BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Dasar Perancangan Geometrik

Perancangan Geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang dititikberatkan pada perencanaan bentuk sehingga dapat memenuhi fungsi dasar dari jalan yaitu memberikan pelayanan optimum pada arus lalu lintas dan sebagai akses ke rumah-rumah. Tujuan dari perancangan geometrik jalan adalah menghasilkan infrastruktur yang aman, efisien pelayanan arus lalu lintas dan memaksimalkan ratio tingkat penggunaan atau biaya pelaksanaan (Sukirman, 1999).

Yang menjadi dasar perancangan geometrik jalan adalah sifat, gerakan dan ukuran kendaraan, sifat pengemudi dalam mengendalikan gerak kendaraannya dan karakteristik arus lalu lintas. Hal tersebut haruslah menjadi bahan pertimbangan perencana sehingga dihasilkan bentuk dan ukuran jalan, serta ruang gerak kendaraan yang memenuhi tingkat kenyamanan dan keamanan yang diharapkan (Sukirman, 1999).

Dalam merencanakan suatu konstruksi jalan raya harus memiliki data perencanaan, diantaranya data topografi, data lalu lintas, data tanah dan penunjang lainnya. Semua data ini diperlukan dalam merencanakan konstruksi jalan raya.

Data ini diperlukan dalam merencanakan konstruksi jalan raya karena data ini dapat memberikan gambaran yang sebenarnya dari kondisi suatu daerah dimana ruas jalan ini dibangun. Dengan adanya data ini, kita dapat menentukan geometrik dan tebal perkerasan yang diperlukan dalam merencanakan suatu konstruksi jalan raya.

2.1.1 Data peta topografi

Keadaan topografi dalam penetapan trase jalan memegang peranan penting, karena akan mempengaruhi penetapan alinyemen, kelandaian jarak, jarak pandang, penampang melintang, saluran tepi dan lainnya (Saodang, 2004).

Pengukuran peta topografi dimaksudkan untuk mengumpulkan data topografi yang cukup untuk digunakan dalam perancangan geometrik. Data peta topografi digunakan untuk menentukan kecepatan sesuai dengan daerahnya. Pengukuran peta topografi dilakukan pada sepanjang trase jalan raya.

Pekerjaan pengukuran terdiri dari beberapa kegiatan berikut :

a. Pekerjaan perintisan berupa merintis atau membuka sebagian daerah yang diukur sehingga pengukuran dapat berjalan lancar.
b. Kegiatan pengukuran meliputi :
   1) Penentuan titik-titik kontrol vertikal dan horizontal yang dipasang setiap interval 100 meter pada rencana as jalan.
   2) Pengukuran penampang melintang *(cross section)* dan penampang memanjang.
   3) Pengukuran situasi selebar kiri dan kanan dari jalan yang dimaksud dan disebutkan serta tata guna tanah disekitar trase jalan.
   4) Perhitungan perencanaan desain jalan dan penggambaran peta topografi berdasarkan titik-titik koordinat kontrol diatas.

2.1.2 Data lalu lintas

Data lalu lintas merupakan data utama yang diperlukan untuk perencanaan teknik jalan sebab kapasitas jalan yang akan direncanakan tergantung dari komposisi lalu lintas yang akan menggunakan jalan tersebut. Besarnya volume lalu lintas diperlukan untuk menentukan jumlah dan lebar lajur pada suatu jalur jalan pada perencanaan geometrik, sedangkan jenis kendaraan akan menentukan kelas beban atau muatan sumbu terberat yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan (Saodang, 2004).

Data arus lalu lintas merupakan informasi dasar bagi perencanaan dan desain suatu jalan. Data ini dapat mencakup suatu jaringan jalan atau hanya satu daerah tertentu dengan batasan yang telah ditentukan. Data lalu lintas didapatkan dengan melakukan pendataan kendaraan atau *survey* kendaraan yang melintasi suatu ruas jalan, sehingga dari hasil pendataan ini kita dapat mengetahui volume lalu lintas diperoleh dalam satuan kendaraan per jam (kend/jam).

Volume lalu lintas dinyatakan dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP) yang didapatkan dengan mengalihkan atau menkonversikan angka Faktor Ekivalen (FE) setiap kendaraan yang melintasi jalan tersebut dengan jumlah kendaraan yang kita peroleh dari hasil pendataan (kend/jam). Volume lalu lintas dalam SMP ini menunjukkan besarnya jumlah Lalu lintas Harian Rata-rata (LHR) yang melintasi jalan tersebut. Dari lalu lintas rata-rata yang didapatkan kita bisa merencanakan tebal perkerasan.

Untuk merencanakan teknik jalan baru, survei lalu lintas tidak dapat dilakukan karena belum ada jalan. Akan tetapi untuk menentukan dimensi jalan tersebut diperlukan data jumlah kendaraan (Hendarsin, 2000). Untuk itu hal yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

a. *Survey* perhitungan lalu lintas (*traffic counting)* dilakukan pada jalan yang sudah ada yang diperkirakan mempunyai bentuk, kondisi dan keadaan komposisi lalu lintas akan serupa dengan jalan yang direncanakan.
b. *Survey* asal tujuan yang dilakukan pada lokasi yang dianggap tepat dengan cara melakukan wawancara kepada pengguna jalan untuk mendapatkan gambaran rencana jumlah dan komposisi kendaraan pada jalan yang direncanakan.

2.1.3 Data penyelidikan tanah

Tanah dasar dapat terdiri dari tanah dasar asli, tanah dasar tanah galian, atau tanah dasar tanah urug yang disiapkan dengan cara dipadatkan (Sukirman, 2010). Data Penyelidikan Tanah didapatkan dengan cara melakukan penyelidikan tanah dilapangan, yang meliputi pekerjaan :

a. Penelitian

   Penelitian terhadap semua kondisi tanah yang ada pada proyek jalan tersebut, dilakukan berdasarkan survei langsung di lapangan maupun dengan pemeriksaan di laboratorium. Pengambilan data CBR *(California Bearing Ratio)* dilapangan dilakukan sepanjang ruas rencana, dengan interval 100 meter dengan menggunakan DCP *(Dynamic Cone Penetrometer)* Hasil tes DCP ini dievaluasi melalui penampilan grafik yang ada, sehingga menampakkan hasil nilai CBR disetiap titik lokasi. Penentuan nilai CBR

dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu analitis dan grafis.

1) Cara Analitis

Adapun rumus yang digunakan pada CBR analitis adalah :

$$\text{CBR segmen} = \frac{\text{CBR rata-rata} - (\text{CBRmaks} - \text{CBRmin})}{\text{R}} \quad \text{.....} (2.1)$$

Dengan :

CBRsegmen = CBR yang mewakili nilai CBR satu segmen

CBRrata-rata = CBR yang mewakili nilai CBR satu segmen

CBRmaks = CBR maksimal dalam satu segmen

CBRmin = CBR minimum dalam satu segmen

R = Konstanta, Tabel nilai R untuk perhitungan CBR segmen dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai R untuk perhitungan CBR Segmen

Jumlah Titik Pengamatan	Nilai R
2	1,41
3	1,91
4	2,24
5	2,48
6	2,57
7	2,83
8	2,96
9	3,08
10	3,18

(Sumber : Sukirman, 2010)

2) Cara Grafis

Nilai CBR segmen dengan menggunakan metode grafis merupakan nilai persentil ke 90 dari data CBR yang ada dalam satu segmen.

Langkah-langkah menentukan CBR segmen menggunakan metode grafis adalah sebagai berikut :

a) Tentukan nilai CBR terkecil.

b) Susunlah nilai CBR dari yang terkecil ke yang terbesar, dan tentukan jumlah data dengan nilai CBR yang sama atau lebih besar dari setiap nilai CBR. Pekerjaan ini dilakukan secara tabelaris.

c) Angka terbanyak diberi nilai 100%, angka yang lain merupakan persentase dari 100%.
d) Dibuat grafik hubungan antara nilai CBR dan persentase nilai tadi.
e) Nilai CBR segmen adalah nilai pada angka 90% sama atau lebih besar dari nilai CBR yang tertera.

2.1.4 Data penyelidikan material

Untuk menentukan bahan konstruksi jalan atau *highway* materials, dilakukan *survey* pada lokasi-lokasi sumber material *(quairy)* yang berada pada daerah sepanjang trase jalan dengan pertimbangan ekonomis, tetapi apabila tidak ditemui maka dilakukan *survey* pada daerah disekitarnya. Data penyelidikan material dilakukan dengan melakukan penyelidikan material meliputi pekerjaan sebagai berikut :

a. Mengadakan penelitian terhadap semua data material yang ada selanjutnya melakukan penyelidikan sepanjang proyek tersebut yang akan dilakukan berdasarkan survei di lapangan maupun dengan pemeriksaan laboratorium.
b. Penyelidikan lokasi sumber material yang ada beserta perkiraan jumlahnya untuk pekerjaan-pekerjaan penimbunan pada jalan dan jembatan serta bangunan pelengkap jalan.

Pengidentifikasian material secara virtual yang dilakukan oleh teknisi tanah dilapangan hanya berdasarkan gradasi butiran dan karakteristik keplastisan saja yaitu :

a. Tanah berbutir kasar

   Pada sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir), jika kurang dari 50% lalu dengan nomor 200. (Hardiyatmo, 2010).
b. Tanah berbutir halus

   Pada sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir halus (lanau/lempung), jika lebih dari 50% lalu dengan nomor 200. Contohnya kerikil dan pasir (Hardiyatmo, 2010).

2.2 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan merupakan aspek penting yang pertama kali harus didefinisikan sebelum melakukan perancangan jalan. Karena kriteria desain suatu rencana jalan yang ditentukan dari standar desain (baik untuk jalan dalam kota maupun jalan luar kota) didasarkan kepada klasifikasi jalan menurut undang-undang dan peraturn yang berlaku.

Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 34 tahun 2006 tentang Jalan dan Undang-Undang Nomor 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, desain geometrik jalan harus ditetapkan klasifikasinya. Pembagian klasifikasi jalan diambil menurut Pedoman Desain Geometrik Jalan 2021 dengan terdiri dari beberapa kelompok yaitu berdasarkan fungsi jalan, status jalan dan medan jalan.

2.2.1 Klasifikasi jalan bedasarkan fungsi jalan

Sesuai dengan fungsinya, jalan dikelompokan dan dibedakan keberadaannya dalam SJJ (PP No.34/2006). Klasifikasi jalan tediri dari :

A. Klasifikasi Jalan SJJ primer tediri dari:

i. Jalan Arteri Primer, berfungsi menghubungkan antar Pusat Kegiatan Nasional (PKN) atau antara PKN dengan Pusat Kegiatan Wilayah (PKW) dengan melayani angkutan utama yang memiliki ciri-ciri:

- Melayani perjalanan lalu lintas jarak jauh yang tidak boleh terganggu oleh lalu lintas ulang alik, lalu lintas lokal, dan kegiatan lokal.
- Kecepatan rata-rata tinggi dengan VD paling rendah 60 km/jam.
- Mempunyai kapasitas yang lebih besar dari volume lalu lintas rata-ratanya
- Mempunyai lebar badan jalan paling sedikit 11,0 m.
- Persimpangan sebidang diatur sedemikian sehingga sesuai dengan ketentuan pada butir a, b dan c.
- Jumlah jalan masuk dibatasi.
- Jalan arteri primer yang memasuki kawasan perkotaan dan/atau kawasan pengembangan perkotaan tidak boleh terputus.

ii. Jalan kolektor primer, berfungsi menghubungkan antara PKN dengan PKL, antar-PKW atau antara PKW dengan PKL dengan melayani angkutan pengumpulan/pembagian yang memiliki ciri-ciri:
   - Melayani perjalanan lalu lintas jarak sedang.
   - Kecepatan rata-rata sedang dengan VD paling rendah 40 km/jam.
   - Mempunyai kapasitas yang lebih besar dari volume lalu lintas rata-ratanya.
   - Mempunyai lebar badan jalan paling sedikit 9,0 m.
   - Persimpangan sebidang pada jalan arteri primer dengan pengaturan tertentu harus memenuhi ketentuan sebagaimana dimaksud pada butir a, b dan c.
   - Jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
   - Jalan kolektor primer yang memasuki kawasan perkotaan dan/atau kawasan pengembangan perkotaan tidak boleh terputus.

iii. Jalan lokal primer, berfungsi menghubungkan PKN dengan PKL, PKW dengan PKLing, antar-PKL, atau PKL dengan PKLing, serta antar-PKLing dengan melayani angkutan setempat yang memiliki ciri-ciri :
   - Perjalanan jarak dekat;
   - Kecepatan rata-rata rendah dengan VD paling rendah 20 km/jam
   - Mempunyai lebar badan jalan paling sedikit 7,5 m.
   - Jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
   - Jalan lokal primer yang memasuki kawasan perdesaan tidak boleh terputus.

iv. Jalan lingkungan primer, berfungsi menghubungkan antarpusat kegiatan di dalam kawasan perdesaan dan jalan di dalam lingkungan kawasan perdesaan dengan melayani angkutan lingkungan yang memiliki ciri-ciri:
   - Perjalanan menuju persil/ rumah;
   - Kecepatan rata-rata rendah dengan VD paling rendah 15 km/jam.

- Mempunyai lebar badan jalan paling sedikit 6,5 m untuk melayani kendaraan bermotor roda 3 atau lebih atau lebar badan jalan paling sedikit 3,5 m untuk melayani kendaraan bermotor roda 2.
- Jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

B. Jalan dalam SJJ sekunder terdiri dari :

i. Jalan arteri sekunder, berfungsi menghubungkan kawasan primer (KP) dengan kawasan sekunder kesatu (KS1), antar-KS1 atau KS1 dengan kawasan sekunder kedua (KS2) dengan ciri-ciri :
   - VD paling rendah 30 km/jam.
   - Lebar badan jalan paling sedikit 11,0 m.
   - Mempunyai kapasitas yang lebih besar daripada volume lalu lintas rata-rata.
   - Lalu lintas cepat tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat; dan
   - Persimpangan sebidang diatur dengan pengaturan tertentu sesuai dengan ketentuan pada butir a, b dan c.

ii. Jalan kolektor sekunder berfungsi menghubungkan antar-KS2 atau KS2 dengan kawasan sekunder ketiga (KS3) dengan ciri-ciri:
   - VD paling rendah 20 km/jam.
   - Lebar badan jalan paling sedikit 9,0 m.
   - Mempunyai kapasitas yang lebih besar daripada volume lalu lintas rata-rata.
   - Lalu lintas cepat tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat.
   - Persimpangan sebidang pada jalan kolektor sekunder dengan pengaturan tertentu harus memenuhi ketentuan sebagaimana dimaksud pada butir a, b dan c.

iii. Jalan lokal sekunder berfungsi menghubungkan KS1 dengan perumahan, KS2 dengan perumahan, KS3 dan seterusnya sampai ke perumahan/persil dengan ciri-ciri :
   - VD paling rendah 10 km/jam.
   - Lebar badan jalan paling sedikit 7,5 m.

iv. Jalan lingkungan sekunder atau juga dikenal sebagai jalan permukiman di lingkungan perkotaan berfungsi menghubungkan antarpersil dalam kawasan perkotaan, dengan ciri-ciri:
   - VD paling rendah 10 km/jam.
   - Lebar badan jalan paling sedikit 6,5m.
   - Diperuntukkan bagi kendaraan bermotor beroda 3 atau lebih.
   - Yang tidak diperuntukkan bagi kendaraan bermotor beroda 3 atau lebih harus mempunyai lebar badan jalan paling sedikit 3,5 m.

2.2.2 Klasifikasi jalan bedasarkan status jalan

Menurut Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021, jalan umum menurut statusnya dikelompokkan menjadi 5, yaitu jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten, jalan kota dan jalan desa. Berdasarkan fungsi masing-masing kelompok tersebut mengelompokannya lagi menjadi :

a. Jalan nasional adalah jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah pusat yang terdiri atas :
   1. Jalan arteri primer.
   2. Jalan kolektor primer yang menghubungkan antar ibukota provinsi.
   3. Jalan tol.
   4. Jalan strategis nasional.
b. Jalan provinsi adalah jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah provinsi yang terdiri atas :
   1. Jalan kolektor primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten atau kota.
   2. Jalan kolektor primer yang menghubungkan antar ibukota kabupaten atau kota.
   3. Jalan strategis provinsi.
   4. Jalan di Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
c. Jalan kabupaten adalah jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah kebupaten, terdiri atas :

1. Jalan kolektor primer yang tidak termasuk jalan nasional dan jalan provinsi.
2. Jalan lokal primer yang menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat desa, antar ibukota kecamatan, ibukota kecamatan dengan desa, dan antar desa.
3. jalan sekunder yang tidak termasuk jalan provinsi dan jalan sekunder dalam kota; dan
4. Jalan strategis kabupaten.

d. Jalan kota adalah jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah kota dan berada dalam jaringan jalan di dalam kota.
e. Jalan desa adalah jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah kabupaten, terdiri dari jalan lingkungan primer dan jalan lokal primer yang tidak termasuk jalan kabupaten, berada di dalam kawasan perdesaan dan menghubungkan kawasan dan/atau antarpermukiman di dalam desa.

2.2.3 Pengaturan kelas jalan

Pengaturan kelas jalan bedasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan dikelompokan atas jalan bebas hambatan, jalan raya, jalan sedang, dan jalan kecil. (Permen PU No 19 tahun 2011). Jalan umum bedasarkan UU No.22/2009 Tentang Lalu-Lintas dan Angukatan Jalan dikelompokkan atas:

a. Jalan Kelas I, yaitu jalan arteri dan kolektor yang dapat dilalui kendaraan dengan MST kurang /sama dengan 10 ton.
b. Jalan Kelas II, yaitu jalan arteri, kolektor, local dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bemotor dengan MST 8 ton dengan lebar kendaraan kurang dari 2500 mm.
c. Jalan Kelas III, yaitu jalan arteri, kolektor, local, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bemotor dengan MST 8 ton dengan lebar kendaraan kurang dari 2100 mm.
d. Jalan Kelas Khusus, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bemotor dengan MST lebih dari 10 ton.

Tabel 2.2 Klasifikasi Jalan

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan			Muatan Sumbu Terberat (MST)
		Lebar	Panjang	Tinggi	
Kelas I	Arteri, Kolektor	≤ 2,55	≤ 18,0	≤ 4,2	10
Kelas II	Arteri, Kolektor, Lokal, dan Lingkungan	≤ 2,55	≤ 12,0	≤ 4,2	8
Kelas III		≤ 2,22	≤ 9,0	≤ 3,5	8
Kelas Khusus	Arteri	≤ 2,55	≤ 18,0	≤ 4,2	>10

(Sumber : Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

2.2.4 Klasifikasi jalan bedasarkan medan jalan

Medan jalan dimana jalan dibangun diklasifikasikan. Masing-masing klasifikasi medan tersebut mempunyai ciri-ciri, baik secara bentuk fisik unsur geometrik maupun secara operasional dari pengguna jalan, dan ciri-ciri tersebut saling sinergi satu dengan lainnya.

