevasi Lengkung	STA
1	Cekung	3,50	1,00	4,50	60	65	1,137	0	18,137	18,137	0+167,5	0,568	0,0462	17,568	17,614	0+183,75
2	Cekung	1,00	1,30	2,30	60	47	0,235	0	15,235	15,235	0+376,5	0,117	0,0069	15,117	15,124	0+388,25
3	Cembung	1,30	3,00	4,30	60	52	0,338	0	18,662	18,662	0+674	0,169	0,2795	18,831	18,551	0+687,00
4	Cekung	3,00	0,50	3,50	60	65	0,975	0	13,975	13,975	0+867,5	0,487	0,0396	13,487	13,527	0+883,75
5	Cekung	0,50	2,10	2,60	60	42	0,105	0	14,105	14,105	1+279	0,052	0,0027	14,052	14,055	1+289,50
6	Cembung	2,10	0,60	2,70	60	38	0,399	0	17,801	17,801	1+381	0,199	0,1282	18,0005	17,872	1+390,50
7	Cembung	0,60	0,90	1,50	60	38	0,114	0	15,886	15,886	1+745	0,057	0,0712	15,943	15,871	1+754,50
8	Cekung	0,90	3,06	3,96	60	59	0,265	0	13,265	13,265	2+070,5	0,132	0,0097	13,132	13,142	2+087,25
9	Cembung	3,06	2,02	5,08	60	70	1,071	0	16,929	16,929	2+226,5	0,535	0,4445	17,464	17,02	2+282,50
10	Cekung	2,02	2,25	4,27	60	65	0,656	0	13,806	13,806	2+507,5	0,328	0,026	13,478	13,504	2+523,75
11	Cembung	2,25	1,56	3,81	60	48	0,540	0	18,460	18,460	2+776	0,270	0,228	18,730	18,501	2+788,00
12	Cekung	1,56	0,80	2,36	60	37	0,288	0	15,288	15,288	3+036,5	0,144	0,006	15,144	15,150	3+045,75
13	Cembung	0,80	1,50	2,30	60	38	0,152	0	16,848	16,848	3+281	0,076	0,109	16,924	16,814	3+290,50
14	Cekung	1,50	0,30	1,80	60	35	0,262	0	14,262	14,262	3+482,5	0,131	0,005	14,131	14,136	3+491,25
15	Cembung	0,30	0,60	0,90	60	38	0,057	0	14,943	14,943	3+781	0,028	0,042	14,971	14,928	3+781,00
16	Cekung	0,60	1,50	2,10	60	35	0,105	0	13,105	13,105	4+082,5	0,052	0,002	13,052	13,054	4+091,50
17	Cembung	1,50	3,50	5,00	60	70	0,525	0	15,475	15,475	4+265	0,262	0,437	15,737	15,3	4+282,50
18	Cekung	3,50	0,20	3,70	60	50	0,875	0	9,875	9,875	4+475,5	0,437	0,0273	9,437	9,464	4+487,50
19	Cekung	0,20	0,80	1,00	60	45	0,045	0	8,045	8,045	4+977,5	0,022	0,0012	8,022	8,023	4+988,75
20	Cembung	0,80	0,25	1,05	60	38	0,152	0	9,848	9,848	5+231	0,076	0,0498	9,924	9,874	5+240,50

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

Tabel 3.17 Hasil Perhitungan Lengkung Vertikal (lanjutan)

Titik	Lengkung Vertikal	g1	g2	A	Vr	Lv	PPV					(b)				
		(%)	(%)	(%)	(km/jam)	(m)	h	y'	Elevasi Tangen	Elevasi Lengkung	STA	H	y'	Elevasi Tangen	Elevasi Lengkung	STA
1	Cekung	3,50	1,00	4,50	60	65	0	0,365	17,00	17,365	0+200	0,162	0,365	17,162	17,528	0+216,25
2	Cekung	1,00	1,30	2,30	60	47	0	0,135	15,00	15,135	0+400	0,152	0,135	15,152	15,287	0+411,75
3	Cembung	1,30	3,00	4,30	60	52	0	0,279	19,00	18,720	0+700	0,390	0,279	18,610	18,330	0+713,00
4	Cekung	3,00	0,50	3,50	60	65	0	0,284	13,00	13,284	0+900	0,081	0,284	13,081	13,365	0+916,25
5	Cekung	0,50	2,10	2,60	60	42	0	0,136	14,00	14,136	1+300	0,2205	0,136	14,220	14,357	1+310,50
6	Cembung	2,10	0,60	2,70	60	38	0	0,128	18,20	18,071	1+400	0,057	0,128	18,143	18,014	1+409,50
7	Cembung	0,60	0,90	1,50	60	38	0	0,071	16,00	15,928	1+743	0,085	0,071	15,914	15,843	1+773,50
8	Cekung	0,90	3,06	3,96	60	59	0	0,292	13,00	13,292	2+100	0,451	0,292	13,451	13,743	2+114,75
9	Cembung	3,06	2,02	5,08	60	70	0	0,444	18,00	17,555	2+300	0,353	0,444	17,646	17,202	2+317,50
10	Cekung	2,02	2,25	4,27	60	65	0	0,346	13,15	13,496	2+540	0,365	0,346	13,515	13,862	2+556,25
11	Cembung	2,25	1,56	3,81	60	48	0	0,228	19,00	18,771	2+800	0,187	0,228	18,812	18,584	2+812,00
12	Cekung	1,56	0,80	2,36	60	37	0	0,109	15,00	15,109	3+055	0,074	0,109	15,074	15,183	3+064,25
13	Cembung	0,80	1,50	2,30	60	38	0	0,109	17,00	16,890	3+300	0,142	0,109	16,857	16,748	3+309,50
14	Cekung	1,50	0,30	1,80	60	35	0	0,078	14,00	14,078	3+500	0,026	0,078	14,026	14,105	3+508,75
15	Cembung	0,30	0,60	0,90	60	38	0	0,042	15,00	14,957	3+800	0,057	0,042	14,943	14,9002	3+809,50
16	Cekung	0,60	1,50	2,10	60	35	0	0,091	13,00	13,091	4+100	0,131	0,009	13,131	13,223	4+108,75
17	Cembung	1,50	3,50	5,00	60	70	0	0,437	16,00	15,562	4+300	0,612	0,437	15,387	14,95	4+317,50
18	Cekung	3,50	0,20	3,70	60	50	0	0,231	9,00	9,231	4+500	0,025	0,231	9,025	9,256	4+512,50
19	Cekung	0,20	0,80	1,00	60	45	0	0,056	8,00	8,056	5+000	0,09	0,056	8,09	8,146	5+011,25
20	Cembung	0,80	0,25	1,05	60	38	0	0,049	10,00	9,950	5+250	0,023	0,049	9,976	9,926	5+259,50

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

Tabel 3.18 Hasil Perhitungan Lengkung Vertikal (lanjutan)

