

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perencanaan Geometrik Jalan

Perancangan geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang dititik beratkan pada alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal sehingga dapat memenuhi fungsi dasar dari jalan yang memberikan kenyamanan yang optimal pada arus lalu lintas sesuai dengan kecepatan yang direncanakan. Secara umum perencanaan geometrik terdiri dari aspek-aspek perencanaan *trase* jalan, badan jalan yang terdiri dari bahu jalan dan jalur lalu lintas, tikungan drainase, kelandaian jalan serta galian dan timbunan. Tujuan dari perencanaan geometrik jalan adalah menghasilkan infrastruktur yang aman, efisiensi pelayanan arus lalu lintas dan memaksimalkan rasio tingkat penggunaan atau biaya pelaksanaan. (Silvia Sukirman, 1999).

Perencanaan geometrik jalan adalah perencanaan rute dari suatu ruas jalan secara lengkap, meliputi beberapa elemen yang disesuaikan dengan kelengkapan dan data yang ada atau tersedia dari hasil survei lapangan dan telah dianalisis, serta mengacu pada ketentuan yang berlaku. (L. Herdansin Shirley, 2000).

Perencanaan geometrik jalan merupakan suatu perencanaan rute dari suatu ruas jalan secara lengkap, menyangkuti beberapa komponen jalan yang dirancang berdasarkan kelengkapan data dasar yang didapatkan dari suatu hasil survei lapangan, kemudian dianalisis berdasarkan acuan perencanaan yang berlaku. Acuan perencanaan yang dimaksud adalah sesuai dengan standar perencanaan geometrik yang dianut di Indonesia. (Hamirhan Saodang, 2010).

2.2 Klasifikasi Jalan

2.2.1 Klasifikasi Menurut Fungsi Jalan

Klasifikasi menurut fungsi jalan terdiri dari 4 golongan yaitu :

- a. Jalan Arteri adalah jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
- b. Jalan Kolektor adalah jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- c. Jalan lokal adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
- d. Jalan Lingkungan adalah jalan yang hanya melayani angkutan lingkungan dengan ciri-ciri seperti tabel berikut.

Tabel 2.1 Ciri-Ciri Jalan Lingkungan

Jalan	Ciri-Ciri
Lingkungan	1. Pekerjaan jarak dekat. 2. Kecepatan rata-rata rendah.

(sumber : UU No. 38 tahun 2004)

2.2.2 Klasifikasi Jalan Menurut Kelas Jalan

Dalam penentuan kelas jalan sangat di perlukan adanya data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR), baik itu data jalan sebelumnya bila jalan yang akan di rencanakan tersebut merupakan peningkatan atau merupakan data yang didapat dari jalan sekitar bila jalan akan dibuat merupakan jalan baru.

Salah satu penentuannya adalah dengan cara menghitung LHR akhir unsur rencana. LHR akhir umur rencana adalah jumlah perkiraan kendaraan dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP) yang akan dicapai pada akhir tahun rencana.

Tabel 2.2 Klasifikasi Jalan sesuai dengan penggunaannya

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi kendaraan, (m)			Muatan Sumbu Terberat (MST) (ton)
		Lebar	Panjang	Tinggi	
Kelas I	Arteri, Kolektor	$\leq 2,55$	$\leq 18,0$	$\leq 4,2$	10
Kelas II	Arteri, Kolektor, Lokal dan Lingkungan	$\leq 2,55$	$\leq 12,0$	$\leq 4,2$	8
Kelas III		$\leq 2,2$	$\leq 9,0$	$\leq 3,5$	8
Kelas Khusus	Arteri	$> 2,55$	$> 18,0$	$\leq 4,2$	> 10

(sumber : Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

2.2.3 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

Klasifikasi medan jalan ditentukan sebagai berikut :

- Medan jalan diklasifikasikan berdasarkan kondisi sebagian besar kemiringan medan yang diukur tegak lurus garis kontur.
- Klasifikasi menurut medan jalan untuk perencanaan geometrik dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 2.3 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

No.	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan medan (%)
1	Datar	D	< 10
2	Perbukitan	B	10-25
3	Pegunungan	G	> 25

(sumber : Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

Keseragaman kondisi medan yang diproyeksikan harus mempertimbangkan keseragaman kondisi medan menurut rencana *trase* jalan dengan mengabaikan perubahan pada bagian kecil dari segmen jalan tersebut.

2.2.4 Klasifikasi Menurut Volume Lalu Lintas

Klasifikasi jalan menurut volume lalu lintas sesuai dengan Pedoman Desain Geometrik 2021 sebagai berikut.

Tabel 2.4 Klasifikasi Menurut Volume Lalu Lintas

No.	Fungsi	Kelas	LHR dalam smp
1	Utama	I	> 20.000
2	Sekunder	II A	6.000 sampai 20.000
		II B	1.500 sampai 8.000
		II C	< 20.000
3	Penghubung	III	-

(sumber : Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

Sambungan dari tabel 2.4 Klasifikasi menurut Volume Lalu Lintas

- a. Kelas I : Kelas jalan ini mencakup semua kelas jalan utama dan dimaksudkan untuk dapat melayani lalu lintas cepat dan berat. Dalam kondisi lalu lintasnya tidak terdapat kendaraan lambat dan kendaraan tak bermotor. Jalan raya 11 dalam kelas jalan ini merupakan jalan-jalan raya berlajur banyak dengan konstruksi perkerasan dari jenis yang terbaik dalam arti tingginya tingkatan dalam pelayanan lalu lintas.
- b. Kelas II : Kelas jalan ini mencakup semua jalan-jalan sekunder. Dalam komposisi lalu lintas terdapat lalu lintas lambat. Kelas jalan ini, selanjutnya berdasarkan komposisi dan sifat lalu lintasnya, dibagi dalam tiga kelas, yaitu : II A, II B dan II C.
 - Kelas II A

Jalan Kelas II A adalah jalan-jalan raya sekunder dua lajur atau lebih dengan konstruksi permukaan jalan dari sejenis aspal beton (*hot mix*) atau yang setaraf, di mana dalam komposisi lalu lintasnya terdapat kendaraan lambat dan tidak bermotor. Untuk lalu lintas lambat disediakan jalur tersendiri.

- Kelas II B

Jalan Kelas II B adalah jalan-jalan raya sekunder dua jalur dengan konstruksi permukaan jalan dari penetrasi berganda atau yang setaraf di mana dalam komposisi lalu lintasnya terdapat kendaraan lambat tanpa kendaraan tidak bermotor.

- Kelas II C

Jalan Kelas II C adalah jalan-jalan raya sekunder dua jalur dengan konstruksi permukaan jalan dari penetrasi tunggal di mana dalam komposisi lalu lintasnya terdapat kendaraan lambat dan kendaraan tidak bermotor.

- c. Kelas III : Kelas jalan ini mencakup semua jalan-jalan penghubung dan merupakan konstruksi jalan berjalur tunggal atau dua. Konstruksi permukaan jalan yang paling tinggi adalah peleburan dengan aspal.

2.3 Bagian – bagian Jalan

Adapun bagian-bagian jalan adalah sebagai berikut.

1. Lebar Jalur (W_c)

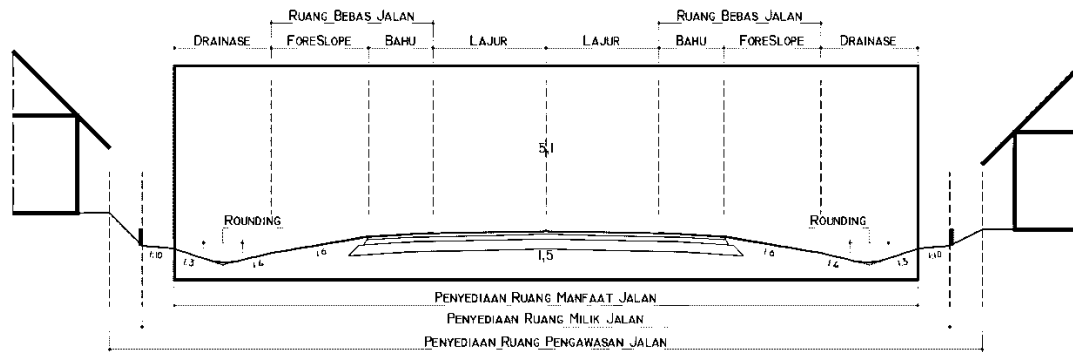
Lebar jalur jalan yang dilewati lalu lintas, tidak termasuk bahu jalan.

2. Lebar Bahu (W_s)

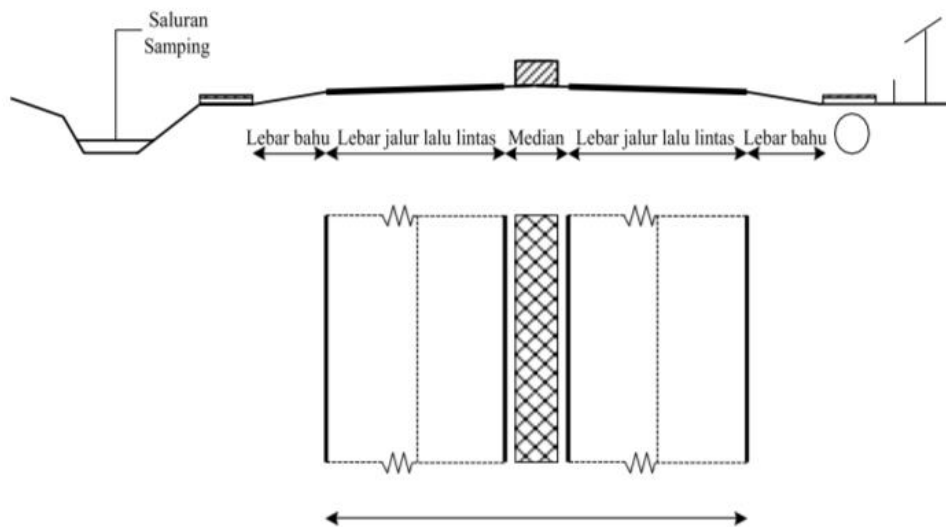
Lebar bahu di samping jalur lalu lintas direncanakan sebagai ruang untuk kendaraan yang sekali-sekali berhenti, pejalan kaki dan kendaraan lambat.

3. Median (M)

Daerah yang memisahkan arah lalu lintas pada suatu segmen jalan, terletak pada bagian tengah (direndahkan / ditinggikan).



Gambar 2.1 Tipikal Potongan Melintang Normal dan Denah untuk 2/2 TT



Gambar 2.2

Gambar 2. 2 Tipikal Potongan Melintang Normal

Tabel 2.5 Penentuan Lebar Jalur dan Bahu Jalan (m)

VLHR smp/hari	Arteri				Kolektor				Lokal			
	Ideal		Minimum		Ideal		Minimum		Ideal		Minimum	
	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu
<3.000	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,0	4,5	1,0
3.000 - 10.000	7,0	2,0	6,0	1,5	7,5	1,5	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,0
10.001 - 25.000	7,0	2,0	7,0	2,0	7,0	2,0	Mengacu Pada Persyaratan Ideal		Tidak Ditentukan			
>25.000	2nx3,5	2,0	2x7,0	2,0	2nx3,5	2,0						

$2n \times 3,5 \gg 2 = 2$ Jalur, $n =$ Jumlah Lajur per Jalur, $3,5 =$ Lebar Per Lajur

(sumber : Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

2.3.1 Ruang Penguasaan Jalan

a. Ruang Manfaat Jalan (RUMAJA)

Ruang manfaat jalan adalah ruang yang dimanfaatkan untuk konstruksi jalan dan terdiri atas badan jalan, saluran tepi jalan dan ambang pengaman. Badan jalan meliputi lajur lalu lintas dengan atau tanpa jalur pemisah dan bahu jalan :

- Lebar antara batas ambang pengamanan konstruksi jalan ke dua sisi jalan.
- Tinggi 5 meter di atas permukaan perkerasan pada sumbu jalan.
- Kedalaman ruang bebas 1,50 meter di bawah muka jalan.

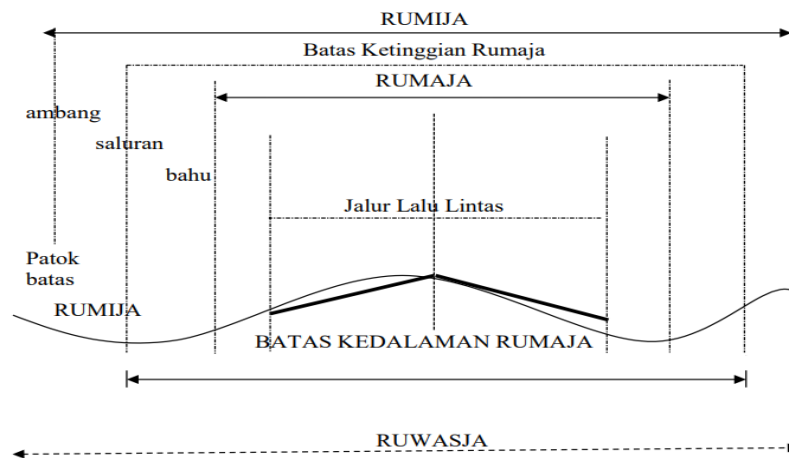
b. Ruang Milik Jalan (RUMIJA)

Ruang milik jalan adalah sejalur tanah dengan lebar tertentu di luar ruang manfaat jalan (RUMAJA) yang dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan keamanan pengguna jalan. Ruang milik jalan (RUMIJA) meliputi seluruh ruang manfaat jalan dan ruang yang diperuntukkan bagi pelebaran jalan dan penambahan jalur lalu lintas kemudian hari serta kebutuhan ruangan untuk pengaman jalan. Ruang milik jalan juga merupakan ruang sepanjang jalan yang juga dibatasi oleh lebar dan tinggi

tertentu yang dikuasai oleh pembina jalan dengan suatu hak tertentu, dan biasanya pada setiap jarak 1 km dipasang patok DMJ berwarna kuning. Ruang milik jalan adalah ruang dibatasi lebar yang sama dengan Rumaja ditambah ambang pengamanan konstruksi jalan setinggi 5 meter dan kedalaman 1,5 meter.

c. Ruang Pengawasan Jalan (RUWASJA)

Ruang pengawasan jalan adalah ruang pada jalan yang penggunaannya diawasi oleh penyelenggara jalan agar tidak mengganggu pandangan pengemudi, konstruksi bangunan, dan fungsi jalan.



Gambar 2.3 Rumaja, Rumija, Ruwasja di Lingkungan Antar Kota

2.4 Parameter Perencanaan Geometrik Jalan

2.4.1 Kendaraan Rencana

Kendaraan rencana adalah kendaraan yang dimensi dan radius putarnya dipakai sebagai acuan dalam perencanaan geometrik. Dilihat dari bentuk, ukuran, dan daya dari kendaraan-kendaraan yang mempergunakan jalan, kendaraan-kendaraan tersebut dikelompokkan menjadi :

a. Kendaraan Ringan / Kecil (LV)

Kendaraan ringan / kecil adalah kendaraan bermotor ber as dua dengan empat roda dan dengan jarak as 2,0 – 3,0 m (meliputi : mobil penumpang, oplet, mikro bus, *pick up*, dan truk kecil sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

b. Kendaraan Sedang (MHV)

Kendaraan bermotor dengan dua gandar, dengan jarak 3,5 – 5,0 m (termasuk bus kecil, truk dua as dengan enam roda, sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

c. Kendaraan Berat / Besar (LB-LT)

1. Bus Besar (LB)

Bus dengan dua atau tiga gandar dengan jarak as 5,0 – 6,0 m.

2. Truk Besar (LT)

Truk tiga gandar dan kombinasi tiga, jarak gandar (gandar pertama kedua) < 3,5 m (sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

d. Sepeda Motor (MC)

Kendaraan bermotor dengan 2 atau 3 roda (meliputi : sepeda motor dan kendaraan roda 3 sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

e. Kendaraan Tak Bermotor (UM)

Kendaraan dengan roda yang digerakkan oleh orang atau hewan (meliputi : sepeda, becak, kereta kuda, dan kereta dorong sesuai sistem klasifikasi Bina Marga).

Tabel 2.6 Dimensi Kendaraan Rencana

Kategori Kendaraan Rencana	Dimensi Kendaraan (cm)			Tonjolan (cm)		Radius Putar (cm)		Radius Tonjolan (cm)
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang	Min	Maks	
Kecil	130	210	580	90	150	420	730	780
Sedang	410	260	1210	210	240	740	1280	1410
Besar	410	260	2100	90	90	290	1400	1370

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

2.4.2 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang dipilih untuk keperluan perencanaan setiap bagian jalan raya seperti tikungan, kemiringan jalan, jarak pandang, atau kecepatan maksimal yang diizinkan sehingga tidak menimbulkan bahaya.

Tabel 2.7 Kecepatan Rencana V_R , Sesuai dengan Klasifikasi Fungsi dan Klasifikasi Medan Jalan

Fungsi	Kecepatan Rencana V_r , Km/Jam		
	Datar	Bukit	Pegunungan
Arteri	70-120	60-80	40-70
Kolektor	60-90	50-60	30-50
Lokal	40-70	30-50	20-30

(sumber : Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

2.4.3 Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas yang tinggi membutuhkan lebar perkerasan jalan yang lebih lebar, sehingga tercipta kenyamanan dan keamanan. Sebaliknya, jalan yang terlalu lebar untuk volume lalu lintas yang rendah cenderung membahayakan, karena pengemudi cenderung mengemudikan kendaraannya pada kecepatan yang lebih tinggi sedangkan kondisi jalan belum tentu memungkinkan.

a. Satuan Mobil Penumpang (SMP)

Satuan arus lalu lintas, di mana arus dari berbagai tipe kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan emp.

Tabel 2.8 Satuan Mobil Penumpang

Jenis Kendaraan	Nilai SMP
Sepeda	0,5
Mobil penumpang/Sepeda Motor	1,0
Truk Ringan (< 5 ton)	2,0
Truk Sedang (> 5 ton)	2,5

Truk Berat (> 10 ton)	3,0
Bus	3,0
Kendaraan Tak Bermotor	7,0

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

b. Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP)

Faktor konversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalu lintas (untuk mobil penumpang dan kendaraan ringan lainnya, emp = 1,0).

Tabel 2.9 Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)

No.	Jenis Kendaraan	Datar/Perbukitan	Pegunungan
1	Sedan, <i>Jeep Station</i> <i>Wagon</i>	1,0	1,0
2	<i>Pick Up</i> , Bus Kecil, Truk Kecil	1,2 – 2,4	1,9 – 3,5
3	Bus dan Truk Besar	1,2 – 5,0	2,2 – 6,0

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

a. Faktor (F)

Faktor F adalah variasi tingkat lalu lintas per 15 menit dalam satu jam.

b. Faktor VLHR (K)

Faktor untuk mengubah volume lalu lintas pada jam sibuk tahun rencana lalu lintas, dinyatakan dalam SMP/jam, dihitung dengan rumus :

$$VJR = VLHR \times \frac{K}{F}$$

VJR digunakan untuk menghitung jumlah lajur jalan dan fasilitas lalu lintas lainnya yang diperlukan.

Tabel 2.10 Penentuan Faktor K dan F Berdasarkan Volume Lalu Lintas

VLHR	FAKTOR-K (%)	FAKTOR-F (%)
>50.000	4-6	0,9-1
30.000 – 50.000	6-8	0,8-1
10.000 – 30.000	6-8	0,8-1
5.000 – 10.000	8-10	0,6-0,8
1.000 – 5.000	10-12	0,6-0,8
<1.000	12-16	<0,6

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

a. Kapasitas (C)

Volume lalu lintas maksimum (mantap) yang dapat mempertahankan (tetap) pada suatu bagian jalan dalam kondisi tertentu (misalnya : rencana geometrik, lingkungan, komposisi lalu lintas dan sebagainya).

b. Derajat Kejenuhan (DS) Rasio volume lalu lintas terhadap kapasitas (biasanya dihitung per jam).

2.4.4 Jarak Pandang

Jarak pandang adalah suatu jarak yang diperlukan oleh seorang pengemudi pada saat mengemudi sedemikian sehingga jika pengemudi melihat suatu halangan yang membahayakan pengemudi dapat melakukan sesuatu untuk menghindari bahaya tersebut dengan aman. Syarat jarak pandang yang diperlukan dalam suatu perencanaan jalan raya untuk mendapatkan keamanan yang setinggi-tingginya bagi lalu lintas adalah sebagai berikut :

a. Jarak Pandang Henti (Jh)

Jarak pandang henti adalah jarak minimum yang diperlukan pengemudi untuk menghentikan kendaraannya setelah melihat adanya halangan pada jalur yang dilaluinya. Jarak ini merupakan dua jarak yang ditempuh

sewaktu melihat benda hingga menginjak rem dan jarak untuk berhenti setelah menginjak rem. Jarak pandang henti terdiri atas 2 elemen jarak yaitu :

1) Jarak tanggap

Jarak tanggap adalah jarak yang ditempuh oleh kendaraan sejak pengemudi melihat suatu halangan yang menyebabkan ia harus berhenti sampai saat pengemudi menginjak rem.

2) Jarak pengereman

Jarak pengereman adalah jarak yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti. Jarak minimum ini harus dipenuhi dalam setiap bagian jalan raya, besar yang diperlukan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.11 Jarak Pandang Henti Minimum

V (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jh minimum (m)	250	175	120	75	55	40	27	16

Jarak Pandang Henti (Jh) dalam satuan meter, dapat dihitung dengan rumus

$$Jh = 0,694 V_R + 0,004 \frac{V_R^2}{f_p}$$

Dimana :

V_R = Kecepatan Rencana (km/jam)

f_p = Koefisien gesek memanjang perkerasan jalan aspal, ditetapkan 0,35 – 0,55

Untuk jalan dengan kelandaian tertentu :

$$Jh = 0,694 + \frac{V_R^2}{f_p \pm L}$$

Di mana :

Jh = Jarak pandang henti (m)

V_R = Kecepatan Rencana (km/jam)

f_p = Koefisien gesek memanjang perkerasan jalan aspal, ditetapkan 0,35 – 0,55

L = Landai jalan dalam (%) dibagi 100

b. Jarak Pandang Mendahului (J_d)

Jarak pandang mendahului adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain di depannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke jalur semula. Jarak pandang mendahului diukur berdasarkan asumsi tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan adalah 105 cm. Jarak kendaraan mendahului dengan kendaraan datang dan jarak pandang mendahului sesuai dengan V_r dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.12 Jarak Kendaraan Mendahului dengan Kendaraan Datang

V (km/jam)	50-65	65-80	80-95	95-110
Jh minimum (m)	250	175	120	75

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

Tabel 2.13 Jarak Pandang Mendahului berdasarkan V_r

V (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
J_d	800	675	550	350	250	200	150	100

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

Jarak pandang mendahului (J_d), dalam satuan meter di tentukan sebagai berikut :

$$Jd = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

$$d_1 = 0,278 t_1 \left(V - m + \frac{at_1}{2} \right)$$

$$d_1 = 0,278 \cdot V \cdot t_2$$

$$d_3 = \text{diambil } 30 - 100 \text{ meter}$$

(berdasarkan buku dasar-dasar perencanaan geometrik jalan, Silvia Sukirman, Penerbit Nova).

Dimana :

d_1 = jarak yang ditempuh selama waktu tanggap (m)

d_2 = jarak yang ditempuh selama mendahului sampai dengan kembali ke lajur semula (m)

d_3 = jarak antara kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai (m)

d_4 = jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang datang dari arah berlawanan, yang besarnya diambil sama dengan $213 d_2$ (m)

2.5 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal. Alinyemen horizontal dikenal juga dengan situasi jalan atau *trase* jalan. Alinyemen horizontal terdiri dari garis-garis lurus yang dihubungkan dengan garis lengkung. Garis lengkung tersebut terdiri dari busur lingkaran ditambah busur peralihan saja ataupun busur lingkaran saja. (Silvia Sukirman, 1999).

Pada perencanaan alinyemen horizontal, umumnya akan ditemui dua jenis dari bagian jalan yaitu bagian lurus dan bagian lengkung (tikungan).

2.5.1 Ketentuan Panjang Bagian Lurus

Dengan mempertimbangkan faktor keselamatan pemakai jalan, ditinjau dari segi kelelahan pengemudi, maka panjang maksimum bagian jalan yang lurus harus ditempuh dalam waktu $\leq 2,5$ menit (sesuai V_r). Nilai panjang bagian lurus maksimum dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.14 Panjang Bagian Lurus Maksimum

Fungsi Jalan	Panjang Bagian Lurus Maksimum		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	3000	2500	2000
Kolektor	2000	1750	1500

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

2.5.2 Ketentuan Komponen Tikungan

a. Jari-jari Minimum

Untuk menghindari terjadinya kecelakaan, maka untuk kecepatan tertentu ditentukan jari-jari minimum untuk superelevasi maksimum 8%. Nilai panjang jari-jari minimum dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.15 Panjang Jari-Jari Minimum untuk emaks = 8%

V (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jari-jari minimum (m)	600	370	210	110	80	50	30	15

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

Jari-jari tikungan minimum (R_{min}) ditetapkan sebagai berikut :

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 (e_{maks} + f_{maks})} \dots\dots\dots (m)$$

Ket :

R_{min} = Jari-jari tikungan minimum (m)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

e_{maks} = Superelevasi maksimum

f = Koefisien

b. Batas Tikungan Tanpa Kemiringan

Telah dijelaskan bahwa, kemiringan jalan adalah fungsi dari ketajaman tikungan. Untuk tikungan-tikungan yang tumpul kerana kecilnya kemiringan yang diperlukan, dapat saja tidak diadakan kemiringan.

Tabel 2.16 Jari-jari yang di izinkan tanpa superelevasi (Lengkung Peralihan)

Kecepatan Rencana - V_r (Km/jam)	R(m)
60	700
80	1250
100	2000
120	5000

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

c. Lengkung Peralihan

Perubahan arah, yang harus diikuti oleh suatu kendaraan yang melintasi bagian lurus menuju suatu lengkungan berupa busur lingkaran, secara teoritis harus dilakukan dengan mendadak, yaitu R tidak berhingga menuju R tertentu.

Secara praktis hal ini tidak mungkin dilakukan oleh ban kendaraan, karena harus membuat sudut belokan tertentu pengemudi memerlukan jangka waktu tertentu, berarti perlu jarak tertentu pula. Demikian pula gayasentrifugal akan timbul secara mendadak yang akan membahayakan pengemudi.

Oleh sebab itu agar kendaraan tidak menyimpang dari lajunya, dibuatkan lengkung dimana lengkung tersebut merupakan peralihan dari $R = \infty$ ke $R = R_c$ yang disebut lengkung peralihan.

Adapun nilai yang diambil

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum (3 detik), untuk melintasi lengkung peralihan, maka panjang lengkung :

$$L_s = \frac{V_R}{3,6} T$$

- Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal :

$$L_s = 0,022 \frac{V_R^3}{R.C} - 2,727 \frac{V_R^e}{C}$$

- Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian :

$$L_s = \frac{(e_m - e_n)}{3,6 r_e}$$

Dimana :

T = waktu tempuh lengkung peralihan, ditetapkan 3 detik

V_R = kecepatan rencana (km/jam)

e = superelevasi

C = perubahan percepatan diambil 0,3 – 1,0 disarankan 0,4 m/detik²

R = jari-jari busur lingkaran (m)

e_m = Superelevasi maksimum

e_n = Superelevasi normal

r_e = tingkat pencapaian perubahan kemiringan melintang jalan (m/m./detik)

Tabel 2.17 Jari-jari Tikungan yang tidak memerlukan Lengkung Peralihan

V_R (Km/jam)	120	100	90	80	60	50	40	30	20
R_{min} (m)	2500	1500	280	210	115	80	50	30	15

sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

d. Bentuk-bentuk Tikungan

Didalam suatu perencanaan garis lengkung maka perlu diketahui hubungan kecepatan rencana dengan kemiringan melintang jalan (superelevasi) karena garis lengkung yang direncanakan harus dapat mengurangi gaya sentrifugal secara berangsur-angsur mulai dari

nolsampai nol kembali. Bentuk tikungan dalam perencanaan tersebut adalah :

1) Bentuk tikungan *Full Circle* (FC)

Bentuk tikungan ini digunakan pada tikungan yang mempunyai jari-jari besar dan sudut tangen yang relatif kecil. Atas dasar ini maka perencanaan tikungan dapat memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan raya, dalam merencanakan tikungan harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- Lengkung peralihan
- Kemiringan melintang (superelevasi)
- Pelebaran Perkerasan Jalan
- Kebebasan samping

Full Circle adalah jenis tikungan yang hanya terdiri daribagian suatu lingkaran saja. Tikungan *Full Circle* hanya digunakan untuk R (jari-jari tikungan) yang besar agar tidak terjadi patahan, karena dengan R kecil maka diperlukan super elevasi yang besar.

Jenis tikungan *Full Circle* ini merupakan jenis tikungan yang paling ideal di tinjau dari segi keamanan dan kenyamanan. Bagi pengendara dan kendaraannya, karena sudut tikungnya tidak terlalu tajam. Tetapi apabila ditinjau dari penggunaan lahan dan biaya pembangunannya yang relatif terbatas, jenis tikungan ini merupakan pilihan yang sangat mahal.

Untuk tikungan yang jari-jari lebih kecil dari harga di atas, maka bentuk tikungan yang dipakai adalah *spiral-circle-spiral*.

Disamping ketentuan jari-jari lengkung minimum diatas ada ketentuan lain yang harus kita penuhi, yaitu :

$$T_c = R \cdot T_g \cdot \frac{1}{2} \cdot \Delta$$

$$Ec = T \cdot Tg \cdot \frac{1}{4} \cdot \Delta$$

$$Lc = \frac{\Delta}{360} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R$$

Dimana :

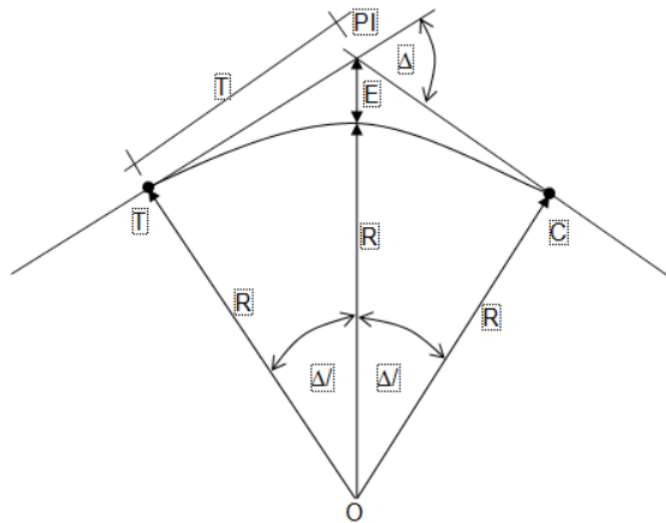
Δ = sudut tikungan atau sudut tangent ($^{\circ}$)

Tc = jarak Tc dan $P1$ (m)

R = jari-jari (m)

Lc = panjang tikungan (m)

Ec = jarak $P1$ ke lengkungan peralihan



Gambar 2.4 Tikungan *Full Circle*

Keterangan :

Δ = sudut tikungan

Tc = panjang tangen jarak dari TC ke $P1$ atau $P1$ ke CT

R = jari-jari busur lingkaran

L' = panjang busur lingkaran

Ec = jarak luar dari $P1$ ke busur lingkaran

2) Tikungan *Spiral Circle Spiral* (SCS)

Spiral circle spiral adalah bentuk tikungan dari bagian lurus ke *circle* yang panjangnya diperhitungkan dengan melihat perubahan gaya sentrifugal dari nol sampai ada nilai gaya sentrifugal.