Dalam proses desain awal, potongan melintang topografi medan jalan mempunyai pengaruh terhadap penetapan alinemen horizontal dan vertikal jalan, serta kecepatan desain. Topografi medan jalan diklasifikasi menjadi tiga, yaitu: datar, bukit dan gunung. Masing-masing memiliki kriteria kemiringan medan yang diukur tegak lurus terhadap garis konturnya. Tabel 2.3 menunjukkan klasifikasi tersebut dan kriterianya.

Tabel 2.3 Klasifikasi Jalan Medan Jalan

No	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan (%)
1	Datar	D	< 10
2	Berbukit	B	10 – 25
3	Pegunungan	G	>25

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

2.3 Parameter Perancangan Geometrik Jalan

Dalam perencanaan geometrik jalan terdapat beberapa parameter perencnaan yanag akan dibicarakan seperti kendaraan rencana, kecepatan rencana, volume dan kapasitas jalan dan tingkat pelayanan yang diberikan oleh jalan

tersebut. Parameter-parameter ini merupakan penentu tingkat kenyamanan dan keamanan yang dihasilkan oleh suatu bentuk geometrik jalan. (Silvia Sukirman, 1999).

2.3.1 Kendaraan rencana

Kendaraan rencana adalah kendaraan yang merupakan wakil dari kelompoknya, dipergunakan untuk merencanakan bagian-bagian dari jalan. Untuk perencanaan geometerik jalan, ukuran lebar kendaraan rencana akan memengaruhi lebar jalur yang dibutuhkan. Sifat membelok kendaraan akan memengaruhi perencanaan tikungan, dan lebar median dimana mobil diperkenankan untuk memutar *(U turn).* Daya kendaraan akan memengaruhi tingkat kelandaian yang dipilih, dan tinggi tempat duduk pengemudi akan memengaruhi jarak pandang pengemudi. Kendaraan rencana mana yang akan dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan ditentukan oleh fungsi jalan dan jenis kendaraan dominan yang memakai jalan tersebut. Pertimbangan biaya juga ikut menentukan kendaraan rencana yang dipilih sebagai kriteria perencanaan. (Silvia Sukirman, 1999). Kendaraan rencana dikelompokkan ke dalam tiga kategori:

1. Kendaraan ringan/ kecil (LV)

   Kendaraan ringan/ kecil adalah kendaraan bermotor as dua dengan empat roda dengan jarak as 2,0 – 3,0 m (meliputi: mobil penumpang, oplet, microbus, *pick up*, truk kecil).
2. Kendaraan sedang (MHV)

   Kendaraan bermotor dengan dua gandar, dengan jarak 3,5 – 5,0 m (termasuk bus kecil, truk dua as dengan enam roda).
3. Kendaraan berat / besar (LB – LT)
   a. Bus Besar (LB), bus dengan dua atau tiga gandar dengan jarak pandang 5,0 – 6,0 m.
   b. Truk Besar (TL), truk dengan tiga gandar dan truk kombinasi tiga, jarak gandar (gandar pertama ke kedua) < 3,5 m.

Tabel 2.4 Dimensi Kendaraan Rencana

Jenis Kendaraan	Dimensi Kendaraan (m)			Jarak Antar Sumbu (m)	Jalur	
	Panjang	Lebar	Tinggi		Depan	Belakang
Toyota Avanza	4,19	1,66	1,69	2,65	0,75	0,79
Toyota Hiace	5,38	1,88	2,29	3,11	1,07	1,20
Isuzu ELF NLR 55 BLX	6,17	1,84	-	3,36	1,11	1,70
Truk Pemadam	7,73	2,40	2,17	4,28	1,25	2,20
Bus Angkutan Masal Sedang	7,30	2,15	-	3,74	1,24	2,33
Bus Mitsubishi	7,05	2,10	3,15	3,78	1,48	2,00
Bus Sedang Mitsubishi	7,68	2,10	3,05	3,85	1,48	2,35
Truk Hino 500 Cargo	8,85	2,49	2,75	5,08	1,28	2,49
Truk Isuzu Giga FVR 34 S	7,60	2,49	2,97	4,30	1,25	2,05
Truk Pemadam Kebakaran	9,93	2,49	-	4,60	1,40	2,48
Bus Angkutan Masal Besar	11,95	2,50	3,50	6,00	2,46	3,48
Truk Hino 500 Cargo FL 245 JW	11,95	2,49	2,78	5,83 + 1,35	1,28	3,49
Truk Isuzu Giga FVR 34 U	11,95	2,49	2,93	6,60	1,25	4,10
Bus Besar	12,10	2,50	3,40	5,80	2,90	3,40
Truk Gandeng Hino 5 Sumbu	16,80	2,50	2,50	3,20-7, 50-1, 40-1, 40	1,70	3,70
Truk Gandeng Hino 4 Sumbu	16,20	2,51	2,10	4, 30-5, 20-1, 30	1,20	2,40
Truk Tempelan Hino 6 Sumbu	16,40	2,50	3,20	3,40-1,20-6,70-1,30-1,30	1,20	1,40

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

2.3.2 Kecepatan rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang dipilih untuk keperluan perencanaan setiap bagian jalan seperti tikungan, kemiringan jalan, jarak pandang dan lain-lain. Kecepatan yang dipilih tersebut adalah kecepatan tertinggi menerus dimana kendaraan dapat berjalan dengan aman dan kemanan itu sepenuhnya tergantung dari bentuk jalan. (Silvia Sukirman, 1999).

Tabel 2.5 Kecepatan Rencana

Fungsi Jalan		Arteri dan Kolektor		Lokal	
Kelas Jalan		I, II, III, Khusus		II, III	
Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan		Jalan Sedang			
Tipe Jalan		2/2-TT			
Lebar Jalur Lalu Lintas	Vp ≤ 80	7,00	6,50	6,00	5,50
	Vp > 80	7,00	-		
Kapasitas Rencana	Datar	26.400	25.200	24.000	22.400
	Bukit	25.500	24.400	23.200	21.700
	Gunung	24.700	23.500	22.400	21.000
Kecepatan Rencana	Datar	60 – 80	60 – 70	40 – 60	30 – 40
	Bukit	50 – 70	45 – 60	40 – 50	30 – 40
	Gunung	30 – 60	25 – 50	20 – 40	20 – 30

(Sumber: Peraturan Menteri PUPR No 5 Tahun 2023)

2.3.3 Satuan mobil penumpang

Satuan mobil penumpang adalah angka satuan kendaraan dalam hal kapasitas jalan, dari berbagai tipe kendaraan telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan ekuivalen mobil penumpang yang terdapat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Satuan Mobil Penumpang (smp)

No	Jenis Kendaraan	Nilai smp
1	Sepeda	0,5
2	Mobil penumpang/sepeda motor	1,0
3	Truk Ringan (<5 ton)	2,0
4	Truk Sedang (≥5 ton)	2,5
5	Truk Berat (>10 ton)	3,0
6	Bus	3,0
7	Kendaraan tak bermotor	7,0

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

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

Tabel 2.7 Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP)

No	Jenis Kendaraan	Datar/ Perbukitan	Pegunungan
1	Sedan, *Jeep Station Wagon*	1,0	1,0
2	*Pick Up*, 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 Geometri Jalan Antar Kota No. 038/T/BM/1997)

2.3.4 Volume lalu lintas

Sebagai pengukur jumlah dari arus lalu lintas digunakan volume. Volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan dalam satu satuan waktu (hari, jam, menit). 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 rendah cenderung membahayakan, karena pengemudi cenderung mengemudikan kendaraannya pada kecepatan tinggi sedangkan kondisi jalan belum tentu memungkinkan. Dan disamping itu, mengakibatkan peningkatan biaya pembangunan jalan yang jelas tidak pada tempatnya.

Satuan volume lalu lintas yang umum dipergunakan sehubungan dengan penentuan jumlah dan lebar lajur adalah :

1. Volume Lalu Lintas Harian Rata-Rata

   $LHRT_D = LHRT_{TB} \text{ X } (1 + i)^n$……..…….(2.2)

   Keterangan:

   $LHRT_D$ = volume lalu lintas harian rata rata tahunan desain

   $LHRT_{TB}$ = volume lalu lintas harian rata-rata pada tahun berjalan

   i = faktor pertumbuhan lalu lintas, gunakan nilai yang disepakati, nilai tipikal yang sering digunakan berkisar antara 5,5% -10%

   n = umur desain, tahun

2. Volume Jam Perencanaan (q_{JD})

   Arus lalu lintas bervariasi dari jam ke jam berikutnya dalam satu hari, maka sanga tepat jika volume lalu lintas dalam satu jalm dipergunakan untuk

perencanaan. Volume dalam saru jam yang dipakai untuk perencanan dinamakan Volume Jam Perencanaan (q_{JD}).

$q_{JD} = k \times LHRT_D$……(2.3)

Keterangan :

k = faktor jam desain, nilai k dipengaruhi oleh pemilihan jam sibuk keberapa, dan jalan antar kota atau jalan di dalam kota. Nilai k dapat bervariasi antara 7% – 15% untuk jalan antar kota, sedangkan untuk jalan dalam kota faktor k ini akan lebih kecil.

3. Kapasitas

Kapasitas adalah jumlah kendaraan maksimum yang dapat melewati suatu penampang jalan pada jalur selama satu jam dengan kondisi serta arus lalu lintas tertentu. Nilai kapasitas dapat diperoleh dari penyesuaian kapasitas dasar/ ideal dengan kondisi dari jalan yang direncanakan.

$C = C_0 \times FC_L \times FC_{PA} \times FC_{HS}$……..……(2.4)

Keterangan:

C = kapasitas segmen atau segmen khusus, SMP/jam.

C_0 = kapasitas dasar segmen, SMP/jam. C_0 adalah C pada kondisi ideal yaitu kondisi dimana F_{CL}=1, FC_{PA}=1, dan FC_{HS}=1.

F_{CL} = faktor koreksi kapasitas akibat lebar lajur jalan yang tidak ideal.

F_{CPA} = faktor koreksi kapasitas akibat pemisahan arah arus lalu lintas. Faktor ini hanya berlaku untuk jalan tak terbagi.

F_{CHS} = faktor koreksi kapasitas akibat adanya hambatan samping dan ukuran bahu jalan yang tidak ideal.

Tabel 2.8 C_0 segmen jalan untuk tipe 2/2-TT dan 4/2-TT

Tipe Alinyemen	C0 SMP/jam 2/2TT	C0 SMP/jam 4/2-T
Datar	4000	2200
Bukit	3850	2100
Gunung	3700	2000

(*Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia,2023)*

Tabel 2.9 Faktor koreksi akibat lebar lajur

Tipe jalan	Lebar lajur (m)	F_{CL}
2/2-TT	5,00	0,69
	6,00	0,91
	7,00	1,00
	8,00	1,08
	9,00	1,15
	10,0	1,21
	11,0	1,27

(*Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia,2023)*

Tabel 2.10 FC_{PA}

Pemisah arah arus (% - %)	FC_{PA}
50 - 50	1,00
55 - 45	0,97
60 - 40	0,94
65 - 35	0,91
70 - 30	0,88

(*Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia,2023)*

Tabel 2.11 Kriteria KHS

KHS	Total frekuensi kejadian Hambatan Samping	Ciri-ciri
Sangat Rendah	<50	Pedalaman, jalan melalui wilayah perdesaan, pertanian, atau daerah yang belum berkembang, tanpa kegiatan
Rendah	50 - 149	Pedalaman, jalan melalui wilayah perdesaan dimana terdapat beberapa bangunan dan kegiatan samping jalan
Sedang	150 - 249	Perdesaan, jalan melalui wilayah perkampungan, terdapat kegiatan permukiman

Lanjutan **Tabel 2.11** Kriteria KHS

KHS	Total frekuensi kejadian Hambatan Samping	Ciri-ciri
Tinggi	250 - 349	Perdesaan, jalan melalui wilayah perkampungan, ada beberapa kegiatan pasar
Sangat tinggi	>350	Mendekati perkotaan, banyak pasar atau kegiatan niaga

(*Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia,2023)*

Tabel 2.12 FC_{HS} sebagai fungsi dari KHS dan L_{BE}

Tipe jalan	KHS	FC_{HS}			
		L_{BE} (m)			
		≤0,5	1,0	1,5	≥2,0
4/2-T	Sangat rendah	0,99	1,00	1,01	1,03
	rendah	0,96	0,97	0,99	1,01
	Sedang	0,93	0,95	0,96	0,99
	Tinggi	0,90	0,92	0,95	0,97
	Sangat tinggi	0,88	0,90	0,93	0,96
2/2-TT	Sangat rendah	0,97	0,99	1,00	1,02
	rendah	0,93	0,95	0,97	1,00
	Sedang	0,88	0,91	0,94	0,98
	Tinggi	0,84	0,87	0,91	0,95
	Sangat tinggi	0,80	0,83	0,88	0,93

(*Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia,2023)*

2.3.5 Faktor laju pertumbuhan lalu lintas

Dalam Keputusan Direktur Jendral (KEPDIRJEN) Bina Marga (2012) menjelaskan bahwa faktor pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada data-data pertumbuhan historis atau formularitas korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang valid, bila tidak ada maka dapat menggunakan perkiraan faktor pertumbuhan lalu lintas sebagai berikut:

1. Jalan arteri dan perkotaan dengan pertumbuhan 5 % untuk tahun 2011 – 2020 dan 4 % untuk tahun 2021 – 2030.

2. Jalan rural dengan pertumbuhan 3,5 % untuk tahun 2011 – 2020 dan 2,5 % untuk tahun 2021 – 2030.

Faktor pertumbuhan lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang menggunakan jalan setiap tahunnya, yang dipengaruhi oleh perkembangan wilayah, peningkatan kesejahteraan masyarakat, dan peningkatan kemampuan beli kendaraan. Laju pertumbuhan lalu lintas dinyatakan dalam persentase/tahun. Koefisien pertumbuhan transportasi dapat ditentukan dari hasil analisis data transportasi, tren populasi, pendapatan per kapita, rencana induk daerah, dll. Selain itu, faktor pertumbuhan lalu lintas selama periode perencanaan didasarkan pada analisis ekonomi dan sosial daerah tersebut. Namun di negara berkembang termasuk Indonesia, sulit melakukan analisis lalu lintas yang mendukung data perencanaan dengan akurasi yang cukup (Silvia Sukirman, 1999).

2.3.6 Tingkat pelayanan jalan

Tingkat pelayanan jalan adalah nilai pelayanan yang diberikan oleh jalan untuk gerakan kendaraan. Pengertian tingkat pelayanan jalan dapat digambarkan sebagai berikut :

1. *Level of Service* (LOS) ditentukan oleh: Volume, kapasitas, dan kecepatan lalu lintas.
2. Tingkat Pelayanan Jalan merupakan kondisi gabungan dari rasio volume dan kapasitas (V/C) dan kecepatan. Rasio V/C juga disebut derajat kejenuhan.

   Tingkat pelayanan jalan ditentukan oleh:

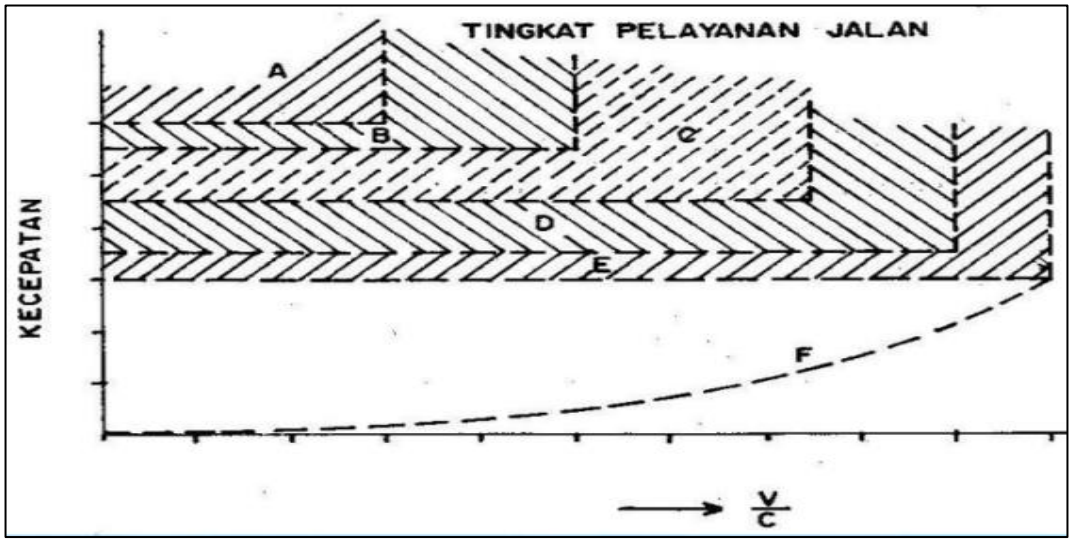
   a. Rasio antara volume lalu lintas/kapasitas (V/C)
   b. Kecepatan

   Contohnya :

   V/C jalan alternatif 1 = 1000/2000 = 0,5

   V/C jalan alternatif 2 = 1000/1500 = 0,67

   Maka V/C jalan alternatif 1 < V/C jalan alternatif 2, tingkat pelayanan jalan alternatif 1 lebih baik dan jika V/C =1 maka kondisi lalu lintas sudah tidak bergerak atau terjadinya kemacetan total.



Gambar 2.1 Tingkat Pelayanan Jalan
(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

2.3.7 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 dengan aman. Jarak pandang dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu Jarak Pandang Henti (Jh) dan Jarak Pandang Mendahului (Jd). Menurut Sukirman (1999), jarak pandang berguna untuk :

a. Menghindarkan terjadinya tabrakan yang dapat membahayakan kendaraan dan manusia akibat adanya benda yang berukuran cukup besar, kendaraan yang sedang berhenti, pejalan kaki atau hewan-hewan pada lajur lainnya.
b. Memberi kemungkinan untuk mendahului kendaraan lain yang bergerak dengan kecepatan lebih rendah dengan mempergunakan lajur disebelahnya.
c. Menambah efisiensi jalan tersebut, sehingga volume pelayanan dapat dicapai semaksimal mungkin.
d. Sebagai pedoman bagi pengatur lalu lintas dalam menempatkan rambu-rambu lalu lintas yang diperlukan pada setiap segmen jalan.