Titik	Lengkung Vertikal	g1	g2	A	Vr	Lv	PTV				
		(%)	(%)	(%)	(km/jam)	(m)	h	y'	Elevasi Tangen	Elevasi Lengkung	STA
1	Cekung	3,50	1,00	4,50	60	65	0,325	0	17,325	17,325	0+232,5
2	Cekung	1,00	1,30	2,30	60	47	0,305	0	15,305	15,305	0+423,5
3	Cembung	1,30	3,00	4,30	60	52	0,338	0	18,662	18,662	0+739,0
4	Cekung	3,00	0,50	3,50	60	65	0,162	0	13,162	13,162	0+932,5
5	Cekung	0,50	2,10	2,60	60	42	0,441	0	14,441	14,357	1+321,0
6	Cembung	2,10	0,60	2,70	60	38	0,399	0	17,801	17,801	1+428,5
7	Cembung	0,60	0,90	1,50	60	38	0,114	0	15,886	15,886	1+792,5
8	Cekung	0,90	3,06	3,96	60	59	0,902	0	13,902	13,902	2+129,5
9	Cembung	3,06	2,02	5,08	60	70	1,071	0	16,929	16,929	2+352,5
10	Cekung	2,02	2,25	4,27	60	65	0,731	0	13,881	13,881	2+572,5
11	Cembung	2,25	1,56	3,81	60	48	0,54	0	18,460	18,460	2+812,0
12	Cekung	1,56	0,80	2,36	60	37	0,148	0	15,148	15,148	3+073,5
13	Cembung	0,80	1,50	2,30	60	38	0,152	0	16,848	16,848	3+328,5
14	Cekung	1,50	0,30	1,80	60	35	0,052	0	14,052	14,052	3+517,5
15	Cembung	0,30	0,60	0,90	60	38	0,057	0	14,943	14,943	3+809,5
16	Cekung	0,60	1,50	2,10	60	35	0,262	0	13,262	13,262	4+117,5
17	Cembung	1,50	3,50	5,00	60	70	0,525	0	15,475	15,475	4+352,5
18	Cekung	3,50	0,20	3,70	60	50	0,05	0	9,05	9,05	4+525,0
19	Cekung	0,20	0,80	1,00	60	45	0,18	0	8,18	8,18	5+022,5
20	Cembung	0,80	0,25	1,05	60	38	0,152	0	9,848	9,848	5+278,5

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

b. Analisa Kekuatan Tanah Dasar dan Lapis Pondasi

1) Perhitungan CBR

Data CBR untuk ruas jalan Pesisir Timur dapat dilihat pada Tabel 3.17 berikut ini:

$$CBR_{\text{segmen}} = \overline{CBR} - \left[\frac{(CBR_{\text{max}} - CBR_{\text{min}})}{R} \right]$$

Jumlah banyak data (titik pengamatan) = 31 buah, maka $R = 3,18$

$$\overline{CBR} = \frac{203}{31} = 6,55\%$$

$$CBR_{\text{segmen}} = 6,55\% - \left[\frac{(7,2\% - 6,0\%)}{3,18} \right] = 6,172\% \sim 6,2\%$$

Parameter Perencanaan:

- CBR tanah dasar : 6,2%
- Kuat tarik lentur (f'_{cf}) : 4,0 Mpa
- Bahan pondasi bawah : *lean concrete* : 10 cm
- Mutu baja tulangan : U-39 ($f_y = 3900 \text{ kg/cm}^2$)
- Koef. Gesek antara pelat beton dengan pondasi (μ) : 1,3
- Bahu jalan : Ya (lapis berbutir)
- Ruji (dowel) : Ya
- Pertumbuhan lalu lintas : 5 % pertahun
- Umur rencana : 40 tahun

Direncanakan perkerasan beton bersambung dengan tulangan untuk jalan 4 lajur 2 arah tak terbagi (4/2UD) jalan arteri antar kota.

3.5.2 Perhitungan tebal perkerasan

a. Analisis Lalulintas

Perhitungan jumlah sumbu berdasarkan jenis dan bebannya untuk data Lalu lintas Harian Rata-rata pada ruas jalan Pampangan dapat dilihat pada Tabel 3.19:

Tabel 3.19 Data CBR Tanah Dasar dari STA 0+000 – 6+039

No.	STA	Nilai CBR (%)
1.	0+000	7,2
2.	0+200	6,2
3.	0+400	6,3
4.	0+600	6,3
5.	0+800	6,3
6.	1+000	7,1
7.	1+200	6,5
8.	1+400	6,5
9.	1+600	6,6
10.	1+800	6,2
11.	2+000	6,6
12.	2+200	6,3
13.	2+400	6,8
14.	2+600	6,1
15.	2+800	6,6
16.	3+000	6,9
17.	3+200	6
18.	3+400	6,8
19.	3+600	7
20.	3+800	6,7
21.	4+000	6,4
22.	4+200	7,1
23.	4+400	6,5
24.	4+600	6,4
25.	4+800	6,3
26.	5+000	6,9
27.	5+200	6,4
28.	5+400	6,7
29.	5+600	6,7
30.	5+800	6,1
31.	6+000	6,5
Total		203

(Sumber: PU Bina Marga Provinsi Sumatera Selatan, 2019)

Tabel 3.20 Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis dan Bebannya

Jenis Kendaraan	Konfigurasi Beban Sumbu (ton)				Jumlah Kendaraan (bh)	Jumlah Sumbu per Kendaraan	Jumlah Sumbu (bh)	STRT		STRG		STdRG	
	RD	RB	RGD	RGB				BS (ton)	JS (ton)	BS (ton)	JS (ton)	BS (ton)	JS (ton)
1	2				3	4	5	6	7	8	9	10	11
MP	1	1			1309								
Bus	3	5			225	2	450	3	225	5	225		
Truk 2 as kecil	2	4			290	2	580	2 4	290 290				
Truk 2 as besar	5	8			35	2	70	5	35	8	35		
Truk 3 as	6	14			30	2	60	6	30			14	30
Truk Gandengan	6	14	5	5	15	4	60	6 5 5	15 15 15			14	15
Total							1220		712		257		45

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

RD = Roda Depan, RB = Roda Belakang, RGD = Roda Gandeng Depan, RGB = Roda Gandeng Belakang, BS = Beban Sumbu, JS = Jumlah, STRT = Sumbu Tunggal Roda Tunggal, STRG = Sumbu Tunggal Roda Ganda, STdRG = Sumbu Tandem Roda Ganda)

Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama umur rencana (40 tahun)

JSKNH = 1220 buah kendaraan

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} = \frac{(1+7\%)^{40}-1}{7\%} = 121,00$$

$$\begin{aligned} \text{JSKN} &= 365 \times \text{JSKNH} \times R \\ &= 365 \times 1220 \times 121,00 \\ &= 53.881.300 \text{ sumbu kendaraan} \\ &= 53,8 \times 10^5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JSKN rencana} &= C \times \text{JSKN} \\ &= 0,5 \times 53,8 \times 10^5 \\ &= 26,9 \times 10^5 \end{aligned}$$

Berdasarkan rumus diatas didapat nilai JSKN rencana sebesar $26,9 \times 10^5$. Jumlah kelompok sumbu selama umur rencana digunakan sebagai input pada bagan desain 4. Nilai JSKN rencana sebesar $26,9 \times 10^5$ maka digunakan desain struktur perkerasan R4 seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.21.

Tabel 3.21 Bagan desain 4: perkerasan kaku jalan dengan beban lalu lintas berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3R	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (overloaded) (10E6)	< 4,3	< 8,6	< 25,8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	Ya				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Pondasi LMC	100				
Lapis drainase (dapat mengalir dengan baik)	150				

(Sumber : Manual Perkerasan Jalan Tahun 2017)

Dari bagan yang desain 4 didapat tebal pelat = 295 mm, lapis pondasi LMC = 100 mm, lapis drainase = 150 mm

b. Perhitungan repetisi sumbu yang terjadi (Tabel 3.22)

Tabel 3.22 Perhitungan repetisi sumbu rencana

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	Lalu-lintas Rencana	Repetisi yang terjadi
-1	-2	-3	-4	-5	-6	(7)=(4)x(5)x(6)
STRT	4	290	0,360248	0,72523	53881300	14077096,4
	3	225	0,279503	0,72523	53881300	10921885,14
	2	290	0,360248	0,72523	53881300	14077096,4
Total		805	1			
STRG	8	35	0,134615	0,13462	53881300	976399,2973
	5	225	0,865385	0,86538	53881300	40351195,45
Total		260	1			
STdRG	14	45	1	0,04054	53881300	2184377,027
Total		45	1			
Kumulatif		1110				82588050

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

a. Perhitungan analisa fatik dan erosi

- Sumber data beban : Hasil survei
- Jenis perkerasan : BBDT dengan ruji
- Jenis bahu : Tanpa beton
- Umur rencana : 40 Tahun
- JSKN : $26,9 \times 10^5$
- Faktor keamanan beban : 1,1
- Kuat tarik lentur beton (f_{cf}) umur 28 hari : 4,0 Mpa
- Jenis dan tebal lapis pondasi : agregat kelas A 15 cm
- CBR tanah dasar : 6,2%
- Tebal taksiran pelat beton : 29,5 cm