Jenis alinyemen horizontal ini sering dipakai dalam perencanaan suatu jalan, karena tikungan ini memiliki tingkat keamanan dan kenyamanan yang paling tinggi dibandingkan dengan jenis tikungan yang lainnya. Bentuk tikungan ini digunakan pada daerah-daerah perbukitan dan pegunungan, karena tikungan jenis ini memiliki lengkung peralihan yang memungkinkan perubahan menikung tidak secara mendadak dan tikungan tersebut menjadi aman.

Adapun jari-jari yang diambil untuk tikungan *spiral circle spiral* haruslah sesuai dengan kecepatan rencana dan tidak mengakibatkan adanya kemiringan tikungan yang melebihi harga maksimum yang telah ditentukan yaitu :

- Kemiringan maksimum jalan antar kota = 0,10
- Kemiringan maksimum jalan dalam kota = 0,18

Rumus :

$$Xs = Ls \left(1 - \frac{Ls^2}{40 R^2}\right) \dots\dots\dots(m) \quad Ts = (R + P) \tan \frac{\Delta}{2} + k \dots\dots\dots(m)$$

$$Ys = \frac{Ls^2}{6 R} \dots\dots\dots(m) \quad Es = (R + P) \sec \frac{\Delta}{2} - R \dots\dots\dots(m)$$

$$\Delta c = \Delta - 2\theta s \dots\dots\dots(m) \quad P = \frac{Ls^2}{6 R} - R (1 - \cos \theta s) \dots\dots\dots(m)$$

$$k = Ls - \frac{Ls^2}{40 - R^2} - R \sin \theta s \dots\dots\dots(m) \quad Ls = \frac{\Delta c}{180} \pi R \dots\dots\dots(m)$$

$$L = Lc + 2Ls \dots\dots\dots(m) \quad \theta s = \frac{90Ls}{\pi R} \dots\dots\dots(m)$$

Keterangan :

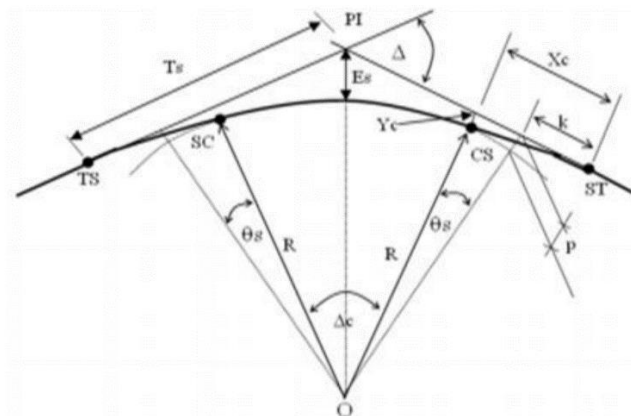
Xs = absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik TS-SC (jarak lurus lengkung peralihan), (m)

- Y_s = ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen, (m)
 L_s = panjang lengkung peralihan (jarak TS-SC atau CS-ST), (m)
 L_c = panjang busur lingkaran (jarak SC-CS), (m)
 T_s = jarak tangen dari P1 ke TS atau ST, (m)
 E_s = jarak dari P1 ke puncak busur lingkaran, (m)
 Δ = sudut tikungan ($^\circ$)
 Δ_c = sudut lengkung *circle* ($^\circ$)
 θ_s = sudut lengkung *spiral* ($^\circ$)
 R = jari-jari tikungan, (m)
 p = pergeseran tangen terhadap *spiral*, (m)
 k = absis p pada garis tangen *spiral*, (m)
 L = panjang tikungan SCS, (m)

Kontrol :

Jika diperoleh $L_c < 25$ m, maka sebaiknya tidak digunakan untuk SCS, tetapi digunakan Lengkung SS, yaitu lengkung yang terdiri dari 2 lengkung peralihan. Jika P yang di hitung dengan rumus :

$$P = \frac{L_s^2}{24 \cdot R_c} < 0,25 \text{ maka digunakan tikungan jenis FC}$$



Gambar 2.5 Tikungan *Spiral Circle Spiral*

Keterangan :

X_s = absis titik SC pada garis tangen, jarak dan titik TS ke SC

Y_s = koordinat titik SC pada garis tegak lurus pada garis tangen

L_s = panjang lengkung peralihan

L' = panjang busur lingkaran (dari titik SC ke CS)

T_s = panjang tangen (dari titik P1 ke TS atau ke ST)

TS = titik dari tangen *spiral*

SC = titik dari *spiral* ke lingkaran

E_s = jarak dari P1 ke lingkaran

R = jari-jari lingkaran

P = pergesekan tangen terhadap *spiral*

K = absis dari P pada tangen *spiral*

Δ = sudut tikungan atau sudut tangen

θ_s = sudut lengkung *spiral*

3) Tikungan *Spiral Spiral* (SS)

Bentuk tikungan ini digunakan pada keadaan yang sangat tajam. Lengkung horizontal berbentuk *spiral-spiral* adalah lengkung tanpa busur lingkaran, sehingga SC terhimpit dengan titik CS. Adapun semua rumus dan aturannya sama seperti rumus *Spiral Circle Spiral*, yaitu :

Rumus :

$$L_s = \frac{\theta_s \cdot R}{28,648}$$

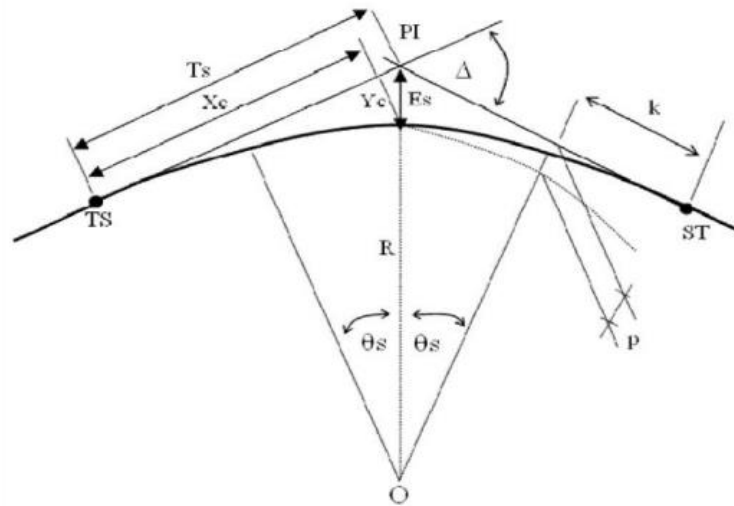
$$T_s = (R + P) Tg \cdot \frac{1}{2} \Delta + K$$

$$E_s = \frac{(R+P) - R}{\cos \frac{1}{2} \Delta}$$

$$L = 2 \cdot L_s$$

$$K = k^* \cdot L_s$$

$$P = p^* \cdot L$$



Gambar 2.6 Tikungan *Spiral Spiral*

Keterangan :

Es = jarak dari P1 ke lingkaran

TS = titik dari tangen ke *spiral*

Ts = panjang tangen dari titik P1 ke titik TS atau ke titik ST

Sc = titik dari *spiral* ke lingkaran

R = jari-jari lingkaran

K = absis dari P pada garis tangen *spiral*

P = pergesekan tangen terhadap *spiral*

Tabel 2.18 Tabel p dan k untuk $L_s = 1$

qs (*)	P*	K*	qs(*)	P*	K*	qs(*)	P*	K*
0,5	0,0007272	0,4999987	14,0	0,0206655	0,4989901	27,5	0,0422830	0,4959406
1,0	0,0014546	0,4999949	14,5	0,0214263	0,4989155	28,0	0,0431365	0,4957834
1,5	0,0021820	0,4999886	15,0	0,0221896	0,4988381	28,5	0,0439946	0,4956227
2,0	0,0029098	0,4999797	15,5	0,0229553	0,4987580	29,0	0,0448572	0,4954585
2,5	0,0036378	0,4999683	16,0	0,0237236	0,4986750	29,5	0,0457245	0,4952908
3,0	0,0043663	0,4999543	16,5	0,0244945	0,4985892	30,0	0,0465966	0,4951196
3,5	0,0050953	0,4999377	17,0	0,0252681	0,4985005	30,5	0,0474735	0,4949448
4,0	0,0058249	0,4999187	17,5	0,0260445	0,4984090	31,0	0,0483550	0,4947665
4,5	0,0065551	0,4998970	18,0	0,0268238	0,4983146	31,5	0,0492422	0,4945845
5,0	0,0072860	0,4998728	18,5	0,0276060	0,4982172	32,0	0,0501340	0,4943988
5,5	0,0080178	0,4998461	19,0	0,0283913	0,4981170	32,5	0,0510310	0,4942094
6,0	0,0094843	0,4998167	19,5	0,0291797	0,4980137	33,0	0,0519333	0,4940163
6,5	0,0102191	0,4997848	20,0	0,0299713	0,4979075	33,5	0,0528408	0,4938194
7,0	0,0109550	0,4997503	20,5	0,0307662	0,4977983	34,0	0,0537536	0,4936187
7,5	0,0116922	0,4997132	21,0	0,0315644	0,4976861	34,5	0,0546719	0,4934141
8,0	0,0124307	0,4996735	21,5	0,0323661	0,4975708	35,0	0,05559557	0,4932057
8,5	0,0131706	0,4996312	22,0	0,0331713	0,4974525	35,5	0,0562500	0,4929933
9,0	0,0139121	0,4995862	22,5	0,0339801	0,4973311	36,0	0,0574601	0,4927769
9,5	0,0146551	0,4995387	23,0	0,0347926	0,4972065	36,5	0,0584008	0,4925566
10,0	0,0153997	0,4994884	23,5	0,0356088	0,4970788	37,0	0,0593473	0,4923322
10,5	0,0161461	0,4994356	24,0	0,0364288	0,4969479	37,5	0,0602997	0,4921037
11,0	0,0161461	0,4993800	24,5	0,0372528	0,4968139	38,0	0,0612581	0,4918711
11,5	0,0168943	0,4993218	25,0	0,0380807	0,4966766	38,5	0,0622224	0,4916343
12,0	0,0176444	0,4992609	25,5	0,0389128	0,4965360	39,0	0,0631929	0,4913933
12,5	0,0183965	0,4991973	26,0	0,0397489	0,4963922	39,5	0,0641694	0,4911480
13,0	0,0191507	0,4991310	26,5	0,0405893	0,4962450	40,0	0,0651522	0,4908985
13,5	0,0199070	0,4990619	27,0	0,0414340	0,4960945			

(sumber : Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan Silvia Sukirman, Penerbit Nova)

4) Superelevasi

Penggambaran superelevasi dilakukan untuk mengetahui kemiringan-kemiringan jalan pada bagian tertentu yaitu berfungsi untuk mempermudah dalam pekerjaannya atau pelaksanaannya di lapangan.

- Superelevasi dapat dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus sampai kemiringan penuh (superelevasi) pada bagian lengkung,
- Pada tikungan *Spiral-Circle-Spiral*, pencapaian superelevasi dilakukan secara linier, diawali dari bentuk normal samapi lengkung peralihan (S) yang berbentuk pada bagian lurus jalan, lalu dilanjutkan samapi superelevasi penuh pada akhir bagian lengkung peralihan.
- Pada tikungan *Full Circle* , pencapaian superelevasi dilakukan secara linier, diawali dari bagian lurus sepanjang $\frac{2}{3} L_s$ sampai dengan bagian lingkaran penuh sepanjang $\frac{1}{3} L_s$.
- Pada tikungan *Spiral-Spiral*. Pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral,
- Superelevasi tidak diperlukan jika ruas cukup besar, untuk itu cukup lereng luar diputar sebesar lereng normal (LP), atau bahkan tetap lerengnormal (LN)

Tabel 2.19 Panjang Lengkung Peralihan Minimum dan Superelevasi yang dibutuhkan ($e_{maks} = 8\%$, metode Bina Marga)

R (m)	V _{re} 20 km/j		V _{re} 30 km/j		V _{re} 40 km/j		V _{re} 50 km/j		V _{re} 60 km/j		V _{re} 70 km/j		V _{re} 80 km/j		V _{re} 90 km/j		V _{re} 100 km/j		V _{re} 110 km/j		V _{re} 120 km/j		e _s =2%; e _{sm} =8%				
	e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		e(%)	Ls (m)		Ls (m)		
		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4	2	4	2
7000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN		
5000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN		
3000	LN			LN			LN			LN			LN			RC	15	23	RC	16	24	2.1	18	27	2.4	23	34
2500	LN			LN			LN			LN			RC	14	21	RC	15	23	RC	16	24	2.1	17	26	2.4	21	32
2000	LN			LN			LN			LN			RC	13	20	RC	14	21	2.2	17	25	2.6	21	32	3.0	26	39
1500	LN			LN			LN			RC	12	18	RC	13	20	2.4	17	25	2.8	22	32	3.4	27	41	3.9	34	50
1400	LN			LN			LN			RC	12	18	2.1	14	20	2.5	18	27	3.0	23	34	3.6	29	43	4.1	36	53
1300	LN			LN			LN			RC	12	18	2.2	15	22	2.7	19	29	3.2	24	36	3.8	31	46	4.4	38	57
1200	LN			LN			LN			RC	12	18	2.4	16	23	2.9	21	31	3.4	26	39	4.1	33	50	4.7	41	61
1000	LN			LN			RC	11	17	2.2	13	20	2.8	18	27	3.4	24	36	4.0	30	45	4.8	39	58	5.5	47	71
900	LN			LN			RC	11	17	2.4	14	21	3.1	20	30	3.7	26	39	4.4	33	49	5.2	42	63	6.0	52	77
800	LN			RC	10	15	2.0	11	17	2.7	16	24	3.4	22	33	4.1	29	43	4.8	36	54	5.7	46	69	6.5	56	84
700	LN			RC	10	15	2.2	13	19	3.0	18	27	3.8	25	37	4.5	32	48	5.3	40	60	6.3	50	75	7.2	62	92
600	LN			RC	10	15	2.8	14	21	3.4	20	30	4.3	28	41	5.1	36	54	6.0	45	67	6.9	56	83	7.7	66	99
500	LN			2.2	12	17	3.0	17	25	3.9	23	35	4.9	32	47	5.8	41	61	6.7	51	76	7.6	61	91			
400	LN			RC	10	14	2.7	14	21	3.6	20	30	4.7	28	41	5.7	37	55	6.6	47	70	7.5	56	84	8.0	64	96
300	LN			2.1	10	15	3.4	18	26	4.5	25	37	5.6	33	50	6.7	43	65	7.6	54	80						
250	LN			2.5	12	18	3.9	20	30	5.1	28	41	6.2	37	55	7.3	47	71	7.9	56	84						
200	RC	9	14	3.0	15	22	4.6	24	35	5.8	32	47	7.0	41	62	7.9	51	76									
175	RC	9	14	3.4	16	24	5.0	25	38	6.2	34	50	7.4	44	65	8.0	51	77									
150	RC	9	14	3.8	18	27	5.4	27	41	6.7	36	54	7.8	46	69												
140	2.0	9	14	4.0	19	28	5.6	28	42	6.9	38	56	7.9	47	70												
130	2.2	10	15	4.2	20	30	5.8	29	44	7.1	39	58	8.0	47	70												
120	2.3	11	16	4.4	21	31	6.0	31	46	7.4	40	60															
110	2.5	11	17	4.7	22	33	6.3	32	47	7.6	41	62															
100	2.7	12	18	4.9	24	35	6.5	33	49	7.8	42	63															
90	2.9	13	20	5.2	25	37	6.8	35	52	7.9	43	65															
80	3.2	15	22	5.5	26	39	7.2	36	54																		
70	3.6	16	24	5.9	28	42	7.5	38	57																		
60	4.0	18	27	6.3	30	45	7.8	40	59																		
50	4.6	20	30	6.9	33	49	8.0	40	60																		
40	5.2	23	34	7.5	35	53																					
30	5.9	26	39	8.0																							
20	7.1	31	47																								

Lebar lajur lalu lintas 3,5m

R : Jari-jari lengkung

V_{re} : Asumsi kecepatan rencana

e : Tingkat superelevasi

Ls : Panjang minimum pencapaian superelevasi run off (tidak termasuk panjang pencapaian superelevasi run out)

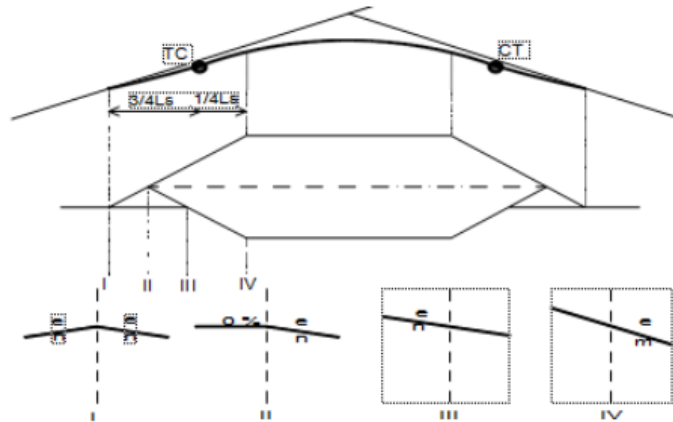
LN : Lereng Normal

RC : Lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat kemiringan melintang sebesar lereng normal

(sumber : Pedoman Desain Geometrik, 2021)

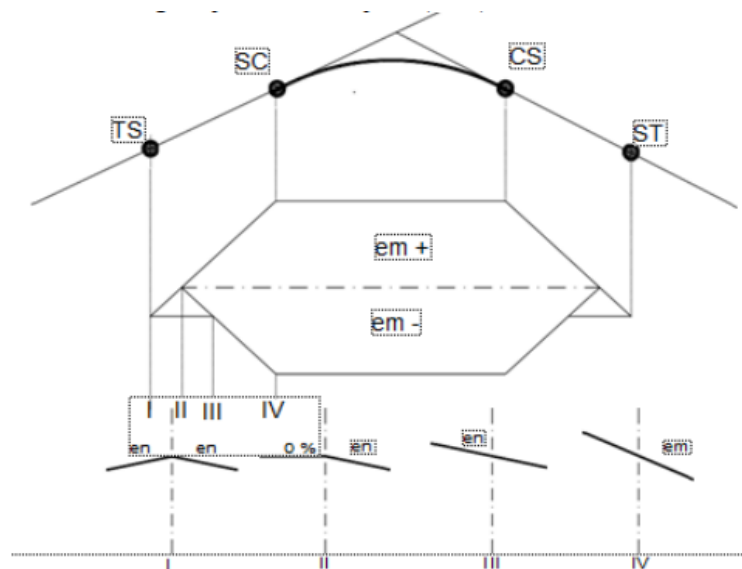
5) Diagram superelevasi

- Tikungan *Full Circle* (FC)



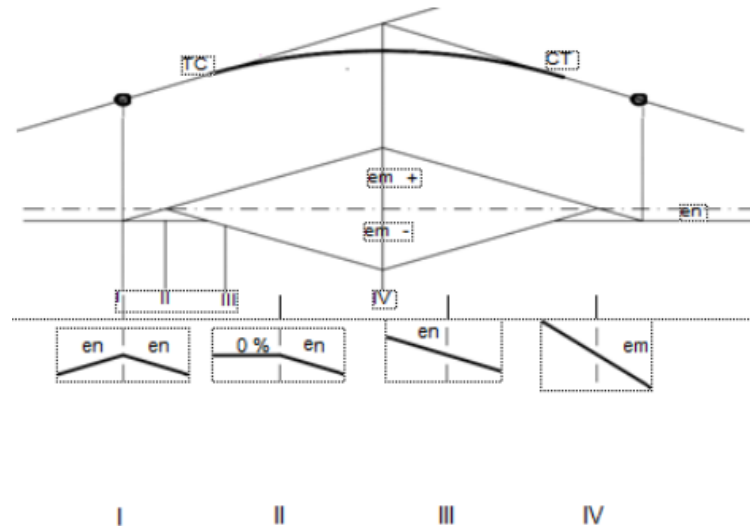
Gambar 2.7 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Full Circle*

- Tikungan *Spiral Circle Spiral* (SCS)



Gambar 2.8 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Spiral Circle Spiral*

- Tikungan *Spiral Spiral* (SS)



Gambar 2.9 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Spiral-Spiral*

Keterangan :

- Potongan I, kemiringan permukaan perkerasan jalan bersifat normal, yaitu sebagian miring ke kiri dan sebagian lagi miring ke kanan.
- Potongan II, pada kondisi ini, bagian sisi luar sudah bergerak ke atas dari posisi awal seperti pada potongan I menjadi rata (datar) dengan kemiringan sebesar 0%. Dengan demikian bentuk permukaan jalan menjadi rata sebelah.
- Potongan III, bagian sisi luar tikungan terus bergerak ke atas sehingga akhirnya segaris (satu kemiringan) dengan sisi dalam. Besarnya kemiringan tersebut menjadi sebesar kemiringan normal.
- Potongan IV, baik sisi luar maupun sisi dalam tikungan sama-sama bergerak naik sehingga mencapai kemiringan sebesar kemiringan maksimum yang ditetapkan pada tikungan tersebut. Kondisi seperti ini akan bertahan sampai sepanjang lengkung circle (khusus

tikungan SS hanya pada satu titik), yaitu sampai titik CS. Setelah melewati titik CS, maka bentuk potongan berangsur-angsur kembali ke bentuk potongan III selanjutnya ke potongan II dan akhirnya kembali lagi ke bentuk potongan I, yakni bentuk normal.

2.5.3 Pelebaran Perkerasan Jalan pada Tikungan

Pelebaran perkerasan atau jalur lalu lintas di tikungan, dilakukan untuk mempertahankan kendaraan tetap pada lintasannya (lajurnya) sebagaimana pada bagian lurus. Hal ini terjadi karena pada kecepatan tertentu kendaraan pada tikungan cenderung akan keluar jalur akibat posisi roda depan dan roda belakang yang tidak sama, yang tergantung pada ukuran kendaraan.

Adapun rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan pelebaran jalan pada tikungan menurut buku dasar-dasar perencanaan geometrik jalan (Silvia Sukirman) sebagai berikut :

$$B = \sqrt{\{\sqrt{Rc^2 - 64}\} + 1,25 + 64 - \sqrt{(Rc^2 - 64)} + 1,25} \dots \dots \dots (m)$$

Dimana :

B = lebar perkerasan yang ditempati satu kendaraan di tikungan pada lajur sebelah dalam (m)

Rc = radius lengkung untuk lintasan luar roda depan

Untuk lintasan luar roda depan (Rc) dapat dicari dengan menggunakan rumus di bawah ini :

$$Rc = R - \frac{1}{4} Bn + \frac{1}{2} b \dots \dots \dots (m)$$

Di mana :

R = jari-jari busur lingkaran pada tikungan (m)

Bn = lebar total perkerasan pada bagian lurus (m)

b = lebar kendaraan rencana (m)

$$B_t = n(B + C) + Z \dots \dots \dots (m)$$

Di mana :

n = jumlah jalur lalu lintas

B = lebar perkerasan yang ditempati satu kendaraan di tikungan pada lajur sebelah dalam (m)

C = lebar kebebasan samping kiri dan kanan kendaraan = 1,0 m

Z = lebar tambahan akibat kesukaran mengemudi di tikungan (m)

$$\Delta b = B_t - B_n$$

Δb = tambahan lebar perkerasan di tikungan (m)

Di mana nilai lebar tambahan akibat kesukaran mengemudi di tikungan (Z) dapat dicari dengan menggunakan rumus di bawah :

$$Z = 0,015 \frac{V}{\sqrt{R}} \quad (m)$$

Di mana :

V = kecepatan rencana (km/jam)

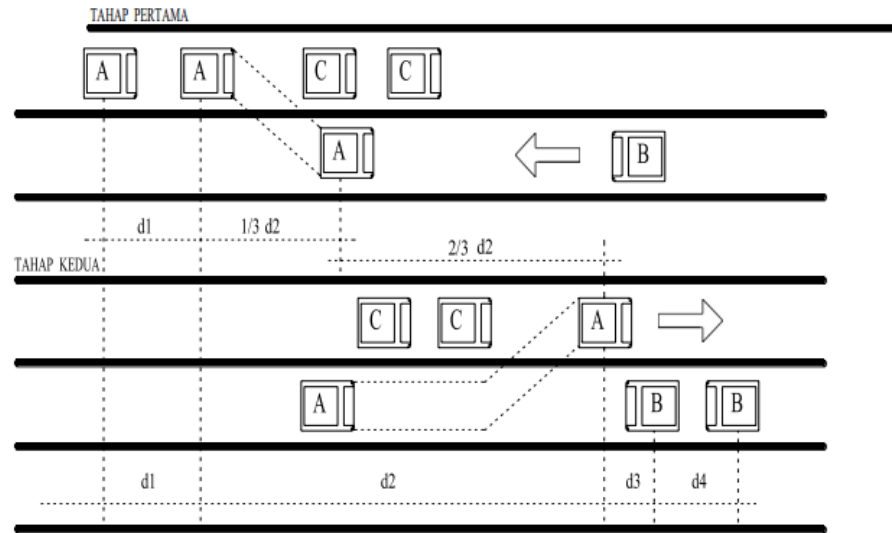
R = jari-jari tikungan

Pelebaran perkerasan pada tikungan ini dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan kendaraan akan keluar dari jalurnya karena dipicu dengan kecepatan yang terlalu tinggi. Pelebaran ini dilakukan sepanjang pencapaian superelevasi.

2.5.4 Jarak Pandang

Jarak pandang adalah suatu jarak yang diperlukan oleh seseorang pengemudi pada saat mengemudi, sehingga jika pengemudi melihat suatu halangan yang membahayakan, pengemudi dapat melakukan antisipasi untuk menghindari bahaya tersebut dengan aman.

Syarat jarak pandang yang diperlukan dalam perencanaan jalan raya ditunjukkan untuk mendapatkan keamanan yang setinggi-tingginya bagi lalu lintas.



Gambar 2.10 Jarak Pandang Mendahului

Ket :

A = kendaraan yang mendahului

B = kendaraan yang berlawanan arah

C = kendaraan yang didahului kendaraan A

Ketentuann untuk mengukur jarak pandangan jarak diukur dari mata pengemudi ke puncak penghalang. Untuk jarak pandang henti, ketinggian mata pengemudi 125 cm dan ketinggian penghalang 15 cm, sedangkan untuk jarak pandang menyiap ketinggian penghalang 125 cm.

2.5.5 Kebebasan Sampingan pada Tikungan

Sesuai dengan panjang jarak pandangan yang dibutuhkan baik jarak pandangan henti maupun jarak pandangan menyiap, maka pada tikungan perlu diadakan jarak kebebasan samping. Jarak kebebasan samping ini merupakan jarak yang diukur dari suatu as jalan ke suatu penghalang pandangan, misalnya bangunan, kaki bukit, pohon dan hutan.

Daerah bebas samping dimaksudkan untuk memberikan kemudahan pandangan di tikungan dengan membebaskan objek-objek penghalang sejauh E (m), yang diukur dari garis tengah jalur dalam sampai ke objek penghalang pandangan sehingga memenuhi persyaratan Jh.

Daerah bebas samping ditikungan di hitung berdasarkan jarak pandang henti menggunakan rumus-rumus sebagai berikut :

a. Jika $J_h < L_t$

$$E = R' \left(1 - \cos \frac{28,65 J_h}{R'} \right)$$

Di mana :

E = jarak bebas samping (m)

R = jari-jari tikungan (m)

R' = jari-jari sumbu jalur dalam (m)

Jh = jarak pandang henti (m)

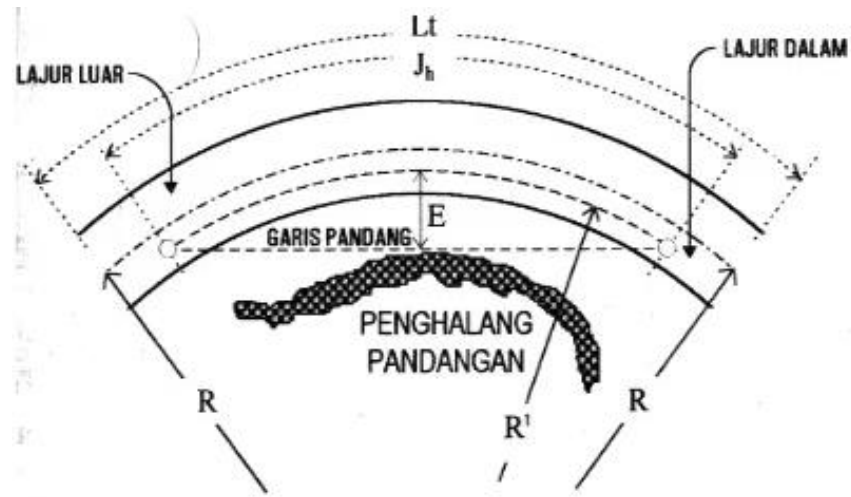
Lt = panjang tikungan (m)

Tabel 2.20 Nilai E untuk $J_h < L_t$

R (m)	$V_R = 20$	30	40	50	60	80	100	120
	J = 16	27	40	55	75	120	175	250
5000								1,6
3000								2,6
2000							1,9	3,9
1500							2,6	5,2
1200						1,5	3,2	6,5
1000						1,8	3,8	7,8
800						2,2	4,8	9,7
600						3,0	6,4	13,0
500						3,6	7,6	15,5

400					1,8	4,5	9,5	$R_{max} = 500$
300					2,3	6,0	$R_{max} = 350$	
250				1,5	2,8	7,1		
200				1,9	3,5	$R_{max} = 210$		
175				2,2	4,0			
150				2,5	4,7			
130			1,5	2,9	5,4			
120			1,7	3,1	5,8			
110			1,8	3,4	$R_{max} = 115$			
100			2,0	3,8				
90			2,2	4,2				
80			2,5	4,7				
70		1,5	2,8	$R_{max} = 80$				
60		1,8	3,3					
50		2,3	3,9					
40		3,0	$R_{max} = 50$					
30		$R_{max} = 30$						
20	1,6							
15	2,1							
	$R_{max} = 15$							

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)



Gambar 2.11 Daerah bebas samping ditikungan untuk $J_h < L_t$

b. Jika $J_h > L_t$

$$E = R' \left(1 - \cos \frac{28,65 J_h}{R'} \right) + \left(\frac{J_h - L_t}{2} \sin \frac{28,65 J_h}{R'} \right)$$

Di mana :

E = jarak bebas samping (m)

R = jari-jari tikungan (m)

R' = jari-jari sumbu jalur dalam (m)

J_h = jarak pandang henti (m)

L_t = panjang tikungan (m)

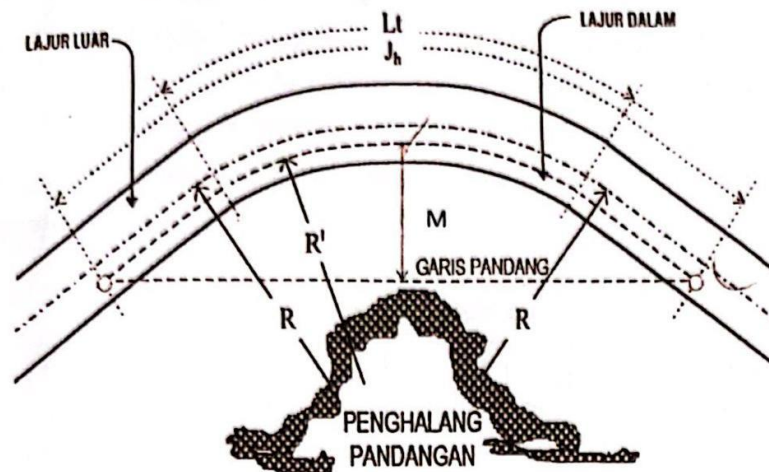
Nilai E (m) dapat dilihat pada Tabel 2.21

Tabel 2.21 Nilai E untuk $J_h > L_t$

R (m)	$V_R =$	30	40	50	60	80	100	120
	20							
	J = 16	27	40	55	75	120	175	250
6000								1,6
5000								1,9
3000								3,1
2000							1,6	4,7
1500							2,5	6,2
1200						1,5	3,3	7,8
1000						2,1	4,1	9,4
800						2,5	4,9	11,7
600					1,5	3,2	6,1	15,6
500					2,0	4,2	8,2	18,6
400					2,3	5,1	9,8	$R_{max} = 500$
300				1,8	2,9	6,4	12,2	
250			1,5	2,4	3,9	8,5	$R_{max} = 350$	
200			1,8	2,9	4,7	10,1		
175			2,2	3,6	5,8	$R_{max} = 210$		
150		1,5	2,6	4,1	6,7			
130		1,7	3,0	4,8	7,8			
120		2,0	3,5	5,5	8,9			
110		2,2	3,7	6,0	9,7			
100		2,4	4,1	6,5	$R_{max} = 115$			
90		2,6	4,5	7,2				
80	1,5	2,9	5,0	7,9				

70	1,6	3,2	5,6	8,9				
60	1,9	3,7	6,4	$R_{max} = 80$				
50	2,2	4,3	7,4					
40	2,6	5,1	8,8					
30	3,3	6,4	$R_{max} = 50$					
20	4,4	8,4						
15	6,4	$R_{max} = 30$						
	8,4							
	$R_{max} = 15$							

(sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997)



Gambar 2.12 Daerah bebas samping ditikungan untuk $J_h > L_t$

Keterangan Rumus :

$$M = R (1 - \cos \emptyset) + \frac{1}{2} (S - L) \sin \emptyset$$

Di mana :

M = jarak dari sumbu penghalang ke sumbu lajur sebelah dalam (m)

$\theta =$ setengah sudut pusat sepanjang L ($^{\circ}$)

R = radius sumbu jalur sebelah dalam (m)

S = jarak pandangan (m)

L = panjang tikungan (m)

2.6 Alinyemen Vertikal

Ada beberapa aspek kelandaian pada jalan yang perlu diperhatikan, aspek tersebut adalah sebagai berikut :

- Landai maksimum
- Landai minimum
- Panjang kritis suatu kelandaian
- Landau pendakian

2.6.1 Kelandaian Maksimum

Kelandaian maksimum yang ditentukan untuk berbagai variasi kecepatan rencana, dimaksudkan agar kendaraan dapat bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti. Kelandaian maksimum hanya digunakan bila pertimbangan biaya pembangunan sangat memaksa dan hanya jarak pendek. Panjang kritis adalah panjang landai maksimum yang harus disediakan agar kendaraan dapat mempertahankan kecepatan sedemikian rupa, sehingga penurunan kecepatan yang terjadi tidak lebih dari separuh kecepatan rencana (VR). Lama perjalanan tersebut tidak lebih dari satu menit. (Hamirhan Saodang, 2010)

Tabel 2.22 Kelandaian Maksimum

SPPJ	Kelandaian Maksimum (%)		
	Medan Datar	Medan Bukit	Medan Gunung
JBH	4	5	6
JRY	5	6	10
JSD	6	7	10
JKC	6	8	12

(sumber : Pedoman Desain Geometrik, 2021)

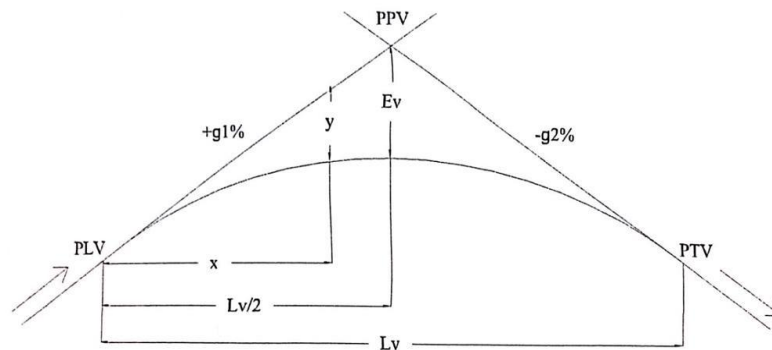
Tabel 2.23 Tabel Panjang Kritis

Kelandaian memanjang (%)	Panjang kelandaian kritis (m)
4	600
5	450
6	350
7	300
8	250
9	230
≥ 10	200

(sumber : Pedoman Desain Geometrik, 2021)

2.6.2 Lengkung Vertikal

Pada setiap penggantian landai harus dibuat lengkung vertikal yang memenuhi keamanan, kenyamanan dan drainase yang baik. Lengkung vertikal adalah lengkung yang dipakai untuk mengadakan peralihan secara berangsur-angsur dari suatu landai ke landai berikutnya.