Dilihat dari kegunaannya jarak pandang dapat dibedakan atas :

1. Jarak Pandang Henti (Jh)

   Jarak pandang henti (Jh) adalah jarak minimum yang diperlukan oleh setiap pengemudi untuk menghentikan kendaraannya dengan aman begitu melihat adanya halangan didepan. Setiap titik di sepanjang jalan harus memenuhi Jh. Jarak pandang diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan 15 cm diukur dari permukaan jalan. Jh terdiri atas dua elemen jarak, yaitu :

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

      D1 = V x t ..... (2.5)

      Dimana :

      D1 : jarak dri saat melihat rintangan sampai menginjak pedal rem (cm)

      V : kecepatan rencana (km/ jam)

      t : waktu reaksi ata waktu tangkap = 2,5 detik

      D2 = 0,278 x V x t ..... (2.6)

   b. Jarak pengereman (Jhm) adalah jarak yang dibutuhkan utuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti. Jh dalam satuan meter, dapat dihitung dengan rumus :

      $Jh = 0{,}278.V_R.T + \frac{{V_R}^2}{254.f}$ ..... (2.7)

   c. Untuk jalan dengan kelandaian tertentu

      $Jh = 0{,}278.V_R.T + \frac{{V_R}^2}{254.(f \pm L)}$ ..... (2.8)

      Dimana :

      V_R = kecepatan rencana (km/ jam)

      T = waktu tanggap, ditetapkan 2,5 detik

      G = percepatan gravitasi, ditetapkan 9,8 m/det^2

      f = koefisien gesek memanjnag perkerasan jalan aspal (0,35 – 0,55)

      L = kelandaian jalan dalam (%)

Adapun jarak pandang henti (Jh) minimum yang dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Jarak Pandang Henti (Jh) Minimum

V_R	120	100	80	60	50	40	30	20
Jh	250	175	120	75	55	40	27	16

(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometri Jalan Antar Kota, 1997)

2. Jarak Pandang Mendahului (J_d)

Menurut (Hendarsin, 2000), jarak pandang mendahului (J_d) adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain di depannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke lajur semula. Sepertli yang terlihat pada Gambar 2.4 J_d diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adala 105 cm dan tinggi halangan adalah 105 cm. J_d dalam satuan meter ditentukan sebagai berikut :

J_d = d1 + d2 + d3 + d4 ..... (2.9)

Dimana :

d1 = jarak yang ditempuh selama waktu tanggap (m)

d2 = jarak yang ditempuh selama mendahului sampai dengan kembali ke lajur semula (m)

d3 = jarak antara kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai (m)

d4 = jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang datang dari arah berlawanan yang besarnya diambil sama dengan $^2/_3$ d2 (m)

Rumus yang dipergunakan adalah :

$d_1 = 0{,}278\ T_1\ (V_R - m + \frac{a.T_1}{2})$ ..... (2.10)

$d_2 = 0{,}278.\ V_R.\ T_2$ ..... (2.11)

d_3 = diambil antara 30-100 meter ..... (2.12)

$d_4 = \frac{2}{3}\ d_2$ ..... (2.13)

Dimana :

T_1 = waktu dalam detik, ∞ 2,12 + 0,026 V_R

T_2 = waktu kendaraan berada di jalir lawan, (detik), ∞ 6,56 + 0,048 V_R

a = percepatan rata-rata km/jam/detik, ∞ 2,052 + 0,0036 V_R

m = perbedaan kecepatan dari kendaraan yang mendahului dan b kendaraan yang didahului

V_R = kecepatan kendaraan rata-rata dalam keadaan mendahului ∞ kecepatan rencana (km/jam)

d_1 = jarak kebebasan

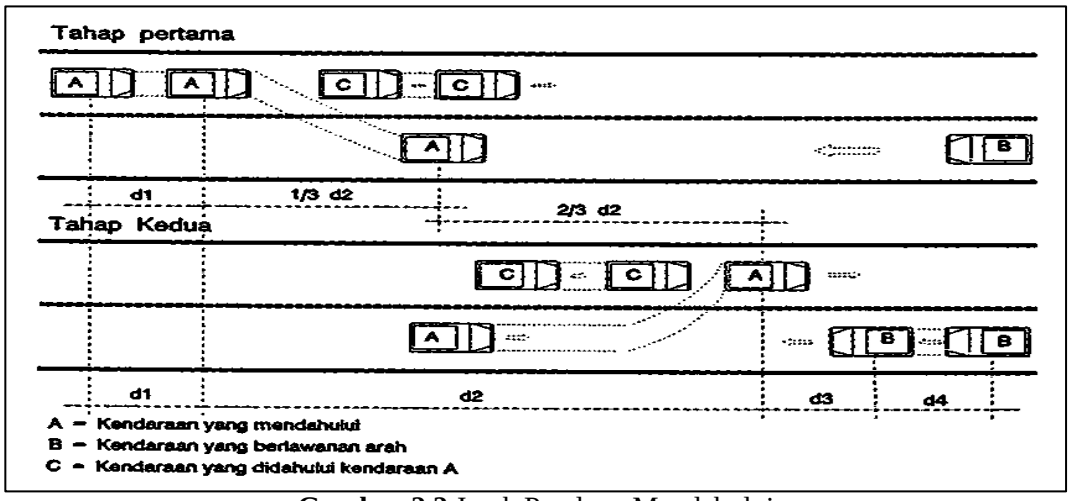
d_2 = jarak yang ditempuh kendaraan yang datang dari arah berlawanan

Untuk panjang jarak panjang mendahului yang digunakan terdapat pada Tabel 2.14 dan gambarnya yang terdapat pada Gambar 2.2.

Tabel 2.14 Panjang Jarak Panjang Mendahului

V_R (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
J_d (m)	800	670	550	350	250	200	150	100

(*Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*)



Gambar 2.2 Jarak Pandang Mendahului
(Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997)

2.4 Penentuan Trase Jalan

Dalam penentuan jalan harus ditentukan trase jalan yang harus ditetapkan sedemikian rupa, agar dapat memberikan pelayanan yang baik sesuai dengan fungsinya, serta mendapatkan keamanan dan kenyamanan bagi pemakainya.

Perencanaan trase jalan sangat dipengaruhi oleh keadaan fisik dan topografi, serta peruntukan lahan yang dilaluinya.

Dalam kondisi normal, penentuan trase jalan sekaligus pemetaannya dilapangan, tidak terlalu banyak memerlukan perbaikan tanah, sehingga hanya terbatas pada pekerjaan galian dan timbunan. Untuk membuat trase jalan yang baik dan ideal, maka harus memperhatikan syarat-syarat sebagai berikut:

a. Syarat Ekonomis
   i. Penarikan trase jalan yang tidak terlalu banyak memotong kontur, sehingga dapat memghemat biaya dalam pelaksanaan pekerjaan galian dan timbunan nantinya.
   ii. Penyediaan material dan tenaga kerja yang diharapkan tidak terlalu jauh dari lokasi proyek sehinga dapat menekan biaya.
b. Syarat Teknis

   Digunakan untuk mendapatkan jalan yang dapat memberikan rasa keamanan dan kenyamanan bagi pemakai jalan. Oleh karena itu, perlu diperhatikan keadaan topografi tersebut, sehingga dapat dicapai perencanaan yang baik sesuai dengan keadaan daerah tersebut.

2.4.1 Menghitung koordinat dan jarak

Perencanaan geometrik jalan raya merupakan perencanaan bentuk fisik jalan dalam tiga dimensi.Untuk mempermudah dalam penggambaran bagian-bagian perencanaan, maka bentuk fisik jalan digambarkan dalam bentuk alinyemen horizontal atau trase jalan, alinyemen vertikal tau penampang memaniang jalan dan potongan melintang jalan.

Adapun perhitungan jarak titik-titik penting yang diperoleh dari pemilihan rencana alinyemen horizontal dapat menggunakan rumus berikut:

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad \text{.....(2.14)}$$

Keterangan :

d = Jarak titik A titik P1

X_2 = Koordinat titik P1.1 pada sumbu X

X_1 = Kordinat titik A pada sumbu X

Y_2 = Koordinat titik P1.1 pada sumbu Y

Y_3 = Koordinat titik A pada sumbu Y

2.4.2 Menghitung sudut azimuth dan sudut antara dua tangen (Δ)

Setelah menentukan koordinat dan menghitung panjang garis tangen maka selanjutnya menghitung sudut azimuth dan sudut antara dua tangen dengan rumus berikut :

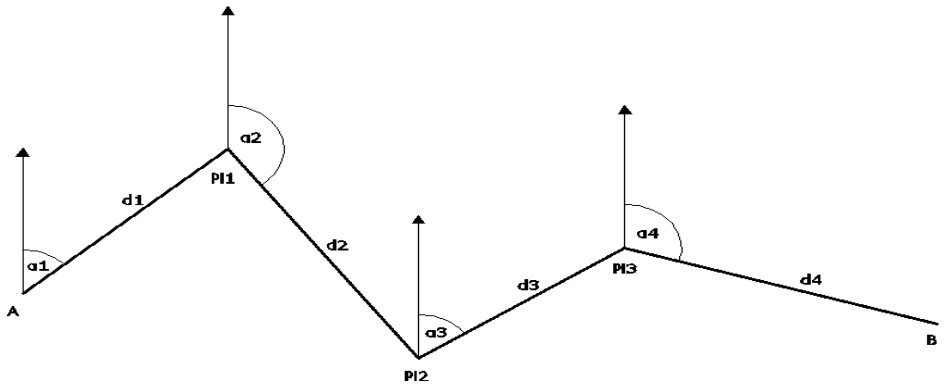
$\alpha A = \text{arc tg } \frac{Xp1-XA}{Yp1-YA}$ ..... (2.15)

Azimuth A = 180° - αA..... (2.16)

$\alpha p1 = \text{arc tg } \frac{Xp2-Xp1}{Yp2-Yp2}$ ..... (2.17)

Azimuth P1 = 180° - αp1 ..... (2.18)

Azimuth αA (terbesar) – Azimuth αp1 (terkecil)..... (2.19)



Gambar 2.3 Sudut Azimuth dan Sudut Tangen
(*Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*)

2.4.3 Menghitung medan jalan

Berdasarkan perhitungan rata-rata dari ketinggian muka tanah lokasi rencana, maka dapat diketahui lereng melintang yang digunakan untuk menentukan golongan medan, apakah medan jalan tersebut datar, perbukitan atau pegunungan.

2.5 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal terdiri atas bagian lurus serta bagian lengkung (disebut pula tikungan). Perencanaan geometrik pada bagian lengkung dimaksudkan untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima oleh kendaraan yang berjalan pada kecepatan VR. Untuk keselamatan pengguna jalan, jarak pandang serta wilayah leluasa samping jalur wajib diperhitungan.

Pada perencanaan alinyemen horizontal, umumnya akan ditemui dua jenis bagian jalan, yaitu bagian lurus dan bagian lengkung (tikungan) antara lain sebagai berikut :

a. Bagian lurus

   Panjang maksimum bagian jalan yang lurus harus dapat ditempuh dalam waktu < 2.5 menit (sesuai VR). Dengan mempertimbangkan keselamatan pengemudi akibat dari kelelahan.

b. Bagian tikungan

   1) Jari-jari minimum

      Kendaraan pada saat melalui tikungan dengan kecepatan (VR) akan menerima gaya sentrifugal yang menyebabkan kendaraan tidak stabil. Untuk mengimbangi gaya sentrifugal tersebut, perlu dibuat sesuatu kemiringan melintang jalan pada tikungan yang disebut dengan superelevasi. Jari-jari tikungan minimum (Rmin) ditetapkan sebagai berikut :

      Rmin $= \frac{VR^2}{1.27.(emaks+fmaks}$ .....(2.20)

      Dmaks $= \frac{1.27.(emaks+fmaks)}{V^2}$ .....(2.21)

Keterangan :

Rmin = Jari-jari tikungan minimum (m)

VR = Kecepatan Rencana (km/jam)

Emaks = Superelevasi maksimum (%)

Fmaks = Koefisien gesek (%)

Dmaks = Derajat maksimum

2) Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan dibuat untuk menghindari terjadinya perubahan alinyemen yang tiba-tiba dari bentuk lurus ke bentuk lingkaran (R = tak terhingga R = Rc), jadi lengkung peralihan ini diletakan antara bagian lingkaran (circle), yaitu pada sebelum dan sesudah tikungan berbentuk busur lingkaran. Lengkung peralihan dengan bentuk spiral (clotoid) banyak digunakan juga oleh Bina Marga. Dengan adanya lengkung peralihan, maka tikungan menggunakan jenis SCS. Panjang lengkung peralihan (Ls), menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Raya Antar Kota (TCPGJRAK) 1997, diambil nilai yang terbesar dari tiga persamaan dibawah ini :

Keterangan :

a) Berdasarkan waktu tempuh maksimum (3 detik) di lengkung peralihan

$$Ls = \frac{VR}{3,6} \cdot T \quad \text{.....(2.22)}$$

b) Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal

$$Ls = 0,022 \cdot \frac{VR^2}{R.C} - 2,727 \frac{VR.e}{C} \quad \text{.....(2.23)}$$

c) Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian

$$Ls = \frac{(em-en)}{3,6.re} \cdot VR \quad \text{.....(2.24)}$$

Tikungan yang memiliki R dengan nilai e = LN tidak memerlukan lengkung peralihan dan tikungan yang memiliki R dengan nilai e = RC tidak memerlukan superelevasi.

Tabel 2.15 Hubungan Parameter Perencanaan Lengkung Horizontal dengan V_r (e_n = 2%; e_{max} = 8%)

R (m)	Vr = 20 km/jam			Vr = 30 km/jam			Vr = 40 km/jam			Vr = 50 km/jam			Vr = 60 km/jam			Vr = 70 km/jam			Vr = 80 km/jam			Vr = 90 km/jam			Vr = 100 km/jam			Vr = 110 km/jam			Vr = 120 km/jam		
	e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)	
		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls
7000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN		
5000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			RC	19	28
3000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			RC	15	23	RC	16	24	2,1	18	27	2,4	23	34
2500	LN			LN			LN			LN			LN			LN			RC	14	21	RC	15	23	2,1	17	26	2,4	21	32	2,9	27	40
2000	LN			LN			LN			LN			LN			RC	13	20	RC	14	21	2,2	17	25	2,6	21	32	3,0	26	39	3,5	33	49
1500	LN			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	4,6	43	64
1400	LN			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	4,9	45	68
1300	LN			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	5,2	48	72
1200	LN			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	5,6	52	77
1000	LN			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	6,5	60	90
900	LN			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	7,1	66	98
800	LN			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	7,6	71	106
700	LN			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	8,0	74	111
600	LN			LN			RC	10	15	2,6	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			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	63																					
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																														

e_{max} : Superelevasi maksimum 8%
R : Jari – jari Lengkung
V_R : 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 mendapatkan kemiringan melintang sebesar lereng normal

(*Sumber : Dirjen Bina Marga, 2021*)

Tabel 2.16 Hubungan Parameter Perencanaan Lengkung Horizontal dengan V_r (e_n = 2%; e_{max} = 6%)

R (m)	Vr = 20 km/jam			Vr = 30 km/jam			Vr = 40 km/jam			Vr = 50 km/jam			Vr = 60 km/jam			Vr = 70 km/jam			Vr = 80 km/jam			Vr = 90 km/jam			Vr = 100 km/jam			Vr = 110 km/jam			Vr = 120 km/jam		
	e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)	
		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls
7000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN		
5000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN		
3000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			RC	16	24	2,0	18	26	2,3	22	32
2500	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			RC	15	23	2,0	17	25	2,3	20	30	2,7	26	38
2000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			RC	14	21	2,1	16	24	2,5	20	30	2,8	25	37	3,3	31	46
1500	LN			LN			LN			LN			LN			RC	13	20	2,2	16	24	2,7	20	30	3,1	26	38	3,6	31	46	4,2	39	58
1400	LN			LN			LN			LN			RC	12	18	2,0	13	20	2,4	17	25	2,8	21	32	3,3	27	40	3,8	33	49	4,4	41	62
1300	LN			LN			LN			LN			RC	12	18	2,1	14	21	2,5	18	27	3,0	23	34	3,5	28	42	4,0	35	52	4,7	44	65
1200	LN			LN			LN			LN			RC	12	18	2,2	15	22	2,7	19	29	3,2	24	36	3,7	30	45	4,2	37	55	5,0	46	69
1000	LN			LN			LN			RC	11	17	2,1	13	19	2,6	17	25	3,1	22	33	3,6	28	41	4,2	34	51	4,8	41	62	5,6	52	77
900	LN			LN			LN			RC	11	17	2,3	14	20	2,8	19	28	3,4	24	36	3,9	30	44	4,5	37	55	5,1	44	66	5,8	54	81
800	LN			LN			LN			RC	11	17	2,5	15	22	3,1	20	30	3,6	26	39	4,2	32	48	4,9	39	58	5,4	47	70	6,0	56	83
700	LN			LN			RC	10	15	2,1	12	18	2,8	17	25	3,4	22	33	4,0	28	42	4,6	35	52	5,2	42	63	5,8	50	74			
600	LN			LN			RC	10	15	2,4	13	20	3,1	19	28	3,8	25	37	4,3	31	46	5,0	38	56	5,6	45	67	6,0	51	77			
500	LN			LN			2,1	11	16	2,8	15	23	3,5	21	31	4,2	27	41	4,8	34	51	5,4	41	61	5,9	48	71						
400	LN			RC	10	14	2,5	13	20	3,3	18	27	4,0	24	36	4,7	31	46	5,3	38	56	5,9	44	66									
300	LN			2,0	10	15	3,1	16	24	3,9	21	32	4,6	27	41	5,4	35	52	5,9	42	62												
250	LN			2,3	11	17	3,5	18	27	4,2	23	34	5,0	30	45	5,8	37	55															
200	LN			2,8	13	20	3,9	20	29	4,7	26	38	5,5	33	49	6,0	39	58															
175	RC	9	14	3,0	15	22	4,1	21	31	5,0	27	41	5,8	34	51																		
150	RC	9	14	3,4	16	24	4,4	22	33	5,3	29	43	6,0	35	53																		
140	RC	9	14	3,5	17	25	4,5	23	34	5,4	30	44	6,0	35	53																		
130	2,0	9	14	3,6	17	26	4,6	24	35	5,6	30	45																					
120	2,2	10	15	3,8	18	27	4,8	25	37	5,7	31	47																					
110	2,3	11	16	3,9	19	28	5,0	25	38	5,8	32	48																					
100	2,5	11	17	4,1	19	29	5,2	26	39	5,9	33	49																					
90	2,7	12	18	4,3	20	30	5,4	27	41	6,0	33	49																					
80	2,9	13	20	4,5	21	32	5,6	29	43																								
70	3,2	15	22	4,7	23	34	5,8	30	44																								
60	3,5	16	24	5,0	24	36	6,0	30	45																								
50	3,8	17	26	5,4	26	38																											
40	4,2	19	28	5,8	28	41																											
30	4,7	21	31																														
20	5,5	25	37																														

e_{max} : Superelevasi maksimum 6%
R : Jari – jari Lengkung
V_R : 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 mendapatkan kemiringan melintang sebesar lereng normal

(*Sumber : Dirjen Bina Marga, 2021*)

Tabel 2.17 Hubungan Parameter Perencanaan Lengkung Horizontal dengan V_r (e_n = 2%; e_{max} = 4%)