Tabel 3.23 Analisa fatik dan erosi

Jenis sumbu	Beban sumbu ton (kN)	Beban rencana perroda (kN)	Repetisi yang terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisa fatik		Analisa Erosi	
					Repetisi ijin	Persen rusak (%)	Repetisi ijin	Persen rusak (%)
-1	-2	-3	-4	-5	-6	(7)=(4) *100/(6)	-8	(9)=(4) *100/(8)
STRT	4 (40)	22	14077096,4	TE =0,53	TT	0	TT	0
	3 (30)	16,5	10921885,14	FRT=0,13	TT	0	TT	0
	2 (20)	11	14077096,4	FE = 1,72	TT	0	TT	0
STRG	8 (80)	22	976399,2973	TE = 0,88	TT	0	TT	
	5 (50)	13,75	40351195,45	FRT =0,22	300000	13450,398	2500000	1614,048
				FE = 2,32				
STdG	14(140)	19,25	2184377,027	TE = 0,78	TT	0	TT	0
				FRT =0,19				
				FE = 2,46				
Total					4,48% < 100%		0,06% < 100%	

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)

Karena % rusak fatik (telah) lebih kecil dari 100% Namun berdasarkan perhitungan SNI Manual Perkerasan Jalan tahun 2017, tebal minimum untuk jalan beban lalu lintas berat adalah sebesar 295 mm = 29,5 cm.

a. Perhitungan tulangan perkerasan beton bersambung dengan tulangan:

- Tebal pelat = 29,5 cm
- Lebar pelat = 2 × 7,0 m
- Panjang pelat = 15 m
- Kuat tarik ijin baja = 240 MPa
- Berat isi beton = 2400kg/cm²
- Gravitasi = 9,81 m/dt²

1) Tulangan memanjang

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times H}{2 \times f_s}$$

$$= \frac{1,3 \times 15 \times 2400 \times 9,81 \times 0,295}{2 \times 240} = 282,16 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$A_s \text{ min} = 0,1\% \times 295 \times 1000 = 295 \text{ mm}^2 / \text{m}' > A_s \text{ perlu digunakan tulangan } \phi 12-225 \text{ mm}$

2) Tulangan melintang

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times H}{2 \times f_s}$$

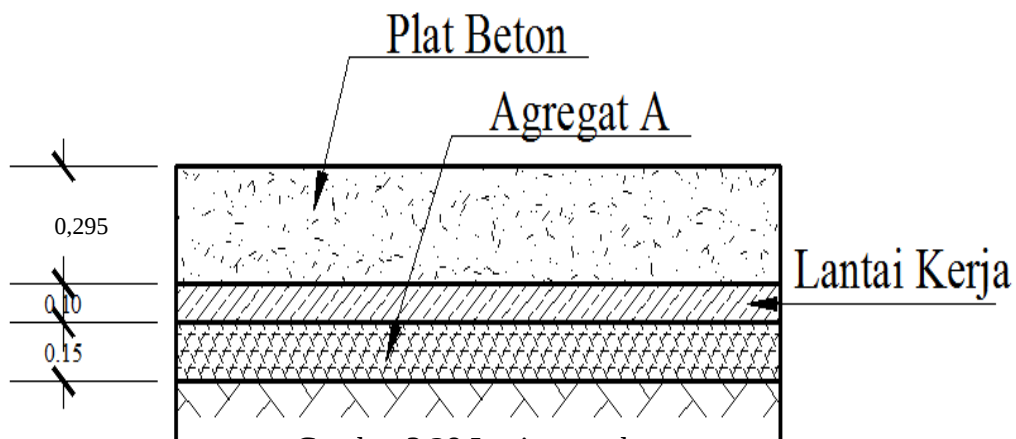
$$= \frac{1,3 \times 14 \times 2400 \times 9,81 \times 0,295}{2 \times 240}$$

$$= 263,35 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

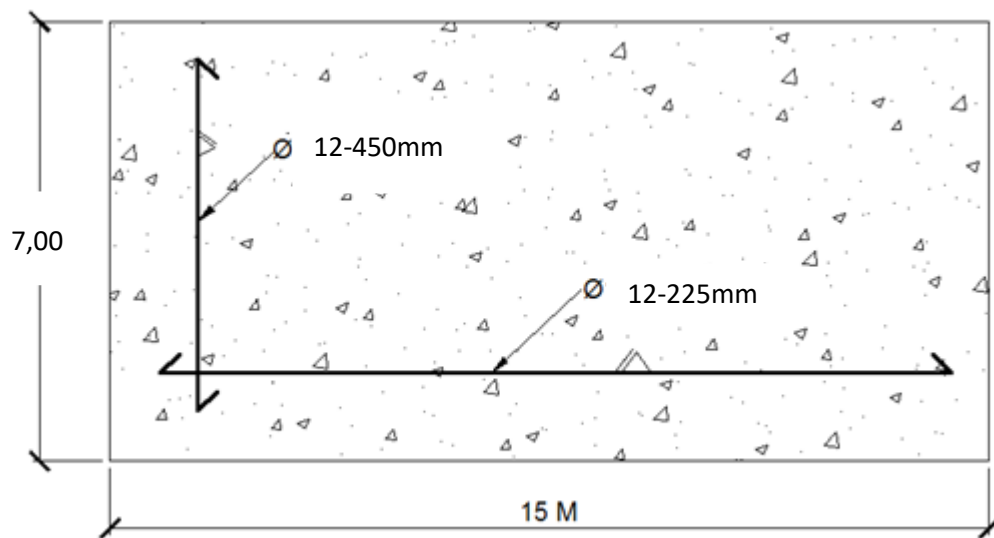
$A_s \text{ min} = 0,1\% \times 0,295 \times 1000 = 295 \text{ mm}^2 / \text{m}'$ digunakan tulangan $\phi 12-450 \text{ mm}$

Ruji Dowel digunakan dengan D38 mm, panjang 450 mm, jarak 300 mm.

3) Tie Bar digunakan baja ulir D16 mm, panjang 70 cm, jarak 75 cm



Gambar 3.28 Lapisan perkerasan



Gambar 3.29 Tulangan memanjang dan melintang

3.6 Perhitungan Saluran Drainase Jalan

3.6.1 Analisa curah hujan

Dalam tugas akhir ini, data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan stasiun kelas II kenten kota Palembang, yang diperoleh BMKG selama 10 tahun. Data yang kami peroleh:

Tabel 3.24 Data Curah Hujan

Bulan	Tahun									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Januari	55	59	27	33	47	51	75	66	35	70
Februari	75	65	46	48	54	21	28	201	35	35
Maret	51	64	39	51	58	82	45	74	160	102
April	26	80	43	45	45	32	96	47	34	192
Mei	97	40	37	38	14	65	13	31	76	31
Juni	10	43	26	31	72	25	48	41	33	26
Juli	30	9	25	37	40	17	0	7	52	23
Agustus	13	15	0	0	21	14	25	27	13	7
September	7	43	0	32	41	0	4	35	43	70
Oktober	71	56	58	37	28	3	37	53	71	61
November	52	70	0	47	27	57	31	75	62	53
Desember	83	48	47	75	103	33	20	53	43	23
Jumlah	570	592	348	474	550	400	422	710	657	693
Curah hujan max	97	80	47	75	103	82	96	201	160	192

(Sumber : Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2019)

Selanjutnya dilakukan perhitungan frekuensi curah hujan dengan menggunakan metode Gumbel dengan memakai data curah hujan maksimum.