Gambar 2.13 Lengkung Vertikal

Kelandaian menaik diberi tanda (+) dan kelandaian menurun diberi tanda (-). Ketentuan pendakian atau penurunan ditinjau dari kiri ke kanan. Dari gambar diatas, besarnya defleksi (y') antara garis kemiringan (tangen) dan garis lengkung dapat dihitung dengan rumus :

$$y' = \left[\frac{g2 - g1}{200 Lv} \right] \cdot X^2$$

Di mana :

x = Jarak dari titik PLV ke titik yang ditinjau STA

y' = Perbedaan elevasi antara titik PLV dan titik yang ditinjau pada STA, (m).

$g1, g2$ = Besar Kelandaian (kenaikan / penurunan) (%)

Lv = Panjang lengkung vertikal (m)

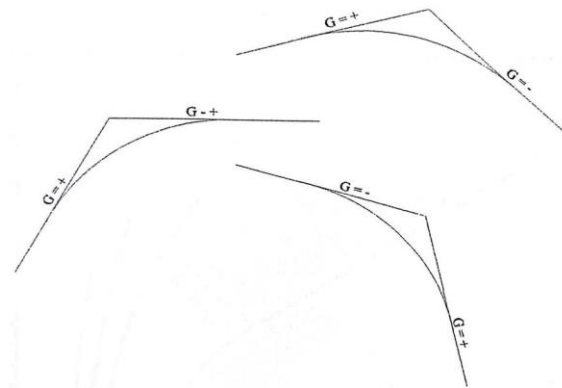
Untuk $x = \frac{1}{2} Lv$, maka $y' = Ev$ dirumuskan sebagai :

$$Ev = \frac{(g2 - g1)Lv}{200Lv}$$

Lengkung vertikal dibagi dua macam, yaitu :

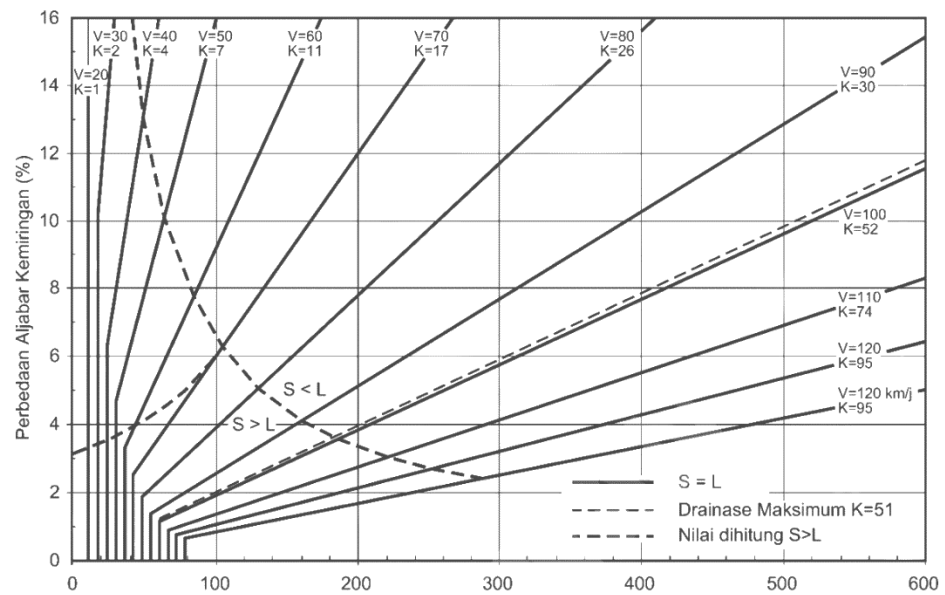
a. Lengkung vertikal cembung

Lengkung vertikal cembung, yaitu lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada dibawah permukaan jalan



Gambar 2.14 Alinyemen Vertikal Cembung

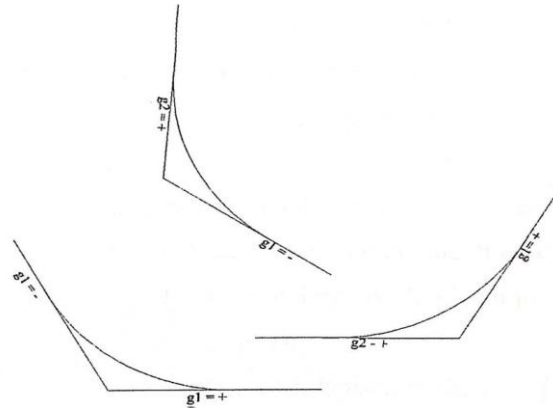
Untuk menentukan panjang lengkung vertikal cembung (L_v) dapat juga ditentukan berdasarkan grafik pada gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cembung (m)

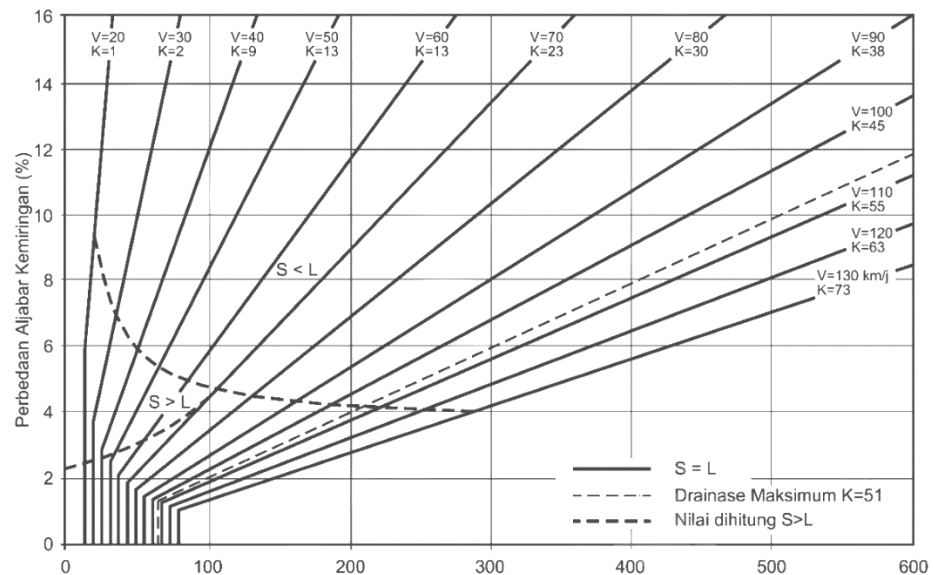
b. Lengkung vertikal cekung

Titik perpotongan antara ke 2 tangen berada dibawah permukaan jalan.



Gambar 2.16 Alinyemen Vertikal Cekung

Panjang lengkung vertikal cekung ditentukan berdasarkan jarak pandangan pada waktu malam hari sebagaimana tercantum dalam Grafik pada Gambar 2.17



Gambar 2.17 Grafik panjang lengkung vertikal cekung

2.7 Perancangan Tebal Perkerasan

Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun diatas lapisan tanah dasar (subgrade) yang berfungsi untuk menopang beban lalu lintas. (Shirley, 2000). Jenis konstruksi perkerasan pada umumnya ada dua jenis, yaitu :

1) Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

2) Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Yaitu perkerasan yang menggunakan semen (PC) sebagai bahan pengikat. Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh plat beton.

3) Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dimana dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur (Sukirman, 1999).

2.8 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah suatu perencanaan, pelaksanaan, pengendalian dan koordinasi suatu proyek dari awal hingga berakhirnya proyek untuk menjamin pelaksanaan proyek secara tepat waktu, tepat biaya dan tepat mutu.

a. Daftar Harga Satuan Alat Dan Upah

Daftar satuan bahan dan upah adalah harga yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga tempat proyek berada karena tidak setiap daerah memiliki standar yang sama. Penggunaan daftar upah ini juga merupakan pedoman untuk menghitung perancangan anggaran biaya pekerjaan dan upah yang dipakai kontraktor. Adapun harga satuan dan upah adalah harga yang termasuk pajak-pajak.

b. Analisa Satuan Harga Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan ialah jumlah harga bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan perhitungan analisa. Harga bahan didapat dipasaran, dikumpulkan dalam satu daftar yang dinamakan daftar harga satuan bahan. Upah tenaga kerja didapat dilokasi, dikumpulkan dan dicatat dalam suatu daftar yang dinamakan daftar harga satuan upah. Analisa bahan suatu pekerjaan adalah menghitung banyaknya volume masing-masing bahan serta besarnya biaya yang dibutuhkan pekerjaan tersebut.

c. Perhitungan Volume pekerjaan

Volume pekerjaan adalah jumlah keseluruhan dari banyaknya (kapasitas) suatu pekerjaan yang ada. Volume pekerjaan berguna untuk menunjukkan banyaknya suatu kuantitas dari suatu pekerjaan agar didapat harga satuan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada didalam suatu proyek tersebut. Dalam perencanaan jalan raya diusahakan agar volume timbunan. Dengan mengkombinasikan alinyemen vertical dan horizontal memungkinkan kita untuk menghitung banyaknya volume galian dan timbunan. Langkah-langkah dalam perhitungan galian dan timbunan antara lain :

1. Penentuan *stationing* (jarak patok) sehingga diperoleh panjang jalan dari alinyemen horizontal (*trase* jalan).
2. Gambarkan profil memanjang (alinyemen vertical) yang memperlihatkan perbedaan beda tinggi muka tanah asli dengan muka tanah rencana.
3. Gambarkan potongan melintang (*cross section*) pada titik *stationing*, sehingga didapatkan luas galian dan timbunan.
4. Hitung volume galian dan timbunan dengan mengalikan luas penampang rata-rata dari galian atau timbunan dengan jarak patok.
5. Perhitungan rencana anggaran biaya.

Rencana anggaran biaya adalah merencanakan banyaknya biaya yang akan digunakan serta susunan pelaksanaannya dalam perencanaan anggaran biaya perlu dilampirkan analisa harga satuan bahan dari setiap pekerjaan agar jelas jenis-jenis pekerjaan dan bahan yang digunakan.

d. Rekapitulasi biaya

adalah biaya total yang diperlukan setelah menghitung dan mengalikannya dengan harga satuan yang ada. Dalam rekapitulasi terlampir pokok-pokok pekerjaan beserta biayanya dan waktu pelaksanaannya. Disamping itu juga dapat menunjukkan lamanya pemakaian alat dan bahan-bahan yang diperlukan serta pengaturan hal-hal tersebut tidak saling mengganggu pelaksanaan pekerjaan.

e. Rencana kerja (*time schedule*)

Rencana kerja (*time schedule*) adalah pengaturan waktu rencana kerja secara terperinci terhadap suatu item pekerjaan yang berpengaruh terhadap selesainya secara keseluruhan suatu proyek konstruksi.

Adapun jenis-jenis schedule atau rencana kerja, yaitu :

1. Bagan balok (*barchart*)

Adalah sekumpulan daftar kegiatan yang disusun dalam kolom arah vertikal dan kolom arah horizontal yang menunjukkan skala waktu.

2. Kurva S

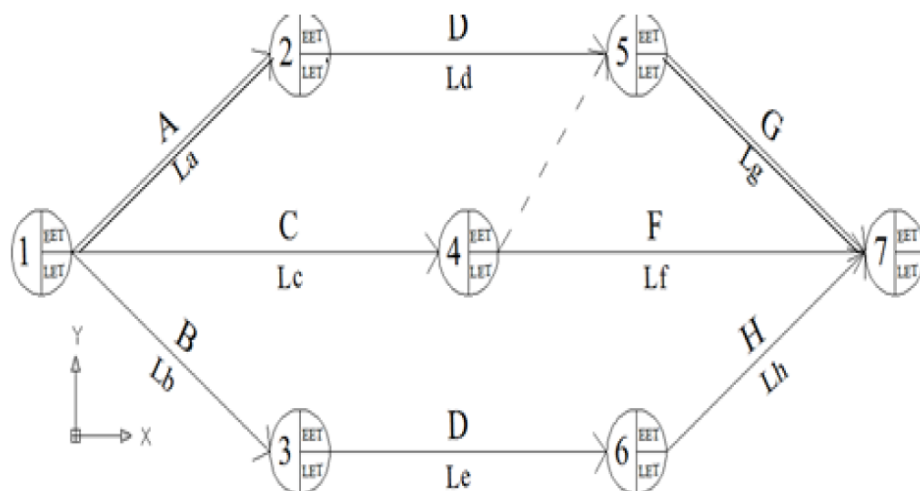
Adalah kurva yang menggambarkan kumulatif progress pada setiap waktu dalam pelaksanaan pekerjaan. Bertambah atau tidaknya *persentase* pembangunan konstruksi dapat dilihat pada kurva S dan dapat dibandingkan dengan keadaan dilapangan.

3. Jaringan Kerja / *Networking Planning* (NWP)

Network Planning adalah alat manajemen yang memungkinkan dengan lebih luas dan lengkap dalam perencanaan dan pengawasan suatu proyek. Proyek secara umum didefinisikan sebagai suatu rangkaian kegiatan-kegiatan (aktivitas) yang mempunyai saat permulaan dan yang harus dilaksanakan serta diselesaikan untuk mendapat satu tujuan tertentu. Ini penting untuk digunakan oleh orang yang bertanggung jawab atas bidang-bidang engineering, produksi, marketing administrasi dan lain-lain, di mana setiap kegiatan tersebut tidak merupakan kegiatan rutin. Cara membuat network planning bisa dengan cara manual atau

menggunakan software komputer seperti Ms. Project. untuk membuatnya kita membutuhkan data-data yaitu :


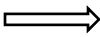

- Jenis pekerjaan yang dibuat detail rincian item pekerjaan, contohnya jika kita akan membuat network planning pondasi batu kali maka apabila dirinci ada pekerjaan galian tanah, pasangan pondasi batu kali kemudian urugan tanah kembali.
- Durasi waktu masing-masing pekerjaan, dapat ditentukan berdasarkan pengalaman atau menggunakan rumus analisa bangunan yang sudah ada.
- Jumlah total waktu pelaksanaan pekerjaan.
- Metode pelaksanaan konstruksi sehingga dapat diketahui urutan pekerjaan.



Gambar 2.18 Sketsa *Network Planning*

Keterangan :

- (Arrow), bentuk ini merupakan anak panah yang artinya aktifitas atau kegiatan. Simbol ini merupakan pekerjaan atau tugas dimana penyelesaiannya membutuhkan jangka waktu tertentu dan resources tertentu. Anak panah selalu menghubungkan dua buah nodes, arah dari anak-anak panah menunjukkan urutan-urutan waktu.

- b.  (Node/event), bentuknya merupakan lingkaran bulat yang artinya saat peristiwa atau kejadian. Simbol ini adalah permulaan atau akhir dari suatu kegiatan.
- c.  (Double arrow), anak panah sejajar merupakan kegiatan dilintasan kritis (critikcal path).
- d. - - - - > (Dummy), bentuknya merupakan anak oanh putus-putus yang artinya kegiatan semu atau aktifitas semu. Yang dimaksud dengan aktifitas semu adalah aktifitas yang tidak menekan waktu.
- e.  1 = Nomor Kejadian
 EET (*Earliest Event Time*) = waktu yang paling cepat yaitu menjumlahkan durasi dari kejadian yang dimulai dari kejadian awal dilanjutkan kegiatan berikutnya dengan mengambil angka yang terbesar.
 LET (*Laetest Event Time*) = waktu yang paling lambat, yaitu mengurangi durasi dari kejadian yang dimulai dari kegiatan paling akhir dilanjutkan kegiatan sebelumnya dengan mengambil angka terkecil.
- f. A, B, C, D, E, F, G, H merupakan kegiatan, sedangkan La, Lb, Lc, Ld, Le, Lf, Lg dan Lh merupakan durasi dari kegiatan tersebut.

BAB III
PERHITUNGAN GEOMETRIK DAN TEBAL PERKERASAN

3.1 Klasifikasi Kelas Jalan

Data - data lalu lintas jalan Muba – Muara Beliti yang diambil pada tahun 2021 yang di peroleh dari hasil survey Dinas PU Bina Marga Provinsi adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data Survei Kendaraan

No	Gol.	Jenis Kendaraan	Sumbu	LHR	Satuan
				2021	
1	1	SEPEDA MOTOR, SKUTER, KEND. RODA TIGA	1.1	2.046	kend
2	2	SEDAN, JEEP, STATION WAGON	1.1	1.159	kend
3	3	OPLET, PICK UP OPLET, SUB URBAN, COMBI, MINIBUS	1.2	41	kend
4	4	PICK UP, MICRO TRUCK, MOBIL HANTARAN	1.2	221	kend
5	5.A	BUS KECIL	1.1	2	kend
6	5.B	BUS BESAR	1.2	0	kend
7	6.A	TRUK RINGAN 2 SUMBU	1.2	452	kend
8	6.B	TRUK SEDANG 2 SUMBU	1.2	85	kend
9	7.A	TRUK 3 SUMBU	1.2	13	kend
10	7.B	TRUK GANDENG	1.2	0	kend
11	7.C	TRUK SEMI TRALIER 122-22	1.22-22	4	kend
12	8	TRUK TRALIER 122-2222	1.22-2222	0	kend
Jumlah Kendaraan				4023	kend

Angka pertumbuhan lalu lintas untuk semua jenis kendaraan sebelum dan sesudah jalan dibuka yang diperoleh dari Dinas PU Bina Marga Provinsi Sumatera Selatan Sebesar 3,5%.

Berdasarkan data yang didapat perencanaan jalan adalah sebagai berikut :

- Estimasi lalu-lintas di ukur pada tahun 2021.
- Umur rencana 20 tahun.

Berdasarkan data lalu lintas di atas, maka dapat di buat perhitungan lalu lintas harian rata-rata (LHR).

1) LHR awal umur rencana pada tahun 2023, $n = 2$ tahun, $i = 3,5\%$

- Sepeda Motor	$= 2046 \times (1 + 0,035)^2$	$= 2191,73$
- Sedan, Jeep	$= 1159 \times (1 + 0,035)^2$	$= 1241,55$
- Oplet, Combi, Minibus	$= 41 \times (1 + 0,035)^2$	$= 43,92$
- Pick Up, Micro Truck	$= 221 \times (1 + 0,035)^2$	$= 236,74$
- Bus Kecil	$= 2 \times (1 + 0,035)^2$	$= 2,14$
- Truk Ringan 2 Sumbu	$= 452 \times (1 + 0,035)^2$	$= 484,19$
- Truk Sedang 2 Sumbu	$= 85 \times (1 + 0,035)^2$	$= 91,1$
- Truk 3 Sumbu	$= 13 \times (1 + 0,035)^2$	$= 13,93$
- Truk Semi Trailer 122-22	$= 4 \times (1 + 0,035)^2$	$= 4,29$
<hr/>		
Jumlah		$= 4309,59$

2) LHR akhir umur rencana, $n = 20$ tahun, $i = 3,5\%$

- Sepeda Motor	$= 2191,73 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 4361,1$
- Sedan, Jeep	$= 1241,55 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 2470,32$
- Oplet, Combi, Minibus	$= 43,92 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 87,39$
- Pick Up, Micro Truck	$= 236,74 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 471,06$
- Bus Kecil	$= 2,14 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 4,26$
- Truk Ringan 2 Sumbu	$= 484,19 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 963,44$
- Truk Sedang 2 Sumbu	$= 91,1 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 181,27$
- Truk 3 Sumbu	$= 13,93 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 27,72$
- Truk Semi Trailer 122-22	$= 4,29 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 8,54$
<hr/>		
Jumlah		$= 8.575,2$

3) LHR dalam satuan mobil penumpang (SMP)

- Sepeda Motor	= 4361,1 x	1,0	= 4361,1
- Sedan, Jeep	= 2470,42 x	1,0	= 2470,42
- Oplet, Combi, Minibus	= 87,39 x	1,2	= 104,868
- Pick Up, Micro Truck	= 471,06 x	1,2	= 565,272
- Bus Kecil	= 4,26 x	1,2	= 5,112
- Truk Ringan 2 Sumbu	= 963,44 x	2,0	= 1926,88
- Truk Sedang 2 Sumbu	= 181,27 x	2,5	= 453,175
- Truk 3 Sumbu	= 27,72 x	3,0	= 83,16
- Truk Semi Trailer 122-22	= 8,54 x	3,0	= 25,62
Jumlah			= 9995,607

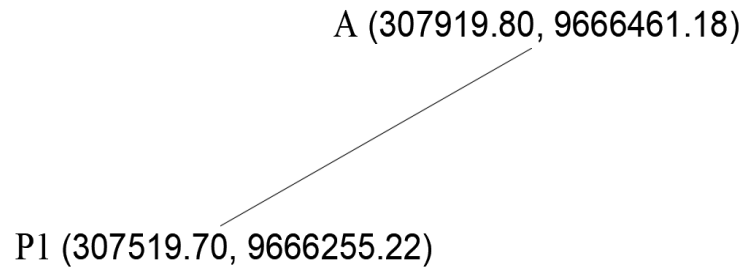
Volume harian rata rata yang didapat adalah 9995,607, berdasarkan klasifikasi kelas jalan terhadap VLHR (**tabel 2.4**), jalan tersebut digolongkan menjadi jalan **Kolektor II A**.

3.2 Perhitungan Panjang Garis Tangen

Pada perhitungan alinyemen horizontal, diawali dengan penentuan trase jalan, adapun gambar trase jalan rencana dan titik koordinat dapat dilihat pada **tabel 3.2** sebagai berikut :

Tabel 3.2 Titik Koordinat

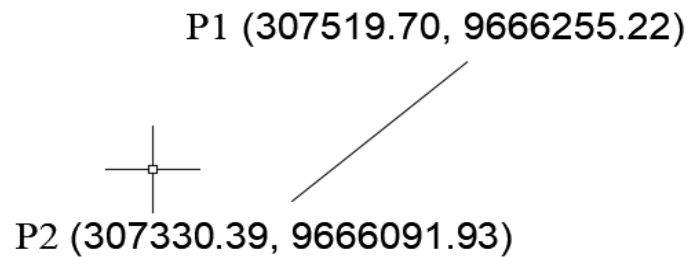
No	Titik	Koordinat	
		X	Y
1	A	307919,80	9666461,18
2	P1	307519,70	9666255,22
3	P2	307330,39	9666091,93
4	P3	306971,94	9666058,61
5	P4	306244,22	9666192,88
6	P5	306014,92	9665841,00
7	P6	306090,66	9665468,63
8	P7	306627,53	9664848,81
9	P8	306443,89	9664516,13
10	P9	305667,26	9664708,07
11	B	305285,87	9664587,45

1) Titik A ke P1

$$D1 = \sqrt{(X_{P1} - X_A)^2 + (Y_{P1} - Y_A)^2}$$

$$D1 = \sqrt{(307519,70 - 307919,80)^2 + (9666255,22 - 9666461,18)^2}$$

$$D1 = 450$$

2) Titik P1 ke P2

$$D2 = \sqrt{(X_{P2} - X_{P1})^2 + (Y_{P2} - Y_{P1})^2}$$

$$D2 = \sqrt{(307330,39 - 307519,70)^2 + (9666091,93 - 9666255,22)^2}$$

$$D2 = 250$$

3) Titik P2 ke P3

P2 (307330.39, 9666091.93)

P3 (306971.94, 9666058.61)

$$D3 = \sqrt{(X_{P3} - X_{P2})^2 + (Y_{P3} - Y_{P2})^2}$$

$$D3 = \sqrt{(306971,94 - 307330,39)^2 + (9666058,61 - 9666091,93)^2}$$

$$D3 = 360$$

4) Titik P3 ke P4

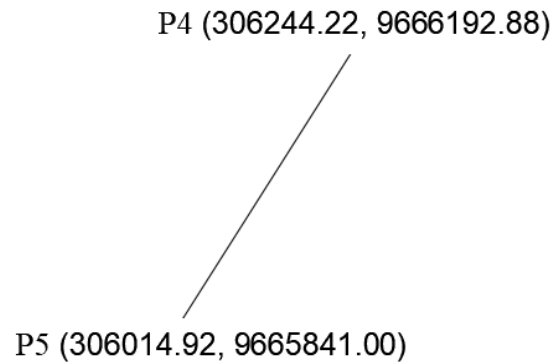
P4 (306244.22, 9666192.88)

P3 (306971.94, 9666058.61)

$$D4 = \sqrt{(X_{P4} - X_{P3})^2 + (Y_{P4} - Y_{P3})^2}$$

$$D4 = \sqrt{(306244,22 - 306971,94)^2 + (9666192,88 - 9666058,61)^2}$$

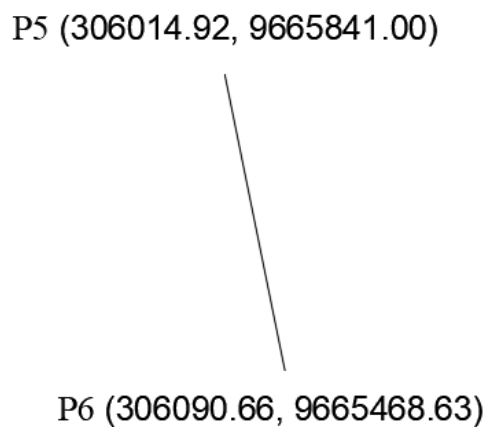
$$D4 = 740$$

5) Titik P4 ke P5

$$D5 = \sqrt{(X_{P5} - X_{P4})^2 + (Y_{P5} - Y_{P4})^2}$$

$$D5 = \sqrt{(306014,92 - 306244,22)^2 + (9665841,00 - 9666192,88)^2}$$

$$D5 = 420$$

6) Titik P5 ke P6

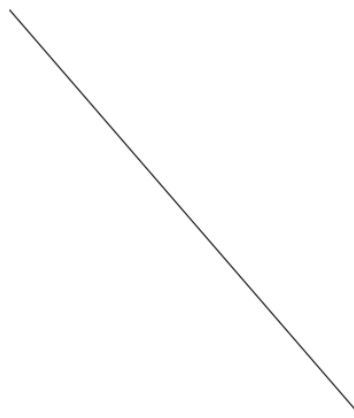
$$D6 = \sqrt{(X_{P6} - X_{P5})^2 + (Y_{P6} - Y_{P5})^2}$$

$$D6 = \sqrt{(306090,66 - 306014,92)^2 + (9665468,63 - 9665841,00)^2}$$

$$D6 = 380$$

7) Titik P6 ke P7

P6 (306090.66, 9665468.63)



P7 (306627.53, 9664848.81)

$$D7 = \sqrt{(X_{P7} - X_{P6})^2 + (Y_{P7} - Y_{P6})^2}$$

$$D7 = \sqrt{(306627,53 - 306090,66)^2 + (9664848,81 - 9665468,63)^2}$$

$$D7 = 820$$

8) Titik P7 ke P8

P7 (306627.53, 9664848.81)



P8 (306443.89, 9664516.13)

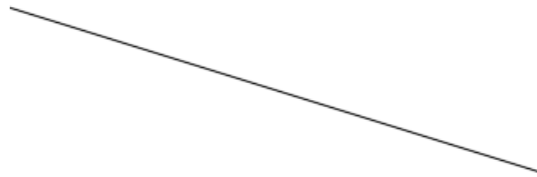
$$D8 = \sqrt{(X_{P8} - X_{P7})^2 + (Y_{P8} - Y_{P7})^2}$$

$$D8 = \sqrt{(306443,89 - 306627,53)^2 + (9664516,13 - 9664848,81)^2}$$

$$D8 = 380$$

9) Titik P8 ke P9

P9 (305667.26, 9664708.07)