R (m)	Vr = 20 km/jam			Vr = 30 km/jam			Vr = 40 km/jam			Vr = 50 km/jam			Vr = 60 km/jam			Vr = 70 km/jam			Vr = 80 km/jam			Vr = 90 km/jam			Vr = 100 km/jam			Vr = 110 km/jam			Vr = 120 km/jam		
	e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)	
		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls		2 Ls	4 Ls
7000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN		
5000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN		
3000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			RC	16	24	RC	18	26	2,1	20	29
2500	LN			LN			LN			LN			LN			LN			LN			RC	15	23	RC	16	24	2,1	18	27	2,4	23	34
2000	LN			LN			LN			LN			LN			LN			RC	14	21	RC	15	23	2,2	18	27	2,4	21	32	2,8	26	39
1500	LN			LN			LN			LN			LN			RC	13	20	2,0	14	21	2,3	18	26	2,6	21	32	2,9	25	38	3,3	31	47
1400	LN			LN			LN			LN			LN			RC	13	20	2,1	15	22	2,4	18	27	2,7	22	33	3,0	26	39	3,5	32	48
1300	LN			LN			LN			LN			RC	12	18	RC	13	20	2,2	16	23	2,5	19	28	2,8	23	34	3,1	27	41	3,6	34	50
1200	LN			LN			LN			LN			RC	12	18	2,0	13	20	2,3	17	25	2,6	20	30	2,9	24	36	3,3	28	42	3,7	35	52
1000	LN			LN			LN			LN			RC	12	18	2,2	15	22	2,5	18	27	2,8	22	32	3,2	26	39	3,6	31	46	3,9	37	55
900	LN			LN			LN			RC	11	17	2,0	12	18	2,4	16	23	2,7	19	28	3,0	23	34	3,4	27	41	3,7	32	48	4,0	37	56
800	LN			LN			LN			RC	11	17	2,1	13	19	2,5	17	25	2,8	20	30	3,2	24	36	3,5	29	43	3,9	33	50			
700	LN			LN			RC	10	15	RC	11	17	2,3	14	21	2,7	18	26	3,0	21	32	3,4	26	38	3,7	30	45	4,0	34	51			
600	LN			LN			RC	10	15	2,1	12	17	2,5	15	22	2,9	19	28	3,2	23	34	3,6	27	41	3,9	32	47						
500	LN			LN			RC	10	15	2,3	13	19	2,7	16	24	3,1	20	30	3,5	25	37	3,8	29	43	4,0	32	48						
400	LN			RC	10	14	2,1	11	17	2,5	14	21	2,9	18	26	3,4	22	33	3,7	27	40	4,0	30	45									
300	LN			RC	10	14	2,4	13	19	2,8	16	23	3,3	20	30	3,8	25	37	4,0	28	42												
250	LN			2,0	10	15	2,6	13	20	3,0	17	25	3,6	21	32	3,9	26	38															
200	LN			2,3	11	16	2,8	14	21	3,3	18	27	3,8	23	34																		
175	RC	9	14	2,4	12	17	2,9	15	22	3,5	19	29	3,9	23	35																		
150	RC	9	14	2,5	12	18	3,1	16	24	3,7	20	30	4,0	24	35																		
140	RC	9	14	2,6	13	19	3,2	16	24	3,8	21	31																					
130	RC	9	14	2,7	13	19	3,3	17	25	3,8	21	32																					
120	RC	9	14	2,7	13	20	3,4	17	26	3,9	22	32																					
110	2,0	9	14	2,8	14	2	3,5	18	27	4,0	22	33																					
100	2,1	10	14	2,9	14	21	3,6	19	28	4,0	22	33																					
90	2,2	10	15	3,0	15	22	3,7	19	28																								
80	2,3	11	16	3,2	15	23	3,8	20	29																								
70	2,4	11	17	3,3	16	24	3,9	20	30																								
60	2,6	12	17	3,5	17	25	4,0	20	30																								
50	2,7	12	18	3,7	18	27																											
40	3,0	14	20	3,9	19	28																											
30	3,3	15	22																														
20	3,8	17	25																														

e_{max} : Superelevasi maksimum 4%
R : Jari – jari Lengkung
V_R : 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 mendapatkan kemiringan melintang sebesar lereng normal

(*Sumber : Dirjen Bina Marga, 2021)*

Tabel 2.18 Jari-jari yang memerlukan lengkung peralihan

Kecepatan (Km/jam)	R maksimum
20	24
30	54
40	95
50	148
60	213
70	290
80	379
90	480
100	592
110	716
120	852

(Sumber: Pedoman Desain Geomentrik Jalan, 2021)

2.5.1 Tikungan

a) Tikungan *Full Circle* (FC)

Full Circle (FC) adalah jenis tikungan yang hanya terdiri dari bagian suatu lingkaran saja. Tikungan FC hanya digunakan untuk R (jari-jari tikungan) yang besar agar tidak terjadi patahan, karena dengan R kecil maka diperlukan superelevasi yang besar.

Rumus yang digunakan pada tikungan *Full Circle* yaitu :

Tc = Rc. tan $^1/_2$ .....(2.25)

Ec = Tc. tan $^1/_4$ .....(2.26)

Lc = $\frac{\Delta}{180°} \cdot \pi \cdot R$ .....(2.27)

Kontrol = 2.Tc > Lc

Keterangan :

Δ = Sudut tikungan

O = Titik pusat lingkaran

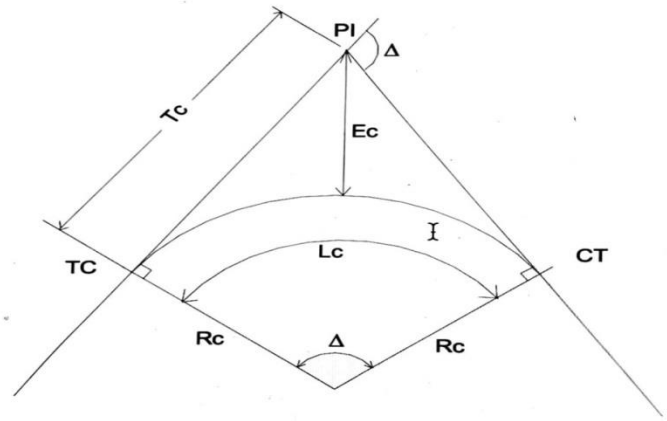
Tc = Panjang tangen jarak dari Tc ke PI atau PI ke Tc

Rc = Jari-jari lingkarin

Lc = Panjang busur lingkaran

Ec = Jarak luar dan PI ke busur lingkaran

Bentuk tikungan *full circle* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.4 Tikungan *Full Circle* (FC)
(Sumber : RSNI-T-14-2014)

b) Tikungan *Spiral-Circle-Spiral*

Bentuk tikungan ini digunakan pada daerah-daerah perbukitan atau pegunungan, karena tikungan jenis ini memiliki lengkungan peralihan ruang memungkinkan perubahan menikung tidak secara mendadak dan tikungan tersebut aman.

Lengkung *spiral* merupakan peralihan dari bagian lurus ke bagian *circle (transtition curve)* yang panjangnya diperhitungkan dengan mempertimbangkan bahwa perubahan gaya sentrifugal dari nol sampai mencapai bagian lengkung. Jari-jari yang diambil tikungan *Spiral Circle Spiral* haruslah sesuai dengan kecepatan rencana dan tidak mengakibatkan kemiringan tikungan yang melebihi maksimum yang telah ditentukan. Ketentuan dan rumus yang di gunakan untuk jenis tikungan ini adalah sebagai berikut :

Fm = -0,00065. Vr + 0,192 (untuk kecepatan <80 km/jam) .....(2.25)

Rmin = $\frac{181913,53\ (emax+fmax)}{V^2}$ .....(2.26)

D = $\frac{1432,4}{R}$ .....(2.27)

e = $\frac{emax}{D^2max} + D^2 + \frac{2.emax}{Dmax} D$ .....(2.28)

Untuk menentukan nilai Ls dapat digunakan beberapa pendekatan sebagai berikut:

a) Berdasarkan tabel Bina Marga

Ls1 = 50 m .....(2.29)

b) Berdasarkan waktu tempuh maksimum 3 detik

Ls2 = $\frac{VR}{3.6}$. T .....(2.30)

c) Berdasarkan antisipasi gaya sentrifungsi

Ls3 = 0,022 $\frac{V^3}{R.C}$ – 2,727 - $\frac{V.e}{C}$.....(2.31)

d) Berdasarkan tingkat pencapaian kelandaian

Ls4 = $\frac{(ep-en)}{3,6.re}$. V .....(2.32)

Dimana :

T = Waktu tempuh (3 detik)

V_R = Kecepatan rencana (km/jam)

R_c = Jari-jari lingkungan (m)

C = Perubahan percepatan (0,3 – 1,0 disarankan 0,4 m/det^3)

E = Superelevasi (%)

e_p = Superelevasi penuh (%)

e_n = Superelevasi normal (%)

T_e = Tingkat pencapaian perubahan kelandaian melintang jalan untuk $V_R \leq$ 70 km/jam nilai r_e max = 0,035 m/m/det.

Untuk $V_R$max = 0,025 m/m/det berdasarkan dari Ls Alternatif a,b,c dan d diambil nilai yang terbesar.

$\emptyset S$ = $\frac{90 .Ls}{\pi.R}$.....(2.33)

Δc = Δ - 2 . $\emptyset s$.....(2.34)

P = $\frac{Ls^2}{6.R}$ – R (1-cos $\emptyset s$) .....(2.35)

k = Ls - $\frac{Ls^2}{40.R^2}$ – R . sin $\emptyset s$..... (2.36)

Ts = (R + P) tan $\frac{\Delta}{2}$ + k ..... (2.37)

Es = $\frac{(R+P)}{\cos\frac{1}{2}\Delta} - R$ ..... (2.38)

Lc = $\frac{\Delta-2.\emptyset s}{180}\pi.R$ ..... (2.39)

Ltotal = Lc + 2.Ls ..... (2.40)

Xs = Ls (1 - $\frac{Ls^2}{40.R^2}$)..... (2.41)

Ys = $\frac{Ls^2}{6.R}$ ..... (2.42)

Kontrol = Ltotal < 2. Ts

Keterangan :

Xs = Absis titik SC pada garis tangen, jarak titik dari titik TS – SC (jarak lurus lengkung peralihan)

Ys = Koordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen

Ls = Panjang lengkung peralihan (jarak TS-SC atau CS-ST)

Lc = Panjang busur lingkaran (jarak SC-CS atau CS-ST)

Ts = Jarak tangen dari PI ke TS atau ST, (m)

Es = Jarak dari PI ke puncak busur lingkaran, (m)

Δ = Sudut tikungan, (°)

Δc = Sudut lengkung *circle*, (°)

$\emptyset S$ = Sudut lengkung spiral, (°)

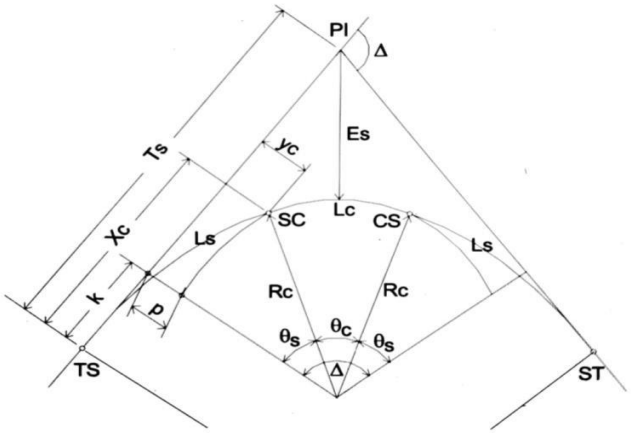
R = Jari-jari tikungan, (m)

p = Pergeseran tangen terhadap spiral, (m)

k = Absis p pada garis tangen spiral, (m)

Ltotal = Panjang tikungan SCS, (m)

Bentuk tikungan *Spiral-Cricle-Spiral* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.7.

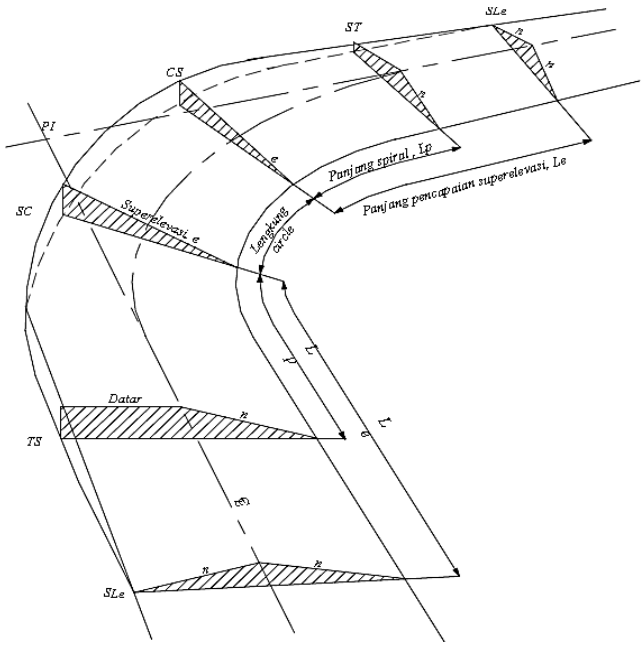


Gambar 2.5 Bentukan Tikungan *Spiral-Cricle-Spiral*
(Sumber : RSNI-T-14-2014)

2.5.2 Superelevasi

Superelevasi dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus sampai ke kemiringan penuh (superelevasi) pada bagian lengkung.

1. Pada tikungan SCS, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear, diawali dari bentuk normal sampai awal lengkung peralihan (TS) yang berbentuk pada bagian lurus jalan, lalu dilanjutkan sampai superelevasi penuh pada akhir bagian lengkung peralihan (SC).
2. Pada tikungan FC, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear, diawali dari bagian lurus sepanjang 2/3 Ls sampai dengan bagian lingkaran penuh sepanjang 1/3 Ls.
3. Pada tikungan S-S, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral.
4. Superelevasi tidak diperlukan jika radius (R) cukup besar, untuk itu cukup lereng luar diputar sebesar lereng normal (LP), atau bahkan tetap lereng normal (LN). (Shirley L. Hendarsin, 2000).



Gambar 2.6 Perubahan Superelevasi
(Sumber : Dasar – dasar Perencanaan Geometrik, 2017)

2.5.3 Daerah kebebasan samping di tikungan

Daerah bebas samping tikungan adalah ruangan untuk menjamin kebebasan pandang ditikungan sehingga Jh dipenuhi. Daerah bebas samping dimaksudkan untuk memberikan kemudahan pandangan di tikungan dengan membebaskan objek-objek penghalang sejauh E (m), diukur dari garis tengah jalur dalam sampai.

Daerah bebas samping tikungan dihitung berdasarkan jarak pandang henti menggunakan rumus-rumus sebagai berikut :

1) Jik Jh < Jt

   $E = R\ (1 - \cos \frac{90.Jh}{R})$ ..... (2.43)

2) Jika Jh > Jt

   $E = R\ (1 - \cos \frac{90.Jh}{R}) + (\frac{Jh-Lt}{2} Sin \frac{90.Jh}{R})$ ..... (2.44)

   Keterangan :

   E = Jarak bebas samping (m)

   R = Jari-jari tikungan (m)

   Jh = Jarak pandang henti (m)

   Lt = Panjang tikungan (m)

2.5.4 Pelebaran perkerasan di tikungan

Kendaraan yang bergerak dari jalan lurus menuju tikungan, seringkali tidak dapat mempertahankan lintasannya pada lajur yang telah disediakan, disediakan oleh :

1) Pada waktu membelok yang diberikan sudut belokan, hanya roda depan, sehingga lintasan roda belakang menjalani lintasan kedalam dari roda depan *(off tracking).*
2) Jejak lintasan kendaraan tidak lagi berimpit, karena bemper depan dan belakang kendaraan mempunyai lintasan yang berbeda antara roda depan dan roda belakang.
3) Pengemudi akan mengalami kesulitan dlam mempertahankan lintasannya untuk tetap pada lajur jalannya, terutama pada tikungan-

tikungan yang tajam atau pada kecepatan yang tinggi. Untuk menghindari hal tersebut, maka pada tikungan tajam perlu diadakan pelebaran perkerasan jalan. Secara praktis, perkerasan harus diperlebar, bila radius lengkungan lebih kecil dari 120 m, untuk menjaga agar pandangan bebas kea rah samping terhadap kendaraan-kendaraan lain sedangkan pelebaran tidak diperlukan lagi apabila kecepatan rencana kurang dari 30 km/jam.

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut : (TGJAK, 1997)

Rc = R - $\frac{1}{4}$ Bn + $\frac{1}{2}b$ ..... (2.45)

B = $\sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1{,}24)^2 + 64}$ - $\sqrt{Rc^2 - 64}$ + 1,25 ..... (2.46)

Z = $\frac{0{,}105 \times V}{\sqrt{R}}$ ..... (2.47)

Bt = n (B + C) + P ..... (2.48)

Keterangan :

B = Lebar perkerasan pada tikungan (m)

Bn = Lebar total perkerasan pada bagian lurus (m)

b = Lebar kendaraan rencana (m)

Rc = Radius lengkung akibat kesukaran dalam mengemudi (m)

R = Radius lengkung (m)

n = Jumlah lajur

C = Kebebasan samping (1,0 m)

2.6 Alinyemen Vertikal

Menurut Desain Geometrik Jalan, 2021. Alinemen vertikal merupakan profil memanjang sepanjang garis tengah jalan, yang terbentuk dari serangkaian segmen dengan kelandaian memanjang dan lengkung vertikal. Profilnya tergantung topografi, desain alinemen horizontal, kriteria desain, geologi, pekerjaan tanah, dan aspek ekonomi lainnya.

Untuk membedakan topografi, medan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: datar, bukit, dan gunung. Pada medan datar biasanya jarak pandang lebih mudah dipenuhi tanpa kesulitan mengkonstruksinya atau tidak berbiaya besar. Pada medan bukit, lereng alami naik dan turun secara konsisten terhadap jalan. Kadang kala, lereng curam membatasi desain alinemen horizontal dan vertikal yang normal. Pada medan gunung, perubahan elevasi permukaan tanah baik memanjang maupun melintang sepanjang alinemen jalan muncul secara mendadak, sehingga sering menyebabkan dibutuhkannya penggalian yang terjal dan pembuatan lereng bertangga (*benching*) untuk memperoleh alinemen horizontal dan vertikal yang dapat diterima.

2.6.1 Kelandaian alinyemen vertikal

Untuk menghitung dan merencanakan lengkung vertikal, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu :

1. Karakteristik Kendaraan Pada Kelandaian Hampir seluruh kendaraan penumpang dapat berjalan dengan baik dengan kelandaian 7 - 8 % tanpa adanya perbedaan dibandingkan dengan bagian datar.
2. Kelandaian Maksimum Kelandaian maksimum berdasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh mampu mampu bergerak dengan kecepatan tidak kurang dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi
3. Kelandaian Minimum Pada jalan yang menggunakan *kreb* pada tepi perkerasannya perlu dibuat kelandaian minimum 0,5 % untuk keperluan saluran kemiringan melintang jalan dengan kreb hanya cukup untuk mengalirkan air kesamping.
4. Panjang Kritis Kelandaian maksimum yang ditentukan di atas bukan untuk kontrol sepenuhnya karena harus dipertimbangkan terhadap pengoperasian kendaraan. Istilah “Panjang Kelandaian Kritis” digunakan untuk mengindikasikan panjang maksimum tanjakan dimana truk bermuatan bisa beroperasi tanpa adanya pengurangan kecepatan berlebihan.