1) Curah hujan harian rata-rata

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{n} = \frac{1133}{10} = 113,3 \text{ mm}$$

2) Standar deviasi

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum (R - \bar{R})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{24687,97}{10-1}} = 52,374$$

3) Curah hujan rencana periode ulang 5 dan 10 tahun

Tabel 3.25 Hubungan antara Y_n dan S_n dengan n (banyaknya sampel)

N	Y_n	N	S_n
10	0,4952	10	0,9496
11	0,4996	11	0,9676
12	0,5035	12	0,9833
13	0,5070	13	0,9971
14	0,5100	14	1,0096
15	0,5128	15	1,0206

Dengan $n=10$ dari tabel di dapatkan :

$$Y_n = 0,4952$$

$$S_n = 0,9496$$

Tabel 3.26 *Reduce Variate* (Y_t)

Periode Ulang	<i>Reduce Variate</i>
2	0,3665
5	1,4999
10	2,5202
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Untuk periode ulang 5 tahun, maka $Y_t = 1,4999$

$$R_t = \bar{R} + \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \times Sx$$

$$= 113,3 + \frac{1,4999 - 0,4952}{0,9496} \times 52,374 = 168,713 \text{ mm}$$

Untuk periode ulang 10 tahun, maka $Y_t = 2,5202$

$$\begin{aligned}
 R_t &= \bar{R} + \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \times S_x \\
 &= 113,3 + \frac{2,5202 - 0,4952}{0,9496} \times 52,374 \\
 &= 223,982
 \end{aligned}$$

Tabel 3.27 Perhitungan curah hujan harian dengan metode gumbel

No	Tahun	R (mm)	(R- $\bar{R}$) ² (mm)	Periode Ulang (Tahun)	Yt	Yn	Sn	Rt (mm)
1	2009	97	265,69	5	1.4999	0,4952	0,9496	149,054
2	2010	80	1108,89					
3	2011	47	4395,69					
4	2012	75	1466,89					
5	2013	103	106,09					
6	2014	82	979,69					
7	2015	96	299,29					
8	2016	201	7691,29					
9	2017	160	2180,89					
10	2018	192	6193,69					
Total		1133	24687,97	Gumbel : Rt = $\bar{R} + ((Y_t - Y_n) / S_n) S_x$				
$\bar{R}$		113,3						
Sx		52,37						

(Sumber : Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2017)

Ket:

 $\bar{R}$ = Curah hujan rata-rata (mm)

Sx = Standar deviasi

Rt = Curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun (mm)

R = Curah hujan rata-rata hasil pengamatan (mm)

Yn = Reduced mean, merupakan fungsi dari banyaknya data (n)

Sn = Reduced standar deviasi, merupakan fungsi dari banyaknya data (n)

Yt = Reduced Variabel, parameter gumbel untuk periode tahun

n = Lamanya pengamatan

3.6.2 Perhitungan aliran debit rencana (Q)

Perhitungan debit aliran rencana berdasarkan peta topografi yang ditinjau persegmen jalan, untuk contoh perhitungan diambil segmen jalan awal yaitu dari STA 0+000 sampai STA 6+034 sebagai berikut :

a. Kondisi eksisting permukaan jalan

Panjang saluran drainase (L) = 200 meter

L1 : perkerasan jalan = 7,0 meter

L2 : bahu jalan = 2,0 meter

L3 : bagian luar jalan = 41,0 meter

Menentukan koefisien C (tabel 2.28) :

Badan Jalan (C1) = 0,70 (Jalan beton & jalan aspal)

Bahu jalan (C2) = 0,10 (Tanah berbutir kasar)

Bagian luar jalan (C3) = 0,2 (Kebun)

Fk (faktor limpasan kebun) = 0.2

Menentukan luas daerah pengaliran :

Perkerasan jalan (A1) = $7,0 \times 200 = 1400 \text{ m}^2$

Bahu Jalan (A2) = $2,0 \times 200 = 400 \text{ m}^2$

Bagian luar jalan (A3) = $41 \times 200 = 8200 \text{ m}^2$

Koefisien pengaliran rata-rata :

$$\begin{aligned} C_{\text{gabungan}} &= \frac{C_1 \times A_1 + C_2 \times A_2 + C_3 \times A_3 \times fk}{A_1 + A_2 + A_3} \\ &= \frac{0,70 \times 1400 + 0,10 \times 400 + 0,2 \times 8200 \times 0.2}{1400 + 400 + 8200} \\ &= 0,135 \end{aligned}$$

b. Perhitungan waktu konsentrasi (Tc)

V = 1,5 m/det ; nd = 0,013 (tabel 2.29) ; k= 0.02 ; 0,013(SNI tahun 2006)

$$\begin{aligned} t_{\text{pelat}} &= \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times I_o \times \frac{nd}{\sqrt{i}} \right)^{0,167} \\ &= \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times 7,0 \times \frac{0,013}{\sqrt{0,02}} \right)^{0,167} \\ &= 1,06 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{bahu} &= \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times 1,0 \times \frac{nd}{\sqrt{i}} \right)^{0,167} \\
 &= \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times 2,0 \times \frac{0,20}{\sqrt{0,05}} \right)^{0,167} \\
 &= 1,26 \text{ menit} \\
 t_0 &= \text{dari badan jalan} = 1,06 + 1,26 = 2,32 \text{ menit} \\
 t_d &= \frac{L}{60 \times V} \\
 t_d &= \frac{200}{60 \times 1,5} = 2,2 \text{ menit} \\
 t_c &= t_0 + t_d \\
 &= 2,32 + 2,2 = 4,52 \text{ menit} = 0,75 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan intensitas curah hujan

Periode ulang yang digunakan untuk perencanaan saluran drainase yaitu 5 tahun.

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{tc} \right)^{\frac{2}{3}} \\
 &= \frac{223,982}{24} \times \left(\frac{24}{0,75} \right)^{\frac{2}{3}} \\
 &= 94,066 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

d. Debit aliran rencana (Q)

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = 10000 \text{ m}^2 = 0,01 \text{ km}^2$$

$$C = 0,135$$

$$I = 332,72 \text{ mm/jam}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{1}{3,6} \times C \times I \times A \\
 &= \frac{1}{3,6} \times 0,135 \times 332,72 \text{ mm/jam} \times 0,01 \text{ km}^2 \\
 &= 0,12 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan debit aliran rencana (Q) pada segmen jalan berikutnya dapat dilihat pada tabel 3.28 sampai 3.29:

Tabel 3.28 Hasil perhitungan debit aliran rencana metode gumbel

No	STA		Panjang	A1	A2	A3	A
							Km
1	0+000	0+200	200	1400	400	8200	0,010
2	0+200	0+400	200	1400	400	8200	0,010
3	0+400	0+700	300	2100	600	12300	0,015
4	0+700	0+900	200	1400	400	8200	0,010
5	0+900	1+300	400	2800	800	16400	0,020
6	1+300	1+400	100	700	200	4100	0,005
7	1+400	1+764	364	2548	728	14924	0,018
8	1+764	2+100	336	2352	672	13776	0,017
9	2+100	2+300	200	1400	400	8200	0,010
10	2+300	2+540	240	1680	480	9840	0,012
11	2+540	2+800	260	1820	520	10660	0,013
12	2+800	3+055	255	1785	510	10455	0,013
13	3+055	3+300	245	1715	490	10045	0,01225
14	3+300	3+500	200	1400	400	8200	0,010
15	3+500	3+800	300	2100	600	12300	0,015
16	3+800	4+100	300	2100	600	12300	0,015
17	4+100	4+300	200	1400	400	8200	0,010
18	4+300	4+500	200	1400	400	8200	0,010
19	4+500	5+000	500	3500	1000	20500	0,025
20	5+000	5+250	250	1750	500	10250	0,013
21	5+250	6+039	789	5523	1578	32349	0,039

Dari hasil perhitungan debit aliran rencana di atas dengan periode ulang atau kala ulang hujan 5 tahun, didapat nilai Q maksimal sebesar 0,39 m³/detik.

3.6.3 Desain saluran samping jalan

Penentuan dimensi awal dengan menentukan bahan :

- Saluran direncanakan dibuat dari beton tak bertulang dengan kecepatan aliran yang diijinkan 1,50 m/detik.
- Bentuk penampang : Trapesium
- Angka kekasaran permukaan saluran Manning (n) = 0,013
- Kemiringan izin saluran memanjang >7,5%

Dari hasil perhitungan debit aliran rencana di atas dengan periode ulang atau kala ulang hujan 5 tahun, didapat nilai Q maksimal sebesar 0,39 m³/detik. Direncanakan saluran drainase untuk mengalirkan debit tersebut.