P8 (306443.89, 9664516.13)

$$D9 = \sqrt{(X_{P9} - X_{P8})^2 + (Y_{P9} - Y_{P8})^2}$$

$$D9 = \sqrt{(305667,26 - 306443,89)^2 + (9664708,07 - 9664516,13)^2}$$

$$D9 = 800$$

10) Titik P9 ke B

P9 (305667.26, 9664708.07)



B (305285.87, 9664587.45)

$$D10 = \sqrt{(X_B - X_{P9})^2 + (Y_B - Y_{P9})^2}$$

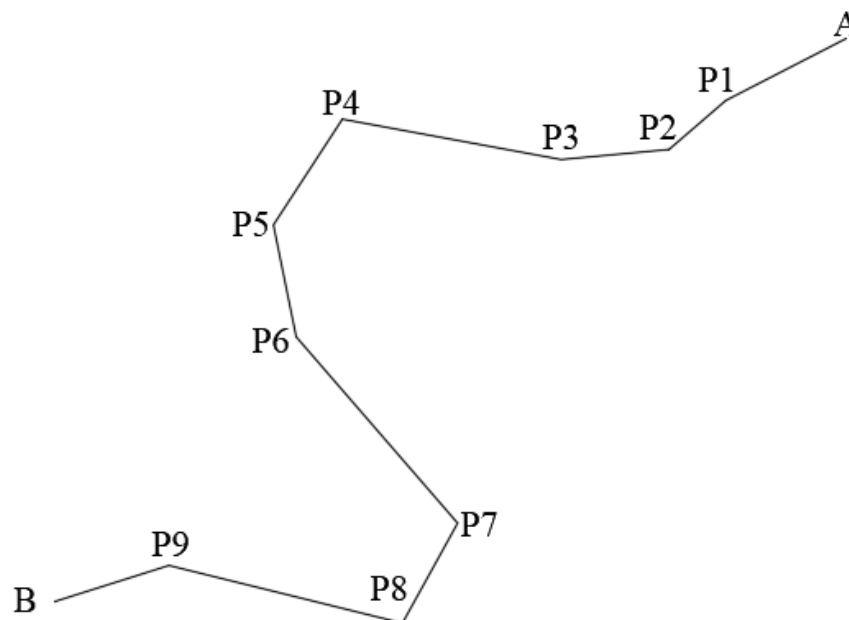
$$D10 = \sqrt{(305285,87 - 305667,26)^2 + (9664587,45 - 9664708,07)^2}$$

$$D10 = 400$$

Tabel 3.3 Rekapitulasi Perhitungan Garis Tangen

No	Ket.	Hasil
1	D1	450
2	D2	250
3	D3	360
4	D4	740
5	D5	420
6	D6	380
7	D7	820
8	D8	380
9	D9	800
10	D10	400

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2023)

**Gambar 3.1** Trase Jalan Perencanaan

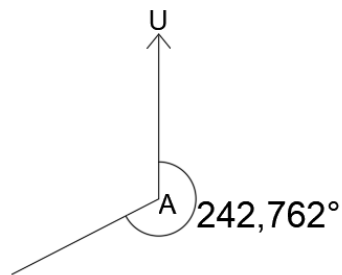
3.3 Perhitungan Sudut Azimuth dan Sudut Antara Dua Tangen (Δ)

Berikut ini merupakan perhitungan sudut azimuth dan sudut antara dua tangen sebagai berikut :

1) Sudut Azimuth

$$\begin{aligned}\alpha_A &= \text{arc tg} \left(\frac{x_{P1} - x_A}{y_{P1} - y_A} \right) \\ &= \text{arc tg} \left(\frac{307519,70 - 307919,80}{9666255,22 - 9666461,18} \right) \\ &= 62,762^\circ\end{aligned}$$

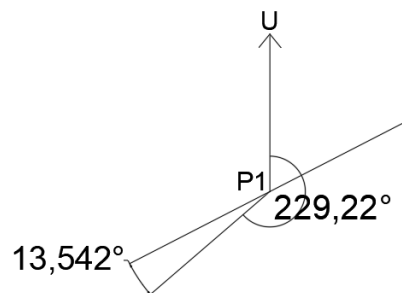
$$\begin{aligned}\text{Azimuth A} &= 180^\circ + 62,762^\circ \\ &= 242,762^\circ\end{aligned}$$



Gambar 3. 2 Sudut Azimuth A

$$\begin{aligned}\alpha_{P1} &= \text{arc tg} \left(\frac{x_{P2} - x_{P1}}{y_{P2} - y_{P1}} \right) \\ &= \text{arc tg} \left(\frac{307330,39 - 307519,70}{9666091,93 - 9666255,22} \right) \\ &= 49,220^\circ\end{aligned}$$

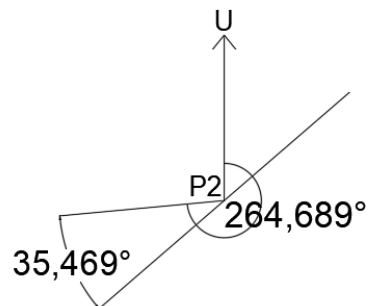
$$\begin{aligned}\text{Azimuth P1} &= 180^\circ + 49,220^\circ \\ &= 229,22^\circ\end{aligned}$$



Gambar 3. 3 Sudut Azimuth P1

$$\begin{aligned}\alpha_{P2} &= \text{arc tg} \left(\frac{x_{P3} - x_{P2}}{y_{P3} - y_{P2}} \right) \\ &= \text{arc tg} \left(\frac{306971,94 - 307330,39}{9666058,61 - 9666091,93} \right) \\ &= 84,689^\circ\end{aligned}$$

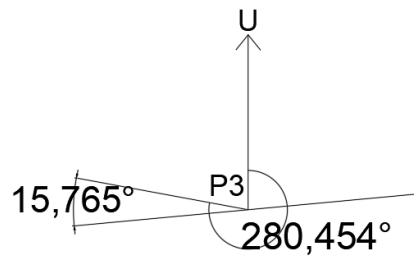
$$\begin{aligned}\text{Azimuth P2} &= 180^\circ + 84,689^\circ \\ &= 264,689^\circ\end{aligned}$$



Gambar 3. 4 Sudut Azimuth P2

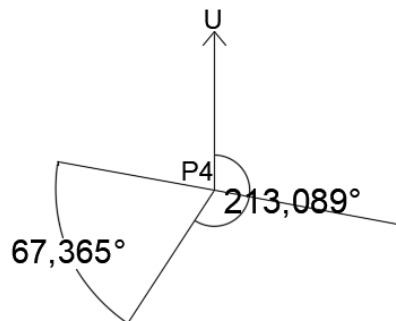
$$\begin{aligned}\alpha_{P3} &= \text{arc tg} \left(\frac{x_{P4} - x_{P3}}{y_{P4} - y_{P3}} \right) \\ &= \text{arc tg} \left(\frac{306244,22 - 306971,94}{9666192,88 - 9666058,61} \right) \\ &= -79,546^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Azimuth P3} &= 360^\circ - 79,546^\circ \\ &= 280,454^\circ\end{aligned}$$



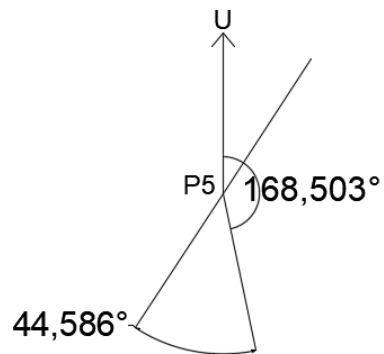
Gambar 3. 5 Sudut Azimuth P3

$$\begin{aligned}
 \alpha_{P4} &= \text{arc tg} \left(\frac{x_{P5} - x_{P4}}{y_{P5} - y_{P4}} \right) \\
 &= \text{arc tg} \left(\frac{306014,92 - 306244,22}{9665841,00 - 9666192,88} \right) \\
 &= 33,089^\circ \\
 \text{Azimuth P4} &= 180^\circ + 33,089^\circ \\
 &= 213,089^\circ
 \end{aligned}$$



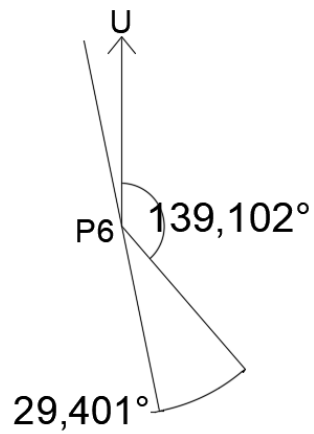
Gambar 3. 6 Sudut Azimuth P4

$$\begin{aligned}
 \alpha_{P5} &= \text{arc tg} \left(\frac{x_{P6} - x_{P5}}{y_{P6} - y_{P5}} \right) \\
 &= \text{arc tg} \left(\frac{306090,66 - 306014,92}{9665468,63 - 9665841,00} \right) \\
 &= -11,497^\circ \\
 \text{Azimuth P5} &= 180^\circ - 11,497^\circ \\
 &= 168,503^\circ
 \end{aligned}$$



Gambar 3. 7 Sudut Azimuth P5

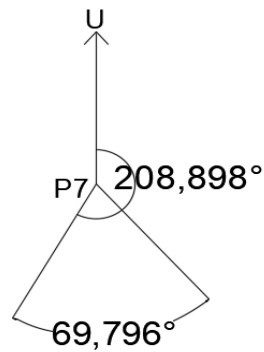
$$\begin{aligned}
 \alpha_{P6} &= \text{arc tg} \left(\frac{x_{P7} - x_{P6}}{y_{P7} - y_{P6}} \right) \\
 &= \text{arc tg} \left(\frac{306627,53 - 306090,66}{9664848,81 - 9665468,63} \right) \\
 &= -40,898^\circ \\
 \text{Azimuth P6} &= 180^\circ - 40,898^\circ \\
 &= 139,102^\circ
 \end{aligned}$$



Gambar 3. 8 Sudut Azimuth P6

$$\begin{aligned}\alpha_{P7} &= \text{arc tg} \left(\frac{x_{P8} - x_{P7}}{y_{P8} - y_{P7}} \right) \\ &= \text{arc tg} \left(\frac{306443,89 - 306627,53}{9664516,13 - 9664848,81} \right) \\ &= 28,898^\circ\end{aligned}$$

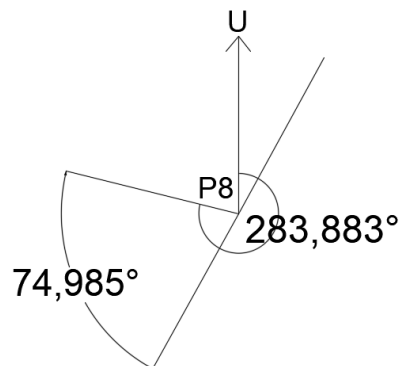
$$\begin{aligned}\text{Azimuth } P7 &= 180^\circ + 28,898^\circ \\ &= 208,898^\circ\end{aligned}$$



Gambar 3. 9 Sudut Azimuth P7

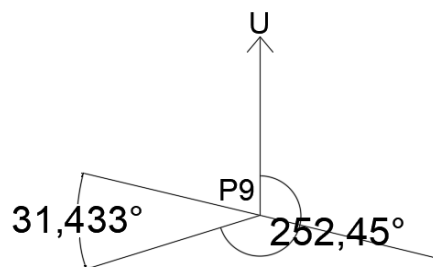
$$\begin{aligned}\alpha_{P8} &= \text{arc tg} \left(\frac{x_{P9} - x_{P8}}{y_{P9} - y_{P8}} \right) \\ &= \text{arc tg} \left(\frac{305667,26 - 306443,89}{9664708,07 - 9664516,13} \right) \\ &= -76,117^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Azimuth } P8 &= 360^\circ - 76,117^\circ \\ &= 283,883^\circ\end{aligned}$$



Gambar 3. 10 Sudut Azimuth P8

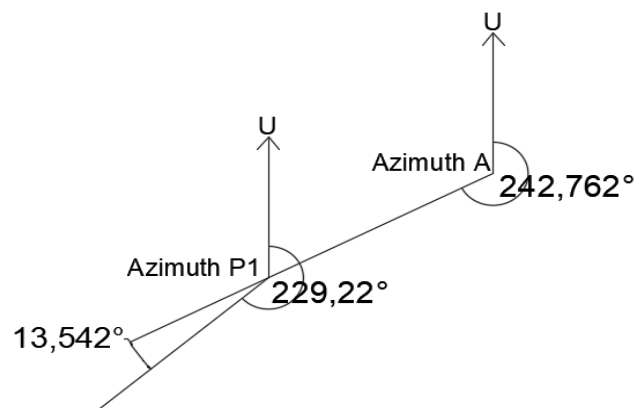
$$\begin{aligned}
 \alpha_{P9} &= \text{arc tg} \left(\frac{x_B - x_{P9}}{y_B - y_{P9}} \right) \\
 &= \text{arc tg} \left(\frac{305285,87 - 305667,26}{9664587,45 - 9664708,07} \right) \\
 &= 72,450^\circ \\
 \text{Azimuth P9} &= 180^\circ + 72,450^\circ \\
 &= 252,45^\circ
 \end{aligned}$$



Gambar 3. 11 Sudut Azimuth P9

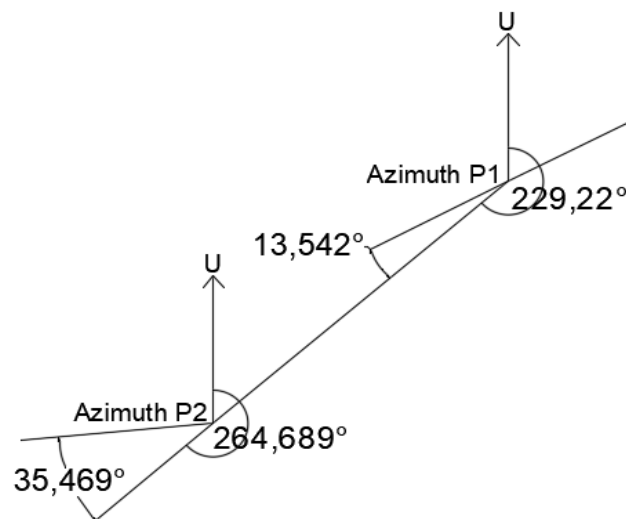
2) Sudut Antara Dua Tangen / Bearing (Δ)

$$\begin{aligned}
 \Delta 1 &= \text{Azimuth A} - \text{Azimuth P1} \\
 &= 242,762^\circ - 229,22^\circ \\
 &= 13,542^\circ
 \end{aligned}$$



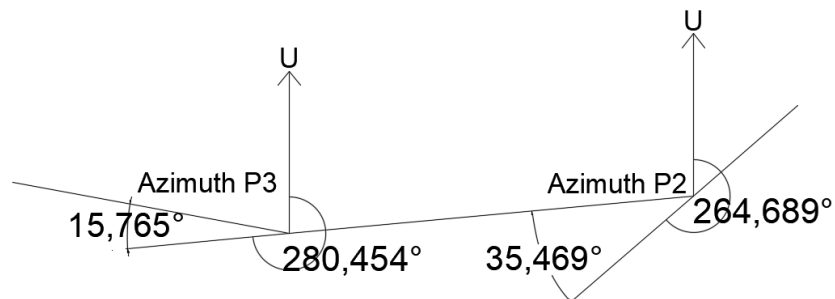
Gambar 3. 12 Sudut Bearing ($\Delta 1$)

$$\begin{aligned}\Delta 2 &= \text{Azimuth P2} - \text{Azimuth P1} \\ &= 264,689^\circ - 229,22^\circ \\ &= 35,469^\circ\end{aligned}$$



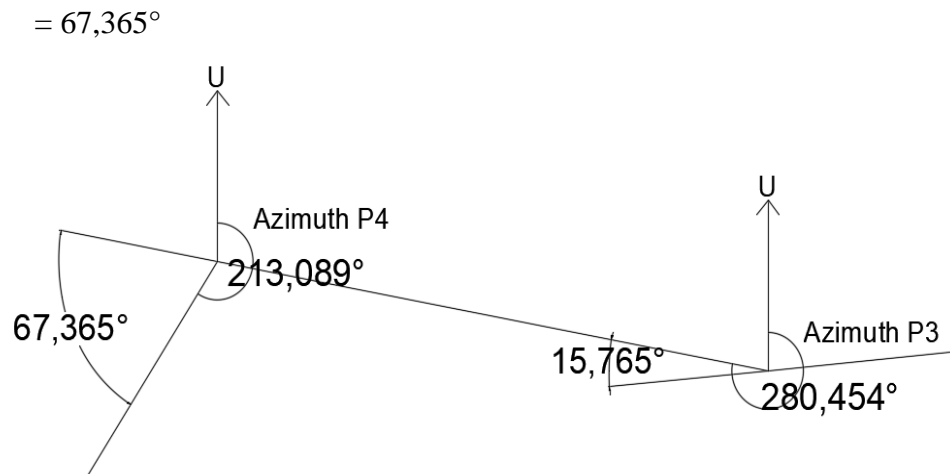
Gambar 3. 13 Sudut Bearing ($\Delta 2$)

$$\begin{aligned}\Delta 3 &= \text{Azimuth P3} - \text{Azimuth P2} \\ &= 280,454^\circ - 264,689^\circ \\ &= 15,765^\circ\end{aligned}$$



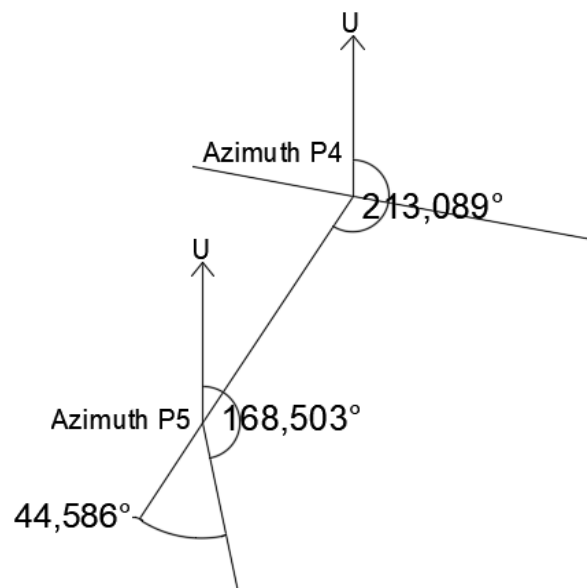
Gambar 3. 14 Sudut Bearing ($\Delta 3$)

$$\begin{aligned}\Delta 4 &= \text{Azimuth P3} - \text{Azimuth P4} \\ &= 280,454^\circ - 213,089^\circ\end{aligned}$$



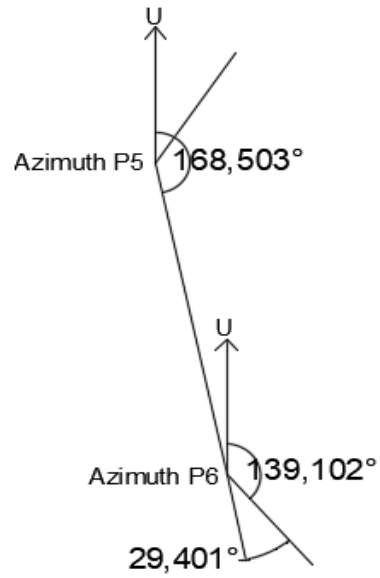
Gambar 3. 15 Sudut Bearing ($\Delta 4$)

$$\begin{aligned}\Delta 5 &= \text{Azimuth P4} - \text{Azimuth P5} \\ &= 213,089^\circ - 168,503^\circ \\ &= 45^\circ\end{aligned}$$



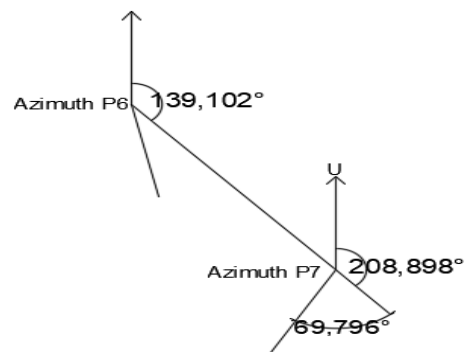
Gambar 3. 16 Sudut Bearing ($\Delta 5$)

$$\begin{aligned}\Delta 6 &= \text{Azimuth P4} - \text{Azimuth P5} \\ &= 168,503^\circ - 139,102^\circ \\ &= 29^\circ\end{aligned}$$



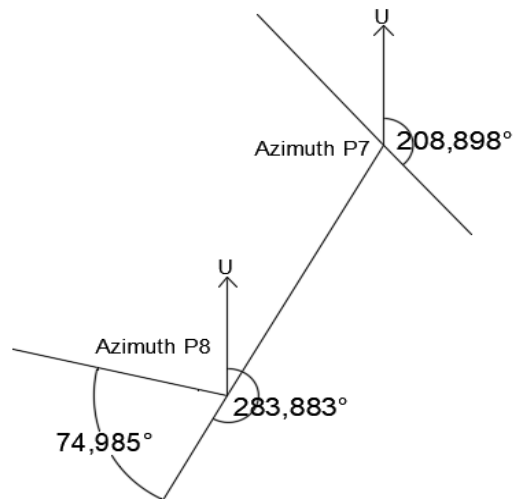
Gambar 3. 17 Sudut Bearing ($\Delta 6$)

$$\begin{aligned}\Delta 7 &= \text{Azimuth P7} - \text{Azimuth P6} \\ &= 208,898^\circ - 139,102^\circ \\ &= 70^\circ\end{aligned}$$



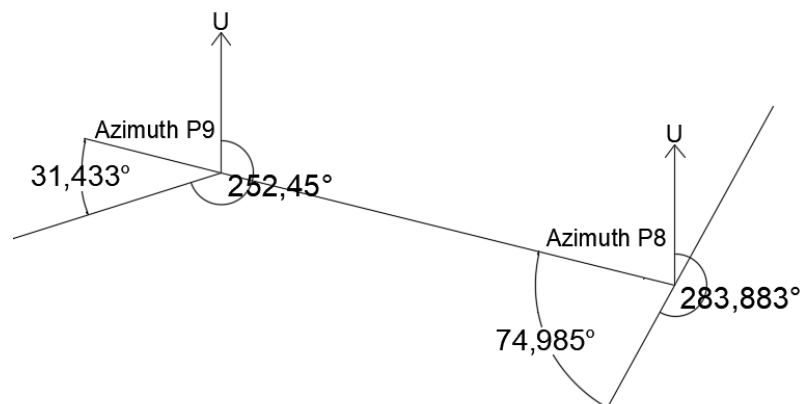
Gambar 3. 18 Sudut Bearing ($\Delta 7$)

$$\begin{aligned}\Delta 8 &= \text{Azimuth P8} - \text{Azimuth P7} \\ &= 283,883^\circ - 208,898^\circ \\ &= 75^\circ\end{aligned}$$



Gambar 3. 19 Sudut Bearing ($\Delta 8$)

$$\begin{aligned}\Delta 9 &= \text{Azimuth P8} - \text{Azimuth P9} \\ &= 283,883^\circ - 252,45^\circ \\ &= 31^\circ\end{aligned}$$



Gambar 3. 20 Sudut Bearing ($\Delta 9$)

Tabel 3.4 Rekapitulasi Penentuan Tikungan

No	Sudut Azimuth		Sudut Tangen		Jenis Tikungan
1	A	242.762°			
			Δ1	13.542°	FC
2	P1	229,22°			
			Δ2	35.469°	SS
3	P2	264.689°			
			Δ3	15.765°	FC
4	P3	280.454°			
			Δ4	67.365°	SS
5	P4	213.089°			
			Δ5	44.586°	SS
6	P5	168.503°			
			Δ6	29.401°	SCS
7	P6	139.102°			
			Δ7	69.796°	SS
8	P7	208.898°			
			Δ8	74.985°	SS
9	P8	283.883°			
			Δ9	31.433°	SCS
10	P9	252,45°			

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2023)

3.4 Menentukan Golongan Medan Jalan

Dari gambar rencana yang diperoleh, maka akan di hitung nilai kelandaian jalan tersebut. Nilai kelandaian jalan dapat di hitung sebagai berikut :

Rumus :

$$\text{Elevasi} = \text{Kontur terbesar} - \left(\frac{\text{Jarak kontur terpendek}}{\text{Jarak kontur terpanjang}} \times \text{Selisih Kontur} \right)$$

$$\text{Kemiringan} = \frac{\text{Selisih Kontur}}{\text{Jarak}} \times 100\%$$

1) STA 29 + 200

$$\text{Elevasi Kanan} = 42 - \left(\frac{7,256}{7,452} \right) \times 1 = 41,026$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 40 - \left(\frac{29,848}{34,308} \right) \times 1 = 39,130$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{39,130 - 41,026}{50} \right) \times 100\% = 3,793$$

2) STA 29 + 250

$$\text{Elevasi Kanan} = 41 - \left(\frac{3,162}{4,214} \right) \times 1 = 40,250$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 41 - \left(\frac{10,867}{15,248} \right) \times 1 = 40,388$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{40,388 - 40,250}{50} \right) \times 100\% = 0,277$$

3) STA 29 + 300

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{6,221}{7,345} \right) \times 1 = 38,153$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{9,399}{11,434} \right) \times 1 = 37,178$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,178 - 38,153}{50} \right) \times 100\% = 1,950$$

4) STA 29 + 350

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{9,441}{10,331} \right) \times 1 = 38,086$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{10,982}{11,871} \right) \times 1 = 37,075$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,075 - 38,086}{50} \right) \times 100\% = 2,023$$

5) STA 29 + 400

$$\text{Elevasi Kanan} = 40 - \left(\frac{5,623}{8,789} \right) \times 1 = 39,360$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 39 - \left(\frac{7,262}{11,638} \right) \times 1 = 38,376$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{38,376 - 39,360}{50} \right) \times 100\% = 1,968$$

6) STA 29 + 450

$$\text{Elevasi Kanan} = 41 - \left(\frac{5,766}{7,146} \right) \times 1 = 40,193$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 40 - \left(\frac{7,247}{10,852} \right) \times 1 = 39,332$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{39,332 - 40,193}{50} \right) \times 100\% = 1,722$$

7) STA 29 + 500

$$\text{Elevasi Kanan} = 43 - \left(\frac{13,845}{16,610} \right) \times 1 = 42,166$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{9,457}{15,014} \right) \times 1 = 41,370$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,370 - 42,166}{50} \right) \times 100\% = 1,593$$

8) STA 29 + 550

$$\text{Elevasi Kanan} = 45 - \left(\frac{13,992}{14,082} \right) \times 1 = 44,006$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 44 - \left(\frac{7,954}{15,375} \right) \times 1 = 43,483$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{43,483 - 44,006}{50} \right) \times 100\% = 1,047$$

9) STA 29 + 600

$$\text{Elevasi Kanan} = 51 - \left(\frac{13,427}{16,697} \right) \times 1 = 50,196$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 51 - \left(\frac{9,407}{17,335} \right) \times 1 = 50,457$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{50,457 - 50,196}{50} \right) \times 100\% = 0,523$$

10) STA 29 + 650

$$\text{Elevasi Kanan} = 47 - \left(\frac{14,950}{19,049} \right) \times 1 = 46,215$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 47 - \left(\frac{11,673}{20,946} \right) \times 1 = 46,443$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{46,443 - 46,215}{50} \right) \times 100\% = 0,445$$

11) STA 29 + 700

$$\text{Elevasi Kanan} = 48 - \left(\frac{26,779}{28,128} \right) \times 1 = 47,048$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 48 - \left(\frac{35,85}{36,351} \right) \times 1 = 47,014$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{47,014 - 47,048}{50} \right) \times 100\% = 0,068$$

12) STA 29 + 750

$$\text{Elevasi Kanan} = 46 - \left(\frac{16,311}{18,315} \right) \times 1 = 45,109$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 47 - \left(\frac{16,074}{18,105} \right) \times 1 = 46,112$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{47,014 - 47,048}{50} \right) \times 100\% = 2,006$$

13) STA 29 + 800

$$\text{Elevasi Kanan} = 45 - \left(\frac{18,036}{19,324} \right) \times 1 = 44,067$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 45 - \left(\frac{18,099}{19,855} \right) \times 1 = 44,088$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{44,088 - 44,067}{50} \right) \times 100\% = 0,044$$

14) STA 29 + 850

$$\text{Elevasi Kanan} = 42 - \left(\frac{54,078}{59,269} \right) \times 1 = 41,088$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{62,843}{64,323} \right) \times 1 = 41,023$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,023 - 41,088}{50} \right) \times 100\% = 0,129$$

15) STA 29 + 900

$$\text{Elevasi Kanan} = 42 - \left(\frac{64,146}{112,95} \right) \times 1 = 41,432$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{50,207}{100,04} \right) \times 1 = 41,498$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,498 - 41,432}{50} \right) \times 100\% = 0,132$$

16) STA 29 + 950

$$\text{Elevasi Kanan} = 42 - \left(\frac{86,435}{88,939} \right) \times 1 = 41,028$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{79,752}{87,196} \right) \times 1 = 41,085$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,085 - 41,028}{50} \right) \times 100\% = 0,114$$

17) STA 30 + 000

$$\text{Elevasi Kanan} = 43 - \left(\frac{23,719}{31,045} \right) \times 1 = 42,236$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 43 - \left(\frac{16,412}{31,082} \right) \times 1 = 42,472$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{42,472 - 42,236}{50} \right) \times 100\% = 0,472$$

18) STA 30 + 050

$$\text{Elevasi Kanan} = 43 - \left(\frac{16,200}{29,852} \right) \times 1 = 43,457$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 44 - \left(\frac{24,735}{29,231} \right) \times 1 = 43,154$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{42,472 - 42,236}{50} \right) \times 100\% = 0,607$$

19) STA 30 + 100

$$\text{Elevasi Kanan} = 45 - \left(\frac{12,688}{24,938} \right) \times 1 = 44,491$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 45 - \left(\frac{19,75}{24,244} \right) \times 1 = 44,185$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{44,185 - 44,491}{50} \right) \times 100\% = 0,612$$

20) STA 30 + 150

$$\text{Elevasi Kanan} = 47 - \left(\frac{12,01}{20,377} \right) \times 1 = 46,411$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 47 - \left(\frac{13,938}{19,367} \right) \times 1 = 46,280$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{46,280 - 46,411}{50} \right) \times 100\% = 0,261$$

21) STA 30 + 200

$$\text{Elevasi Kanan} = 50 - \left(\frac{12,041}{6,389} \right) \times 1 = 48,115$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 50 - \left(\frac{8,971}{11,582} \right) \times 1 = 49,225$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{49,225 - 48,115}{50} \right) \times 100\% = 2,220$$

22) STA 30 + 250

$$\text{Elevasi Kanan} = 53 - \left(\frac{12,014}{13,039} \right) \times 1 = 52,079$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 53 - \left(\frac{10,513}{11,374} \right) \times 1 = 52,076$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{52,076 - 52,079}{50} \right) \times 100\% = 0,006$$

23) STA 30 + 260

$$\text{Elevasi Kanan} = 54 - \left(\frac{8,221}{9,798} \right) \times 1 = 53,161$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 53 - \left(\frac{8,513}{10,698} \right) \times 1 = 52,204$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{52,204 - 53,161}{50} \right) \times 100\% = 9,567$$

24) STA 30 + 300

$$\text{Elevasi Kanan} = 53 - \left(\frac{6,889}{7,721} \right) \times 1 = 52,108$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 52 - \left(\frac{9,215}{12,238} \right) \times 1 = 51,247$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{51,247 - 52,108}{50} \right) \times 100\% = 2,152$$

25) STA 30 + 350

$$\text{Elevasi Kanan} = 51 - \left(\frac{7,747}{12,609} \right) \times 1 = 50,386$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 50 - \left(\frac{6,641}{8,653} \right) \times 1 = 49,233$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{49,233 - 50,386}{50} \right) \times 100\% = 2,306$$