Tabel 2.19 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 : Ditjen Bina Marga, Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

Tabel 2. 20 Panjang Kritis (m)

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

(Sumber : Ditjen Bina Marga, Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

5. Lajur Pendakian Pada Kelandaian Khusus Pada jalur jalan dengan rencana volume lalu lintas yang tinggi, terutama untuk tipe 2/2 TB, maka kendaraan berat akan berjalan pada lajur pendakian dengan kecepatan VR, sedangkan kendaraan lain masih dapat bergerak dengan kecepatan VR, sebaliknya dipertimbangkan untuk dibuat lajur tambahan pada bagian kiri dengan ketentuan untuk jalan baru menurut MKJI didasarkan pada BHS (Biaya Siklus Hidup).

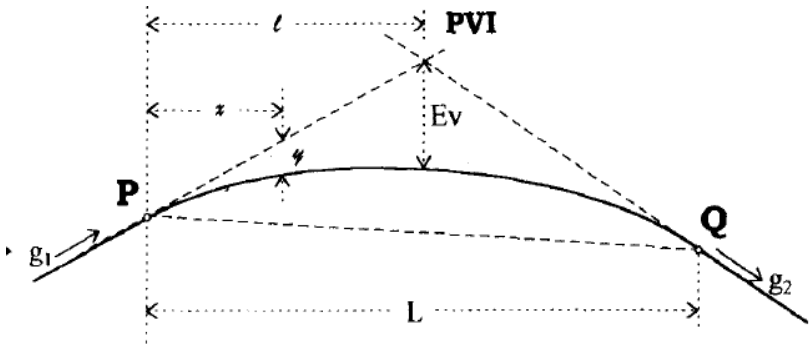
2.6.2 Lengkung vertikal

Lengkung vertikal adalah pergantian dari satu kelandaian ke kelandaian yang lain dilakukan dengan mempergunakan lengkung vertikal. Pergantian dari satu kelandaian ke kelandaian yang lain dilakukan dengan menggunakan

lengkung vertikal. Titik perpotongan dua bagian tangent vertikal dinamakan Titik Perpotongan Vertikal (TPV), dikenal dengan nama *Point of Vertikal Intersection* (PVI) atau sering disebut Poin Perpotongan Vertikal (PPV).

Lengkung vertikal berbentuk lengkung parabola sederhana. Penentuan panjang lengkung vertikal dan elevasi setiap titik pada lengkung digunakan asumsi sebagai berikut :

a. Panjang lengkung vertikal sama dengan panjang proyeksi lengkung vertikal.
b. Titik PPV terletak di tengah-tengah garis proyeksi lengkung vertikal.



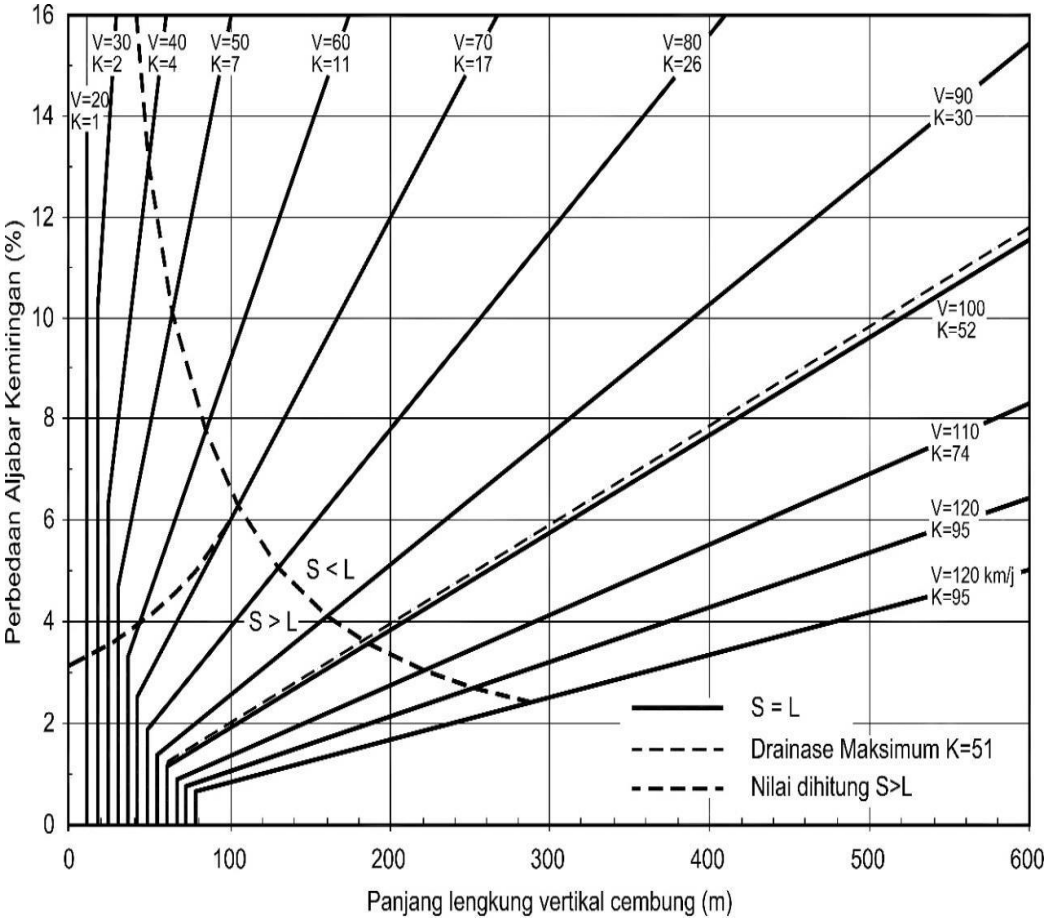
Gambar 2.7 Tipikal Vertikal
(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

Lengkung vertikal terdiri dari dua jenis yaitu :

a. Lengkung vertikal cembung

   Pengendali utama lengkung vertikal cembung adalah penyediaan jarak pandang yang cukup, untuk mendapatkan sudut pandang yang aman, kenyamanan, dan penampilan. Panjang lengkung vertikal cembung minimum untuk nilai-nilai per perubahan A yang menyediakan J_{PH} minimum untuk setiap V_D ditunjukkan pada Gambar 2.8. Lengkung garis putus-putus di kiri bawah yang melintasi garis-garis ini, menunjukkan S = L. Perhatikan bahwa di sebelah kanan garis S = L, nilai K, atau panjang lengkung vertikal per perubahan persen A, adalah bentuk sederhana dan mudah untuk melakukan kontrol desain. Pemilihan lengkung desain difasilitasi dengan panjang minimum lengkung dalam meter adalah sama dengan K dikali perbedaan aljabar kemiringan jalan A dalam persen, L =

KA. Tabel 2.21 menunjukkan nilai K dihitung untuk panjang lengkung vertikal sesuai dengan jarak pandang berhenti untuk setiap kecepatan desain. Untuk tujuan praktis, panjang minimal lengkung vertikal dapat dinyatakan sekitar 0,6 kali V_D (Km/Jam), Lmin = 0,6 V_D, di mana V_D Km/Jam dan L adalah dalam m. Secara praktis, jarak pandang lebih panjang mungkin lebih dikehendaki, dimana lebih sesuai dengan kondisi medan dan tidak berbenturan dengan pengendali desain lainnya. Lengkung vertikal yang terlalu besar hendaknya dihindari untuk mencegah genangan air. Lengkungan vertikal besar juga meningkatkan panjang jarak pandang yang terbatas. Hendaknya membatasi panjang lengkung cembung yang memiliki kelandaian kurang dari 0,3% hingga 0,5% untuk panjang sekitar 30 – 50m.



Gambar 2.8 Panjang lengkung vertikal cembung (m)
(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

Tabel 2.21 Kontrol desain (K) lengkung vertikal cembung berdasarkan J_{PH}

V_D (km/jam)	J_{PH} (m)	K[1)]
20	20	1
30	35	2
40	50	4
50	65	7
60	85	11
70	105	17
80	130	26
90	160	39
100	185	52
110	220	74
120	250	95
Catatan:[1)]Besaran kelengkungan vertikal, K, adalah panjang lengkung (L) /persentase perbedaan kelandaian aljabar pada kelandaian yang saling bersinggungan (A), K = L/A		

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

Tabel 2.22 Kontrol desain (K) lengkung vertikal cembung berdasarkan J_{PM}

V_D (km/jam)	J_{PM} (m)	K[1)]
30	120	17
40	140	23
50	160	30
60	180	38
70	210	52
80	245	70
90	280	91
100	320	119
110	355	146
120	395	181

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

Nilai K yang diambil dari tabel di atas ketika S < L juga bisa digunakan tanpa kesalahan berarti ketika S > L.

b. Lengkung vertikal cekung

Tidak ada dasar yang dapat digunakan untuk menentukan panjang lengkung vertikal (L), akan tetapi ada empat kriteria sebagai pertimbangan yang dapat digunakan, yaitu:

i. Jarak sinar lampu besar dari kendaraan

Jarak pandang pada lengkung cekung tidak dibatasi oleh geometrik vertikal di siang hari atau malam hari dengan penerangan jalan lengkap, kecuali bila ada halangan di atas jalan. Pada jalan tanpa penerangan di malam hari, keterbatasan sorotan cahaya lampu kendaraan membatasi jarak pandang antara 120 m hingga 150 m pada lengkung cembung. Pada jalan berkecepatan tinggi tanpa penerangan jalan, perlu dipertimbangkan jarak pandang sorotan lampu.

ii. Ketentuan drainase

iii. Kenyaman pengemudi

iv. Penampilan secara umum

Penampilan adalah penting ketika mempertimbangkan perubahan kecil maupun besar terhadap kelandaian. Lengkung vertikal cekung biasanya dirancang untuk memenuhi kriteria kenyamanan sebagai minimum. Untuk jalan Antarkota tanpa penerangan, lengkung vertikal cekung lebih dikehendaki didesain untuk kriteria sorotan lampu.

Pada jalan dua lajur, panjang lengkung cekung lebih dari 750 m hendaknya dihindari atas dasar alasan drainase. Untuk jalan dengan *kerb*, panjang maksimum lengkung cekung dengan kelandaian kurang dari 0,5% hendaknya dibatasi hingga 50 m. Untuk meminimalkan ketidaknyamanan pengemudi dan penumpang ketika melintasi suatu kelandaian ke lainnya, biasanya dilakukan pembatasan akselerasi vertikal yang dibangkitkan pada lengkung vertikal hingga nilai kurang dari 0,05g dimana g adalah percepatan gravitasi yang nilainya adalah 9,81 m/detik^2. Nilai lengkung vertikal cekung K minimm untuk kriteria kenyaman bisa dihitung dengan rumus

$$K = \frac{VD^2}{1296\,a} \quad \text{.....(2.49)}$$

Keterangan:

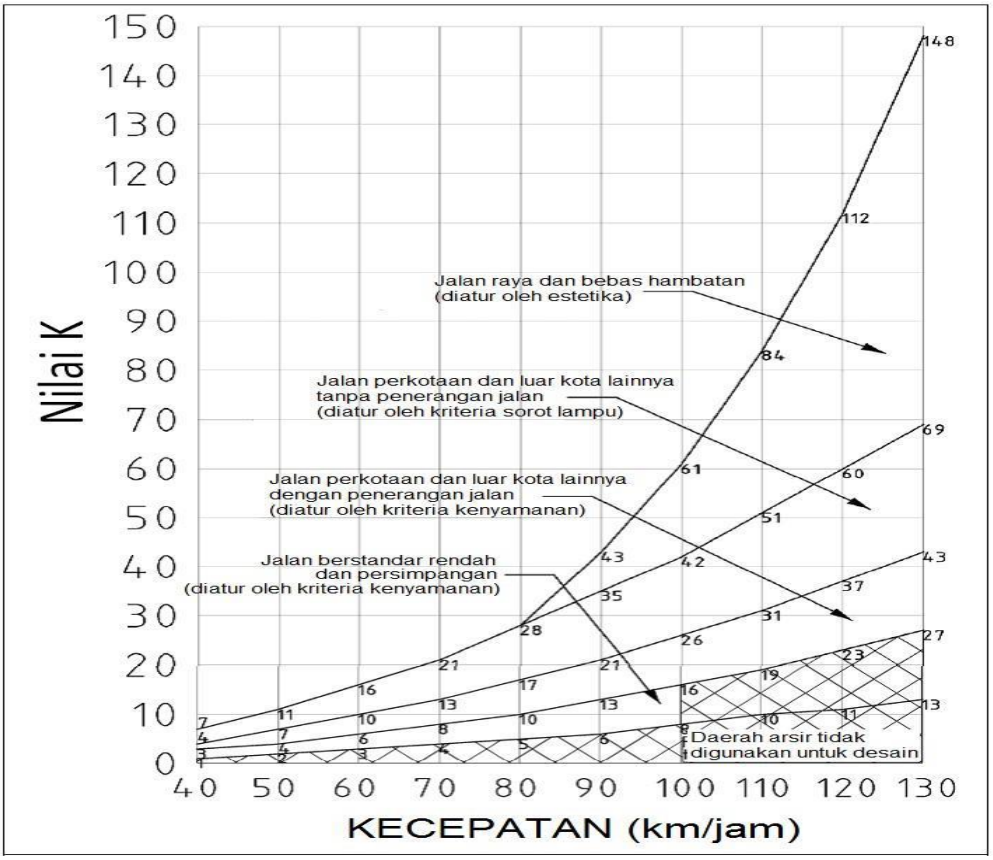
K = Panjang lengkung vertikal cekung dalam meter untuk perubahan kelandaian 1%

a = akselerasi vertikal yang nila terbesarnya 0,05g, m/detik^2

V_D = kecepatan kendaraan rencana, km/jam

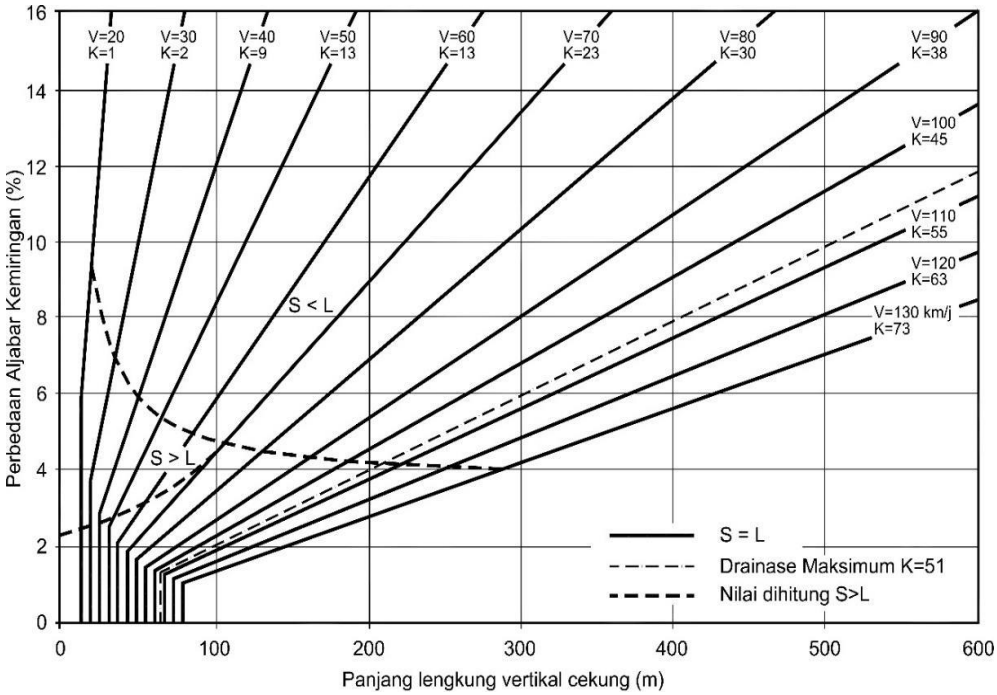
Panjang minimum lengkung cekung untuk berbagai kategori jalan, menggunakan ke dua kriteria kenyamanan dan jarak pandang sorotan lampu, dijabarkan dalam gambar 2.9. Grafik tersebut dikembangkan menggunakan kriteria berikut ini untuk menentukan batasan bawah:

- Jalan berstandar rendah, kriteria kenyamanannya adalah a = 0,1g.
- Jalan Antarkota dan Perkotaan lainnya dengan penerangan jalan, kriteria kenyamanan-nya adalah a = 0,05g.
- Jalan Antarkota dan Perkotaan lainnya tanpa penerangan jalan, kriterianya adalah jarak pandang sorot lampu dengan waktu reaksi 2,0detik dan koefisien perlambatan 0,61.



Gambar 2.9 Rentang nilai Kuntuk lengkung cekung
(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

Untuk keamanan secara keseluruhan di jalan, lengkung vertikal cekung harus cukup panjang, bahwa jarak sorotan lampu hampir sama dengan jarak pandang henti. Panjang yang dihasilkan dari lengkung vertikal cekung untuk rekomendasi panjang J_{PH} untuk setiap kecepatan desain ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Panjang lengkung vertikal cekung (m)
(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

Tabel 2.23 Kontrol desain (K) untuk lengkung vertikal cekung

V_D (Km/jam	J_{PH} (m)	K[1)]
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18
70	105	23
80	130	30
90	160	38
100	185	45
110	220	55
120	250	63

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)

2.7 Perencanaan Galian dan Timbunan

Dalam merencanakan suatu ruas jalan raya diusahakan agar pada pekerjaan tanah dasar volume galian seimbang dengan volume timbunan. Hal ini bertujuan agar jumlah kebutuhan tanah timbunan dapat dipenuhi oleh tanah dari hasil galian yang ada di lokasi tersebut. Namun perlu diingat bahwa asumsi demikian hanya berlaku apabila kualitas tanahnya memenuhi kriteria yang disyaratkan.

Dengan mengkombinasikan alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal, yang dilengkapi dengan bentuk penampang melintang jalan yang direncanakan, memungkinkan kita untuk menghitung besarnya volume galian dan timbunan. Untuk memperoleh hasil perhitungan yang logis, ada beberapa langkah yang perlu dilakukan, yaitu :

a. Penentuan jarak patok *(stationing)*, sehingga diperoleh panjang horizontal jalan dari alinyemen horizontal.
b. Penggambaran profil memanjang (alinyemen vertikal) yang memperlihatkan perbedaan elevasi muka tanah asli dengan muka perkerasan yang direncanakan.
c. Penggambaran profil melintang *(cross section)* pada setiap titik *stationing*, sehingga memungkinkan untuk menghitung luas bagian galian ataupun timbunan yang ada pada potongan tersebut. Pengukuran tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan alat bantu planimetri.
d. Penghitungan volume galian dan timbunan, yaitu dengan mengalikan luas rata-rata dari penampang galian atau timbunan dengan jarak antar *stationing* tersebut.