Tabel 3.29 Hasil Perhitungan Debit Aliran Rencana Metode Gumbel(lanjutan)

No	STA		C1	C2	C3	Fk	Cgab	I	Q
1	0+000	0+200	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	332,72	0,12
2	0+200	0+400	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	332,72	0,12
3	0+400	0+700	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	286,54	0,16
4	0+700	0+900	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	332,72	0,12
5	0+900	1+300	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	253,63	0,19
6	1+300	1+400	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	403,52	0,08
7	1+400	1+764	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	264,35	0,18
8	1+764	2+100	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	273,51	0,17
9	2+100	2+300	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	332,72	0,12
10	2+300	2+540	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	312,15	0,14
11	2+540	2+800	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	302,99	0,15
12	2+800	3+055	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	305,22	0,15
13	3+055	3+300	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	309,79	0,14
14	3+300	3+500	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	332,72	0,12
15	3+500	3+800	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	286,54	0,16
16	3+800	4+100	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	286,54	0,16
17	4+100	4+300	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	332,72	0,12
18	4+300	4+500	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	332,72	0,12
19	4+500	5+000	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	228,79	0,21
20	5+000	5+250	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	307,48	0,14
21	5+250	6+039	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1348	181,61	0,27

(Sumber : *Perhitungan,2019*)

1) Luas desain (Ad)

$$Ad = \frac{Q}{V_{ijin}} = \frac{0,39}{1,5} = 0,26 \text{ m}^2$$

2) Penampang ekonomis (A_e)

Berdasarkan pedoman drainase jalan Pd T-02-2006-B, kemiringan talud pada penampang saluran trapesium dengan debit $0,00 < 0,3725 < 0,75$ m³/detik, maka kemiringan talud digunakan 1:1.

$$A_e = b + 2 \cdot z \cdot y = 2 \cdot y \sqrt{z^2 + 1}$$

$$b + 2 \cdot (1) \cdot y = 2 \cdot y \sqrt{(1)^2 + 1}$$

$$b = (2 \cdot y \sqrt{(1)^2 + 1}) - (2 \cdot (1) \cdot y)$$

$$b = 0,8284 \cdot y$$

$$A_e = y \cdot (b + z \cdot y)$$

$$= y \cdot (0,8284 \cdot y + 1 \cdot y)$$

$$= 1,8284 \cdot y^2$$

3) Dimensi saluran (A)

$$A_d = A_e$$

$$0,26 = 1,8284 \cdot y^2$$

$$y = \sqrt{\frac{0,26}{1,8284}} = 0,377 \approx 0,4 \text{ m}$$

$$b = 0,8284 \cdot y$$

$$= 0,8284 \times 0,37 = 0,312 \approx 0,4 \text{ m}$$

$$t = b + 2 \cdot z \cdot y$$

$$= 0,312 + (2 \times 1 \times 0,377) = 1,066 \text{ m}$$

4) Jagaan/*free wall/weakling* (ruang bebas)

$$W = \sqrt{0,5 \times y}$$

$$= \sqrt{0,5 \times 0,377}$$

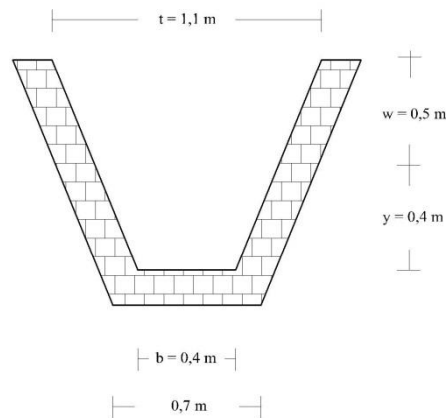
$$= 0,43 \sim 0,5 \text{ m}$$

5) Menentukan kecepatan saluran < kecepatan ijin, kemiringan saluran (i_s)

Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A_d}{P}$$

$$\begin{aligned}
 P &= b + 2y\sqrt{(1 + z^2)} \\
 &= 0,312 + 2 \times 0,377\sqrt{(1 + 1^2)} = 1,378 \text{ m} \\
 R &= \frac{0,26}{1,378} = 0,188 \text{ m} \\
 I_s &= 0,3\% \\
 V &= \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \\
 &= \frac{1}{0,013} \times 0,188^{\frac{2}{3}} \times 0,003^{\frac{1}{2}} = 1,38 \text{ m/detik} \\
 V &= 1,38 \text{ m/detik} < V_{ijin} = 1,5 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.30 Gambar Desain drainase samping

3.6.4 Perhitungan dimensi *box culvert*

Beberapa hal yang perlu diketahui sebelum menghitung besarnya dimensi *box culvert* yaitu adalah Intensitas curah hujan dan Debit limpasan. Berikut ini adalah perhitungannya.

a. Intensitas Curah Hujan

Besarnya intensitas curah hujan dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$I = \frac{R_t}{24} \times \left[\frac{24}{tc} \right]^{2/3}$$

Dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R_t = Frekuensi hujan

T_c = Waktu konsentrasi (jam)

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}} \\
 &= \frac{168,713}{24} \times \left(\frac{24}{0,75} \right)^{\frac{2}{3}} \\
 &= 70,85 \text{ mm/jam}
 \end{aligned}$$

Luas daerah pengaliran (A)

$L_1 = 14 \text{ m}$ (Jalan beton)

$L_2 = 2 \text{ m}$ (Bahu jalan)

$L_3 = 34 \text{ m}$ (Daerah sekitar jalan)

$A_1 = 14 \text{ m} \times 200 \text{ m} = 2800 \text{ m}^2$ (Jalan beton)

$A_2 = 2 \text{ m} \times 200 \text{ m} = 400 \text{ m}^2$ (Bahu jalan)

$A_3 = 34 \text{ m} \times 200 \text{ m} = 6800 \text{ m}^2$ (Daerah sekitar jalan)

$$\begin{aligned}
 A_{\text{total}} &= A_1 + A_2 + A_3 \\
 &= 2800 + 400 + 6800 \\
 &= 10000 \text{ m}^2 \\
 &= 0,01 \text{ km}^2
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Debit Limpasan

Debit limpasan adalah apabila intensitas hujan yang jatuh di suatu Daerah Aliran Sungai melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan-cekungan pada permukaan tanah. Setelah cekungan-cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir diatas permukaan tanah

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Dimana :

Q = Debit limpasan (m^3/jam)

C = Koefisien pengaliran

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran (km^2)

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

$$Q = 0,278 \times 0,35 \times 70,85 \text{ mm/jam} \times 0,01 \text{ km} = 0,068 \text{ m}^3/\text{detik}$$

c. Desain Dimensi *Box Culvert*

Desain dimensi *Box Culvert* pada wilayah ini dapat diketahui setelah didapatkan nilai Debit rencana. Perhitungan desain *box culvert* saluran yang akan direncanakan dapat dilihat pada perhitungan dibawah Diketahui:

$$Q = 0,068 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$V = 1,5 \text{ m/det}$$

Hitung penampang basah saluran A_d dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} A_d &= \frac{Q}{v} \\ A_d &= \frac{0,068 \text{ m}^3/\text{det}}{1,5 \text{ m/det}} \\ &= 0,045 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya hitung dimensi saluran *box culvert* yang direncanakan dengan bentuk persegi.