26) STA 30 + 400

$$\text{Elevasi Kanan} = 47 - \left(\frac{41,976}{45,634} \right) \times 1 = 46,080$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 47 - \left(\frac{47,485}{56,65} \right) \times 1 = 46,162$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{46,162 - 46,080}{50} \right) \times 100\% = 0,163$$

27) STA 30 + 450

$$\text{Elevasi Kanan} = 47 - \left(\frac{57,385}{70,792} \right) \times 1 = 46,189$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 47 - \left(\frac{58,585}{86,289} \right) \times 1 = 46,321$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{46,321 - 46,189}{50} \right) \times 100\% = 0,263$$

28) STA 30 + 500

$$\text{Elevasi Kanan} = 46 - \left(\frac{23,492}{36,002} \right) \times 1 = 45,347$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 46 - \left(\frac{22,554}{32,195} \right) \times 1 = 45,299$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{45,299 - 45,347}{50} \right) \times 100\% = 0,096$$

29) STA 30 + 550

$$\text{Elevasi Kanan} = 43 - \left(\frac{10,915}{11,743} \right) \times 1 = 42,071$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{20,769}{22,951} \right) \times 1 = 41,095$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,095 - 42,071}{50} \right) \times 100\% = 1,951$$

30) STA 30 + 600

$$\text{Elevasi Kanan} = 40 - \left(\frac{5,02}{10,04} \right) \times 1 = 39,500$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 39 - \left(\frac{2,676}{3,692} \right) \times 1 = 38,275$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{38,275 - 39,500}{50} \right) \times 100\% = 2,450$$

31) STA 30 + 650

$$\text{Elevasi Kanan} = 38 - \left(\frac{18,296}{32,091} \right) \times 1 = 37,430$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{28,658}{31,8} \right) \times 1 = 37,099$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,099 - 37,430}{50} \right) \times 100\% = 0,662$$

32) STA 30 + 700

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{9,822}{11,571} \right) \times 1 = 38,151$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 39 - \left(\frac{10,07}{12,056} \right) \times 1 = 38,165$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{38,165 - 38,151}{50} \right) \times 100\% = 0,027$$

33) STA 30 + 750

$$\text{Elevasi Kanan} = 42 - \left(\frac{11,648}{20,585} \right) \times 1 = 41,434$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{25,701}{37,197} \right) \times 1 = 41,309$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,309 - 41,434}{50} \right) \times 100\% = 0,250$$

34) STA 30 + 800

$$\text{Elevasi Kanan} = 42 - \left(\frac{73,932}{88,65} \right) \times 1 = 41,166$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{65,865}{86,245} \right) \times 1 = 41,236$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,236 - 41,166}{50} \right) \times 100\% = 0,141$$

35) STA 30 + 850

$$\text{Elevasi Kanan} = 42 - \left(\frac{48,499}{78,007} \right) \times 1 = 41,378$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{55,804}{82,113} \right) \times 1 = 41,320$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,320 - 41,378}{50} \right) \times 100\% = 0,116$$

36) STA 30 + 900

$$\text{Elevasi Kanan} = 40 - \left(\frac{55,027}{100,681} \right) \times 1 = 39,453$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 40 - \left(\frac{45,778}{99,699} \right) \times 1 = 39,541$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{39,541 - 39,453}{50} \right) \times 100\% = 0,175$$

37) STA 30 + 950

$$\text{Elevasi Kanan} = 41 - \left(\frac{67,456}{111,319} \right) \times 1 = 40,394$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 41 - \left(\frac{57,702}{102,554} \right) \times 1 = 40,437$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{40,437 - 40,394}{50} \right) \times 100\% = 0,087$$

38) STA 31 + 000

$$\text{Elevasi Kanan} = 43 - \left(\frac{14,568}{19,069} \right) \times 1 = 42,236$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 44 - \left(\frac{4,015}{7,602} \right) \times 1 = 43,472$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{43,472 - 42,236}{50} \right) \times 100\% = 2,472$$

39) STA 31 + 050

$$\text{Elevasi Kanan} = 44 - \left(\frac{6,811}{10,468} \right) \times 1 = 43,349$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 45 - \left(\frac{28,905}{30,036} \right) \times 1 = 44,038$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{44,038 - 43,349}{50} \right) \times 100\% = 1,377$$

40) STA 31 + 100

$$\text{Elevasi Kanan} = 45 - \left(\frac{35,236}{59,341} \right) \times 1 = 44,406$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 45 - \left(\frac{39,385}{81,997} \right) \times 1 = 44,520$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{44,520 - 44,406}{50} \right) \times 100\% = 0,227$$

41) STA 31 + 150

$$\text{Elevasi Kanan} = 46 - \left(\frac{15,036}{20,907} \right) \times 1 = 45,281$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 46 - \left(\frac{13,777}{23,69} \right) \times 1 = 45,418$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{45,418 - 45,281}{50} \right) \times 100\% = 0,275$$

42) STA 31 + 200

$$\text{Elevasi Kanan} = 48 - \left(\frac{25,574}{32,851} \right) \times 1 = 47,222$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 47 - \left(\frac{17,594}{19,305} \right) \times 1 = 46,089$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{46,089 - 47,222}{50} \right) \times 100\% = 2,266$$

43) STA 31 + 250

$$\text{Elevasi Kanan} = 48 - \left(\frac{27,94}{33,275} \right) \times 1 = 47,160$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 48 - \left(\frac{23,629}{33,479} \right) \times 1 = 47,294$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{47,294 - 47,160}{50} \right) \times 100\% = 0,268$$

44) STA 31 + 300

$$\text{Elevasi Kanan} = 48 - \left(\frac{27,94}{33,275} \right) \times 1 = 50,254$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 50 - \left(\frac{7,79}{12,713} \right) \times 1 = 49,387$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{49,387 - 50,254}{50} \right) \times 100\% = 1,733$$

45) STA 31 + 350

$$\text{Elevasi Kanan} = 53 - \left(\frac{12,5}{20,133} \right) \times 1 = 52,379$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 53 - \left(\frac{12,016}{18,385} \right) \times 1 = 52,346$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{52,346 - 52,379}{50} \right) \times 100\% = 0,065$$

46) STA 31 + 400

$$\text{Elevasi Kanan} = 55 - \left(\frac{32,989}{54,395} \right) \times 1 = 54,394$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 55 - \left(\frac{41,639}{63,397} \right) \times 1 = 54,343$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{54,343 - 54,394}{50} \right) \times 100\% = 0,101$$

47) STA 31 + 420

$$\text{Elevasi Kanan} = 55 - \left(\frac{27,901}{48,165} \right) \times 1 = 54,421$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 55 - \left(\frac{35,344}{44,449} \right) \times 1 = 54,205$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{54,205 - 54,421}{50} \right) \times 100\% = 1,079$$

48) STA 31 + 450

$$\text{Elevasi Kanan} = 55 - \left(\frac{11,048}{11,978} \right) \times 1 = 54,078$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 55 - \left(\frac{5,556}{9,337} \right) \times 1 = 54,405$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{54,405 - 54,078}{50} \right) \times 100\% = 1,091$$

49) STA 31 + 500

$$\text{Elevasi Kanan} = 51 - \left(\frac{6,238}{6,820} \right) \times 1 = 50,085$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 52 - \left(\frac{15,798}{18,631} \right) \times 1 = 51,152$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{51,152 - 50,085}{50} \right) \times 100\% = 2,133$$

50) STA 31 + 550

$$\text{Elevasi Kanan} = 47 - \left(\frac{5,919}{11,497} \right) \times 1 = 46,485$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 48 - \left(\frac{9,880}{10,510} \right) \times 1 = 47,060$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{47,060 - 46,485}{50} \right) \times 100\% = 1,150$$

51) STA 31 + 600

$$\text{Elevasi Kanan} = 45 - \left(\frac{15,431}{20,073} \right) \times 1 = 44,231$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 45 - \left(\frac{10,133}{18,251} \right) \times 1 = 44,445$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{44,445 - 44,231}{50} \right) \times 100\% = 0,427$$

52) STA 31 + 650

$$\text{Elevasi Kanan} = 43 - \left(\frac{13,656}{16,899} \right) \times 1 = 42,192$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 43 - \left(\frac{11,823}{17,047} \right) \times 1 = 42,306$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{42,306 - 42,192}{50} \right) \times 100\% = 0,229$$

53) STA 31 + 700

$$\text{Elevasi Kanan} = 41 - \left(\frac{24,245}{27,884} \right) \times 1 = 40,131$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{14,023}{19,058} \right) \times 1 = 41,264$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,264 - 40,131}{50} \right) \times 100\% = 2,267$$

54) STA 31 + 750

$$\text{Elevasi Kanan} = 40 - \left(\frac{10,48}{19,166} \right) \times 1 = 39,453$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 40 - \left(\frac{15,134}{18,076} \right) \times 1 = 39,163$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{39,163 - 39,453}{50} \right) \times 100\% = 0,581$$

55) STA 31 + 800

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{54,516}{66,265} \right) \times 1 = 38,177$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 39 - \left(\frac{68,056}{70,254} \right) \times 1 = 38,031$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{38,031 - 38,177}{50} \right) \times 100\% = 0,292$$

56) STA 31 + 850

$$\text{Elevasi Kanan} = 40 - \left(\frac{24,034}{30,960} \right) \times 1 = 39,224$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 40 - \left(\frac{19,778}{31,831} \right) \times 1 = 39,379$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{39,379 - 39,224}{50} \right) \times 100\% = 0,310$$

57) STA 31 + 900

$$\text{Elevasi Kanan} = 41 - \left(\frac{21,486}{32,498} \right) \times 1 = 40,339$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 41 - \left(\frac{25,995}{35,296} \right) \times 1 = 40,264$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{40,264 - 40,339}{50} \right) \times 100\% = 0,151$$

58) STA 31 + 950

$$\text{Elevasi Kanan} = 40 - \left(\frac{4,891}{9,222} \right) \times 1 = 39,470$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 40 - \left(\frac{6,935}{10,207} \right) \times 1 = 39,321$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{39,321 - 39,470}{50} \right) \times 100\% = 0,298$$

59) STA 32 + 000

$$\text{Elevasi Kanan} = 38 - \left(\frac{30,736}{35,868} \right) \times 1 = 37,143$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{21,331}{32,901} \right) \times 1 = 37,352$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,352 - 37,143}{50} \right) \times 100\% = 0,417$$

60) STA 32 + 050

$$\text{Elevasi Kanan} = 40 - \left(\frac{4,972}{8,822} \right) \times 1 = 39,436$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 40 - \left(\frac{4,281}{8,551} \right) \times 1 = 39,499$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{39,499 - 39,436}{50} \right) \times 100\% = 0,126$$

61) STA 32 + 100

$$\text{Elevasi Kanan} = 44 - \left(\frac{52,107}{65,644} \right) \times 1 = 43,206$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 44 - \left(\frac{57,554}{70,978} \right) \times 1 = 43,189$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{43,189 - 43,206}{50} \right) \times 100\% = 0,034$$

62) STA 32 + 150

$$\text{Elevasi Kanan} = 44 - \left(\frac{87,422}{127,148} \right) \times 1 = 43,312$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 44 - \left(\frac{79,708}{137,748} \right) \times 1 = 43,421$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{43,421 - 43,312}{50} \right) \times 100\% = 0,218$$

63) STA 32 + 200

$$\text{Elevasi Kanan} = 44 - \left(\frac{82,140}{122,553} \right) \times 1 = 43,330$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 44 - \left(\frac{71,221}{120,392} \right) \times 1 = 43,408$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{43,408 - 43,330}{50} \right) \times 100\% = 0,157$$

64) STA 32 + 250

$$\text{Elevasi Kanan} = 45 - \left(\frac{7,977}{122,553} \right) \times 1 = 44,159$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 45 - \left(\frac{6,632}{10,109} \right) \times 1 = 44,344$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{44,344 - 44,159}{50} \right) \times 100\% = 0,370$$

65) STA 32 + 300

$$\text{Elevasi Kanan} = 48 - \left(\frac{31,086}{34,032} \right) \times 1 = 47,087$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 48 - \left(\frac{33,213}{36,688} \right) \times 1 = 47,095$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{47,095 - 47,087}{50} \right) \times 100\% = 0,016$$

66) STA 32 + 350

$$\text{Elevasi Kanan} = 49 - \left(\frac{11,037}{11,441} \right) \times 1 = 48,035$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 48 - \left(\frac{15,549}{25,405} \right) \times 1 = 47,388$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{48,035 - 47,388}{50} \right) \times 100\% = 1,295$$

67) STA 32 + 400

$$\text{Elevasi Kanan} = 49 - \left(\frac{7,701}{7,769} \right) \times 1 = 48,009$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 48 - \left(\frac{9,933}{15,476} \right) \times 1 = 47,358$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{47,358 - 48,009}{50} \right) \times 100\% = 1,301$$

68) STA 32 + 450

$$\text{Elevasi Kanan} = 48 - \left(\frac{5,046}{6,617} \right) \times 1 = 47,237$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 46 - \left(\frac{5,737}{6,352} \right) \times 1 = 45,097$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{45,097 - 47,237}{50} \right) \times 100\% = 4,281$$

69) STA 32 + 500

$$\text{Elevasi Kanan} = 43 - \left(\frac{6,727}{7,703} \right) \times 1 = 42,127$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{6,314}{7,567} \right) \times 1 = 41,166$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,166 - 42,127}{50} \right) \times 100\% = 1,922$$

70) STA 32 + 550

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{6,971}{8,804}\right) \times 1 = 38,208$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{7,842}{10,082}\right) \times 1 = 37,222$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,222-38,208}{50}\right) \times 100\% = 1,972$$

71) STA 32 + 600

$$\text{Elevasi Kanan} = 37 - \left(\frac{8,796}{12,523}\right) \times 1 = 36,298$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 36 - \left(\frac{10,73}{11,146}\right) \times 1 = 35,037$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{35,037-36,298}{50}\right) \times 100\% = 2,521$$

72) STA 32 + 620

$$\text{Elevasi Kanan} = 36 - \left(\frac{10,121}{10,47}\right) \times 1 = 35,033$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 36 - \left(\frac{6,853}{10,744}\right) \times 1 = 35,362$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{35,362-35,033}{50}\right) \times 100\% = 1,644$$

73) STA 32 + 650

$$\text{Elevasi Kanan} = 34 - \left(\frac{21,363}{29,553}\right) \times 1 = 33,277$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 34 - \left(\frac{15,565}{26,256}\right) \times 1 = 33,407$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{33,407-33,277}{50}\right) \times 100\% = 0,434$$

74) STA 32 + 700

$$\text{Elevasi Kanan} = 33 - \left(\frac{45,014}{66,217}\right) \times 1 = 32,320$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 33 - \left(\frac{32,362}{59,280}\right) \times 1 = 32,454$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{32,454-32,320}{50}\right) \times 100\% = 0,268$$

75) STA 32 + 750

$$\text{Elevasi Kanan} = 34 - \left(\frac{25,988}{31,899} \right) \times 1 = 33,185$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 34 - \left(\frac{25,117}{27,129} \right) \times 1 = 33,074$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{33,074 - 33,185}{50} \right) \times 100\% = 0,222$$

76) STA 32 + 800

$$\text{Elevasi Kanan} = 35 - \left(\frac{24,012}{26,672} \right) \times 1 = 34,100$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 35 - \left(\frac{24,883}{27,060} \right) \times 1 = 34,080$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{34,080 - 34,100}{50} \right) \times 100\% = 0,039$$

77) STA 32 + 850

$$\text{Elevasi Kanan} = 38 - \left(\frac{26,734}{27,710} \right) \times 1 = 37,035$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{19,535}{27,123} \right) \times 1 = 37,280$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,280 - 37,035}{50} \right) \times 100\% = 0,489$$

78) STA 32 + 900

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{12,384}{22,700} \right) \times 1 = 38,454$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 39 - \left(\frac{17,613}{22,278} \right) \times 1 = 38,209$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{38,209 - 38,454}{50} \right) \times 100\% = 0,490$$

79) STA 32 + 950

$$\text{Elevasi Kanan} = 40 - \left(\frac{31,111}{52,405} \right) \times 1 = 39,406$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 40 - \left(\frac{29,048}{56,626} \right) \times 1 = 39,487$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{39,487 - 39,406}{50} \right) \times 100\% = 0,161$$

80) STA 33 + 000

$$\text{Elevasi Kanan} = 41 - \left(\frac{20,682}{26,674} \right) \times 1 = 40,225$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 41 - \left(\frac{16,869}{27,741} \right) \times 1 = 40,392$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{40,392 - 40,225}{50} \right) \times 100\% = 0,335$$

81) STA 33 + 050

$$\text{Elevasi Kanan} = 42 - \left(\frac{14,177}{28,208} \right) \times 1 = 41,497$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{24,031}{28,208} \right) \times 1 = 41,148$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,148 - 41,497}{50} \right) \times 100\% = 0,699$$

82) STA 33 + 100

$$\text{Elevasi Kanan} = 41 - \left(\frac{12,271}{21,950} \right) \times 1 = 40,441$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 41 - \left(\frac{20,658}{22,305} \right) \times 1 = 40,074$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{40,074 - 40,441}{50} \right) \times 100\% = 0,734$$

83) STA 33 + 150

$$\text{Elevasi Kanan} = 40 - \left(\frac{20,402}{21,050} \right) \times 1 = 39,031$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 39 - \left(\frac{15,004}{22,467} \right) \times 1 = 38,332$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{38,332 - 39,031}{50} \right) \times 100\% = 1,397$$

84) STA 33 + 200

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{28,929}{32,988} \right) \times 1 = 38,123$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{54,665}{60,393} \right) \times 1 = 37,095$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,095 - 38,123}{50} \right) \times 100\% = 2,056$$

85) STA 33 + 250

$$\text{Elevasi Kanan} = 38 - \left(\frac{95,180}{108,702} \right) \times 1 = 37,124$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{85,180}{108,702} \right) \times 1 = 37,216$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,095 - 38,123}{50} \right) \times 100\% = 0,184$$

86) STA 33 + 300

$$\text{Elevasi Kanan} = 38 - \left(\frac{103,104}{116,736} \right) \times 1 = 37,117$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{95,933}{122,543} \right) \times 1 = 37,217$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,217 - 37,117}{50} \right) \times 100\% = 0,201$$

87) STA 33 + 350

$$\text{Elevasi Kanan} = 38 - \left(\frac{141,052}{152,679} \right) \times 1 = 37,076$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{133,721}{161,682} \right) \times 1 = 37,173$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,173 - 37,076}{50} \right) \times 100\% = 0,194$$

88) STA 33 + 400

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{41,813}{49,697} \right) \times 1 = 38,159$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 39 - \left(\frac{20,592}{37,339} \right) \times 1 = 38,449$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{38,449 - 38,159}{50} \right) \times 100\% = 0,580$$

89) STA 33 + 450

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{105,172}{175,798} \right) \times 1 = 38,402$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 39 - \left(\frac{167,194}{232,628} \right) \times 1 = 38,281$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{38,281 - 38,402}{50} \right) \times 100\% = 0,241$$

90) STA 33 + 500

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{72,255}{106,803} \right) \times 1 = 38,323$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 39 - \left(\frac{81,490}{109,606} \right) \times 1 = 38,257$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{38,257 - 38,323}{50} \right) \times 100\% = 0,134$$

91) STA 33 + 550

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{29,365}{38,339} \right) \times 1 = 38,234$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{16,686}{17,712} \right) \times 1 = 37,058$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,058 - 38,234}{50} \right) \times 100\% = 2,352$$

92) STA 33 + 600

$$\text{Elevasi Kanan} = 38 - \left(\frac{55,729}{57,935} \right) \times 1 = 37,038$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 38 - \left(\frac{47,940}{71,168} \right) \times 1 = 37,326$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,326 - 37,038}{50} \right) \times 100\% = 0,577$$

93) STA 33 + 650

$$\text{Elevasi Kanan} = 39 - \left(\frac{32,098}{62,280} \right) \times 1 = 38,485$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 39 - \left(\frac{30,700}{52,797} \right) \times 1 = 38,419$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{37,326 - 37,038}{50} \right) \times 100\% = 0,132$$

94) STA 33 + 700

$$\text{Elevasi Kanan} = 40 - \left(\frac{20,040}{32,952} \right) \times 1 = 39,392$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 40 - \left(\frac{20,126}{34,722} \right) \times 1 = 39,420$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{39,420 - 39,392}{50} \right) \times 100\% = 0,057$$

95) STA 33 + 750

$$\text{Elevasi Kanan} = 41 - \left(\frac{22,648}{22,882} \right) \times 1 = 40,010$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 42 - \left(\frac{17,890}{24,830} \right) \times 1 = 41,280$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{41,280 - 40,010}{50} \right) \times 100\% = 2,539$$

96) STA 33 + 800

$$\text{Elevasi Kanan} = 43 - \left(\frac{16,187}{18,681} \right) \times 1 = 42,134$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 43 - \left(\frac{12,279}{18,317} \right) \times 1 = 42,330$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{42,330 - 42,134}{50} \right) \times 100\% = 0,392$$

97) STA 33 + 850

$$\text{Elevasi Kanan} = 43 - \left(\frac{21,261}{33,771} \right) \times 1 = 42,370$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 43 - \left(\frac{24,658}{36,688} \right) \times 1 = 42,328$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{42,328 - 42,370}{50} \right) \times 100\% = 0,085$$

98) STA 33 + 900

$$\text{Elevasi Kanan} = 43 - \left(\frac{45,883}{61,134} \right) \times 1 = 42,249$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 43 - \left(\frac{49,484}{72,895} \right) \times 1 = 42,321$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{42,321 - 42,249}{50} \right) \times 100\% = 0,143$$

99) STA 33 + 950

$$\text{Elevasi Kanan} = 45 - \left(\frac{25,267}{28,920} \right) \times 1 = 44,126$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 45 - \left(\frac{13,589}{15,402} \right) \times 1 = 44,118$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{44,118 - 44,126}{50} \right) \times 100\% = 0,017$$

100) STA 34 + 000

$$\text{Elevasi Kanan} = 46 - \left(\frac{26,673}{31,801}\right) \times 1 = 45,161$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 46 - \left(\frac{12,621}{17,712}\right) \times 1 = 45,287$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{45,287-45,161}{50}\right) \times 100\% = 0,252$$

101) STA 34 + 050

$$\text{Elevasi Kanan} = 44 - \left(\frac{24,262}{42,615}\right) \times 1 = 43,431$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 44 - \left(\frac{27,024}{48,111}\right) \times 1 = 43,438$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{43,438-43,431}{50}\right) \times 100\% = 0,015$$

102) STA 34 + 100

$$\text{Elevasi Kanan} = 44 - \left(\frac{38,681}{46,520}\right) \times 1 = 43,169$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 44 - \left(\frac{47,892}{65,135}\right) \times 1 = 43,265$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{43,265-43,169}{50}\right) \times 100\% = 0,192$$

103) STA 34 + 150

$$\text{Elevasi Kanan} = 45 - \left(\frac{17,979}{30,641}\right) \times 1 = 44,413$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 45 - \left(\frac{23,630}{36,521}\right) \times 1 = 44,353$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{44,353-44,413}{50}\right) \times 100\% = 0,121$$

104) STA 34 + 200

$$\text{Elevasi Kanan} = 47 - \left(\frac{14,706}{23,096}\right) \times 1 = 46,363$$

$$\text{Elevasi Kiri} = 47 - \left(\frac{14,053}{20,462}\right) \times 1 = 46,313$$

$$\text{Kemiringan} = \left(\frac{46,313-46,363}{50}\right) \times 100\% = 0,100$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar melintang} &= \frac{\sum \text{kemiringan total}}{\sum \text{titik}} \\
 &= \frac{93,326}{104} \\
 &= 0,897\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 2.3, besar lereng melintang rata-rata daerah ini termasuk golongan datar dengan kemiringan medan jalan yaitu 0,897%. Maka daerah tersebut termasuk golongan **Medan Datar**.

Menentukan kriteria perencanaan dapat dilakukan dengan menetapkan:

1. Penentuan kelas jalan

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan LHR dalam smp yaitu 9995,607 smp/hari, maka digolongkan dalam Jalan Kolektor kelas II A.

2. Penentuan lebar jalur dan bahu jalan

Berdasarkan tabel 2.5 dimana untuk jalan Kolektor dengan LHR 9995,607 smp/hari didapat lebar badan jalan ideal 7,0 m dan lebar bahu jalan ideal 1,5 m pada kanan dan kiri jalan.

3. Penentuan kecepatan rencana

Berdasarkan tabel 2.7 dimana untuk jalan Kolektor didaerah datar didapatkan kecepatan rencana (VR) yaitu 60 km/jam.

3.5 Perhitungan Tikungan

a. Tikungan 1

Pada tikungan ini digunakan tikungan jenis *Full Circle (FC)*. Di mana dalam perencanaan :

$$\begin{aligned}
 \text{Sudut Bearing } (\Delta_1) &= 13,542^\circ \\
 \text{Jari-jari } (R_c) &= 250 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan Rencana } (V_r) &= 60 \text{ km/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Miring tikungan maksimum (emaks)} &= 8\% \\
 \text{Miring tikungan normal (en)} &= 2\% \\
 \text{Koefisien gesek (Fm)} &= 0,192 - 0,000652 \cdot V_r \\
 &= 0,192 - 0,000652 \cdot 60 \\
 &= 0,153 \text{ m}
 \end{aligned}$$

1. Menentukan nilai R min, Dmax dan D

$$\begin{aligned}
 R_{\min} &= \frac{v^2}{127 (e_{\max} + f_m)} \\
 &= \frac{60^2}{127 (0,08 + 0,153)} \\
 &= 121,721 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\max} &= \frac{181913,53 (e_{\max} + f_m)}{v^2} \\
 &= \frac{181913,53 (0,08 + 0,153)}{60^2} \\
 &= 11,768^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{1432,39}{R} \\
 &= \frac{1432,39}{250} \\
 &= 5,730^\circ
 \end{aligned}$$

2. Menentukan kemiringan tikungan (e_p)

$$\begin{aligned}
 e_p &= -\left(\frac{e_{\max}}{D^2_{\max}} \cdot D^2\right) + \left(\frac{2 \cdot e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D\right) \\
 &= -\left(\frac{8\%}{11,768^2} \cdot 5,730^2\right) + \left(\frac{2 \cdot 8\%}{11,768} \cdot 5,730\right) \\
 &= 0,059 \\
 &= 5,9 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_c &= R_c \cdot \text{tg} \frac{1}{2} \Delta \\
 &= 250 \cdot \text{tg} \frac{1}{2} 13,542^\circ
 \end{aligned}$$

$$= 29,682 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} E_c &= T_c \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{4} \Delta \\ &= 29,682 \times \operatorname{tg} \frac{1}{4} 13,542^\circ \\ &= 1,756 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_c &= \pi/180 \times \Delta \times R_c \\ &= 0,01745 \times 13,542 \times 250 \\ &= 59,088 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= \frac{L_s^2}{24 R_c} \\ &= \frac{37^2}{24 \times 250} \\ &= 0,228 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} 2 \times T_c &> L_c \\ 2 \times 29,682 &> 59,088 \text{ m} \\ 59,365 \text{ m} &> 59,088 \text{ m (OK)} \end{aligned}$$

Perhitungan Nilai x :

$$\begin{aligned} \frac{ep+en}{L_s} &= \frac{x+en}{\frac{3}{4}L_s} \\ x &= \frac{(ep+en)\frac{3}{4}L_s}{L_s} - en \\ x &= \frac{(5,9\%+2\%)\frac{3}{4}37}{37} - 2\% \\ x &= 0,039 \\ x &= 3,9\% \end{aligned}$$

Tabel 3.5 Tikungan 1 *Full Circle* (FC)

V _r	60 km/jam
Δ ₁	13,542°
e _p	5,9%
T _c	29,682 m
E _c	1,756 m
L _c	59,008 m
x	3,9%

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

b. Tikungan 2

Pada tikungan ini digunakan tikungan jenis *Spiral Spiral* (SS). Di mana dalam perencanaan :

$$\begin{aligned}
 \text{Sudut Bearing } (\Delta_2) &= 35,469^\circ \\
 \text{Jari-jari } (R_c) &= 150 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan Rencana } (V_r) &= 60 \text{ km/jam} \\
 \text{Miring tikungan maksimum (emaks)} &= 8\% \\
 \text{Miring tikungan normal (en)} &= 2\% \\
 \text{Koefisien gesek } (F_m) &= 0,192 - 0,000652 \cdot V_r \\
 &= 0,192 - 0,000652 \cdot 60 \\
 &= 0,153 \text{ m}
 \end{aligned}$$

1. Menentukan nilai R min, Dmax dan D

$$\begin{aligned}
 R_{\min} &= \frac{v^2}{127 (e_{\max} + f_m)} \\
 &= \frac{60^2}{127 (0,08 + 0,153)} \\
 &= 121,721 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{max} &= \frac{181913,53 (e \max + fm)}{v^2} \\
 &= \frac{181913,53 (0,08+0,153)}{60^2} \\
 &= 11,768^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{1432,39}{R} \\
 &= \frac{1432,39}{150} \\
 &= 9,549^\circ
 \end{aligned}$$

2. Menentukan kemiringan tikungan (e_p)

$$\begin{aligned}
 e_p &= -\left(\frac{e \max}{D^2_{max}} \cdot D^2\right) + \left(\frac{2 \cdot e \max}{D_{max}} \cdot D\right) \\
 &= -\left(\frac{8\%}{11,768^2} \cdot 9,549^2\right) + \left(\frac{2 \cdot 8\%}{11,768} \cdot 11,768\right) \\
 &= 0,077 \\
 &= 7,7\%
 \end{aligned}$$

3. Menentukan lengkung peralihan (L_s)

Untuk menentukan nilai L_s dapat digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 L_s &= \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R}{90} \\
 &= \frac{17,735 \cdot \pi \cdot 150}{90} \\
 &= 92,860 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dikontrol dengan perhitungan sebagai berikut:

- Berdasarkan tabel :

$$L_s \text{ min} = 46 \text{ m}$$

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum 3 detik :

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

- Berdasarkanantisipasi gaya sentrifugal :

$$\begin{aligned}
 L_s &= 0,022 \cdot \frac{V^3}{R.C} - 2,272 \cdot \frac{V.ep}{C} \\
 &= 0,022 \cdot \frac{60^3}{150 \cdot 0,4} - 2,272 \cdot \frac{60 \cdot 7,7\%}{0,4} \\
 &= 52,905 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian :

$$\begin{aligned}
 L_s &= \frac{(em-en)}{3,6 \tau e} \cdot V \\
 &= \frac{(0,08-0,02)}{3,6 \cdot 0,035} \cdot 60 \\
 &= 28,571 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Karena $L_s > L_s$ minimum, maka L_s yang digunakan adalah $L_s = 92,860 \text{ m}$

$$\theta_s = \frac{\Delta}{2} = \frac{35,469}{2} = 17,735^\circ$$

Dipakai p^* dan k^* maks

$$p^* = 0,0269756$$

$$k^* = 0,4983132$$

$$\begin{aligned}
 p &= p^* \cdot L_s \\
 &= 0,0269756 \times 92,860 \text{ m} \\
 &= 2,505 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k &= k^* \cdot L_s \\
 &= 0,4983132 \times 92,860 \text{ m} \\
 &= 46,273 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= (Rc + p) \operatorname{tg} \frac{1}{2} \Delta + k \\
 &= (150 + 2,505) \times \tan 17,735 + 46,273 \\
 &= 95,047 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_s &= \frac{(Rc + p)}{\operatorname{Cos} \frac{1}{2} \Delta} - Rc \\
 &= \frac{(150 + 2,505)}{\operatorname{Cos}(17,735)} - 150 \\
 &= 10,114 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_c &= \frac{(\Delta - 2 \theta_s)}{180} \pi \cdot Rc \\
 &= \frac{(35,469 - 2 \times 17,735)}{180} \pi \cdot 150 \\
 &= 0,000 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{\text{tot}} &= 2 \times L_s \\
 &= 2 \times 92,860 \text{ m} \\
 &= 185,720 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 L_{\text{tot}} &< 2 \cdot T_s \\
 185,720 &< 2 \times 95,047 \text{ m} \\
 185,720 &< 190,094 \text{ m (OK)}
 \end{aligned}$$