Dalam perhitungan galian dan timbunan terdapat Penomoran (*stationing*) panjang jalan pada tahap perencanaan adalah memberikan nomor pada intrerval – interval tertentu dari awal pekerjaan. Nomor jalan (STA jalan) dibutuhkan sebagai sarana komunikasi untuk dengan cepat mengenal lokasi yang sedang dibicarakan, selanjutnya menjadi panduan untuk lokasi suatu tempat. Nomor jalan ini sangat bermanfaat pada saat pelaksanaan dan perencanaan. Di samping itu dari

penomoran jalan tersebut diperoleh informasi tentang panjang jalan secara keseluruhan. Setiap STA jalan dilengkapi dengan gambar potongan melintangnya (Sukirman, 1999). Jika tidak terjadi perubahan arah tangen pada alinyemen horizontal maupun alinyemen vertikal, maka penomoran selanjutya dilakukan :

a. Setiap 100 m pada medan datar.
b. Setiap 50 m pada medan berbukit.
c. Setiap 25 m pada medan pegunungan.

Nomor jalan (STA jalan) ini sama fungsinya dengan patok km disepanjang jalan. Perbedaannya adalah :

- Patok km merupakan petunjuk jarak yang diukur dari patok km 0, yang umumnya terletak di ibukota provinsi atau kotamadya, sedangkan patok STA merupakan petunjuk jarak yang diukur dari awal pekerjaan (proyek) sampai dengan akhir pekerjaan.
- Patok km berupa patok permanen yang dipasang dengan ukuran standar yang berlaku, sedangkan patok STA merupakan patok sementara selama masa pelaksanaan ruas jalan tersebut.

2.8 Perencanaan Tebal Perkerasan

Perkerasan jalan adalah lapisan atas badan jalan yang menggunakan bahan-bahan khusus yang secara konstruktif lebih baik daripada tanah dasar. Perkerasan berfungsi memberikan pelayanan optimal kepada sarana transportasi.

Secara umum perkerasan jalan mempunyai persyaratan yaitu kuat, awet, kedap air, rata, tidak licin, murah dan mudah dikerjakan. Oleh karena itu bahan perkerasan jalan yang paling cocok adalah pasir, kerikil, batu dan bahan pengikat (aspal atau semen). Perkerasan akan mempunyai kinerja yang baik, bila perencanaan dilakukan dengan baik dan komponen utama dalam sistem perkerasan berfungsi dengan baik pula. Menurut *Federal Highway Administration* (Hardiyatmo 2015:2) komponen-komponen perkerasan meliputi :

a. Lapis aus (*wearing course*) yang memberikan cukup kekesatan, tahanan gesek dan penutup kedap air atau drainase dipermukaan.

b. Lapis perkerasan terikat atau tersementasi (aspal atau beton) yang memberikan daya dukung yang cukup dan sekaligus sebagai penghalang air yang masuk ke dalam material tak terikat dibawahnya.
c. Lapis pondasi (*base course*) dan lapisan pondasi bawah (*sub-base course*) tak terikat yang memberikan tambahan kekuatan (khususnya untuk perkerasan lentur dan ketahanan terhadap pengaruh air yang merusak struktur perkerasan serta pengaruh degradasi yang lain (erosi dan instrusi butiran halus).
d. Tanah dasar (*subgrade*) yang memberikan cukup kekakuan, kekuatan yang seragam dan merupakan landasan yang stabil bagi lapisan material perkerasan di atasnya.
e. Sistem drainase yang dapat membuang air dengan cepat dari sistem perkerasan, sebelum air menurunkan kualitas lapisan material granuler tak terikat dan tanah dasar.

2.8.1 Tipe-tipe perkerasan

Pertimbangan tipe perkerasan yang dipilih terkait dengan dana pembangunan yang tersedia, biaya pemeliharaan, volume lalu lintas yang dilayani, serta kecepatan pembangunan agar lalu lintas tidak terlalu lama terganggu oleh pelaksanaan proyek.

Tipe-tipe perkerasan yang banyak digunakan adalah :

1) Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)
   Perkerasan kaku yaitu perkerasan yang menggunakan bahan campuran beton.
2) Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)
   Perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan bahan campuran aspal dari agregat atau bahan-bahan yang bersifat tidak kaku/ lentur.
3) Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)
   Perkerasan komposit yaitu perkerasan dengan memakai dua bahan, dengan maksud menggabungkan dua bahan yang berbeda yaitu aspal dan beton.

2.8.2 Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

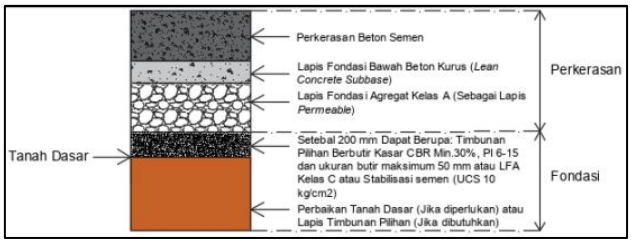
Perkerasan jalan beton semen atau secara umum disebut perkerasan kaku, terdiri atas lapisan permukaan (*surface*) berupa plat (*slab*) beton semen, lapisan ponasi bawah (*sub-base course*) berupa sirtu (batu pecah) atau semen tipis dan lapisan tanah dasar (*subgrade*) yang sudah dipadatkan.

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung, dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan beton semen.

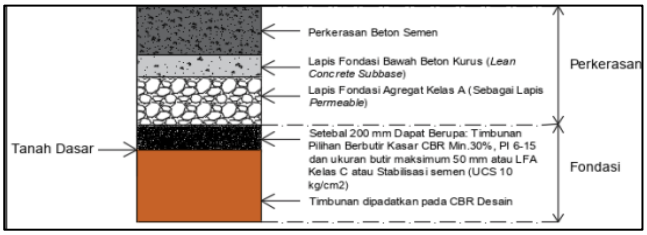
Lapis fondasi bawah pada perkerasan beton semen adalah bukan merupakan bagian utama yang memikul beban, tetapi merupakan bagian yang berfungsi sebagai berikut:

a. Sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.
b. Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
c. Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan, dan tepi-tepi pelat.
d. Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.

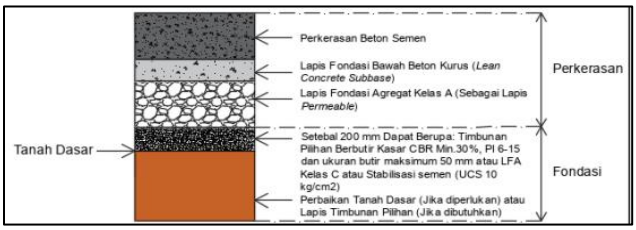
Pelat beton semen mempunyai sifat yang cukup kaku serta dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan-lapisan di bawahnya.



Gambar 2.11 Perkerasan Kaku pada Permukaan Tanah Asli
(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)



Gambar 2.12 Perkerasan Kaku pada Timbunan
(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)



Gambar 2.13 Perkerasan Kaku pada Galian
(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

2.8.3 Persyaratan teknis perencanaan perkerasan kaku

Terdapat beberapa persyaratan dalam merencanakan perkerasan kaku, Menurut Manual Desain Perkerasan 2024, yaitu :

a. Tanah Dasar

Ketentuan berikut ini membahas tanah dasar di bawah perkerasan kaku selain tanah lunak atau gambut yang telah dibahas sebelumnya. Apabila fondasi perkerasan terdiri dari beberapa lapis atau apabila tanah dasar asli terdiri dari beberapa lapis dengan kekuatan tertinggi terletak pada lapis paling atas maka CBR tanah dasar ditentukan sesuai formula berikut.

$$\text{CBR Ekuivalen} = \left(\frac{\sum hi.cbr^{0,33}}{\sum i.hi}\right)^3 \quad \ldots\ldots(2.50)$$

Keterangan :

hi = tebal lapis i

$\sum$hi= 1 m

Untuk mencegah *pumping*, baik untuk CBR efektif tanah dasar 6% maupun yang sudah diberi timbunan pilihan dengan CBR minimum 10%, maka pada perkerasan kaku harus dipasang timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6-15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau dengan lapis stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm2) setebal 200 mm.

b. Pondasi Bawah

Bahan pondasi bawah dapat berupa:

1. Bahan dengan pengikat (BP)
   - Stabilisasi semen (*Cement Treated based*,CTB)

- Beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*)
- Campuran beraspal

2. Beton Kurus (BK/*Lean Mix Concrete*)

Lapis fondasi bawah perlu diperlebar sampai 400 mm di luar tepi perkerasan beton semen. Untuk tanah lunak dan tanah ekspansif perlu pertimbangan khusus perihal jenis dan penentuan lebar lapisan fondasi dengan memperhitungkan tegangan pengembangan yang mungkin timbul. Pemasangan lapis fondasi dengan lebar sampai ke tepi luar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah lunak dan tanah ekspansif.

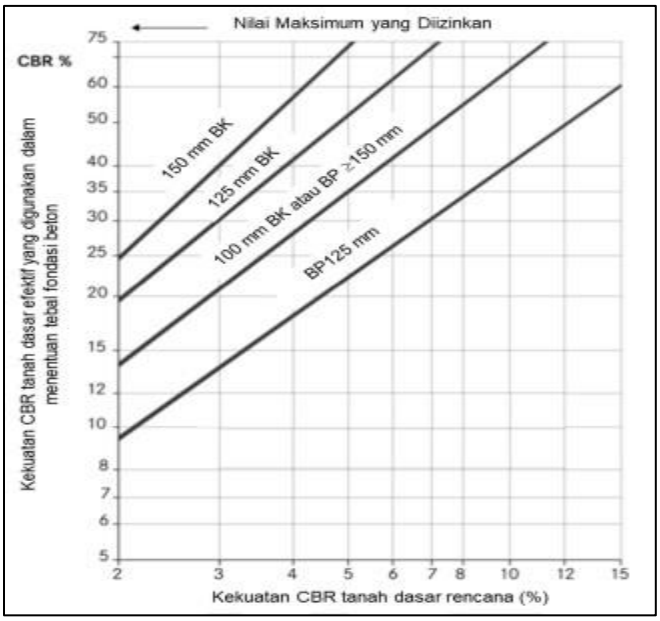
Beton kurus harus mempunyai mutu sesuai dengan SNI 6388:2015 dan AASHTO M-155 serta SNI 1743:2008. Bilamana diperoleh konstruksi hasil perencanaan rentan terhadap terjadinya erosi maka direkomendasikan tebal lapis fondasi beton kurus dengan tebal minimum 150 mm.

Perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji direkomendasikan untuk dirancang menggunakan campuran beton kurus sebagai lapis fondasi bawah. Tebal lapis fondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Tabel 2.24 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 2.14.

Tabel 2.24 Tebal Fondasi Bawah Minimum Untuk Perkerasan Beton Semen

Lalu Lintas Desain (JSKN)	**Jenis Lapis Pondasi**
Sampai dengan 10^6	BP 125 mm
10^6 sampai dengan 5 x 10^6	BK 100 mm atau BP 150 mm
5^6 x 10 sampai dengan 1 x 10^7	BK 125 mm
Lebih dari 1 x 10^7	BK 150 mm
**Catatan :* BP (Bahan Berpengikat) dan BK (Beton Kurus)	

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)



Gambar 2.14 CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal
(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

3. Lapis Fondasi Bawah Dengan Bahan Pengikat (*Bound Sub-Base*)

   Lapis fondasi bawah dengan bahan pengikat (BP) dapat digunakan salah satu dari:

   - Stabilisasi material berbutir (*Cement Treated Based*, CTB) harus mempunyai kuat tekan sebesar 3,5 – 4,5 MPa.
   - Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-graded asphalt*).
   - Campuran beton kurus padat giling yang harus mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 MPa (55 kg/cm^2).

4. Lapis Fondasi Bawah dengan Campuran Beton Kurus (*Lean Mix Concrete*)

   Campuran Beton Kurus (BK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 (dua puluh delapan) hari pada rentang 8 – 11 MPa.

5. Lapis Pemecah Ikatan Fondasi Bawah dan Pelat

   Perencanaan ini didasarkan pada anggapan bahwa tidak ada ikatan antara pelat beton dengan lapis fondasi bawah di bawahnya. Lapis pemisah (*bond breaker*) dapat berupa lapisan membran kedap air dengan

ketebalan 125 mikron atau bahan lain untuk jenis pemecah ikatan dan koefisien geseknya dapat dilihat pada Tabel 2.25.

Tabel 2.25 Nilai Koefisien Gesekan (μ)

No.	Lapis Pemecah Ikatan	Koefisien Gesekan (μ)
1	Lapis resap ikat aspal di atas permukaan pondasi bawah	1,0
2	Laburan paraffin tipis pemecah ikat	1,5
3	Karet kompon *(A chlorinated rubber curing compound)*	2,0

(Sumber : Perencanaan Perkerasan Jalan Beton semen, Pd T-14-2003)

6. Beton semen

Mutu beton semen harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength)* umur 28 (dua puluh delapan) hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya minimal 4,5 MPa. Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm^2) terdekat. Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton harus dilakukan berdasarkan pengujian laboratorium dengan material yang digunakan pada proyek yang akan dikerjakan. Namun, bilamana belum tersedia dapat didekati dengan rumus yang ada pada persamaan 2.53 dan 2.54.

$\boldsymbol{F_{cf} = K(fc)^{0,50}}$ dalam Mpa ..... …..(2.51)

$\boldsymbol{F_{cf} = 3,13\ K(fc')^{0,50}}$ dalam kg/cm^2 ....(2.52)

Dimana :

fc'= Kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm^2)

f_{cf} = Kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm^2)

K =Konstanta, 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 untuk agregat pecah.

$\boldsymbol{f'_c = 1,37 f_{cs}}$ dalam MPa ..... …..(2.53)

$\boldsymbol{f'_c = 13,44 f_{cs}}$ dalam kg/cm^2 ....(2.54)

Dimana:

f_{cs} = Kuat tarik belah beton 28 hari.

2.8.4 Lalu lintas perkerasan kaku

Penentuan beban lalu lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana.

Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu-lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir. Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton.

Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 4 jenis kelompok sumbu sebagai berikut :

1. Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
2. Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
3. Sumbu tandem roda ganda (STdRG).
4. Sumbu tridem roda ganda (STrRG).

Tabel 2.26 Konfigurasi Sumbu Kendaraan

Kelas Kendaraan	JSKN	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
5A	2	1	-	-	-	-	-
6A	2	2	-	-	-	-	-
6B	2	1	1	-	-	-	-
7A1	2	-	1	1	-	-	-
7A2	2	1	-	-	1	-	-
7A3	4	-	-	1	1	-	-
7B1	4	1	3	-	-	-	-
7B2	4	-	3	1	-	-	-
7B3	3	1	2	-	1	-	-
7C1	3	1	1	-	1	-	-
7C2A	3	1	-	-	2	-	-
7C2B	3	1	1	-	-	1	-
7C3	3	1	-	-	1	1	-
7C4	3	1	-	-	1	-	1

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Semua roda yang dimaksud adalah roda ban konvensional. Pembebanan kumulatif pada perkerasan jalan selama periode waktu tertentu pada dasamya

adalah perhitungan setiap kelompok gandar yang melintasi perkerasan jalan selama periode waktu tersebut, bersama dengan jenis dan bebannya. Pembebanan kumulatif ini ditentukan oleh:

- jumlah kumulatif kelompok gandar yang melintasi perkerasan selama periode tersebut.
- proporsi setiap jenis kelompok total gandar.
- untuk setiap jenis kelompok gandar, distribusi frekuensi beban kelompok gandar.

  Gambaran umum prosedur untuk menentukan lalu lintas desain diantaranya:

  - Menentukan umur rencana
  - Menghitung jumlah rata-rata kendaraan harian
  - Menghitung jumlah JSKN setiap jenis kendaraan berat harian.
  - Menghitung kumulatif jumlah JSKN pada jalur desain selama umur rencana menggunakan persamaan di bawah ini:

  $JSKN = (\Sigma LHRJK \times JSKNJK) \times 365 \times DD \times DL \times R$……(2.55)

  Keterangan:

  LHRJK = lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari)

  JSKNJK = Sumbu Total Kendaraan Niaga tiap jenis kendaraan niaga

  DD = Faktor distribusi arah

  DL = Faktor distribusi lajur

  JSKN = Jumlah Sumbu Total Kendaraan Niaga selama umur rencana

  R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

- dalam penentuan nilai kumulatif JSKN dalam desain perkerasan kaku, maka perlu memperhatikan distribusi beban JSKN dan faktor keamanan beban untuk mengetahui karakteristik desain lalu lintas pada semua tipe perkerasan kaku.

2.8.5 Reliabilitas

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (Lsf). Faktor keamanan beban ini digunakan sebesar 90% dengan nilai faktor keamanan beban (LSF) untuk JPCP sebesar 1,2 dan CRCP sebesar 1,1.

Faktor Keamanan beban untuk perkerasan kaku pada bundaran harus memenuhi gaya radial atau sentris yang disalurkan ke roda luar sehingga nilai reliabilitas ditambah 0,3.

2.8.6 Persamaan desain perkerasan kaku

a. Retak Lelah (*Fatique*)

Jumlah repetisi beban yang diizinkan (Nf) untuk nilai beban sumbu tertentu dapat dihitung menggunakan formula sebagai berikut :

$\text{Log}_{10}N_f = \left(\frac{0{,}9719-sr}{0{,}0828}\right)$, jika S_r >0,55……..(2.56)

$N_f = \left(\frac{0{,}9719-sr}{0{,}0828}\right)^{3{,}628}$ jika 0,45<0,55…….…..(2.57)

$S_r = \frac{se}{0{,}944.fcf}\left(\frac{PLsf}{4{,}45,f1}\right)^{0{,}94}$ ……...…(2.58)

Keterangan:

S_e : tegangan ekuivalen beton (MPa)

F_{cf} : kuat lentur karakteristik desain pada umur beton 28 hari (MPa)

P : beban kelompok sumbu (kN)

L_{sf} : faktor *load safety*

F_1 : 9 untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)

: 18 untuk sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG

: 18 untuk sumbu tandem dengan roda tunggal (STdRT)

: 36 untuk sumbu tandem dengan roda ganda (STdRG)

: 54 untuk sumbu tridem dengan roda ganda (STrRG)

: 72 untuk sumbu empat dengan roda ganda (SQdRG)

N_f : tak terhingga jika nilai Sr kurang dari 0,45

Tegangan ekuivalen (Se) dan faktor erosi (F3) didapatkan dari Persamaan 2.58.

$$Se \text{ atau } F_3 = a + \frac{b}{D} + c.\ln(E_f) + \frac{d}{D^2} + e.[\ln(E_F)]^2 + f.\frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h.[\ln(E_f)]^3 + i.\frac{[\ln(E_f)]^2}{D} + j.\frac{\ln(E_f)}{D^2} \quad (2.58)$$

Keterangan:

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j adalah koefisien

D : tebal pelat beton (mm)

Ef : CBR Tanah Dasar Efektif (%)

b. Kerusakan Erosi

Jumlah beban yang diizinkan (Ne) untuk nilai beban sumbu tertentu dapat dihitung menggunakan formula sebagai berikut:

$$Log_{10}(f_2N_{e)} = 14{,}524\text{-}6{,}777\left[\max\left(0 \text{ atau } \left(\frac{PLsf}{4{,}45\ f4}\right)^2 . \frac{10f3}{41{,}35} \text{-}9{,}0\right)\right]^{0{,}103} \quad (2.59)$$

Keterangan P dan LSF.