Diketahui :

$$A_d = 0,045 \text{ m}^2$$

$$n = 0,013$$

$$V = 1,5 \text{ m/detik}$$

1. Penampang ekonomis

$$b = 2 y$$

$$A_d = b \cdot y$$

$$0,045 \text{ m}^2 = 2 y \cdot y$$

$$0,045 \text{ m}^2 = 2y^2$$

$$0,045 \text{ m}^2 = 2 \cdot y^2$$

$$y = 0,106 \text{ m} = 0,2 \text{ m}$$

2. Lebar penampang bawah

$$b = 2y$$

$$= 2 \times 0,2 \text{ m}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

3. Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0,045}{b + 2y}$$

$$= \frac{0,045}{0,4 + 2 * 0,2}$$

$$= 0,056 \sim 0,1 \text{ m}$$

4. Kemiringan saluran

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$1,5 = \frac{1}{0,013} \times 0,1^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$I = 0,008$$

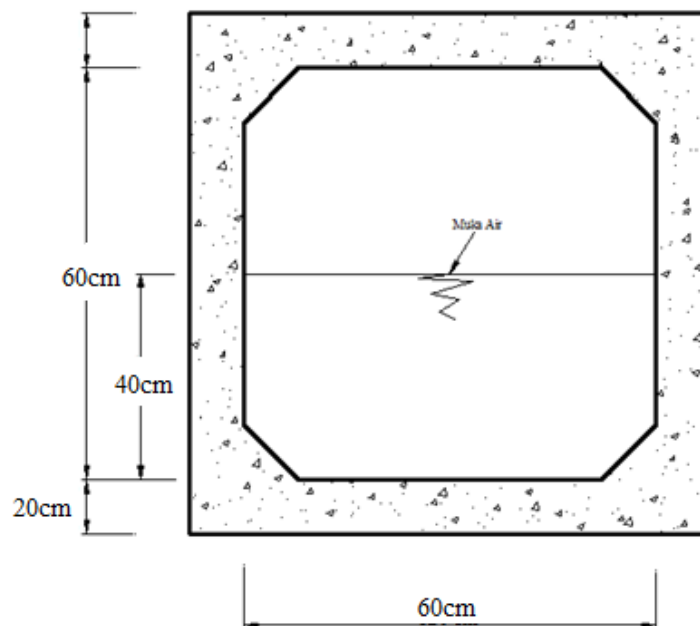
5. Tinggi jagaan

$$(w) = \sqrt{0,5 \times y}$$

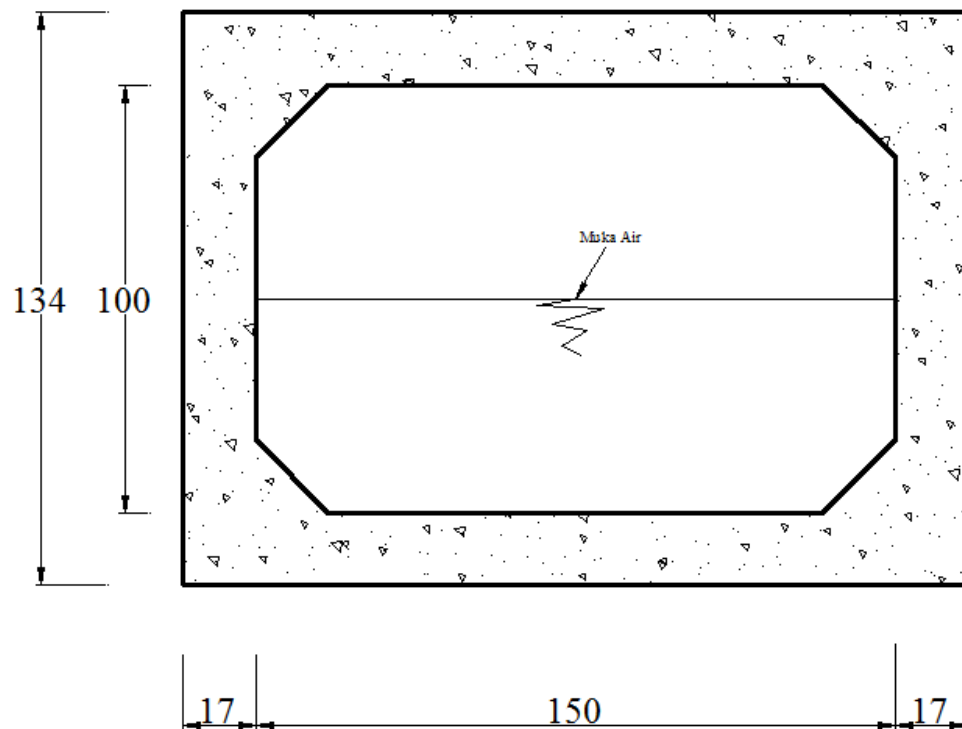
$$= 0,316 \sim 0,4 \text{ m}$$

Tinggi total box culvert adalah $H = y + w = 0,2 + 0,4 = 0,6$ meter

Dari hasil perhitungan maka dimensi *box culvert* seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 3.31 Penampang *Box Culvert* yang terencana



Gambar 3.32 Penampang *Box Culvert* pakai berdasarkan SNI

d. Perhitungan Pembebanan *Box Culvert*

1. Data teknis *Box Culvert*

- Mutu beton : $F_c = 25 \text{ Mpa}$
- Mutu baja : $F_y = B_j-24 = 240 \text{ Mpa}$
- Bj beton bertulang : $W_c = 25 \text{ Kn/m}^3$
- Bj air : 1
- Lebar *Box Culvert* (sisi dalam) : $l = 1,5 \text{ m}$
- Tinggi *Box Culvert* (sisi dalam) : $H = 1 \text{ m}$
- Tebal saluran : $h = 0,17 \text{ m}$
- Tebal overlay : $0,05 \text{ m}$
- Lebar saluran : $L = 1,84 \text{ m}$
- Lebar jalan : $B = 14 \text{ m}$
- Lebar bahu : $b = 2 \text{ m}$

2. Analisa beban

a) Beban sendiri

Faktor beban ultimate: 1,3

$$\begin{aligned} Q_{ms} &= 2 \times (1+h) \times h \times w_c \\ &= 2 \times (1+0,17) \times 0,17 \times 25 \text{ Kn/m}^3 \\ &= 9,945 \text{ Kn/m} \end{aligned}$$

Gaya geser akibat dan momen akibat beban sendiri

$$\begin{aligned} V_{ms} &= 1/2 \cdot Q_{ms} \cdot L \\ &= 1/2 \cdot 9,945 \times 1,84 \\ &= 9,149 \text{ Kn/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ms} &= 1/8 Q_{ms} \cdot L^2 \\ &= 1/8 \times 9,945 \times 1,84^2 \\ &= 4,208 \text{ Knm} \end{aligned}$$

b) Beban mati tambahan

Faktor beban ultimate : 1,3

B : 14 m

b : 2 m

Saluran dianalisis mampu menahan beban tambahan seperti:

- Lapisan perkerasan beton = 29,5 cm
- Air hujan seandainya kemiringan permukaan jalan tidak baik sehingga adanya genangan.

Tabel 3.30 Beban mati tambahan saluran

No	Jenis	Lebar	Tebal	Berat (kn/m ²)	Beban (kn/m)
1	Perkerasan beton	1,84	0,295	25	13,57
2	Air hujan	1,84	0,02	9,8	0,36
Q _{ma}					13,93

(Sumber : perhitungan 2019)

Gaya geser dan momen akibat beban mati tambahan

Lebar saluran (L) = 1,84 m

$$V_{ma} = 1/2 \cdot Q_{ma} \cdot L = 12,81 \text{ kn/m}$$

$$M_{ma} = 1/8 Q_{ma} \cdot L^2$$

$$=5,89 \text{ knm}$$

c) Beban lalu lintas

Beban lajur

Faktor *ultimate* : 1,0

Beban kendaraan yang berupa beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi rata (*uniformly distributed load*). UDL dan garis beban (*knife edge load*), KEL seperti pada gambar UDL yang tergantung pada panjang total L yang dibebani lalu lintas.