Tabel 3.6 Tikungan 2 *Spiral Spiral* (SS)

V_r	60 km/jam
Δ_2	35,469°
e_p	7,7%
Θ_s	17,735°

Ls	92,860 m
P	2,505 m
K	46,273 m
Ts	95,047 m
Es	10,114 m
Lc	0,000 m
Ltot	185,720 m

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

c. Tikungan 3

Pada tikungan ini digunakan tikungan jenis *Full Circle (FC)*. Di mana dalam perencanaan :

Sudut Bearing (Δ_3)	= 15,765°
Jari-jari (R_c)	= 250 m
Kecepatan Rencana (V_r)	= 60 km/jam
Miring tikungan maksimum (e_{maks})	= 8%
Miring tikungan normal (e_n)	= 2%
Koefisien gesek (F_m)	= 0,192 - 0,000652 . V_r = 0,192 - 0,000652 . 60 = 0,153 m

1. Menentukan nilai R min, Dmax dan D

$$\begin{aligned}
 R_{min} &= \frac{v^2}{127 (e_{max} + f_m)} \\
 &= \frac{60^2}{127 (0,08 + 0,153)} \\
 &= 121,721 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{max} &= \frac{181913,53 (e_{max} + f_m)}{v^2} \\
 &= \frac{181913,53 (0,08 + 0,153)}{60^2}
 \end{aligned}$$

$$= 11,768^\circ$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{1432,39}{R} \\ &= \frac{1432,39}{250} \\ &= 5,730^\circ \end{aligned}$$

2. Menentukan kemiringan tikungan (e_p)

$$\begin{aligned} e_p &= -\left(\frac{e \max}{D^2 \max} \cdot D^2\right) + \left(\frac{2 \cdot e \max}{D \max} \cdot D\right) \\ &= -\left(\frac{8\%}{11,768^2} \cdot 5,730^2\right) + \left(\frac{2 \cdot 8\%}{11,768} \cdot 5,730\right) \\ &= 0,059 \\ &= 5,9 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_c &= R_c \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} \Delta \\ &= 250 \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} 15,756^\circ \\ &= 34,613 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= T_c \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{4} \Delta \\ &= 34,613 \times \operatorname{tg} \frac{1}{4} 15,765^\circ \\ &= 2,385 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_c &= \pi/180 \times \Delta \times R_c \\ &= 0,01745 \times 15,765 \times 250 \\ &= 68,788 \text{ m} \end{aligned}$$

$$P = \frac{L_s^2}{24 R_c}$$

$$= \frac{37^2}{24 \times 250}$$

$$= 0,228 \text{ m}$$

Kontrol :

$$2 \times T_c > L_c$$

$$2 \times 34,613 > 68,788 \text{ m}$$

$$69,225 \text{ m} > 68,788 \text{ m (OK)}$$

Perhitungan Nilai x :

$$\frac{ep+en}{L_s} = \frac{x+en}{\frac{3}{4}L_s}$$

$$x = \frac{(ep+en)\frac{3}{4}L_s}{L_s} - en$$

$$x = \frac{(5,9\%+2\%)\frac{3}{4}37}{37} - 2\%$$

$$x = 0,039$$

$$x = 3,9\%$$

Tabel 3.7 Tikungan 3 *Full Circle* (FC)

V _r	60 km/jam
Δ_3	15,765°
e _p	5,9%
T _c	34,613 m
E _c	2,385 m
L _c	68,788 m
x	3,9%

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

d. Tikungan 4

Pada tikungan ini digunakan tikungan jenis *Spiral Spiral* (SS). Di mana dalam perencanaan :

Sudut Bearing (Δ_4)	= 67,365°
Jari-jari (R_c)	= 150 m
Kecepatan Rencana (V_r)	= 60 km/jam
Miring tikungan maksimum (e_{maks})	= 8%
Miring tikungan normal (e_n)	= 2%
Koefisien gesek (F_m)	= 0,192 – 0,000652 . V_r
	= 0,192 – 0,000652 . 60
	= 0,153 m

1. Menentukan nilai R min, Dmax dan D

$$\begin{aligned}
 R_{min} &= \frac{v^2}{127 (e_{max} + f_m)} \\
 &= \frac{60^2}{127 (0,08 + 0,153)} \\
 &= 121,721 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{max} &= \frac{181913,53 (e_{max} + f_m)}{v^2} \\
 &= \frac{181913,53 (0,08 + 0,153)}{60^2} \\
 &= 11,768^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{1432,39}{R} \\
 &= \frac{1432,39}{150} \\
 &= 9,549^\circ
 \end{aligned}$$

2. Menentukan kemiringan tikungan (e_p)

$$\begin{aligned}
 e_p &= -\left(\frac{e_{max}}{D^2_{max}} \cdot D^2\right) + \left(\frac{2 \cdot e_{max}}{D_{max}} \cdot D\right) \\
 &= -\left(\frac{8\%}{11,768^2} \cdot 9,549^2\right) + \left(\frac{2 \cdot 8\%}{11,768} \cdot 11,768\right) \\
 &= 0,077
 \end{aligned}$$

$$= 7,7\%$$

3. Menentukan lengkung peralihan (Ls)

Untuk menentukan nilai Ls dapat digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R}{90} \\ &= \frac{33,683 \cdot \pi \cdot 150}{90} \\ &= 176,361 \text{ m} \end{aligned}$$

Dikontrol dengan perhitungan sebagai berikut:

- Berdasarkan tabel :

$$L_s \text{ min} = 46 \text{ m}$$

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum 3 detik :

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

- Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal :

$$\begin{aligned} L_s &= 0,022 \cdot \frac{V^3}{R \cdot C} - 2,272 \cdot \frac{V \cdot ep}{C} \\ &= 0,022 \cdot \frac{60^3}{150 \cdot 0,4} - 2,272 \cdot \frac{60 \cdot 7,7\%}{0,4} \\ &= 52,905 \text{ m} \end{aligned}$$

- Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian :

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{(em - en)}{3,6 \tau e} \cdot V \\ &= \frac{(0,08 - 0,02)}{3,6 \cdot 0,035} \cdot 60 \\ &= 28,571 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena $L_s > L_s$ minimum, maka L_s yang digunakan adalah $L_s = 176,361$ m

$$\theta_s = \frac{\Delta}{2} = \frac{35,469}{2} = 33,683^\circ$$

Dipakai p^* dan k^* maks

$$p^* = 0,0540328$$

$$k^* = 0,4936131$$

$$\begin{aligned} p &= p^* \cdot L_s \\ &= 0,0540328 \times 176,361 \text{ m} \\ &= 9,529 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= k^* \cdot L_s \\ &= 0,4936131 \times 176,361 \text{ m} \\ &= 87,054 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= (R_c + p) \operatorname{tg} \frac{1}{2} \Delta + k \\ &= (150 + 9,529) \times \tan 33,683 + 87,054 \\ &= 193,377 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_s &= \frac{(R_c + p)}{\cos \frac{1}{2} \Delta} - R_c \\ &= \frac{(150 + 9,529)}{\cos (33,683)} - 150 \\ &= 41,713 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{(\Delta - 2 \theta_s)}{180} \pi \cdot R_c \\ &= \frac{(67,365 - 2 \times 33,683)}{180} \pi \cdot 150 \\ &= 0,000 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{\text{tot}} &= 2 \times L_s \\
 &= 2 \times 176,361 \text{ m} \\
 &= 352,722 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 L_{\text{tot}} &< 2 \cdot T_s \\
 352,722 &< 2 \times 193,377 \text{ m} \\
 352,722 &< 386,754 \text{ m (OK)}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. 8 Tikungan 4 *Spiral Spiral* (SS)

V_r	60 km/jam
Δ_4	$67,365^\circ$
e_p	7,7%
Θ_s	$33,683^\circ$
L_s	176,361 m
P	9,529 m
K	87,054 m
T_s	193,377 m
E_s	41,713 m
L_c	0,000 m
L_{tot}	352,722 m

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

e. Tikungan 5

Pada tikungan ini digunakan tikungan jenis *Spiral Spiral* (SS). Di mana dalam perencanaan :

$$\begin{aligned}
 \text{Sudut Bearing } (\Delta_5) &= 44,586^\circ \\
 \text{Jari-jari } (R_c) &= 150 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kecepatan Rencana (V_r)	= 60 km/jam
Miring tikungan maksimum (e_{max})	= 8%
Miring tikungan normal (e_n)	= 2%
Koefisien gesek (F_m)	= $0,192 - 0,000652 \cdot V_r$
	= $0,192 - 0,000652 \cdot 60$
	= 0,153 m

1. Menentukan nilai R min, Dmax dan D

$$\begin{aligned}
 R_{min} &= \frac{v^2}{127 (e_{max} + f_m)} \\
 &= \frac{60^2}{127 (0,08 + 0,153)} \\
 &= 121,721 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{max} &= \frac{181913,53 (e_{max} + f_m)}{v^2} \\
 &= \frac{181913,53 (0,08 + 0,153)}{60^2} \\
 &= 11,768^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{1432,39}{R} \\
 &= \frac{1432,39}{150} \\
 &= 9,549^\circ
 \end{aligned}$$

2. Menentukan kemiringan tikungan (e_p)

$$\begin{aligned}
 e_p &= -\left(\frac{e_{max}}{D^2_{max}} \cdot D^2\right) + \left(\frac{2 \cdot e_{max}}{D_{max}} \cdot D\right) \\
 &= -\left(\frac{8\%}{11,768^2} \cdot 9,549^2\right) + \left(\frac{2 \cdot 8\%}{11,768} \cdot 11,768\right) \\
 &= 0,077 \\
 &= 7,7\%
 \end{aligned}$$

3. Menentukan lengkung peralihan (Ls)

Untuk menentukan nilai Ls dapat digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R}{90} \\ &= \frac{22,293 \cdot \pi \cdot 150}{90} \\ &= 116,726 \text{ m} \end{aligned}$$

Dikontrol dengan perhitungan sebagai berikut:

- Berdasarkan tabel :

$$L_s \text{ min} = 46 \text{ m}$$

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum 3 detik :

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

- Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal :

$$\begin{aligned} L_s &= 0,022 \cdot \frac{v^3}{R \cdot C} - 2,272 \cdot \frac{v \cdot ep}{C} \\ &= 0,022 \cdot \frac{60^3}{150 \cdot 0,4} - 2,272 \cdot \frac{60 \cdot 7,7\%}{0,4} \\ &= 52,905 \text{ m} \end{aligned}$$

- Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian :

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{(em-en)}{3,6 \tau e} \cdot V \\ &= \frac{(0,08-0,02)}{3,6 \cdot 0,035} \cdot 60 \\ &= 28,571 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena $L_s > L_s \text{ minimum}$, maka Ls yang digunakan adalah $L_s = 116,726 \text{ m}$

$$\theta_s = \frac{\Delta}{2} = \frac{44,586}{2} = 22,293^\circ$$

Dipakai p^* dan k^* maks

$$p^* = 0,0341687$$

$$k^* = 0,4973288$$

$$\begin{aligned} p &= p^* \cdot L_s \\ &= 0,0341687 \times 116,726 \text{ m} \\ &= 3,988 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= k^* \cdot L_s \\ &= 0,4973288 \times 116,726 \text{ m} \\ &= 58,051 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= (R_c + p) \operatorname{tg} \frac{1}{2} \Delta + k \\ &= (150 + 3,988) \times \tan 22,293 + 58,051 \\ &= 121,184 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_s &= \frac{(R_c + p)}{\operatorname{Cos} \frac{1}{2} \Delta} - R_c \\ &= \frac{(150 + 3,988)}{\operatorname{Cos} (22,293)} - 150 \\ &= 16,428 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{(\Delta - 2 \theta_s)}{180} \pi \cdot R_c \\ &= \frac{(67,365 - 2 \times 33,683)}{180} \pi \cdot 150 \\ &= 0,000 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{tot}} &= 2 \times L_s \\ &= 2 \times 116,726 \text{ m} \\ &= 233,452 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$L_{tot} < 2 \cdot T_s$$

$$233,452 < 2 \times 121,184 \text{ m}$$

$$233,452 < 242,368 \text{ m (OK)}$$

Tabel 3.9 Tikungan 5 *Spiral Spiral* (SS)

V_r	60 km/jam
Δ_5	44,586°
e_p	7,7%
Θ_s	22,293°
L_s	116,726 m
P	3,988 m
K	58,051 m
T_s	121,184 m
E_s	16,428 m
L_c	0,000 m
L_{tot}	233,452 m

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

f. Tikungan 6

Pada tikungan ini digunakan tikungan jenis *Spiral Circle Spiral* (SCS). Di mana dalam perencanaan :

$$\begin{aligned} \text{Sudut Bearing } (\Delta_6) &= 29,401^\circ \\ \text{Jari-jari } (R_c) &= 200 \text{ m} \\ \text{Kecepatan Rencana } (V_r) &= 60 \text{ km/jam} \\ \text{Miring tikungan maksimum } (e_{maks}) &= 8\% \\ \text{Miring tikungan normal } (e_n) &= 2\% \\ \text{Koefisien gesek } (F_m) &= 0,192 - 0,000652 \cdot V_r \\ &= 0,192 - 0,000652 \cdot 60 \end{aligned}$$

$$= 0,153 \text{ m}$$

1. Menentukan nilai R min, Dmax dan D

$$\begin{aligned} R_{\min} &= \frac{v^2}{127 (e_{\max} + f_m)} \\ &= \frac{60^2}{127 (0,08 + 0,153)} \\ &= 121,721 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{\max} &= \frac{181913,53 (e_{\max} + f_m)}{v^2} \\ &= \frac{181913,53 (0,08 + 0,153)}{60^2} \\ &= 11,768^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{1432,39}{R} \\ &= \frac{1432,39}{200} \\ &= 7,162^\circ \end{aligned}$$

2. Menentukan kemiringan tikungan (e_p)

$$\begin{aligned} e_p &= -\left(\frac{e_{\max}}{D_{\max}^2} \cdot D^2\right) + \left(\frac{2 \cdot e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D\right) \\ &= -\left(\frac{8\%}{11,768^2} \cdot 7,162^2\right) + \left(\frac{2 \cdot 8\%}{11,768} \cdot 7,162\right) \\ &= 0,068 \\ &= 6,8\% \end{aligned}$$

3. Menentukan lengkung peralihan (L_s)

Untuk menentukan nilai L_s dapat digunakan perhitungan sebagai berikut :

- Berdasarkan tabel :

$$L_s \min = 41 \text{ m}$$

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum 3 detik :

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

- Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal :

$$\begin{aligned}
 L_s &= 0,022 \cdot \frac{V^3}{R.C} - 2,272 \cdot \frac{V.ep}{C} \\
 &= 0,022 \cdot \frac{60^3}{200 \cdot 0,4} - 2,272 \cdot \frac{60 \cdot 6,8\%}{0,4} \\
 &= 36,313 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian :

$$\begin{aligned}
 L_s &= \frac{(em-en)}{3,6 \tau e} \cdot V \\
 &= \frac{(0,08-0,02)}{3,6 \cdot 0,035} \cdot 60 \\
 &= 28,571 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka L_s yang digunakan adalah L_s yang terbesar, jadi L_s yang digunakan $L_s = 50 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 \Theta_s &= \frac{90}{\pi} \times \frac{L_s}{Rc} \\
 &= \frac{90}{\pi} \times \frac{50}{200} \\
 &= 7,162^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta c &= \Delta - 2 \theta_s \\
 &= 29,401 - 2 \times 7,162 \\
 &= 15,077^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_c &= \frac{\Delta c}{180} \times \pi \times R_c \\
 &= \frac{15,077}{180} \times \pi \times 200 \\
 &= 52,629 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{\text{tot}} &= L_c + 2 L_s \\
 &= 52,629 + 2 \times 50 \text{ m} \\
 &= 152,629 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_s &= L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40 R_c^2}\right) \\
 &= 50 \left(1 - \frac{50^2}{40 \times 200^2}\right) \\
 &= 49,922 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_s &= \frac{L_s^2}{6 R_c} \\
 &= \frac{50^2}{6 \times 200} \\
 &= 2,083 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{L_s^2}{6 R_c} - R_c (1 - \text{Cos } \theta_s) \\
 &= \frac{50^2}{6 \times 200} - 200 (1 - \text{Cos } 7,162^\circ) \\
 &= 0,523 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K &= L_s - \frac{L_s^3}{40 R_c^2} - R_c \text{Sin } \theta_s \\
 &= 50 - \frac{50^3}{40 \times 200^2} - 200 \text{Sin } 7,162^\circ \\
 &= 24,987 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= (R_c + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k \\
 &= (200 + 0,523) \tan \frac{1}{2} 29,401 + 24,987 \\
 &= 77,595 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_s &= (R_c + p) \sec \frac{1}{2} \Delta - R_c \\
 &= (200 + 0,523) \sec \frac{1}{2} 29,401 - 200 \\
 &= 7,309 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 L_{\text{tot}} &< 2 \cdot T_s \\
 152,629 \text{ m} &< 2 \times 77,595 \text{ m} \\
 152,629 \text{ m} &< 155,190 \text{ m (OK)}
 \end{aligned}$$

Tabel 3.10 Tikungan 6 *Spiral Circle Spiral (SCS)*

V_r	60 km/jam
Δ_6	29,401°
e_p	6,8%
Θ_s	7,162°
L_s	50 m
P	0,523 m
K	24,987 m
T_s	77,595 m
E_s	7,309 m
L_c	52,629 m
X_s	49,922 m
Y_s	2,083 m
L_{tot}	152,629 m

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

g. Tikungan 7

Pada tikungan ini digunakan tikungan jenis *Spiral Spiral (SS)*. Di mana dalam perencanaan :

$$\text{Sudut Bearing } (\Delta_7) = 69,796^\circ$$

Jari-jari (R_c)	= 120 m
Kecepatan Rencana (V_r)	= 60 km/jam
Miring tikungan maksimum (e_{maks})	= 8%
Miring tikungan normal (e_n)	= 2%
Koefisien gesek (F_m)	= $0,192 - 0,000652 \cdot V_r$ = $0,192 - 0,000652 \cdot 60$ = 0,153 m

1. Menentukan nilai R min, Dmax dan D

$$\begin{aligned}
 R_{min} &= \frac{v^2}{127 (e_{max} + f_m)} \\
 &= \frac{60^2}{127 (0,08 + 0,153)} \\
 &= 121,721 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{max} &= \frac{181913,53 (e_{max} + f_m)}{v^2} \\
 &= \frac{181913,53 (0,08 + 0,153)}{60^2} \\
 &= 11,768^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{1432,39}{R} \\
 &= \frac{1432,39}{120} \\
 &= 11,937^\circ
 \end{aligned}$$

2. Menentukan kemiringan tikungan (e_p)

$$\begin{aligned}
 e_p &= -\left(\frac{e_{max}}{D^2_{max}} \cdot D^2\right) + \left(\frac{2 \cdot e_{max}}{D_{max}} \cdot D\right) \\
 &= -\left(\frac{8\%}{11,768^2} \cdot 11,937^2\right) + \left(\frac{2 \cdot 8\%}{11,768} \cdot 11,937\right) \\
 &= 0,08 \\
 &= 8\%
 \end{aligned}$$

3. Menentukan lengkung peralihan (Ls)

Untuk menentukan nilai Ls dapat digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R}{90} \\ &= \frac{34,898 \cdot \pi \cdot 120}{90} \\ &= 146,180 \text{ m} \end{aligned}$$

Dikontrol dengan perhitungan sebagai berikut:

- Berdasarkan tabel :

$$L_s \text{ min} = 50 \text{ m}$$

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum 3 detik :

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

- Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal :

$$\begin{aligned} L_s &= 0,022 \cdot \frac{V^3}{R \cdot C} - 2,272 \cdot \frac{V \cdot ep}{C} \\ &= 0,022 \cdot \frac{60^3}{120 \cdot 0,4} - 2,272 \cdot \frac{60 \cdot 8\%}{0,4} \\ &= 71,742 \text{ m} \end{aligned}$$

- Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian :

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{(em-en)}{3,6 \tau e} \cdot V \\ &= \frac{(0,08-0,02)}{3,6 \cdot 0,035} \cdot 60 \\ &= 28,571 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena $L_s > L_s \text{ minimum}$, maka Ls yang digunakan adalah $L_s = 146,180 \text{ m}$

$$\theta_s = \frac{\Delta}{2} = \frac{69,796}{2} = 34,898^\circ$$

Dipakai p^* dan k^* maks

$$p^* = 0,0558825$$

$$k^* = 0,4931997$$

$$\begin{aligned} p &= p^* \cdot L_s \\ &= 0,0558825 \times 146,180 \text{ m} \\ &= 8,169 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= k^* \cdot L_s \\ &= 0,4931997 \times 146,180 \text{ m} \\ &= 72,096 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= (R_c + p) \operatorname{tg} \frac{1}{2} \Delta + k \\ &= (120 + 8,169) \times \tan 34,898 + 72,096 \\ &= 161,501 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_s &= \frac{(R_c + p)}{\operatorname{Cos} \frac{1}{2} \Delta} - R_c \\ &= \frac{(120 + 8,169)}{\operatorname{Cos} (34,898)} - 120 \\ &= 36,271 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{(\Delta - 2 \theta_s)}{180} \pi \cdot R_c \\ &= \frac{(69,796 - 2 \times 34,898)}{180} \pi \cdot 120 \\ &= 0,000 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{tot}} &= 2 \times L_s \\ &= 2 \times 146,180 \text{ m} \\ &= 292,361 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$L_{\text{tot}} < 2 \cdot T_s$$

$$292,361 < 2 \times 161,501 \text{ m}$$

$$292,361 < 323,002 \text{ m (OK)}$$

Tabel 3. 11 Tikungan 7 *Spiral Spiral (SS)*

V_r	60 km/jam
Δ_7	$69,796^\circ$
e_p	8%
Θ_s	$34,898^\circ$
L_s	146,180 m
P	8,169 m
K	72,096 m
T_s	161,501 m
E_s	36,271 m
L_c	0,000 m
L_{tot}	292,361 m

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

h. Tikungan 8

Pada tikungan ini digunakan tikungan jenis *Spiral Spiral (SS)*. Di mana dalam perencanaan :

$$\begin{aligned} \text{Sudut Bearing } (\Delta_8) &= 74,985^\circ \\ \text{Jari-jari } (R_c) &= 100 \text{ m} \\ \text{Kecepatan Rencana } (V_r) &= 60 \text{ km/jam} \\ \text{Miring tikungan maksimum } (e_{\text{maks}}) &= 8\% \\ \text{Miring tikungan normal } (e_n) &= 2\% \\ \text{Koefisien gesek } (F_m) &= 0,192 - 0,000652 \cdot V_r \\ &= 0,192 - 0,000652 \cdot 60 \end{aligned}$$

$$= 0,153 \text{ m}$$

1. Menentukan nilai R min, Dmax dan D

$$\begin{aligned} R_{\min} &= \frac{v^2}{127 (e_{\max} + fm)} \\ &= \frac{60^2}{127 (0,08 + 0,153)} \\ &= 121,721 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{\max} &= \frac{181913,53 (e_{\max} + fm)}{v^2} \\ &= \frac{181913,53 (0,08 + 0,153)}{60^2} \\ &= 11,768^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{1432,39}{R} \\ &= \frac{1432,39}{100} \\ &= 14,324^\circ \end{aligned}$$

2. Menentukan kemiringan tikungan (e_p)

$$\begin{aligned} e_p &= -\left(\frac{e_{\max}}{D_{\max}^2} \cdot D^2\right) + \left(\frac{2 \cdot e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D\right) \\ &= -\left(\frac{8\%}{11,768^2} \cdot 14,324^2\right) + \left(\frac{2 \cdot 8\%}{11,768} \cdot 14,324\right) \\ &= 0,08 \\ &= 8\% \end{aligned}$$

3. Menentukan lengkung peralihan (L_s)

Untuk menentukan nilai L_s dapat digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R}{90} \\ &= \frac{37,493 \cdot \pi \cdot 100}{90} \\ &= 130,874 \text{ m} \end{aligned}$$

Dikontrol dengan perhitungan sebagai berikut:

- Berdasarkan tabel :

$$L_s \text{ min} = 50 \text{ m}$$

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum 3 detik :

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

- Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal :

$$\begin{aligned} L_s &= 0,022 \cdot \frac{V^3}{R.C} - 2,272 \cdot \frac{V.ep}{C} \\ &= 0,022 \cdot \frac{60^3}{100 \cdot 0,4} - 2,272 \cdot \frac{60 \cdot 8\%}{0,4} \\ &= 92,822 \text{ m} \end{aligned}$$

- Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian :

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{(em-en)}{3,6 \tau e} \cdot V \\ &= \frac{(0,08-0,02)}{3,6 \cdot 0,035} \cdot 60 \\ &= 28,571 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena $L_s > L_s$ minimum, maka L_s yang digunakan adalah $L_s = 130,874 \text{ m}$

$$\theta_s = \frac{\Delta}{2} = \frac{74,985}{2} = 37,493^\circ$$

Dipakai p^* dan k^* maks

$$p^* = 0,0606053$$

$$k^* = 0,4920967$$

$$\begin{aligned} p &= p^* \cdot L_s \\ &= 0,0606053 \times 130,874 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 7,932 \text{ m} \\
 k &= k \cdot L_s \\
 &= 0,4920967 \times 130,874 \text{ m} \\
 &= 64,402 \text{ m} \\
 \\
 T_s &= (R_c + p) \operatorname{tg} \frac{1}{2} \Delta + k \\
 &= (100 + 7,932) \times \tan 37,493 + 64,402 \\
 &= 147,199 \text{ m} \\
 \\
 E_s &= \frac{(R_c + p)}{\operatorname{Cos} \frac{1}{2} \Delta} - R_c \\
 &= \frac{(100 + 7,932)}{\operatorname{Cos} (37,493)} - 100 \\
 &= 36,031 \text{ m} \\
 \\
 L_c &= \frac{(\Delta - 2 \theta_s)}{180} \pi \cdot R_c \\
 &= \frac{(74,985 - 2 \times 37,493)}{180} \pi \cdot 100 \\
 &= 0,000 \text{ m} \\
 \\
 L_{\text{tot}} &= 2 \times L_s \\
 &= 2 \times 130,874 \text{ m} \\
 &= 261,747 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 L_{\text{tot}} &< 2 \cdot T_s \\
 261,747 &< 2 \times 147,199 \text{ m} \\
 261,747 &< 294,398 \text{ m (OK)}
 \end{aligned}$$

Tabel 3.12 Tikungan 8 *Spiral Spiral* (SS)

V _r	60 km/jam
Δ _g	74,985°
e _p	8%
Θ _s	37,493°
L _s	130,874 m
P	7,932 m
K	64,402 m
T _s	147,199 m
E _s	36,031 m
L _c	0,000 m
L _{tot}	261,747 m

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

i. Tikungan 9

Pada tikungan ini digunakan tikungan jenis *Spiral Circle Spiral* (SCS). Di mana dalam perencanaan :

Sudut Bearing (Δ ₉)	= 31,433°
Jari-jari (R _c)	= 200 m
Kecepatan Rencana (V _r)	= 60 km/jam
Miring tikungan maksimum (e _{maks})	= 8%
Miring tikungan normal (e _n)	= 2%
Koefisien gesek (F _m)	= 0,192 – 0,000652 . V _r = 0,192 – 0,000652 . 60 = 0,153 m

1. Menentukan nilai R min, Dmax dan D

$$\begin{aligned}
 R_{\min} &= \frac{v^2}{127 (e_{\max} + f_m)} \\
 &= \frac{60^2}{127 (0,08+0,153)}
 \end{aligned}$$

$$= 121,721 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} D_{\max} &= \frac{181913,53 (e_{\max} + fm)}{v^2} \\ &= \frac{181913,53 (0,08 + 0,153)}{60^2} \\ &= 11,768^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{1432,39}{R} \\ &= \frac{1432,39}{200} \\ &= 7,162^\circ \end{aligned}$$

2. Menentukan kemiringan tikungan (e_p)

$$\begin{aligned} e_p &= -\left(\frac{e_{\max}}{D^2_{\max}} \cdot D^2\right) + \left(\frac{2 \cdot e_{\max}}{D_{\max}} \cdot D\right) \\ &= -\left(\frac{8\%}{11,768^2} \cdot 7,162^2\right) + \left(\frac{2 \cdot 8\%}{11,768} \cdot 7,162\right) \\ &= 0,068 \\ &= 6,8\% \end{aligned}$$

3. Menentukan lengkung peralihan (L_s)

Untuk menentukan nilai L_s dapat digunakan perhitungan sebagai berikut :

- Berdasarkan tabel :

$$L_s \text{ min} = 41 \text{ m}$$

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum 3 detik :

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

- Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal :

$$\begin{aligned}
 L_s &= 0,022 \cdot \frac{V^3}{R \cdot C} - 2,272 \cdot \frac{V \cdot ep}{C} \\
 &= 0,022 \cdot \frac{60^3}{200 \cdot 0,4} - 2,272 \cdot \frac{60 \cdot 6,8\%}{0,4} \\
 &= 36,313 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian :

$$\begin{aligned}
 L_s &= \frac{(em-en)}{3,6 \tau e} \cdot V \\
 &= \frac{(0,08-0,02)}{3,6 \cdot 0,035} \cdot 60 \\
 &= 28,571 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka L_s yang digunakan adalah L_s yang terbesar, jadi L_s yang digunakan $L_s = 50 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 \Theta_s &= \frac{90}{\pi} \times \frac{L_s}{Rc} \\
 &= \frac{90}{\pi} \times \frac{50}{200} \\
 &= 7,162^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta c &= \Delta - 2 \theta_s \\
 &= 31,433 - 2 \times 7,162 \\
 &= 17,109^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_c &= \frac{\Delta c}{180} \times \pi \times Rc \\
 &= \frac{17,109}{180} \times \pi \times 200 \\
 &= 59,722 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{tot} &= L_c + 2 L_s \\
 &= 59,722 + 2 \times 50 \text{ m} \\
 &= 159,722 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_s &= L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40 R_c^2}\right) \\
 &= 50 \left(1 - \frac{50^2}{40 \times 200^2}\right) \\
 &= 49,922 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_s &= \frac{L_s^2}{6 R_c} \\
 &= \frac{50^2}{6 \times 200} \\
 &= 2,083 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{L_s^2}{6 R_c} - R_c (1 - \cos \theta_s) \\
 &= \frac{50^2}{6 \times 200} - 200 (1 - \cos 7,162^\circ) \\
 &= 0,523 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K &= L_s - \frac{L_s^3}{40 R_c^2} - R_c \sin \theta_s \\
 &= 50 - \frac{50^3}{40 \times 200^2} - 200 \sin 7,162^\circ \\
 &= 24,987 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= (R_c + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k \\
 &= (200 + 0,523) \tan \frac{1}{2} 31,433 + 24,987 \\
 &= 81,414 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_s &= (R_c + p) \sec \frac{1}{2} \Delta - R_c \\
 &= (200 + 0,523) \sec \frac{1}{2} 31,433 - 200 \\
 &= 8,311 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$L_{tot} < 2 \cdot T_s$$

$$152,722 \text{ m} < 2 \times 81,414 \text{ m}$$

$$152,722 \text{ m} < 162,828 \text{ m (OK)}$$

Tabel 3.13 Tikungan 9 *Spiral Circle Spiral (SCS)*

V_R	60 km/jam
Δ_g	34,433°
e_p	6,8%
Θ_s	7,162°
L_s	50 m
P	0,523 m
K	24,987 m
T_s	81,414 m
E_s	8,311 m
L_c	52,722 m
X_s	49,922 m
Y_s	2,083 m
L_{tot}	159,722 m