F2 : penyesuaian untuk efek pada sisi pelat

: 0,06 untuk pelat dengan bahu bukan beton

: 0,94 untuk pelat dengan bahu beton

F3 : faktor erosi

F4 : penyesuaian beban untuk erosi karena kelompok sumbu

: 9 untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)

: 18 untuk sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG)

: 18 untuk sumbu tandem dengan roda tunggal (STdRT)

: 36 untuk sumbu tandem dengan roda ganda (STdRG)

: 54 untuk sumbu tridem dengan roda ganda (STrRG)

: 54 untuk sumbu empat dengan roda ganda (SQdRG)

2.8.7 Sambungan

Keterbatasan kemampuan peralatan pelaksanaan serta pembatasan terhadap tegangan–tegangan yang timbul akibat pemuaian, penyusutan, perbedaan suhu dan kadar air pada ketebalan pelat menuntut perkerasan beton semen dikerjakan dalam pola terpotong. Sehingga, perencanaan sambungan pada

perkerasan kaku merupakan bagian yang harus dilakukan pada perencanaan. Semua sambungan pada perkerasan kaku harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*).

Penyaluran beban antara pelat perkerasan disalurkan melalui ruji (*dowel*) berupa batang baja tulangan polos maupun profil yang digunakan sebagai sarana penyambungan/pengikat pada beberapa jenis sambungan pelat beton perkerasan jalan. *Dowel* dipasang dengan separuh panjang terikat dan separuh panjang dilumasi/dicat untuk memberikan kebebasan bergeser. Sedangkan *tie bar* atau batang pengikat merupakan potongan baja yang diprofilkan yang dipasang pada sambungan lidah alur dengan maksud untuk mengikat pelat agar tidak bergerak horizontal. Pada dasarnya terdapat jenis sambungan yang digunakan dalam konstruksi perkerasan beton bersambung, yaitu :

1. Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*Tie Bars*)

   Pemasangan sambungan memanjang ditunjukan untuk mengendailkan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3 – 4 m. sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm. Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

   $A_t = 204 \times b \times h$ ..... (2.60)

   $l = (38{,}3 \times \Phi) + 75$ ..... (2.61)

   Dimana :

   A_t = Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (m^2)

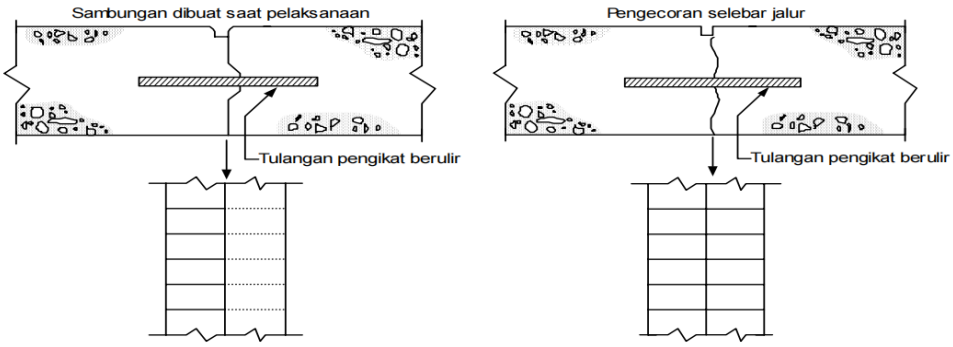
   b = Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m)

   h = Tebal pelat (m)

   l = Panjang batang pengikat (mm)

   Φ = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm)

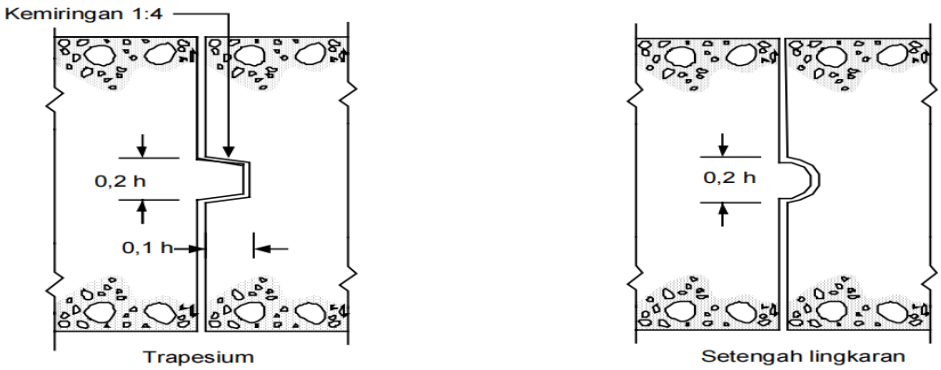
   Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm. Tipikal sambungan memanjang diperlihatkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.15 Tipikal Sambungan Memanjang
(Sumber:Pedoman Manual Desai Perkerasan 2024)

2. Sambungan Pelaksanaan Memanjang

   Sambungan pelaksanaan memanjang umumnya dilakukan dengan cara penguncian. Bentuk dan ukuran penguncian dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.30.



Gambar 2.16 Ukuran Standar Penguncian Sambungan Memanjang
(Sumber:Manual Desain Perkerasan, 2024)

   Sebelum penghamparan pelat beton di sebelahnya, permukaan sambungan pelaksanaan harus dicat dengan aspal atau kapur tembok untuk mencegah terjadinya ikatan beton lama dengan yang baru.

3. Sambungan Susut Memanjang

   Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan salah satu dari 2 cara ini, yaitu menggergaji atau membentuk pada saat beton masih plastis dengan kedalaman sepertiga dari tebal pelat.

4. Sambungan Susut dan Pelaksanaan Melintang

   Ujung sambungan ini harus tegak lurus terhadap sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasan. Untuk mengurangi beban dinamis, sambungan melintang harus dipasang dengan kemiringan 1:10 searah perputaran jarum jam.

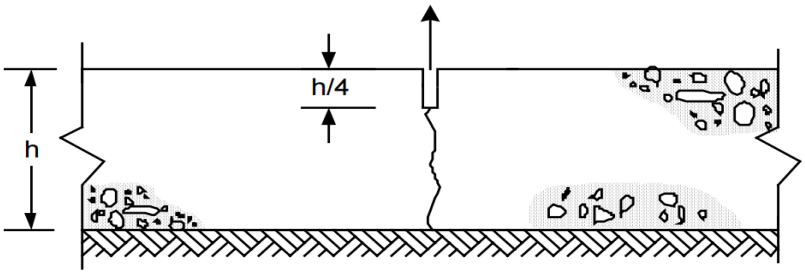
5. Sambungan Susut Melintang

   Kedalaman sambungan kurang lebih mencapai 1/4 dari tebal pelat untuk perkerasan dengan lapis pondasi berbutir atau 1/3 dari tebal pelat untuk lapis pondasi stabilisasi semen. Jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 – 5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8 – 15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan. Sambungan ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm, jarak antara ruji 30 cm lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut. Setengah panjang ruji polos harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton. Diameter ruji tergantung pada tebal pelat betonsebagaimana terlihat pada Tabel 2.27.

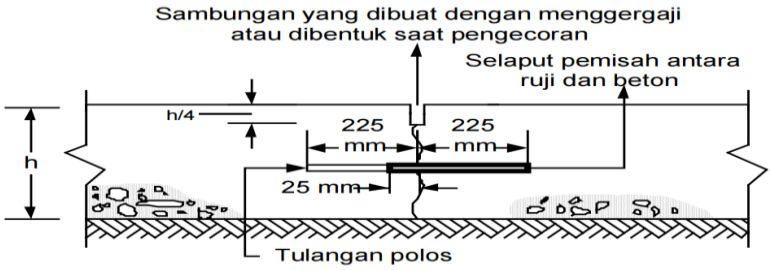
Tabel 2.27 Diameter Ruji

No.	Tebal Pelat Beton (h) (mm)	Diameter Ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36
6	$250 < h \leq 300$	38

(Sumber: Maunual Desai Perkerasan 2024)



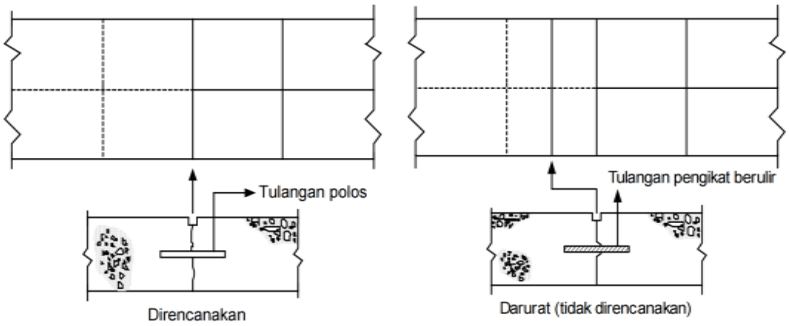
Gambar 2.17 Sambungan Susut Tanpa Melintang dengan Ruji
(Sumber: Manual Desain Perkerasan, 2024)



Gambar 2.18 Sambungan Susut Melintang dengan Ruji
(Sumber: Manual Desain Perkerasan ,2024)

6. Sambungan Pelaksanaan Melintang

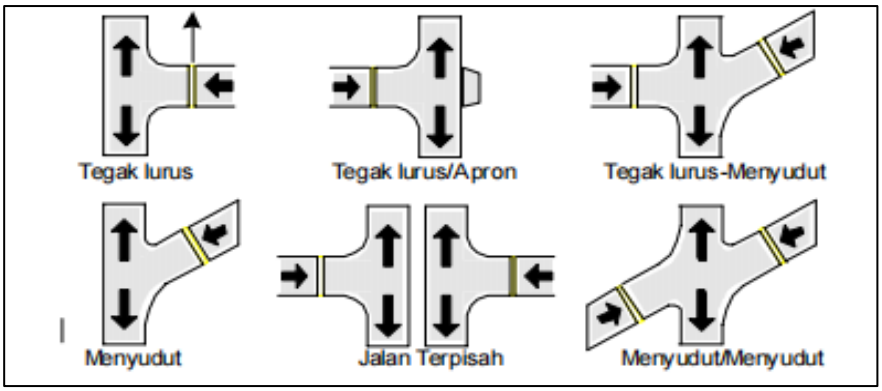
   Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan yang diletakan di tengah tebal pelat.



Gambar 2.19 Sambungan Pelaksanaan yang direncanakan dan yang Tidak direncanakan untuk Pengecoran Seluruh Lebar Perkerasan
(Sumber: Manual Desain Perkerasan, 2024)

7. Sambungan Isolasi

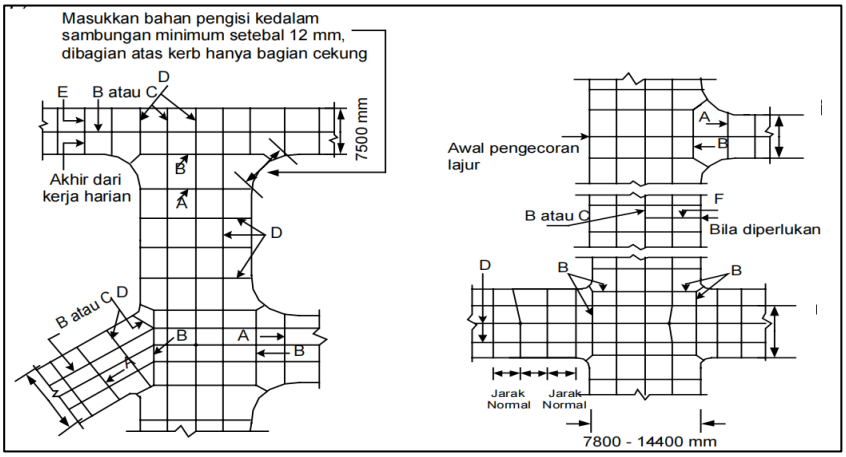
Sambungan isolasi memisahkan perkerasan dengan bangunan yang lain, misalnya *manhole*,jembatan, tiang listrik, jalan lama, persimpangan dan lain sebagainya. Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi dapat dilihat pada gambar emua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup *(joint sealer)*, kecuali pada sambungan isolasi terlebih dahulu harus diberi bahan pengisi *(joint filler)*.



Gambar 2.20 Contoh Persimpangan yang Membutuhkan Sambungan Isolasi
(Sumber: Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003)

8. Penutup Sambungan

Penutup sambungan dimaksudkan untuk mencegah masuknya air dan atau benda lain kedalam sambungan perkerasan. Benda-benda lain yang masuk ke dalam sambungan dapat menyebabkan kerusakan berupa gompal dan atau pelat beton yang saling menekan ke atas *(blow up)*



Gambar 2.21 Detail Potongan Melintang Sambungan Perkerasan
(Sumber: Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003)

2.8.8 Perencanaan tebal plat

Setelah menghitung lalu intas rencana maka perhitungan tebal perkerasan dapat dilakukan, tebal minumum kaku adalah 150 mm, kecuali perkerasan kaku bersambung pelat untuk perkerasan tanpa ruji *(dowel),* tebal minimum harus 200 mm. perencanaan tebal pelat didasarkan pada total *fatigue* pelat rencana mendekati atau sama dengan 100%.

Berdasarkan metode Bina Marga 2003 langkah-langkah dalam perencanaan tebal perkerasan kaku adalah sebagai berikut :

a. Pilih jenis perkerasan beton semen, bersambung tanpa ruji, bersambung dengan ruji atau menerus dengan tulangan.
b. Tentukan apakah akan menggunakan bahu beton atau bukan.
c. Tentukan jenis dan tebal pondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana.
d. Tentukan CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan pondasi bawah
e. Pilih kuat tarik lentur atau kuat beton pada umur 28 hari (f'_{cf}).
f. Pilih faktor keamanan beban lalu lintas (FKB).
g. Taksir tebal pelat beton (taksiran awal dengan tebal tertentu berdasarkan pengalaman atau menggunakan contoh yang tersedia).
h. Tentukan tegangan ekivalen (TE) dan faktor erosi (FE) untuk STRT dari
i. Tentukan faktor rasio tegangan (FRT) dengan membagi tegangan ekivalen (TE) oleh kuat tarik lentur (f'_{cf}).
j. Untuk setiap rentang beban kelompok sumbu tersebut, tentukan beban per roda dan kalikan dengan faktor keamanan (FKB) untuk menentukan beban rencana per roda. Jika beban rencana per roda ≥ 65 kn (6,5 ton), anggap dangunakan nilai tersebut sebagai batas tertinggi
k. Dengan faktor rasio tegangan (FRT) dan beban rencana, tentukan jumlah repetisi ijin untuk fatik, yang dimulai dari beban roda tertinggi dari jenis sumbu STRT tersebut.
l. Hitung persentase dari repetisi datik yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
m. Dengan menggunakan faktor erosi (FE), tentukan jumlah repetisi ijin

untuk erosi,

n. Hitung persentase dari repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
o. Ulangi langkah 11 sampai dengan 14 untuk setiap beban per roda pada sumbu tersebut sampai jumlah repetisi beban ijin yang masing – masing mencapai 10 juta dan 100 juga repetisi.
p. Hitung jumlah total fatik dengan menjumlahkan persentase fatik dari setiap beban roda pada STRT tersebut.
q. Ulangi langkah 8 sampai dengan langkah 16 untuk setiap kelompok sumbu lainnya.
r. Hitung jumlah total kerusakkan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
s. Ulangi langkah 7 sampai dengan 18 hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat fatik dan atau erosi $\leq$ 100%. Tebal tersebut tebal perkerasan beton semen yang direncanakan.

2.8.9 Perencanaan tulangan beton

Terdapat beberapa tujuan utama digunakannya penulangan beton, yang diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Membatasi lebar retakan, agar kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan.
b. Memungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan.
c. Mengurangi biaya pemeliharaan
d. Jumlah tulangan yang diperlukan dipengaruhi oleh jarak sambungan susut, sedangkan dalam hal beton bertulang menerus, diperlukan jumlah tulangan yang cukup untuk mengurangi sambungan susut.

Perencanaan tulangan beton perkerasan beton terbagi atas beberapa jenis , yang diantaranya sebagai berikut:

1. Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan

   Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, ada kemungkinan penulangan perlu dipasang guna mengendalikan retak. Bagian-bagian pelat yang diperkiraan akan mengalami retak akibat konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari dengan peraturan pola sambungan, maka pelat harus diberi tulangan.

   Penerapan tulangan umumnya dilaksanakan pada:

   a. Pelat dengan bentuk tak lazim *(odd-shaped slabs)*, Pelat disebut tidak lazim bila perbandingan antara panjang dengan lebar lebih besar dari 1,25 atau bila pola sambungan pada pelat tidak benar-benar berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang.
   b. Pelat dengan sambungan tidak sejalur *(mismatched joints)*.
   c. Pelat berlubang *(pits or structures).*

2. Perkerasan Beton Semen Bersambung dengan Tulangan

   Luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

   $$A_s = \frac{\mu.L.M.g.h}{2fs} \quad \text{.....(2.62)}$$

   Dimana :

   As = Luas penampang tulangan baja (mm^2/m lebar pelat)

   Fs = Kuat ijin tulangan (MPa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh

   g = Gravitasi (m/$detik^2$)

   H = Tebal pelat beton (m)

   L = Jarak antar sambungan yang tidak diikat dan/ atau tepi beban (m)

   M = Berat per satuan volume pelat (kg/m^3)

   μ = Koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah

   Luas penampang tulangan berbentuk anyaman empat persegi panjang dan bujur sangkar ditunjukan pada Tabel 2.28.