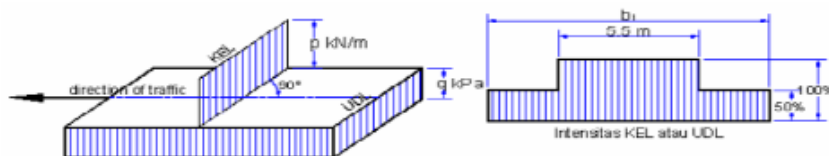
$q = 8 \text{ kpa}$ untuk $L = < 30 \text{ m}$

$$q = 8 \times (0,5 + 15/L)$$

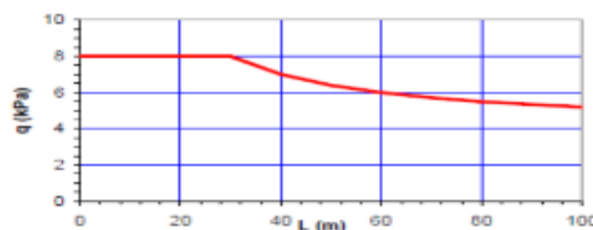
Untuk panjang bentang $(L) = 14 \text{ m}$, $q = 8 \text{ kpa}$

KEL mempunyai intensitas $P = 44 \text{ Kn/m}$

Faktor beban dinamis (*Dynamic Load Allowance*) untuk KEL diambil sebagai berikut:



Gambar 3.33 Beban lajur “D”



Gambar 3.34 Intensitas Uniformly Load (UDL)

DLA = 0,4 Untuk $L \leq 50 \text{ m}$

DLA = $0,4 - 0,00025 \times (L - 50)$ Untuk $50 < L < 90 \text{ m}$

DLA = 0,3 Untuk $L \geq 90 \text{ m}$

Lebar Saluran (L) = 1,5 m ; DLA = 0,4

$$\text{Beban lajur pada saluran } Q_{td} = q \times s = 12 \text{ kn/m}$$

$$P_{td} = (1 + \text{DLA}) \times P \times L = 92,4 \text{ kn/m}$$

Gaya geser dan akibat beban lajur “D”

$$\begin{aligned} V_{td} &= 1/2 \cdot (Q_{td} \cdot L + P_{td}) \\ &= 55,2 \text{ kn/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{td} &= 1/8 \cdot Q_{td} \cdot L^2 + 1/4 P_{td} \cdot L \\ &= 38,03 \text{ kn/m} \end{aligned}$$

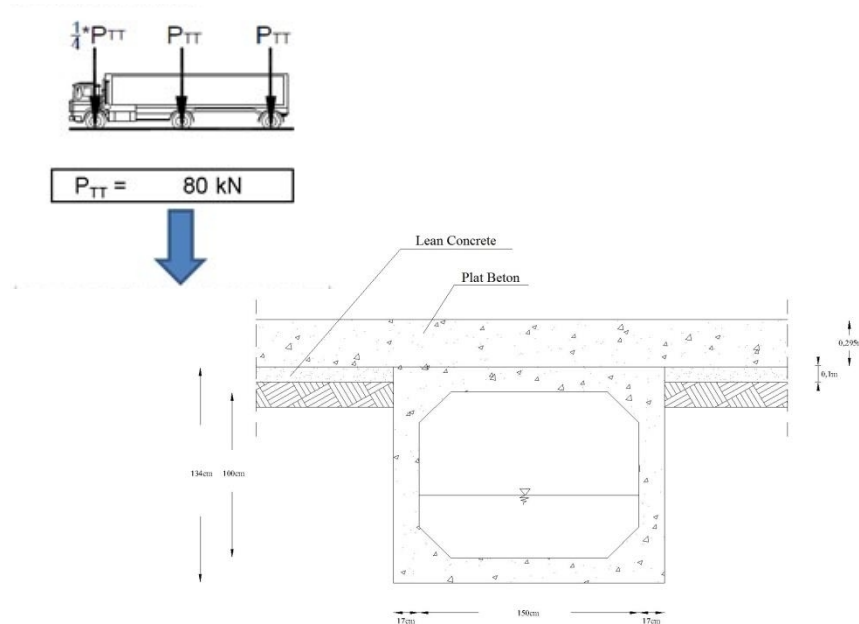
Beban Truk

Faktor beban ultimate beban hidup roda : $K_{tt} = 1.0$

Faktor beban dinamis pembebanan truck : $T = 140 \text{ KN}$

Gaya geser maksimum akibat beban , T

Momen maksimum akibat beban , D



Gambar 3.35 Pembebanan truk

$$\begin{aligned} V_{tt} &= 1/2 \times P_{tt} \\ &= 0,5 \times 140 \text{ kn} \\ &= 70 \text{ kn} \end{aligned}$$

$$M_{tt} = 1/2 \times P_{tt} \times 1/2 \times L$$

$$= 0,5 \times 140 \text{ kn} \times 0,5 \times 1,5$$

$$= 52,5 \text{ kn}$$

Gaya geser dan momen yang terjadi akibat pembebanan lalu lintas diambil yang terbesar antara pembebanan berdasarkan lajur dan pembebanan berdasarkan beban truk. Dari perhitungan yang ada diambil berdasarkan beban truk yaitu: $V_{tt} = 70 \text{ kn}$, $M_{tt} = 52,5 \text{ kn}$.

d) Kombinasi beban ultimate

Tabel kombinasi ultimate dan kombinasi beban ultimate dapat dilihat pada tabel 3.31 dan tabel 3.32

Tabel 3.31 Kombinasi beban ultimate

No	Beban	faktor beban	M (knm)	MU (knm)
1	Berat sendiri (MS)	1,3	4,208	5,47
2	Beban Mati Tambahan (MA)	1,3	5,89	7,65
3	Beban Lajur "D"	1	38,03	38,03
Total				51,15

(Sumber : perhitungan 2019)

Tabel 3.32 Kombinasi geser ultimate

No	Beban	faktor beban	V (kn/m)	VU (knm)
1	Berat sendiri (MS)	1,3	9,149	11,89
2	Beban Mati Tambahan (MA)	1,3	12,81	16,65
3	Beban Lalu lintas	1	55,2	55,2
Total				83,74

(Sumber : perhitungan 2019)

3.6.5 Penulangan *box culvert*

a. Tulangan arah X (Pembagi)

Mutu beton (f_c')	= 25 mpa
Mutu baja (f_y)	= BJ-50 , $f_y = 390 \text{ mpa}$
Diameter tulangan	= D 16
Lebar pelat yg ditinjau	= 1000 mm

Tebal pelat <i>box culvert</i> (h)	= 170 mm
Tebal selimut beton (d')	= 40 mm
Lebar sisi luar (b')	= 1840 mm
Tebal efektif pelat (d)	= h-d = 130 mm

Rasio Tulangan arah X

$$\frac{MU}{\phi bd} = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1.7 \cdot f_{c'}}\right)$$

$$\frac{51,15 \times 10^6}{0.8 \cdot 1840 \cdot 130^2} = \rho \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot 390}{1.7 \cdot 25}\right)$$

$$2,056 = 390 \rho - 3578,823 \rho^2$$

$$\rho = 0,0055$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \frac{0,85 \times \beta'' f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \frac{0,85 \times 0,85 \cdot 25}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,02105 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \text{ (oke).}$$

Luas tulangan

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0101 \times 1000 \times 130 \\ &= 1313 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2_{\text{tul}} \times \frac{b}{A_s} \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times \frac{1000}{1313} = 153 \sim 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2_{\text{tul}} \times \frac{b}{S} \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times \frac{1000}{150} = 1340 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{As ada} > \text{As perlu (OK)}$$

Digunakan $\phi 16$ -150 mm

b. Tulangan arah Y (Pokok)

Mutu beton (f_c')	= 25 mpa
Mutu baja (f_y)	= BJ-50 , $f_y = 390$ mpa
Diameter tulangan	= D 16
Lebar pelat yg dtinjau	= 1000 mm
Tebal pelat <i>box culvert</i> (h)	= 170 mm
Tebal selimut beton (d')	= 40mm
Lebar sisi luar (b')	= 1840 mm
Tebal efektif pelat (d)	= $h-d = 130$ mm

$$\frac{MU}{\phi b d} = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1.7 \cdot f_c'}\right)$$

$$\frac{51,15 \times 10^6}{0.8 \cdot 1840 \cdot 130^2} = \rho \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot 390}{1.7 \cdot 25}\right)$$

$$2,056 = 390 \rho - 3578,823 \rho^2$$

$$\rho = 0,0055$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \frac{0,85 \times 6'' f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \frac{0,85 \times 0,85 \cdot 25}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,02105 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \text{ (oke).}$$