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

3.6 Perhitungan Kontrol Overlapping

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

- Titik Awal Proyek (A) dengan Tikungan 1 (FC)

$$A - P1 = Tc1 + (3/4 \cdot Ls) + 30 \text{ m} \leq D1$$

$$\begin{aligned}
 &= 29,682 \text{ m} + (3/4 \cdot 37) + 30 \text{ m} && \leq 450 \text{ m} \\
 &= 87,452 \text{ m} && \leq 450 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 1 (FC) dengan Tikungan 2 (SS)

$$\begin{aligned}
 P1 - P2 &= Tc1 + (3/4 \cdot Ls) + Ts2 + 30 \text{ m} && \leq D2 \\
 &= 29,682 \text{ m} + (3/4 \cdot 37) + 95,047 \text{ m} + 30 \text{ m} && \leq 250 \text{ m} \\
 &= 182,479 && \leq 250 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 2 (SS) dengan Tikungan 3 (FC)

$$\begin{aligned}
 P2 - P3 &= Ts2 + Tc3 + (3/4 \cdot Ls) + 30 \text{ m} && \leq D3 \\
 &= 95,047 \text{ m} + 34,613 \text{ m} + (3/4 \cdot 37) + 30 \text{ m} && \leq 360 \text{ m} \\
 &= 187,410 \text{ m} && \leq 360 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 3 (FC) dengan Tikungan 4 (SS)

$$\begin{aligned}
 P3 - P4 &= Tc3 + (3/4 \cdot Ls) + Ts4 + 30 \text{ m} && \leq D4 \\
 &= 34,613 \text{ m} + (3/4 \cdot 37) + 193,377 \text{ m} + 30 \text{ m} && \leq 740 \text{ m} \\
 &= 285,740 \text{ m} && \leq 740 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 4 (SS) dengan Tikungan 5 (SS)

$$\begin{aligned}
 P4 - P5 &= Ts4 + Ts5 + 30 \text{ m} && \leq D5 \\
 &= 193,377 \text{ m} + 121,184 \text{ m} + 30 \text{ m} && \leq 420 \text{ m} \\
 &= 344,561 \text{ m} && \leq 420 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 4 (SS) dengan Tikungan 5 (SS)

$$\begin{aligned}
 P4 - P5 &= Ts4 + Ts5 + 30 \text{ m} && \leq D5 \\
 &= 193,377 \text{ m} + 121,184 \text{ m} + 30 \text{ m} && \leq 420 \text{ m} \\
 &= 344,561 \text{ m} && \leq 420 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 5 (SS) dengan Tikungan 6 (SCS)

$$\begin{aligned}
 P5 - P6 &= Ts5 + Ts6 + 30 \text{ m} && \leq D6 \\
 &= 121,184 \text{ m} + 77,595 \text{ m} + 30 \text{ m} && \leq 380 \text{ m} \\
 &= 228,779 \text{ m} && \leq 380 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 6 (SCS) dengan Tikungan 7 (SS)

$$P6 - P7 = Ts6 + Ts7 + 30 \text{ m} \leq D7$$

- $$= 77,595 \text{ m} + 161,501 \text{ m} + 30 \text{ m} \leq 820 \text{ m}$$
- $$= 269,096 \text{ m} \leq 820 \text{ m}$$
- Tikungan 7 (SS) dengan Tikungan 8 (SS)

$$P7 - P8 = Ts7 + Ts8 + 30 \text{ m} \leq D8$$

$$= 161,501 \text{ m} + 176,639 \text{ m} + 30 \text{ m} \leq 380 \text{ m}$$

$$= 368,140 \text{ m} \leq 380 \text{ m}$$
 - Tikungan 8 (SS) dengan Tikungan 9 (SCS)

$$P8 - P9 = Ts8 + Ts9 + 30 \text{ m} \leq D9$$

$$= 176,639 \text{ m} + 81,414 \text{ m} + 30 \text{ m} \leq 800 \text{ m}$$

$$= 288,053 \text{ m} \leq 800 \text{ m}$$
 - Tikungan 9 (SCS) dengan Titik Akhir B

$$P9 - B = Ts9 + 30 \text{ m} \leq D10$$

$$= 81,414 \text{ m} + 30 \text{ m} \leq 400 \text{ m}$$

$$= 111,414 \text{ m} \leq 400 \text{ m}$$

3.7 Penentuan Stationing

Awal Proyek STA titik A = 29+200

- **Tikungan 1 (Full Circle)**

$$dA-P1 = 450 \text{ m}$$

$$TC1 = 29,682 \text{ m}$$

$$STA A = 29,200 \text{ m}$$

$$LC1 = 59,088 \text{ m}$$

Penyelesaian :

$$STA TC1 = STA A + (dA - P1) - TC1$$

$$= 29,200 + (450) - 29,682$$

$$= 29.620,318$$

$$= 29+620,3$$

$$STA CT1 = STA TC1 + LC1$$

$$\begin{aligned}
 &= 29.620,318 + 59,088 \\
 &= 29.679,406 \\
 &= 29+679,4
 \end{aligned}$$

- **Tikungan 2 (Spiral - spiral)**

$$\begin{aligned}
 dP1-P2 &= 250 \text{ m} \\
 TC1 &= 29,682 \text{ m} \\
 TS2 &= 95,047 \text{ m} \\
 L.Total &= 185,720 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 STA \ TS2 &= STA \ CT1 + (dP1 - P2) - (TC1 + TS2) \\
 &= 29.679,406 + (250) - (29,682 + 95,047) \\
 &= 29.929,406 - 124,729 \\
 &= 29.804,677 \\
 &= 29+805
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 STA \ ST2 &= STA \ TS2 + L.Total \\
 &= 29.804,677 + 185,720 \\
 &= 29.990,397 \\
 &= 29+990,4
 \end{aligned}$$

- **Tikungan 3 (Full Circle)**

$$\begin{aligned}
 dP2-P3 &= 360 \text{ m} \\
 TS2 &= 95,047 \text{ m} \\
 TC3 &= 34,613 \text{ m} \\
 LC3 &= 68,788 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 STA \ TC3 &= STA \ ST2 + (dP2 - P3) - (TS2 + TC3) \\
 &= 29.990,397 + (360) - (95,047 + 34,613)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 30.350,397 - 129,66 \\
 &= 30.220,737 \\
 &= 30+221 \\
 \text{STA CT3} &= \text{STA TC3} + \text{LC3} \\
 &= 30.220,737 + 68,788 \\
 &= 30.289,525 \\
 &= 30+290
 \end{aligned}$$

- **Tikungan 4 (Spiral - spiral)**

$$\begin{aligned}
 \text{dP3-P4} &= 740 \text{ m} \\
 \text{TC3} &= 34,613 \text{ m} \\
 \text{TS4} &= 193,377 \text{ m} \\
 \text{L.Total} &= 352,722 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 \text{STA TS4} &= \text{STA CT3} + (\text{dPS} - \text{P4}) - (\text{TC3} + \text{TS4}) \\
 &= 30.289,525 + (740) - (34,613 + 193,377) \\
 &= 31.029,525 - 227,99 \\
 &= 30.801,535 \\
 &= 30+802
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{STA ST4} &= \text{STA TS4} + \text{L.Total} \\
 &= 30.801,535 + 352,722 \\
 &= 31.154,257 \\
 &= 31+154,3
 \end{aligned}$$

- **Tikungan 5 (Spiral - spiral)**

$$\begin{aligned}
 \text{dP4-P5} &= 420 \text{ m} \\
 \text{TS4} &= 193,377 \text{ m} \\
 \text{TS5} &= 121,184 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$L.Total = 233,452 \text{ m}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} STA TS5 &= STA ST4 + (dP4 - P5) - (TS4 + TS5) \\ &= 31.154,257 + (420) - (193,377 + 121,184) \\ &= 31.574,257 - 314,561 \\ &= 31.259,696 \\ &= 31+260 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} STA ST5 &= STA TS5 + L.Total \\ &= 31.259,696 + 233,452 \\ &= 31.493,148 \\ &= 31+493 \end{aligned}$$

• **Tikungan 6 (Spiral - Circle - Spiral)**

$$dP5-dP6 = 380 \text{ m}$$

$$TS6 = 77,595 \text{ m}$$

$$LS6 = 50 \text{ m}$$

$$LC6 = 52,629 \text{ m}$$

$$TS5 = 121,184 \text{ m}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} STA TS6 &= STA ST3 + (dP5 - dP6) - (TS5 + TS6) \\ &= 31.493,148 + (380) - (121,184 + 77,595) \\ &= 31.873,148 - 98,779 \\ &= 31.674,369 \\ &= 31+674 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} STA SC6 &= STA TS6 + LS6 \\ &= 31.674,369 + 50 \\ &= 31.724,369 \approx 31+724 \end{aligned}$$

$$STA CS6 = STA SC6 + LC6$$

$$\begin{aligned}
 &= 31.724,369 + 52,629 \\
 &= 31.776,998 \\
 &= 31+777 \\
 \text{STA ST6} &= \text{STA CS6} + \text{LS6} \\
 &= 31.776,998 + 50 \\
 &= 31.826,998 \\
 &= 31+827
 \end{aligned}$$

- **Tikungan 7 (Spiral - spiral)**

$$\begin{aligned}
 \text{dP6-P7} &= 820 \text{ m} \\
 \text{TS6} &= 77,595 \text{ m} \\
 \text{TS7} &= 161,501 \text{ m} \\
 \text{L.Total} &= 292,361 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 \text{STA TS7} &= \text{STA ST6} + (\text{dP6} - \text{P7}) - (\text{TS6} + \text{TS7}) \\
 &= 31.826,998 + (820) - (77,595 + 161,501) \\
 &= 32.646,998 - 239,096 \\
 &= 32.407,902 \\
 &= 32+408
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{STA ST7} &= \text{STA TS7} + \text{L.Total} \\
 &= 32.407,902 + 292,361 \\
 &= 32.700,263 \\
 &= 32+700
 \end{aligned}$$

- **Tikungan 8 (Spiral - spiral)**

$$\begin{aligned}
 \text{dP7-P8} &= 380 \text{ m} \\
 \text{TS7} &= 161,501 \text{ m} \\
 \text{TS8} &= 147,199 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$L.Total = 261,747 \text{ m}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} STA \text{ TS8} &= STA \text{ ST7} + (dP7 - P8) - (TS7 + TS8) \\ &= 32.700,263 + (380) - (161,501 + 147,199) \\ &= 33.080,263 - 308,7 \\ &= 32.771,563 \\ &= 32+772 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} STA \text{ ST8} &= STA \text{ TS8} + L.Total \\ &= 32.771,563 + 261,747 \\ &= 33.033,31 \\ &= 33+033 \end{aligned}$$

• **Tikungan 9 (Spiral - Circle - Spiral)**

$$dP8-P9 = 800 \text{ m}$$

$$TS9 = 81,414 \text{ m}$$

$$LS9 = 50 \text{ m}$$

$$LC9 = 59,722 \text{ m}$$

$$TS8 = 147,199 \text{ m}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} STA \text{ TS9} &= STA \text{ ST8} + (dP8 - P9) - (TS8 + TS9) \\ &= 33.033,31 + (800) - (147,199 + 81,414) \\ &= 33.033,31 - 228,613 \\ &= 33.604,697 \\ &= 33+605 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} STA \text{ SC9} &= STA \text{ TS9} + LS9 \\ &= 33.604,697 + 50 \\ &= 33.654,697 \\ &= 33+655 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{STA CS9} &= \text{STA SC9} + \text{LC9} \\
 &= 33.654,697 + 59,722 \\
 &= 33.714,419 \\
 &= 33+714
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{STA ST9} &= \text{STA CS9} + \text{LS9} \\
 &= 33.714,419 + 50 \\
 &= 33.764,419 \\
 &= 33+764
 \end{aligned}$$

- **Akhir Proyek STA B**

$$\text{dP9-B} = 400 \text{ m}$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 \text{STA B} &= \text{STA ST9} + (\text{dP9} - \text{B}) - \text{TS9} \\
 &= 33.764,419 + (400) - 81,414 \\
 &= 34.083,005 \\
 &= 34 + 083
 \end{aligned}$$

3.8 Jarak Pandang Henti Mendahului

Adapun untuk perhitungan kebebasan samping pada tikungan berdasarkan jarak pandang henti adalah sebagai berikut :

a. Berdasarkan Jarak Pandang Henti (J_{PH})

- Tikungan 1 (*Full Circle*)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 250 \text{ m}$$

Menurut Pedoman Desain Geometrik 2021, dengan kecepatan rencana 60 km/jam, maka didapat $J_{PH} = 86 \text{ m}$.

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\
 &= 250 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 86}{250} \right) \right\} \\
 &= 3,6894 \text{ m} \approx 3,69 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 2 (*Spiral Spiral*)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 150 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\
 &= 150 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 86}{150} \right) \right\} \\
 &= 6,122 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 3 (*Full Circle*)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 250 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\
 &= 250 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 86}{250} \right) \right\} \\
 &= 3,6894 \text{ m} \approx 3,69 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 4 (*Spiral Spiral*)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 150 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\
 &= 150 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 86}{150} \right) \right\}
 \end{aligned}$$

$$= 6,122 \text{ m}$$

- Tikungan 5 (*Spiral Spiral*)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 150 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\ &= 150 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 86}{150} \right) \right\} \\ &= 6,122 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tikungan 6 (*Spiral Circle Spiral*)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 200 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\ &= 200 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 86}{200} \right) \right\} \\ &= 4,605 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tikungan 7 (*Spiral Spiral*)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 120 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\ &= 120 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 86}{120} \right) \right\} \\ &= 7,623 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tikungan 8 (*Spiral Spiral*)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 100 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\ &= 100 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 86}{100} \right) \right\} \\ &= 9,1047 \text{ m} \approx 9,105 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tikungan 9 (*Spiral Circle Spiral*)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 200 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\ &= 200 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 86}{200} \right) \right\} \\ &= 4,605 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 3.14 Hasil Perhitungan Kebebasan Samping Berdasarkan J_{PH}

Tikungan	Vr (km/jam)	J_{PH} (m)	R (m)	M (m)
Tikungan 1	60	86	250	3,689
Tikungan 2	60	86	150	6,122
Tikungan 3	60	86	250	3,689
Tikungan 4	60	86	150	6,122
Tikungan 5	60	86	150	6,122
Tikungan 6	60	86	200	4,605

Tikungan 7	60	86	120	7,623
Tikungan 8	60	86	100	9,105
Tikungan 9	60	86	200	4,605

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

b. Berdasarkan Jarak Pandang Mendahului

- Tikungan 1 (Full Circle)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 250 \text{ m}$$

Menurut Pedoman Desain Geometrik 2021, dengan kecepatan rencana 60 km/jam, maka didapat $J_{PM} = 317 \text{ m}$.

Perhitungan :

$$\begin{aligned} M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot J_p}{R} \right) \right\} \\ &= 250 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 317}{250} \right) \right\} \\ &= 48,591 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tikungan 2 (Spiral Spiral)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 150 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot J_p}{R} \right) \right\} \\ &= 150 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 317}{150} \right) \right\} \\ &= 76,244 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tikungan 3 (Full Circle)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 250 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\
 &= 250 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 317}{250} \right) \right\} \\
 &= 48,591 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 4 (Spiral Spiral)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 150 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\
 &= 150 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 317}{150} \right) \right\} \\
 &= 76,244 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 5 (Spiral Spiral)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 150 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\
 &= 150 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 317}{150} \right) \right\} \\
 &= 76,244 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Tikungan 6 (Spiral Circle Spiral)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 200 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\
 &= 200 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 317}{200} \right) \right\}
 \end{aligned}$$

$$= 59,595 \text{ m}$$

- Tikungan 7 (Spiral Spiral)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 120 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\ &= 120 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 317}{120} \right) \right\} \\ &= 90,327 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tikungan 8 (Spiral Spiral)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 100 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\ &= 100 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 317}{100} \right) \right\} \\ &= 101,432 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tikungan 9 (Spiral Circle Spiral)

$$V_r = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 200 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} M &= R \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot Jp}{R} \right) \right\} \\ &= 200 \left\{ 1 - \cos \left(\frac{28,65 \cdot 317}{200} \right) \right\} \\ &= 59,595 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 3.15 Hasil Perhitungan Kebebasan Samping Berdasarkan J_{PM}

Tikungan	Vr (km/jam)	J_{PM} (m)	R (m)	M (m)
Tikungan 1	60	317	250	48,591
Tikungan 2	60	317	150	76,244
Tikungan 3	60	317	250	48,591
Tikungan 4	60	317	150	76,244
Tikungan 5	60	317	150	76,244
Tikungan 6	60	317	200	59,595
Tikungan 7	60	317	120	90,327
Tikungan 8	60	317	100	101,432
Tikungan 9	60	317	200	59,595

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

3.9 Perhitungan Pelebaran Perkerasan Pada Tikungan

Pelebaran perkerasan atau jalur lalu lintas di tikungan, dilakukan untuk mempertahankan kendaraan tetap pada lintasannya.

1. Tikungan 1 (*Full Circle*)

$$V = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 250 \text{ m}$$

$$n = 2 \text{ lajur}$$

$$B_n = 7 \text{ m}$$

$$C = 1,0 \text{ m}$$

$$b = 2,5 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} RC &= R - \frac{1}{4} \times B_n + \frac{1}{2} \times b \\ &= 250 - \frac{1}{4} \times 7 + \frac{1}{2} \times 2,5 \\ &= 249,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B &= \sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \\
&= \sqrt{(\sqrt{249,5^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{249,5^2 - 64} + 1,25 \\
&= 2,628 \text{ m} \\
Z &= \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}} = \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{250}} = 0,398 \text{ m} \\
Bt &= n \times (B + C) + Z \\
&= 2 \times (2,628 + 1,0) + 0,398 \\
&= 7,654 \text{ m} \\
\Delta b &= Bt - Bn \\
&= 7,654 - 7 \\
&= 0,654 (\text{Perlu Perlebaran})
\end{aligned}$$

2. Tikungan 2 (Spiral Spiral)

$$V = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 150 \text{ m}$$

$$n = 2 \text{ lajur}$$

$$Bn = 7 \text{ m}$$

$$C = 1,0 \text{ m}$$

$$b = 2,5 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
RC &= R - \frac{1}{4} \times Bn + \frac{1}{2} \times b \\
&= 150 - \frac{1}{4} \times 7 + \frac{1}{2} \times 2,5 \\
&= 149,5 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B &= \sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \\
&= \sqrt{(\sqrt{149,5^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{149,5^2 - 64} + 1,25
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,712 \text{ m} \\
 Z &= \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}} = \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{150}} = 0,514 \text{ m} \\
 Bt &= n \times (B + C) + Z \\
 &= 2 \times (2,712 + 1,0) + 0,514 \\
 &= 7,938 \text{ m} \\
 \Delta b &= Bt - Bn \\
 &= 7,938 - 7 \\
 &= 0,938 \text{ (Perlu Perlebaran)}
 \end{aligned}$$

3. Tikungan 3 (Full Circle)

$$V = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 250 \text{ m}$$

$$n = 2 \text{ lajur}$$

$$Bn = 7 \text{ m}$$

$$C = 1,0 \text{ m}$$

$$b = 2,5 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 RC &= R - \frac{1}{4} \times Bn + \frac{1}{2} \times b \\
 &= 250 - \frac{1}{4} \times 7 + \frac{1}{2} \times 2,5 \\
 &= 249,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \\
 &= \sqrt{(\sqrt{249,5^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{249,5^2 - 64} + 1,25 \\
 &= 2,628 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}} = \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{250}} = 0,398 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 Bt &= n \times (B + C) + Z \\
 &= 2 \times (2,628 + 1,0) + 0,398
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 7,654 \text{ m} \\
 \Delta b &= Bt - Bn \\
 &= 7,654 - 7 \\
 &= 0,654 (\text{Perlu Perlebaran})
 \end{aligned}$$

4. Tikungan 4 (Spiral Spiral)

$$V = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 150 \text{ m}$$

$$n = 2 \text{ lajur}$$

$$Bn = 7 \text{ m}$$

$$C = 1,0 \text{ m}$$

$$b = 2,5 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 RC &= R - \frac{1}{4} \times Bn + \frac{1}{2} \times b \\
 &= 150 - \frac{1}{4} \times 7 + \frac{1}{2} \times 2,5 \\
 &= 149,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \\
 &= \sqrt{(\sqrt{149,5^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{149,5^2 - 64} + 1,25 \\
 &= 2,712 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}} = \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{150}} = 0,514 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 Bt &= n \times (B + C) + Z \\
 &= 2 \times (2,712 + 1,0) + 0,514 \\
 &= 7,938 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta b &= Bt - Bn \\
 &= 7,938 - 7 \\
 &= 0,938 (\text{Perlu Perlebaran})
 \end{aligned}$$

5. Tikungan 5 (Spiral Spiral)

$$V = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 150 \text{ m}$$

$$n = 2 \text{ lajur}$$

$$B_n = 7 \text{ m}$$

$$C = 1,0 \text{ m}$$

$$b = 2,5 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} RC &= R - \frac{1}{4} \times B_n + \frac{1}{2} \times b \\ &= 150 - \frac{1}{4} \times 7 + \frac{1}{2} \times 2,5 \\ &= 149,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \\ &= \sqrt{(\sqrt{149,5^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{149,5^2 - 64} + 1,25 \\ &= 2,712 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Z = \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}} = \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{150}} = 0,514 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} B_t &= n \times (B + C) + Z \\ &= 2 \times (2,712 + 1,0) + 0,514 \\ &= 7,938 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta b &= B_t - B_n \\ &= 7,938 - 7 \\ &= 0,938 \text{ (Perlu Perlebaran)} \end{aligned}$$

6. Tikungan 6 (Spiral Circle Spiral)

$$V = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 200 \text{ m}$$

$$n = 2 \text{ lajur}$$

$$Bn = 7 \text{ m}$$

$$C = 1,0 \text{ m}$$

$$b = 2,5 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} RC &= R - \frac{1}{4} \times Bn + \frac{1}{2} \times b \\ &= 200 - \frac{1}{4} \times 7 + \frac{1}{2} \times 2,5 \\ &= 199,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \\ &= \sqrt{(\sqrt{199,5^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{199,5^2 - 64} + 1,25 \\ &= 2,659 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Z = \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}} = \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{200}} = 0,445 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Bt &= n \times (B + C) + Z \\ &= 2 \times (2,659 + 1,0) + 0,445 \\ &= 7,763 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta b &= Bt - Bn \\ &= 7,763 - 7 \\ &= 0,763 \text{ (Perlu Perlebaran)} \end{aligned}$$

7. Tikungan 7 (Spiral Spiral)

$$V = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 120 \text{ m}$$

$$n = 2 \text{ lajur}$$

$$Bn = 7 \text{ m}$$

$$C = 1,0 \text{ m}$$

$$b = 2,5 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} RC &= R - \frac{1}{4} \times Bn + \frac{1}{2} \times b \\ &= 120 - \frac{1}{4} \times 7 + \frac{1}{2} \times 2,5 \\ &= 119,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \\ &= \sqrt{(\sqrt{119,5^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{119,5^2 - 64} + 1,25 \\ &= 2,765 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Z = \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}} = \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{120}} = 0,575 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Bt &= n \times (B + C) + Z \\ &= 2 \times (2,765 + 1,0) + 0,575 \\ &= 7,763 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta b &= Bt - Bn \\ &= 8,105 - 7 \\ &= 1,105 \text{ (Perlu Perlebaran)} \end{aligned}$$

8. Tikungan 8 (Spiral Spiral)

$$V = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 100 \text{ m}$$

$$n = 2 \text{ lajur}$$

$$Bn = 7 \text{ m}$$

$$C = 1,0 \text{ m}$$

$$b = 2,5 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} RC &= R - \frac{1}{4} \times Bn + \frac{1}{2} \times b \\ &= 100 - \frac{1}{4} \times 7 + \frac{1}{2} \times 2,5 \\ &= 99,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \\ &= \sqrt{(\sqrt{99,5^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{99,5^2 - 64} + 1,25 \\ &= 2,818 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Z = \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}} = \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{100}} = 0,630 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Bt &= n \times (B + C) + Z \\ &= 2 \times (2,818 + 1,0) + 0,630 \\ &= 8,266 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta b &= Bt - Bn \\ &= 8,266 - 7 \\ &= 1,266 (\text{Perlu Perlebaran}) \end{aligned}$$

9. Tikungan 9 (Spiral Circle Spiral)

$$V = 60 \text{ km/jam}$$

$$R = 200 \text{ m}$$

$$n = 2 \text{ lajur}$$

$$Bn = 7 \text{ m}$$

$$C = 1,0 \text{ m}$$

$$b = 2,5 \text{ m}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} RC &= R - \frac{1}{4} \times Bn + \frac{1}{2} \times b \\ &= 200 - \frac{1}{4} \times 7 + \frac{1}{2} \times 2,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 199,5 \text{ m} \\
B &= \sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \\
&= \sqrt{(\sqrt{199,5^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{199,5^2 - 64} + 1,25 \\
&= 2,659 \text{ m} \\
Z &= \frac{0,105 \times V}{\sqrt{R}} = \frac{0,105 \times 60}{\sqrt{200}} = 0,445 \text{ m} \\
Bt &= n \times (B + C) + Z \\
&= 2 \times (2,659 + 1,0) + 0,445 \\
&= 7,763 \text{ m} \\
\Delta b &= Bt - Bn \\
&= 7,763 - 7 \\
&= 0,763 \text{ (Perlu Perlebaran)}
\end{aligned}$$

3.10 Menentukan Alinyemen Vertikal

Perhitungan alinyemen vertikal terdiri atas perhitungan bagian landai vertikal dan bagian lengkung vertikal. Adapun langkah perhitungannya sebagai berikut :

a. Penentuan landai maksimum

Untuk penentuan landai maksimum dapat dilihat dari **tabel 2.22**. Berdasarkan kriteria perencanaan diambil kecepatan rencana (V_r) 60 Km/jam maka kelandaian maksimum adalah 5%.

b. Penentuan panjang landai kritis

untuk penentuan panjang landai kritis dapat dilihat pada **tabel 2.23**, dengan kondisi bahwa kecepatan kendaraan pada awal tanjakan sama dengan kecepatan rencana, yaitu 60 km/jam dengan kelandaian maksimum 5%, maka didapat panjang kritis 450 m.

c. Elevasi permukaan tanah asli

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

Tabel 3.16 Elevasi Profil Melintang

STA	Elevasi Muka Tanah Asli			STA	Elevasi Muka Tanah Rencana
	Kiri	As	Kanan		
29.200	39,13	40,419	41,026	29.200	40,419
29.300	37,318	37,371	38,153	29.300	40,718
29.400	38,376	39,071	39,36	29.400	41,015
29.500	41,37	41,093	42,166	29.500	41,628
29.600	50,457	50,466	50,196	29.600	41,628
29.700	47,014	47,01	47,048	29.700	43,334
29.800	44,088	44,078	44,067	29.800	45,039
29.900	41,498	41,467	41,432	29.900	45,538
30.000	42,472	42,204	42,236	30.000	44,928
30.100	44,185	44,267	44,491	30.100	44,318
30.200	49,255	49,381	48,115	30.200	43,708
30.300	51,247	52,25	52,108	30.300	44,369
30.400	46,162	46,119	46,08	30.400	45,171
30.500	45,299	45,322	45,347	30.500	45,973
30.600	38,275	39,127	39,5	30.600	46,775
30.700	38,165	38,158	38,151	30.700	45,318
30.800	41,236	41,197	41,666	30.800	43,614
30.900	39,453	39,442	39,541	30.900	41,91
31.000	42,236	42,027	43,472	31.000	40,207

31.100	44,406	44,55	44,52	31.100	41,684
31.200	46,089	47,082	47,222	31.200	43,508
31.300	49,387	49,063	50,254	31.300	45,333
31.400	54,343	54,369	54,394	31.400	47,157
31.500	51,152	51,068	50,085	31.500	46,966
31.600	44,445	44,386	44,231	31.600	46,555
31.700	41,264	41,037	40,131	31.700	46,144
31.800	38,031	38,102	38,177	31.800	45,733
31.900	40,264	40,298	40,339	31.900	44,504
32.000	37,352	37,245	37,143	32.000	43,185
32.100	43,189	43,198	43,206	32.100	41,867
32.200	43,408	43,371	43,33	32.200	40,548
32.300	47,095	47,1	47,087	32.300	42,318
32.400	47,358	47,319	48,009	32.400	44,43
32.500	41,166	42,359	42,127	32.500	46,543
32.600	35,037	36,225	36,298	32.600	48,656
32.700	32,454	32,383	32,32	32.700	45,977
32.800	34,08	34,09	34,1	32.800	42,774
32.900	38,209	38,379	38,454	32.900	39,571
33.000	40,392	40,31	40,225	33.000	36,368
33.100	40,074	40,256	40,441	33.100	36,612
33.200	37,095	37,012	38,123	33.200	37,232
33.300	37,217	37,168	37,117	33.300	37,852
33.400	38,449	38,291	38,159	33.400	38,472
33.500	38,257	38,29	38,323	33.500	38,656

33.600	37,326	37,243	37,038	33.600	38,792
33.700	39,42	39,488	39,392	33.700	38,928
33.800	42,33	42,399	42,134	33.800	39,064
33.900	42,321	42,289	42,249	33.900	40,482
34.000	45,287	45,424	45,161	34.000	42,042
34.083	43,265	43,243	43,169	34.083	43,337

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)

d. Penentuan Nilai Grade

Untuk penentuan nilai grade dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$g1 = \frac{Pv1 - PvA}{Jarak} \times 100\% = \frac{41,611 - 40,419}{399,013} \times 100\% = 0,299\%$$

Tabel 3.17 Hasil Perhitungan Nilai Grade

Grade	Titik	Elevasi (m)	Jarak (m)	Kemiringan (%)
g1	A	40,419	399,013	0,299
	PPV1	41,611		
g2	PPV1	41,611	248,685	1,707
	PPV2	45,856		
g3	PPV2	45,856	361,975	-0,610
	PPV3	46,647		
g4	PPV3	46,647	400,000	0,802
	PPV4	46,854		

Grade	Titik	Elevasi (m)	Jarak (m)	Kemiringan (%)
g5	PPV4	46,854	400,000	-1,704
	PPV5	40,039		
g6	PPV5	40,039	400,000	1,825
	PPV6	47,377		
g7	PPV6	47,377	400,000	-0,411
	PPV7	45,693		
g8	PPV7	45,693	400,000	-1,319
	PPV8	40,416		
g9	PPV8	40,416	400,000	2,112
	PPV9	48,684		
g10	PPV9	48,684	400,000	-3,203
	PPV10	36,053		
g11	PPV10	36,053	400,000	0,620
	PPV11	38,534		
g12	PPV11	38,534	400,000	0,136
	PPV12	39,078		
g13	PPV12	39,078	273,154	1,559

Grade	Titik	Elevasi (m)	Jarak (m)	Kemiringan (%)
	B	43,337		

(Sumber: Hasil perhitungan 2023)

e. Perhitungan lengkung vertikal

Untuk perhitungan lengkung vertikal adalah sebagai berikut :

1) Lengkung vertikal cekung

Pada STA 29+599 digunakan vertikal sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A &= g_1 - g_2 \\
 &= 0,299\% - 1,707\% \\
 &= -1,408\% \{1,408\% \}
 \end{aligned}$$

Didapat L_v dari grafik panjang lengkung vertikal cembung dengan $V_r = 60$ km/jam, $A = 1,408\%$, maka $L_v = 40$ m