Luas tulangan

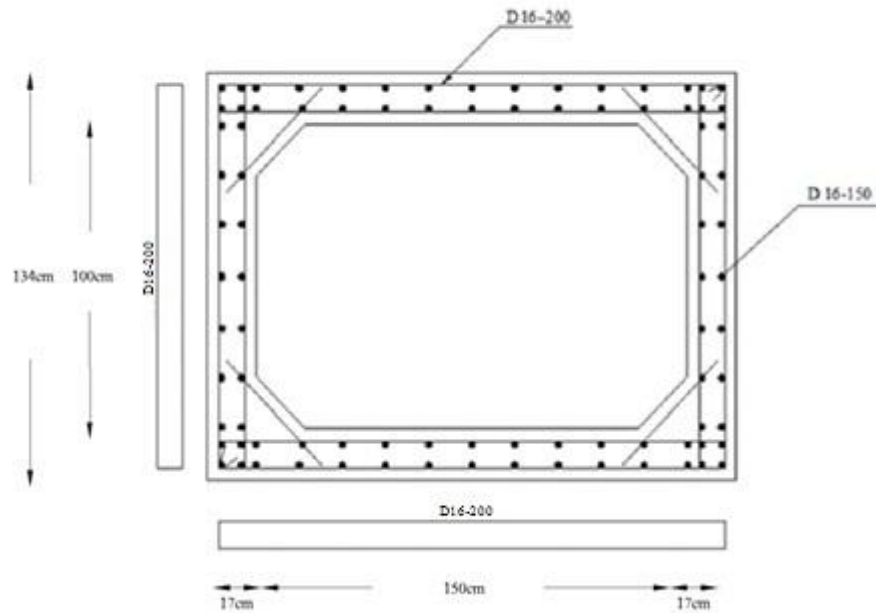
$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0101 \times 1000 \times 130 = 1313 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2_{\text{tul}} \times \frac{b}{A_s} \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times \frac{1000}{1313} = 215 \sim 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2_{\text{tul}} \times \frac{b}{S} \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times \frac{1000}{200} = 1417 \text{ mm} \end{aligned}$$

As ada > As perlu (OK)

Digunakan $\phi 16-200$ mm



Gambar 3.36 Penulangan *box culvert*

3.7 Perhitungan Volume Galian dan Timbunan

Perhitungan volume galian dan timbunan pada jalan dapat dilihat pada Tabel 3.33

Tabel 3.33 Volume Galian dan Timbunan

Antar STA	Luas Penampang Melintang (m ²)				Jarak	Volume (m ³)	
	Galian	Timbunan	G _{rata-rata}	T _{rata-rata}	(m)	Galian	Timbunan
	1	2	3	4	5	3x5	4x5
STA 0+000	21,597		17,6065	0,588	100	1760,65	58,8
STA 0+100	13,616	1,176					
			11,0355	0,588	100	1103,55	58,8
STA 0+200	8,455	0	16,1175	0,454	100	1611,75	45,35
STA 0+300	23,78	0,907	17,357	12,219	100	1735,7	1221,85
STA 0+400	10,934	23,53	11,287	11,765	100	1128,7	1176,5
STA 0+500	11,64		11,3535	0,000	100	1135,35	0
STA 0+600	11,067		5,5335	29,657	100	553,35	2965,65
STA 0+700		59,313	2,267	38,395	100	226,7	3839,5
STA 0+800	4,534	17,477	2,516	26,181	100	251,6	2618,05
STA 0+900	0,498	34,884	12,6125	17,442	100	1261,25	1744,2
STA 1+000	24,727		14,138	3,631	100	1413,8	363,1
STA 1+100	3,549	7,262					

			8,085	7,348	100	808,5	734,75
STA 1+200	12,621	7,433					
Lanjutan...			17,8015	3,717	100	1780,15	371,65
STA 1+300	22,982		20,301	6,450	100	2030,1	645
STA 1+400	17,62	12,9	12,948	10,350	100	1294,8	1035
STA 1+500	8,276	7,8	19,978	12,364	100	1997,8	1236,4
STA 1+600	31,68	16,928	26,878	8,464	100	2687,8	846,4
STA 1+700	22,076		19,0095	0,000	100	1900,95	0
STA 1+800	15,943		9,247	1,879	100	924,7	187,9
STA 1+900	2,551	3,758	8,161	1,879	100	816,1	187,9
STA 2+000	13,771		17,918	0,000	100	1791,8	0
STA 2+100	22,065		21,872	0,000	100	2187,2	0
STA 2+200	21,679		22,7145	0,476	100	2271,45	47,55
STA 2+300	23,75	0,951	12,281	9,315	100	1228,1	931,5
STA 2+400	0,812	17,679	0,8945	13,658	100	89,45	1365,8
STA 2+500	0,977	9,637	3,9595	4,819	100	395,95	481,85

STA 2+600	6,942						
			6,799	6,630	100	679,9	662,95
STA 2+700	6,656	13,259					
			26,8725	6,630	100	2687,25	662,95
STA 2+800	47,089						
			23,5445	23,489	100	2354,45	2348,85
STA 2+900		46,977					
			1,0315	28,708	100	103,15	2870,75
STA 3+000	2,063	10,438					
			19,901	5,219	100	1990,1	521,9
Lanjutan...							
STA 3+100	37,739						
			19,09	6,821	100	1909	682,1
STA 3+200	0,441	13,642					
			32,1145	6,821	100	3211,45	682,1
STA 3+300	63,788						
			36,4405	3,830	100	3644,05	383
STA 3+400	9,093	7,66					
			9,6135	31,855	100	961,35	3185,5
STA 3+500	10,134	56,05					
			7,574	31,292	100	757,4	3129,2
STA 3+600	5,014	6,534					
			3,3175	7,276	100	331,75	727,6
STA 3+700	1,621	8,018					
			20,118	4,009	100	2011,8	400,9
STA 3+800	38,615						
			40,343	0,008	100	4034,3	0,75
STA 3+900	42,071	0,015					
			29,6725	8,266	100	2967,25	826,55
STA 4+000	17,274	16,516					
			8,845	16,882	100	884,5	1688,15

STA 4+100	0,416	17,247					
			3,9375	10,508	100	393,75	1050,75
STA 4+200	7,459	3,768					
			22,5305	1,884	100	2253,05	188,4
STA 4+300	37,602						
			25,767	1,178	100	2576,7	117,75
STA 4+400	13,932	2,355					
			7,3285	14,798	100	732,85	1479,75
STA 4+500	0,725	27,24					
			4,266	15,082	100	426,6	1508,15
STA 4+600	7,807	2,923					
			7,6185	1,462	100	761,85	146,15
STA 4+700	7,43						
			4,414	1,750	100	441,4	175
Lanjutan...							
STA 4+800	1,398	3,5					
			8,6155	1,750	100	861,55	175
STA 4+900	15,833						
			16,985	0,259	100	1698,5	25,85
STA 5+000	18,137	0,517					
			28,9175	6,851	100	2891,75	685,1
STA 5+100	39,698	13,185					
			38,724	6,593	100	3872,4	659,25
STA 5+200	37,75						
			20,872	7,924	100	2087,2	792,4
STA 5+300	3,994	15,848					
			20,9655	13,895	100	2096,55	1389,5
STA 5+400	37,937	11,942					
			36,5535	5,971	100	3655,35	597,1
STA 5+500	35,17						

			21,031	9,415	100	2103,1	941,45
STA 5+600	6,892	18,829					
			5,935	17,048	100	593,5	1704,75
STA 5+700	4,978	15,266					
			3,5255	8,809	100	352,55	880,9
STA 5+800	2,073	2,352					
			1,981	5,037	100	198,1	503,7
STA 5+900	1,889	7,722					
			2,9415	5,202	100	294,15	520,15
STA 6+000	3,994	2,681					
			5,4775	1,341	39	213,6225	52,2795
STA 6+039	6,961						
				TOTAL	6039	91419,473	54530,13

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2019)