- Menentukan elevasi STA PLV

$$\begin{aligned}
 \text{STA PLV} &= \text{STA PPV} - \frac{1}{2} \times L_v \\
 &= 29599 - \frac{1}{2} \times 40 \\
 &= 29+579
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{1}{2} \times L_v \\
 &= \frac{1}{2} \times 40 \\
 &= 20 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi tangen PLV} &= \text{ketinggian PPV} - g_1 \cdot x \\
 &= 41,611 - 0,299\% \cdot 20 \\
 &= 41,551
 \end{aligned}$$

$$y' = 0$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi lengkung PLV} &= \text{Elevasi tangen PLV} - y' \\
 &= 41,551 - 0 \\
 &= 41,551
 \end{aligned}$$

- Menentukan elevasi STA PLV2

$$\begin{aligned}
 \text{STA PLV2} &= \text{STA PPV} - \frac{1}{4} \cdot Lv \\
 &= 29599 - \frac{1}{4} \cdot 40 \\
 &= 29+589 \\
 x &= \frac{1}{4} \cdot Lv \\
 &= 10 \text{ m} \\
 \text{Elevasi tangen PLV2} &= \text{ketinggian PPV} - g1 \cdot x \\
 &= 41,611 - 0,299\% \cdot 10 \\
 &= 41,581 \\
 y' &= \frac{A \cdot X^2}{200 \cdot Lv} \\
 &= \frac{1,408 \cdot 10^2}{200 \cdot 40} \\
 &= 0,018 \\
 \text{Elevasi lengkung PLV2} &= \text{Elevasi tangen PLV2} - y' \\
 &= 41,581 - 0,018 \\
 &= 41,564
 \end{aligned}$$

- Menentukan elevasi STA PPV

$$\begin{aligned}
 \text{STA PPV} &= 29+599 \\
 x &= 0 \\
 \text{Elevasi tangen PPV} &= 41,611 \\
 y' &= \frac{A \cdot Lv}{800} \\
 &= \frac{1,408 \cdot 40}{800} \\
 &= 0,070 \\
 \text{Elevasi lengkung PPV} &= \text{Elevasi tangen PPV} - y' \\
 &= 41,611 - 0,070
 \end{aligned}$$

$$= 41,541$$

- Menentukan elevasi STA PTV2

$$\begin{aligned} \text{STA PTV2} &= \text{STA PPV} + \frac{1}{4} \cdot Lv \\ &= 29599 + \frac{1}{4} \cdot 40 \\ &= 29+609 \\ x &= \frac{1}{4} \cdot Lv \\ &= \frac{1}{4} \cdot 40 \\ &= 10 \\ \text{Elevasi tangen PTV2} &= \text{ketinggian PPV} + g2 \cdot x \\ &= 41,611 + 1,707\% \cdot 10 \\ &= 41,782 \end{aligned}$$

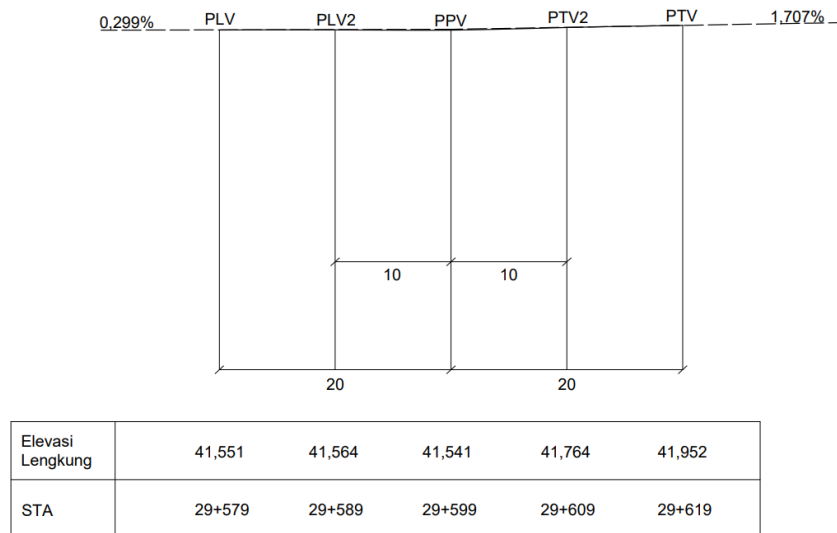
$$\begin{aligned} y' &= \frac{A \cdot x^2}{200 \cdot Lv} \\ &= \frac{1,408 \cdot 10^2}{200 \cdot 40} \\ &= 0,018 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi lengkung PTV2} &= \text{Elevasi tangen PTV2} - y' \\ &= 41,782 - 0,018 \\ &= 41,764 \end{aligned}$$

- Menentukan elevasi STA PTV

$$\begin{aligned} \text{STA PTV} &= \text{STA PPV} + \frac{1}{2} \cdot Lv \\ &= 29599 + \frac{1}{2} \cdot 40 \\ &= 29+619 \\ x &= \frac{1}{2} \cdot Lv \\ &= \frac{1}{2} \cdot 40 \\ &= 20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi tangen PTV} &= \text{ketinggian PPV} + g_2 \cdot x \\
 &= 41,611 + 1,707\% \cdot 20 \\
 &= 41,952 \\
 y' &= 0 \\
 \text{Elevasi lengkung PTV} &= \text{Elevasi tangen PTV} - y' \\
 &= 41,952 - 0 \\
 &= 41,952
 \end{aligned}$$



Gambar 3.21 Lengkung Vertikal Cekung

2) Lengkung vertikal cembung

Pada STA 29+848 digunakan vertikal sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A &= g_1 - g_2 \\
 &= 1,707\% - (-0,610\%) \\
 &= 2,317\%
 \end{aligned}$$

Didapat L_v dari grafik panjang lengkung vertikal cembung dengan $V_r = 60$ km/jam, $A = 2,317\%$, maka $L_v = 40$ m

- Menentukan elevasi STA PLV

$$\text{STA PLV} = \text{STA PPV} - \frac{1}{2} \times L_v$$

$$\begin{aligned}
 &= 29848 - \frac{1}{2} \times 40 \\
 &= 29+828 \\
 x &= \frac{1}{2} \times Lv \\
 &= \frac{1}{2} \times 40 \\
 &= 20 \text{ m} \\
 \text{Elevasi tangen PLV} &= \text{ketinggian PPV} - g1 \cdot x \\
 &= 45,856 - 1,707\% \cdot 20 \\
 &= 45,515 \\
 y' &= 0 \\
 \text{Elevasi lengkung PLV} &= \text{Elevasi tangen PLV} - y' \\
 &= 45,515 - 0 \\
 &= 45,515
 \end{aligned}$$

- Menentukan elevasi STA PLV2

$$\begin{aligned}
 \text{STA PLV2} &= \text{STA PPV} - \frac{1}{4} \cdot Lv \\
 &= 29848 - \frac{1}{4} \cdot 40 \\
 &= 29+838 \\
 x &= \frac{1}{4} \cdot Lv \\
 &= 10 \text{ m} \\
 \text{Elevasi tangen PLV2} &= \text{ketinggian PPV} - g1 \cdot x \\
 &= 45,856 - 1,707\% \cdot 10 \\
 &= 45,685 \\
 y' &= \frac{A \cdot X^2}{200 \cdot Lv} \\
 &= \frac{2,317 \cdot 10^2}{200 \cdot 40} \\
 &= 0,029 \\
 \text{Elevasi lengkung PLV2} &= \text{Elevasi tangen PLV2} - y' \\
 &= 45,685 - 0,029 \\
 &= 45,656
 \end{aligned}$$

- Menentukan elevasi STA PPV

$$\begin{aligned}
 \text{STA PPV} &= 29+848 \\
 x &= 0 \\
 \text{Elevasi tangen PPV} &= 45,856 \\
 y' &= \frac{A \cdot Lv}{800} \\
 &= \frac{2,317 \cdot 40}{800} \\
 &= 0,116 \\
 \text{Elevasi lengkung PPV} &= \text{Elevasi tangen PPV} - y' \\
 &= 45,856 - 0,116 \\
 &= 45,740
 \end{aligned}$$

- Menentukan elevasi STA PTV2

$$\begin{aligned}
 \text{STA PTV2} &= \text{STA PPV} + \frac{1}{4} \cdot Lv \\
 &= 29848 + \frac{1}{4} \cdot 40 \\
 &= 29+858 \\
 x &= \frac{1}{4} \cdot Lv \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 40 \\
 &= 10 \\
 \text{Elevasi tangen PTV2} &= \text{ketinggian PPV} + g2 \cdot x \\
 &= 45,856 + (-0,610\%) \cdot 10 \\
 &= 45,795 \\
 y' &= \frac{A \cdot x^2}{200 \cdot Lv} \\
 &= \frac{2,317 \cdot 10^2}{200 \cdot 40} \\
 &= 0,029 \\
 \text{Elevasi lengkung PTV2} &= \text{Elevasi tangen PTV2} - y' \\
 &= 45,795 - 0,029
 \end{aligned}$$

$$= 45,766$$

- Menentukan elevasi STA PTV

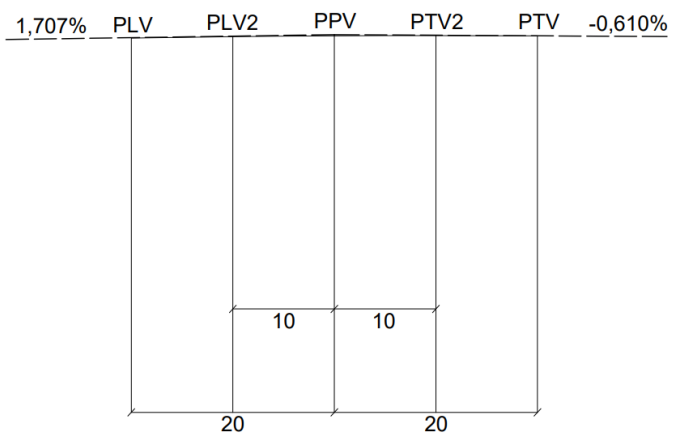
$$\begin{aligned} \text{STA PTV} &= \text{STA PPV} + \frac{1}{2} \cdot L_v \\ &= 29848 + \frac{1}{2} \cdot 40 \\ &= 29+868 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{2} \cdot L_v \\ &= \frac{1}{2} \cdot 40 \\ &= 20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi tangen PTV} &= \text{ketinggian PPV} + g_2 \cdot x \\ &= 45,856 + (-0,610\%) \cdot 20 \\ &= 45,734 \end{aligned}$$

$$y' = 0$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi lengkung PTV} &= \text{Elevasi tangen PTV} - y' \\ &= 45,734 - 0 \\ &= 45,734 \end{aligned}$$



Elevasi Lengkung	45,515	45,656	45+740	45,766	45+734
STA	29+828	29+838	29+848	28+858	29+868

Gambar 3.22 Lengkung Vertikal Cembung

Tabel 3.18 Perhitungan Elevasi Lengkung Vertikal

No	Titik	Bentuk Lengkung	g1	g2	A (%)	A FIX	Lv Grafik		STA	X	Elevasi Tangen	y'	Elevasi Lengkung
1	PV1	Cekung	0,299	1,707	- 1,408	1,408	40	PLV	29.579	20	41,551	0,000	41,551
								PLV2	29.589	10	41,581	0,018	41,564
								PPV	29.599	0	41,611	0,070	41,541
								PTV2	29.609	10	41,782	0,018	41,764
								PTV	29.619	20	41,952	0,000	41,952
2	PV2	Cembung	1,707	-0,610	2,317	2,317	40	PLV	29.828	20	45,515	0,000	45,515
								PLV2	29.838	10	45,685	0,029	45,656
								PPV	29.848	0	45,856	0,116	45,740
								PTV2	29.858	10	45,795	0,029	45,766
								PTV	29.868	20	45,734	0,000	45,734
3	PV3	Cekung	-0,610	0,802	- 1,412	1,412	40	PLV	30.190	20	43,769	0,000	43,769
								PLV2	30.200	10	43,708	0,018	43,690
								PPV	30.210	0	43,647	0,071	43,576
								PTV2	30.220	10	43,727	0,018	43,710
								PTV	30.230	20	43,807	0,000	43,807
4	PV4	Cembung	0,802	-1,7038	2,506	2,506	45	PLV	30.587	22,5	46,674	0,000	46,674
								PLV2	30.598	11,25	46,764	0,035	46,729
								PPV	30.610	0	46,854	0,141	46,713
								PTV2	30.621	11,25	46,662	0,035	46,627
								PTV	30.632	22,5	46,471	0,000	46,471
5	PV5	Cekung	-1,704	1,825	- 3,528	3,528	50	PLV	30.985	25	40,465	0,000	40,465
								PLV2	30.997	12,5	40,252	0,055	40,197
								PPV	31.010	0	40,039	0,221	39,819
								PTV2	31.022	12,5	40,267	0,055	40,212
								PTV	31.035	25	40,495	0,000	40,495
6	PV6	Cembung	1,825	-0,411	2,236	2,236	40	PLV	31.390	20	46,972	0,000	46,972
								PLV2	31.400	10	47,155	0,028	47,127
								PPV	31.410	0	47,337	0,112	47,225
								PTV2	31.420	10	47,296	0,028	47,268
								PTV	31.430	20	47,255	0,000	47,255
7	PV7	Cembung	-0,411	-1,319	0,908	0,908	40	PLV	31.790	20	45,775	0,000	45,775
								PLV2	31.800	10	45,734	0,011	45,723
								PPV	31.810	0	45,693	0,045	45,648
								PTV2	31.820	10	45,561	0,011	45,550
								PTV	31.830	20	45,429	0,000	45,429
8	PV8	Cekung	-1,319	2,112	- 3,431	3,431	50	PLV	32.185	25	40,746	0,000	40,746
								PLV2	32.197	12,5	40,581	0,054	40,527
								PPV	32.210	0	40,416	0,214	40,202
								PTV2	32.222	12,5	40,680	0,054	40,626
								PTV	32.235	25	40,944	0,000	40,944
9	PV9	Cembung	2,112	-3,203	5,315	5,315	80	PLV	32.570	40	48,019	0,000	48,019
								PLV2	32.590	20	48,442	0,133	48,309
								PPV	32.610	0	48,864	0,532	48,333
								PTV2	32.630	20	48,223	0,133	48,091
								PTV	32.650	40	47,583	0,000	47,583
10	PV10	Cekung	-3,203	0,620	- 3,823	3,823	60	PLV	32.980	30	37,014	0,000	37,014
								PLV2	32.995	15	36,533	0,072	36,462
								PPV	33.010	0	36,053	0,287	35,766
								PTV2	33.025	15	36,146	0,072	36,074
								PTV	33.040	30	36,239	0,000	36,239
11	PV11	Cembung	0,620	0,136	0,484	0,484	30	PLV	33.395	15	38,441	0,000	38,441
								PLV2	33.402	7,5	38,487	0,005	38,483
								PPV	33.410	0	38,534	0,018	38,516
								PTV2	33.417	7,5	38,544	0,005	38,540
								PTV	33.425	15	38,554	0,000	38,554
12	PV12	Cekung	0,136	1,559	- 1,423	1,423	40	PLV	33.790	20	39,051	0,000	39,051
								PLV2	33.800	10	39,064	0,018	39,047
								PPV	33.810	0	39,078	0,071	39,007
								PTV2	33.820	10	39,234	0,018	39,216
								PTV	33.830	20	39,390	0,000	39,390

(Sumber: Hasil perhitungan 2023)

3.11 Perhitungan Galian dan Timbunan

Perhitungan galian dan timbunan dapat dihitung dengan menggunakan software autocad. Hasil perhitungan bisa dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.19 Perhitungan Galian dan Timbunan

STA	Luas (m ²)		Jarak (m)	Volume (m ³)	
	Galian	Timbunan		Galian	Timbunan
29+200	10,661	3,412	100	533,05	8780,85
29+300	0,000	172,205			
29+400	0,000	100,148	100	0,000	13617,65
29+500	9,451	4,379	100	472,55	5226,35
29+600	618,112	0,000	100	31378,15	218,95
29+700	243,812	0,000	100	43096,2	0,000
29+800	0,354	46,097	100	12208,3	2304,85
29+900	0,000	218,105	100	17,7	13210,1
30+000	0,000	139,402	100	0,000	17875,35
30+100	8,902	0,315	100	445,1	6985,85
			100	18971,55	15,75

30+200	370,529	0,000			
			100	45295,05	0,000
30+300	535,372	0,000			
			100	30140,8	0,000
30+400	67,444	0,000			
			100	3483,05	1505,9
30+500	2,217	30,118			
			100	110,85	23812,1
30+600	0,000	446,124			
			100	0,000	42813,05
30+700	0,000	410,137			
			100	0,000	26576,05
30+800	0,000	121,384			
			100	0,000	12378,75
30+900	0,000	126,191			
			100	6653,65	6309,55
31+000	133,073	0,000			
			100	16065,15	0,000
31+100	188,23	0,000			
			100	20911	0,000
31+200	229,99	0,000			
			100	24425,8	0,000
31+300	258,526	0,000			
			100	37705,7	0,000
31+400	495,588	0,000			

			100	38040,05	0,000
31+500	265,213	0,000	100	13260,65	5541,1
31+600	0,000	110,822	100	0,000	19763,5
31+700	0,000	284,448	100	0,000	36232,55
31+800	0,000	440,203	100	0,000	33309,85
31+900	0,000	225,994	100	0,000	27887,25
32+000	0,000	331,751	100	4554,45	16587,55
32+100	91,089	0,000	100	13875,1	0,000
32+200	186,413	0,000	100	25270,4	0,000
32+300	318,995	0,000	100	25753,25	0,000
32+400	196,070	0,000	100	9803,5	11656,75
32+500	0,000	233,135	100	0,000	51570,75
32+600	0,000	798,280	100	0,000	83829,6

32+700	0,000	878,312			
			100	0,000	69996,45
32+800	0,000	521,617			
			100	0,000	29009,1
32+900	0,000	58,565			
			100	13058,75	2928,25
33+000	261,175	0,000			
			100	25111,1	0,000
33+100	241,047	0,000			
			100	12516,95	254,000
33+200	9,292	5,080			
			100	564,35	1845,25
33+300	1,995	31,825			
			100	394,5	1902,35
33+400	5,895	6,222			
			100	509,75	1092,95
33+500	4,300	15,637			
			100	215,000	4658,85
33+600	0,000	77,540			
			100	2138,2	3877,000
33+700	42,764	0,000			
			100	13029,8	0,000
33+800	217,832	0,000			
			100	16937,8	0,000
33+900	120,924	0,000			

			100	17069,8	0,000
34+000	220,472	0,000			
			83	9425,771	96,031
34+083	6,655	2,314			
Total			4883	533442,8	583670,2

(Sumber: Hasil perhitungan 2023)

3.12 Menentukan Tebal Perkerasan

Adapun data-data yang digunakan pada perencanaan tebal perkerasan ruas jalan ini antara lain data lalu lintas harian rata-rata pada ruas Jalan Bts Kab. Muba – Muara Beliti dilihat pada tabel 3.20 dan data perencanaan dapat dilihat pada tabel 3.21

Tabel 3.20 Data Lalu Lintas Harian Rata-rata 2021 (LHR)

Golongan	Kode	Jumlah (kend/hari)
1	1.1	2046
2	1.1	1159
3	1.2	41
4	1.2	221
5a	1.1	2
6a	1.2	452
6b	1.2	85
7a	1.2	13
7c	1.2-22	4

(Sumber : Dinas PU Bina Marga, 2021)

Tabel 3. 21 Data Perencanaan

Parameter	Kode
Fungsi jalan	Kolektor kelas II A
Tipe jalan	2/2 UD
Umur rencana	20 tahun
Pertumbuhan kendaraan awal umur rencana	3,5%
Koefisien drainase/nilai m	1 m
DL (Distribusi lajur)	100%(BinaMarga,2017)
DD (Distribusi arah)	50%(Bina Marga, 2017)
Rentang tahun rencana (2021-2023)	2
Rentang tahun total (2023-2043)	20
Pertumbuhan kendaraan akhir umur rencana	3,5%

A. Menentukan nilai ESA5

Menentukan nilai faktor ekivalen beban (VDF5) aktual dan normal. Berdasarkan ketentuan Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 untuk nilai faktor ekivalen beban di daerah Sumatera bisa kita tuliskan sebagai berikut :

Tabel 3.22 Nilai VDF5

Jenis Kendaraan	VDF5	
	Beban aktual	Normal
6a	0,5	0,5
6b	7,4	4,6
7a	18,4	7,4
7c	29,5	9,6

(Sumber: MDP Bina Marga, 2017)

1. Perhitungan lalu lintas

a. LHR awal umur rencana 2023

Dengan $n=2$; $I = 3,5\%$, Adapun perhitungannya antara lain:

Sepeda Motor	$= 2046 \times (1 + 0,035)^2$	$= 2191,73$
Sedan, jeep	$= 1159 \times (1 + 0,035)^2$	$= 1241,55$
Oplet, Pick-up, combi	$= 41 \times (1 + 0,035)^2$	$= 43,92$
Pick-up, micro truk	$= 221 \times (1 + 0,035)^2$	$= 236,74$
Bus kecil	$= 2 \times (1 + 0,035)^2$	$= 2,14$
Truk ringan 2 sumbu	$= 452 \times (1 + 0,035)^2$	$= 484,19$
Truk sedang 2 sumbu	$= 85 \times (1 + 0,035)^2$	$= 91,1$
Truk 3 sumbu	$= 13 \times (1 + 0,035)^2$	$= 13,93$
Truk 122-22 semi trailer	$= 4 \times (1 + 0,035)^2$	$= 4,29$

b. LHR akhir umur rencana 2043

Dengan $n = 20$; $I = 3,5\%$, Adapun perhitungannya antara lain:

Sepeda Motor	$= 2191,73 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 4361,1$
Sedan, jeep,	$= 1241,55 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 2470,42$
Oplet, pick-up, combi	$= 43,92 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 87,39$
Pick-up, micro truk	$= 236,74 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 471,06$
Bus kecil	$= 2,14 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 4,26$
Truk ringan 2 sumbu	$= 484,19 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 963,44$
Truk sedang 2 sumbu	$= 91,1 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 181,27$
Truk 3 sumbu	$= 13,39 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 27,72$
Truk 122-22 semi trailer	$= 4,29 \times (1 + 0,035)^{20}$	$= 8,54$

2. Menghitung nilai faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R)

Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas dihitung dari formula

$$R = \frac{(1+0,01 \times i)^{UR}-1}{0,01 \times i}$$

Dengan UR masing-masing sama dengan 2 tahun dan 20 tahun. Sehingga di dapatlah nilai R sebagai berikut :

- R (2021-2023)

$$R = \frac{(1+0,01 \times 0,035)^2 - 1}{0,01 \times 0,035} = 2,00$$

- R (2023-2043)

$$R = \frac{(1+0,01 \times 0,035)^{20} - 1}{0,01 \times 0,035} = 20,07$$

3. Menghitung nilai ESA5

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

Dengan :

ESA_{TH-1} : kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen pada tahun pertama

LHR_{JK} : lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kend/hari)

VDF_{JK} : faktor ekivalen beban tiap jenis kendaraan niaga (**tabel 3.22**)

DD : faktor distribusi arah

DL : faktor distribusi lajur

R : faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

CESAL : kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana

Tabel 3.23 Nilai faktor ekivalen beban (VDF5)

Golongan	Kode	LHR 2021	LHR 2023	LHR 2043	VDF5		ESA5	
					Aktual	Normal	2021-2023	2023-2043
1	1.1	2046	2191,73	4361,1	-	-	-	-
2	1.1	1159	1241,55	2470,42	-	-	-	-
3	1.2	41	43,92	87,39	-	-	-	-
4	1.2	221	236,74	471,06	-	-	-	-
5a	1.2	2	2,14	4,26	-	-	-	-
6a	1.2	452	484,19	963,44	0,5	0,5	88.364,675	1.764.431,973
6b	1.2	85	91,1	181,27	7,4	4,6	246.061,1	3.054.175,632
7a	1.22	13	13,93	27,72	18,4	7,4	93.553,88	751.337,710
7c	1.22- 22	4	4,29	8,54	29,5	9,6	46.192,575	300.288,956
Jumlah							474.172,23	5.870.234,271
CESAL							6.344.406,501	

(Sumber: Hasil Perhitungan 2023)

Dari perhitungan diatas maka didapat nilai ESA5 adalah 6.344.406,501

B. Menentukan jenis perkerasan

Tabel 3.24 Pemilihan Tipe perkerasan

Struktur perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0-0,5	0,1-4	>4-10	>10- 30	>30- 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (diatas tanah dengan CBR \geq 2,5%	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah	4A	-	1,2	-	-	-

perdesaan dan perkotaan)						
AC-WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis pondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis pondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

(Sumber: MDP Bina Marga, 2017)

Untuk nilai ESA dalam 20 tahun sebesar 6.344.406,501 digunakan bagan desain 3B, yaitu struktur perkerasan AC AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis pondasi berbutir dengan tingkat kesulitan diangka 2

C. Menentukan nilai CBR design

Dari hasil pengambilan tanah pada proyek ruas Jalan Bts Muba – Muara Beliti di dapat nilai CBR tanah sebagai berikut:

Tabel 3.25 Data CBR

No	STA	CBR (%)
1	0+200	13,7
2	2+000	13,8
3	3+600	14,8
4	5+100	13,8
5	7+300	13,9
6	9+200	14,7
Total		84,7

(Sumber : Dinas PU Bina Marga, 2021)

$$\begin{aligned}
 \text{CBR rata-rata} &= \frac{\sum \text{CBR}}{\text{Jumlah titik}} \\
 &= \frac{84,7\%}{6} \\
 &= 14,12\%
 \end{aligned}$$

- Menghitung CBR segmen

Dikarenakan hasil nilai CBR hanya 6 maka Nilai CBR segmen di tentukan dari nilai CBR terendah yaitu 13,7%.

- Menghitung CBR design

Nilai CBR design = CBR hasil pengujian DCP x faktor penyesuaian

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai CBR design} &= 14,12\% \times 0,80 \\
 &= 11,3\%
 \end{aligned}$$

D. Menentukan struktur pondasi

Menurut ketentuan dari Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 tentang desain pondasi jalan minimum, dimana untuk nilai CBR tanah dasar sebesar 11,3%

didapatkan kelas kekuatan tanah SG6 dan tidak diperlukan perbaikan lagi dan lapis penopangnya.

Dari perhitungan ESA5, didapat nilai dibawah 10 juta maka struktur perkerasan berdasarkan desain 3B pada tabel didapatkan struktur perkerasan sebagai berikut :

Tabel 3.26 Struktur Perkerasan

AC WC	40 mm
AC BC	60 mm
AC BASE	80 mm
LPA Kelas A	300 mm
Total	480 mm

(Sumber: MDP Bina Marga, 2017)

E. Menentukan standar drainase bawah permukaan yang dibutuhkan

1. Untuk tinggi tanah dasar diatas muka air tanah menurut Bina Marga 2017 pada pada tanah normal dengan nilai = 600 mm

2. Tebal desain lapisan agregat = $\frac{\text{tebal berdasarkan perhitungan}}{m}$

Sehingga :

$$\text{Tebal desain lapisan agregat} = \frac{480}{1} = 480 \text{ mm}$$

3. Menentukan dukungan tepi dasar

dapat disimpulkan dukungan tepi perkerasan sebagai berikut :

Tabel 3. 27 Dukungan Tepi Dasar

Kemiringan	1:1
Tebal lapis perkerasan (D)	480 mm
Tebal perbaikan tanah dasar (S)	Tidak diperlukan
Tebal lapis penopang (C)	Tidak diperlukan

(Sumber: Hasil Perhitungan 2023)

Berdasarkan tabel diatas jadi untuk tebal tepi luar sebagai berikut:

$$D + S + C = 480 + 0 + 0 = 480 \text{ mm}$$

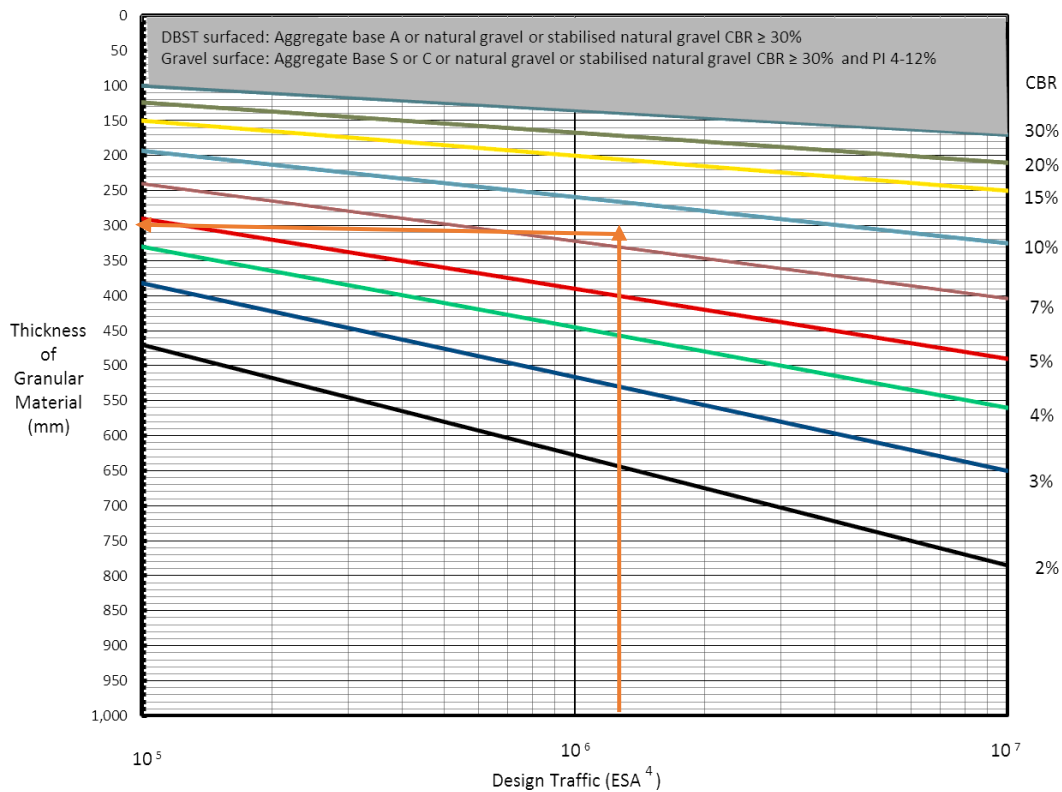
F. Menentukan kebutuhan pelapisan (Sealing) bahu jalan

1. Berdasarkan perencanaan sebelumnya, diperoleh :

CBR design = 11,3%

Beban gandar kumulatif 20 tahun = 6.344.406,501

2. Beban rencana bahu jalan = $10\% \times 6.344.406,501 = 634.440,65$
3. Dengan menyiapkan pondasi yang sama dengan lajur utama diperoleh daya dukung pondasi perkerasan bahu jalan ekuivalen CBR 11,3%.



Gambar 3.23 Grafik Desain ESA5 dan CBR Desain

4. Berdasarkan grafik diatas untuk beban rencana 6.344.406,501 ESA5 dan CBR 11,3% diperlukan penutup setebal 300 mm.

5. Tebal total perkerasan lajur utama $480 > 300$ mm, maka diperlukan perkerasan bahu jalan
6. Tebal lapis beraspal pada lajur utama 180 mm, digunakan permukaan bahu jalan berupa lapis pondasi agregat kelas S setebal (480-300) 180 mm
7. Untuk memastikan air permukaan yang meresap ke perkerasan dapat dialirkan, pasang LPA kelas A dibawah permukaan LPA kelas S dengan (480– 180) 300 mm dibawah lapis permukaan LPA kelas S.

Tabel 3.28 Struktur Perkerasan Bahu Jalan

Lapisan	Tebal (mm)
LPA Kelas S	180
LPA Kelas A	300

(Sumber : Hasil Perhitungan 2023)