Tabel 2.28 Ukuran dan Berat Tulangan Polos Anyaman Las

Tulangan Memanjang		Tulangan Melintang		Luas Penampang Tulangan		Berat Per Satuan Luas (kg/m^2)
Diameter (mm)	**Jarak (mm)**	**Diameter (mm)**	**Jarak (mm)**	**Diameter (mm)**	**Jarak (mm)**	
Empat Persegi Panjang						
12,5	100	8	200	1227	251	11,606
11,2	100	8	200	986	251	9,707
10	100	8	200	785	251	8,138
9	100	8	200	636	251	6,967
8	100	8	200	503	251	5,919
7,1	100	8	200	396	251	5,091
9	200	8	250	318	201	4,076
8	200	8	250	251	201	3,552
Bujur Sangkar						
8	100	8	100	503	503	7,892
10	200	10	200	393	393	6,165
9	200	9	200	318	318	4,994
8	200	8	200	251	251	3,946
7,1	200	7,1	200	198	198	3,108
6,3	200	6,3	200	156	156	2,447
5	200	5	200	98	98	1,542
4	200	4	200	63	63	0,987

(Sumber: Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003)

3. Perkerasan Beton Semen Menerus Dengan Tulangan

   a. Penulangan Memanjang

   Tulangan memanjang yang dibutuhkan pada perkerasan beton semen bertulang menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut:

$$Ps = \frac{100\ Fct.(1{,}3=0{,}2\mu)}{fy-n.ft} \quad \text{.....(2.63)}$$

   Dimana:

   Ps = Persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%)

   F_{cf} = Kuat tarik langsung beton = (0,4-0,5f_{cf}) (kg/cm^2)

   f_y = Tegangan leleh rencana baja (kg/cm^2)

   n = Angka ekivalensi antara baja dan beton (E_s/E_c)

μ = Koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya

E_s = Modulus elastisitas baja = 2,1 x 10^6 (kg/cm^2)

E_c = Modulus elastisitas beton = 1485$\sqrt{f'_c}$ (kg/cm^2)

Tabel 2.29 Hubungan Kuat Tekan Beton dan Angka Ekuivalen Baja dan Beton

F'$_c$ (kg/cm^2)	**N**
175 – 225	10
235 – 285	8
≥ 290	6

(Sumber: Manual Desain Perkersan, 2024)

Persentase minimum dari tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6% luas penampang beton. Jumlah optimum tulangan memanjang, perlu dipasang agar jarak dan lebar retakan dapat dikendalikan. Secara teoritis jarak antara pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut:

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^{2}}{n.p^2.u.f_b\,(E_s.E_c - f_{ct})} \quad \text{.....(2.64)}$$

Dimana:

L_{cr} = Jarak teoritis antara retakan (cm);

P = Persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%)

U = Perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $^4/_d$

f_b = Tegangan lekat antara tulangan dan beton = 1,97$\sqrt{f'_c}$ (kg/cm^2)

E_s = Modulus Elastisitas baja = 2,1 ×10^6 (kg/cm^2)

E_c = Modulus Elastisitas beton = 14850$\sqrt{f'_c}$ (kg/cm^2)

Jarak retakan teoritis yang dihitung dengan persamaan di atas harus memberikan hasil antara 150 dan 250 cm. Jarak antar tulangan 100 mm – 225mm. Diameter batang tulangan memanjang berkisar antara 12 mm dan 20 mm.

b. Penulangan Melintang

Luas tulangan melintang (A_S) yang diperlukan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung menggunakan persamaan 2.64. Tulangan melintang direkomendasikan sebagai berikut:

- Diameter batang ulir tidak lebih kecil dari 12 mm.
- Jarak maksimum tulangan dari sumbu ke sumbu 75 cm

c. Penulangan melintang pada perkerasan beton semen harus ditempatkan pada kedalaman lebih besar dari 65 mm dari permukaan untuk tebal pelat ≤ 20 cm dan maksimum sampai sepertiga tebal pelat untuk tebal pelat > 20 cm. Tulangan arah memanjang dipasang di atas tulangan arah melintang.

2.9 Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap jalan merupakan bagian dari jalan yang dibangun untuk memenuhi persyaratan kelancaran lalu lintas dan menghindari kerusakan yang mungkin terjadi pada permukaan jalan yang nantinya akan berdampak pada kenyamanan pengguna jalan.

2.9.1 Drainase

Drainase digunakan sebagai bangunan pelengkap jalan untuk mengalirkan air pada permukaan jalan secepat mungkin agar lalu lintas tetap lancar, ada dua jenis drainase :

a) Drainase Permukaan

Drainase permukaan berfungsi mengalirkan air hujan yang ada dipermukaan jalan agar tidak menghambat arus lalu lintas di jalan tersebut dan juga mencegah air agar tidak merusak lapisan perkerasan jalan.

1. Saluran Samping

Saluran samping adalah saluran yang berada di sisi jalan yang dapat langsung menampung air dari badan jalan dan mengalirkannya keluar dari badan jalan.

2. Saluran Pembuang

   Saluran pembuang berfungsi untuk mengalirkan air dari saluran samping ke tempat pembuangan yang lebih rendah seperti sungai, rawa atau kolam.

3. Saluran Penangkap

   Saluran penangkap berfungsi untuk mengalirkan air permukaan dari daerah yang lebih tinggi, sebelum air mencapai badan jalan.

4. Gorong-Gorong

   Gorong-gorong adalah saluran melintang dan memotong badan jalan yang berada dibawah permukaan jalan yang berfungsi untuk mengalirkan air dari sisi jalan ke sisi lainnya.

b) Drainase Bawah

Drainase bawah harus dikerjakan terlebih dahulu sebelum pekerjaan badan jalan karena letaknya ada dibawah permukaan jalan yang biasa berfungsi penunjang utama dalam mengalirkan air.

2.9.2 Prinsip dan pertimbangan perencanaan drainase

a) Prinsip-prinsip umum perencanaan drainase :

1. Penggunaan yang efektif dan efisien

   Perencanaan drainase haruslah sedemikian rupa sehingga fungsi fasilitas drainase sebagai penampung, pembagi dan pembuangan air dapat sepenuhnya berdaya guna dan berhasil guna.

2. Ekonomis dan aman

   Pemeliharaan dimensi dari fasilitas drainase haruslah mempertimbangkan faktor ekonomis dan faktor keamanan.

3. Pemeliharaan

   Perencanaan drainase haruslah mempertimbangkan pula segi kemudahan dan nilai ekonomis dan pemeliharaan sistem drainase tersebut.

b) Pertimbangan dalam perencanaan drainase

1. Pada daerah yang datar atau lurus

   Penanganan pengendalian air untuk daerah ini biasanya dengan

membuat kemiringan perkerasan dan bahu jalan mulai dari tengah perkerasan menurun/melandai kea rah selokan samping. Besarnya kemiringan bahu jalan biasanya diambil 2% lebih besar daripada kemiringan permukaan jalan.

2. Daerah jalan yang lurus pada tanjakan/penurunan

   Penanganan pengendalian air pada daerah ini perlu mempertimbangkan pulabesarnya kemiringan alinyemen vertikal jalan yang berupa tanjakan dan turunan agar aliran air secepatnya bisa mengalir ke selokan samping. Untuk itu maka kemiringan melintang perkerasan jalan disarankan agar menggunakan nilai-nilai maksimum.

3. Pada daerah tikungan

   Kemiringan melintang perkerasana jalan pada daerah ini harus mempertimbangkan pula kebutuhan kemiringan jalan menurut persyaratan alinyemen horizontal jalan, karena kemiringan perkerasan jalan harus dimulai dari sisi luar tikungan menurun/melandai kesisi dalam tikungan.

2.9.3 Persayaratan teknis perencanaan drainase

Menurut “Perencanaan Sistem Drainase Jalan Tahun 2006” hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan drainase permukaan adalah sebagai berikut:

a. Plot rute jalan di peta topografi (L)
   a. Plot rute jalan yang direncanakan pada topografi diperlukan untuk mengetahui gambaran topografi atau kondisi daerah sepanjang alinemen jalan yang akan dilalui dapat dipelajari.
   b. Kondisi medan pada daerah pelayanan diperlukan untuk menentukan bentuk dan kemiringan yang akan mempengaruhi pola aliran.
b. Inventarisasi data bangunan drainase (gorong-gorong jembatan, dll)

   Eksisting meliputi lokasi, dimensi, arah aliran pembuangan dan kondisi data ini digunakan agar perencanaan sistem drainase jalan tidak mengganggu sistem drainase yang telah ada.

c. Segmen panjang segmen saluran (L)

Penentuan panjang segmen saluran (L) didasarkan pada:

a. Kemiringan jalur jalan, disarankan agar kemiringan saluran mendekati kemiringan jalur jalan.
b. Adanya tempat buangan air seperti badan air (misalnya sungai, waduk, dll).
c. Langkah coba-coba schingga dimensi saluran paling ekonomis.

d. Luas daerah layanan (A)

a. Perhitungan luas daerah pelayanan didasarkan pada panjang ruas jalan yang ditinjau.
b. Perlu diketahui luas daerah pelayanan (A) untuk saluran pinggir jalan agar dapat diperkirakan kapasitasnya menahan curah hujan atau untuk memperkirakan volume limpasan permukaan yang akan ditampung oleh saluran pinggir jalan tersebut.
c. Luas daerah layanan terdiri atas luas setengah badan jalan (Al), luas bahu jalan (A2) dan luas daerah di sekitar (A3).
d. Luas wilayah layanan tergantung pada daerah sekitarnya dan topografi daerah sekitarnya. Panjang daerah drainase yang dihitung terdiri dari setengah lebar badan jalan (I1) dari lebar bahu jalan (I2) dan daerah sekitarnya (I3) yang terbagi menjadi daerah perkotaan yaitu ±10 m dan untuk wilayah di luar kota berdasarkan topografi wilayah.
e. Jika diperlukan, pada daerah perbukitan direncanakan beberapa saluran untuk menampung air limpasan dari daerah perbukitan dengan batas daerah layanan adalah puncak bukit tersebut tanpa merusak stabilisasi lereng. Sehingga saluran tersebut hanya menampung air dari daerah pelayanan di sekitarnya (A3).

e. Koefisien Pengaliran (C)

Koefisien limpasan (C) mempengaruhi kondisi permukaan tanah (penggunaan lahan) di wilayah layanan dan kemungkinan perubahan penggunaan lahan. Angka ini akan mempengaruhi debit yang mengalir, sehingga dapat diperkirakan kapasitas saluran. Untuk itu perlu dilakukan pemetaan topografi dan survei lapangan agar corak topografi di area proyek dapat lebih jelas.

Diperlukan pula jenis sifat erosi dan tanah pada daerah sepanjang trase jalan rencana, antara lain tanah dengan permeabilitas tinggi (sifat lulus air) atau tanah dengan tingkat erosi permukaan. Secara visual akan nampak pada daeran yang menunjukkan alur-alur pada permukaan.

f. Faktror Limpasan (fk)

a. Merupakan faktor atau angka yang dikalikan dengan koefisien limpasan biasa dengan tujuan agar kinerja unit tidak melebihi kapasitasnya akibat daerah drainase yang terlalu luas. Harga faktor limpasan (fk) disesuaikan

Tabel 2.30 Koefisien Pengaliran (C) dan Faktor Limpasan (Fk)

No	Kondisi permukaan tanah	Koefisien pengaliran (C)	Faktor Limpasan (fk)
	BAHAN		
1	Jalan beton dan jalan aspal	0,70 – 0,95	
2	Jalan krikil dan jalan tanah	0,40 – 0,70	
3	Bahu jalan :		
	Dari tanah berbutir halus	0,40 – 0,65	
	Dari tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20	
	Dari batuan masif keras	0,70 – 0,85	
	Dari batuan masif lunak	0,60 – 0,70	
	TATA GUNA LAHAN		
1	Daerah perkotaan	0,70 – 0,95	2
2	Daerah pinggiran kota	0,60 – 0,70	1
3	Daerah industri	0,60 – 0,90	1
4	Permukiman padat	0,40 – 0,60	2
5	Permukiman tidak padat	0,40 – 0,60	1
6	Taman dan kebun	0,45 – 0,60	0
7	Persawahan	0,70 – 0,80	0
8	Perbukitan	0,70 – 0,80	0
9	Pegunungan	0,75 – 0,90	0

(Sumber :Perencanaan Sistem Drainase, 2021)

Keterangan :

- Harga koefisien pengaliran (C) untuk daerah latar diambil nilai C yang terkecil dan untuk daerah diambil nilai C yang besar.
- Harga faktor limpas (fk) hanya digunakan untuk guna lahan sekitar saluran selain bagian jalan.

b. Bila daerah pengaliran atau daerah layana terdiri dari beberapa tipe kondisi permukaan yang mempunyai nilai C yang berbeda, harga C rata-rata ditentukan dengan persamaan berikut :

$$C = \frac{C_1\ A_1 + C_2\ A_2 + C_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad \text{.....(2.65)}$$

Dimana :

C1, C2, C3 = koefisien pengaliran yang sesuai dengan tipe kondisi permukaan

A1, A2, A3 = luas daerah pengaliran yang diperhitungkan sesuai dengan kondisi permukaan

fk = faktor limpasan sesuai guna lahan

g. Waktu konsentrasi (T_c)

Waktu terpanjang menyalurkan aliran yang dibutuhkan untuk seluruh daerah layanan dalam menyalurkan air secara simultan *(run off)* setelah melewati titik-titik tertentu. Waktu konsentrasi untuk saluran terbuka dihitung dengan ini :

Tc = t1 + t2 atau Tc = to + td .....(2.66)

$$t1 = \frac{2}{3} \text{ x } 3{,}28 \text{ x lo x } \left(\frac{nd}{\sqrt{is}}\right)^{0{,}16} \quad \text{.....(2.67)}$$

$$t2 = \frac{L}{60 \text{ x V}} \quad \text{.....(2.68)}$$

Dimana :

Tc = Waktu konsentrasi (menit)

t1/to= Waktu untuk mencapai awal saluran dari titik terjauh (menit)

t2/td = Waktu aliran dalam saluran sepanjang L dari ujung saluran (menit)

lo = Jarak titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

L = Panjang saluran (m)

nd = Koefisien tambahan

is = kemiringan saluran memanjang

V = kecepatan air rata-rata pada saluran drainase (m/det)

Tabel 2.31 Kemiringan Saluran Memanjang (is)

No	Jenis Material	Kemiringan Saluran is (%)
1	Tanah asli	0 – 5
2	Kerikil	5 – 7,5
3	Pasangan	7,5

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2021)

Tabel 2.32 Koefisien Hambatan (nd)

No	Kondisi Lapis Permukaan	Nd
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,020
3	Permukaan licin dan kokoh	0,100
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,200
5	Padang rumput dan rerumputan	0,400
6	Hutan gundul	0,600
7	Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan	0,800

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2021)

h. Analisa hidrologi

a. Data curah hujan

- Merupakan data curah hujan harian maksimum dalam setahun yang dinyatakan dalam mm/hari. Data curah hujan ini diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) yaitu stasiun curah hujan yang berada di wilayah pelayanan kanal pinggir jalan.
- Jika daerah pelayanan tidak memiliki data curah hujan, maka dapat digunakan data dari stasiun di luar daerah pelayanan yang dianggap representatif. Jumlah data curah hujan yang dibutuhkan minimal 10 tahun terakhir.

b. Periode ulang

Karakteristik hujan menunjukkan bahwa hujan besar tertentu memiliki periode ulang tertentu. Jangka waktu lang pembangunan saluran drainase ditetapkan selama 5 tahun, sesuai dengan peruntukannya.

c. Analisis frekuensi

Analisis frekuensi adalah analisis data hidrologi dengan menggunakan statistik yang bertujuan untuk memprediksi curah hujan atau debit dengan masa ulang tertentu. Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kala ulang (*return period*) diartikan sebagai waktu dimana hujan atau debit dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut. Dalam menghitung Analisa frekuensi hujan ini menggunakan metode *Gumbell*.

- Nilai Rata-Rata (*Mean*) Metode *Gumbell* :

  Xrata-rata = $\frac{1}{n}\sum$X1 (mm).....(2.69)

- Standar Deviasi Metode *Gumbell* :

  S = $\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i}^{n}=1\ (x1\text{-}x)^2}$.....(2.70)

- Curan Hujan Rancangan :

  X = Xrata-rata . $\frac{yt-yn}{sn}$. sd.....(2.71)

  Keterangan :

  X = Curah hujan rancangan

  $X_{rata-rata}$ = Nilai rata-rata arimatik hujan kumulatif

  Sd = Standar Deviasi

  Yt = *Reduced variate*

  Yn = *Reduced mean* yang tergantung jumlah sample/data n

  Sn = *Reduced standar deviation* yang tergantung pada jumlah *sample* atau data n

  n = Jumlah data

Tabel 2.33 *Reduce Variate* (Yt) Sebagai Fungsi Kata Ulang

Periode ulang (tahun)	*Reduce Variate* (Yt)	Periode Ulang (tahun)	*Reduce Variate* (Yt)
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,251	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5118

(Sumber : Drainase Perkotaan (Gunadarma :2011))

Tabel 2.34 *Reduce Standard Deviate* (Sn)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2066
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

(Sumber : Drainase Perkotaan (Gunadarma 2011))

Tabel 2.35 *Reduce Mean* (Yn)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388`	0,5396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518

Lanjutan **Tabel 2.35** *Reduce Mean* (Yn)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5581	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,6610	0,5611

(Sumber : Drainase Perkotaan (Gunadarma 2011))

d. Intensitas curah hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi. Intensitas curah hujan (I) mempunyai satuan mm/jam, berarti air persatuan waktu, misalnya mm dalam kurun waktu menit, jam atau hari.

$I = \frac{R24}{24} \times (\frac{24}{Tc})^{\frac{2}{3}}$ ..... (2.72)

e. Untuk menghitung debit aliran air (Q) menggunakan rumus :

$Q = \frac{1}{3,6}$ C.I.A ..... (2.73)

Dimana :

Q = Debit Aliran Air (m^3/detik)

C = Koefisien Pengaliran Rata-rata dari C1,C2,C3

I = Intensitas Curah Hujan (mm/jam)

A = Luas Daerah Layanan (km) terdiri atas A1,A2,A3

f. Untuk menghitung Kecepatan Aliran Air menggunakan Rumus Chezy

$V = C \cdot \sqrt{R \cdot I}$ ..... (2.74)

Dimana :

V = Kecepatan Air (m/det)

R = Radius Hidrolik

I = Kemiringan Saluran

C = Koefisien Pengaliran (menggunakan Rumus Bazin)

$$C = \frac{157,6}{1,81+\frac{m}{\sqrt{R}}} \quad \text{.....(2.75)}$$

Dimana :

M = Koefisien Bazin

R = Radius Hidrolik

Tabel 2.36 Koefisien Bazin

No	Keterangan Permukaan Saluran	M
1	Semen yang sangat halus atau kayu yang di ketam	0,11
2	Kayu tak di ketam, beton atau bata	0,21
3	Papan, batu	0,29
4	Pasangan batu pecah	0,83
5	Saluran tanah dalam keadaan baik	1,54
6	Saluran tanah dalam keadaan rata-rata	2,36
7	Saluran tanah dalam keadaan kasar	3,17

(Sumber : Hidrolika Terapan (Iin Karnisah 2010))

2.9.4 Kriteria perencanaan saluran

Perencanaan saluran terbuka secara hidrolika, jenis aliran yang terjadi adalah saliran terbuka *(open channel)*, yaitu pengaliran air dengan permukaan bebas. Perencanaan ini digunakan untuk perencanaan saluran samping jalan maupun gorong-gorong.

a. Saluran samping

Bahan bangunan saluran ditentukan oleh besarnya kecepatan rencana aliran air yang mengalir di saluran samping jalan tersebut.

Tabel 2.37 Aliran Air yang diizinkan

No	Jenis Material	V Izin (m/dt)
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,50
3	Lanau *alluvial*	0,60
4	Krikil halus	0,75
5	Lempung kokoh	0,75

Lanjutan **Tabel 2.37** Aliran Air yang diizinkan

No	Jenis Material	V Izin (m/dt)
6	Lempung padat	1,10
7	Krikil kasar	1,20
8	Batu-batu besar	1,50
9	Pasangan batu	1,50
10	Beton	1,50

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2021)

Kemiringan saluran ditentukan berdasarkan bahan yang digunakan. Hubungan antara bahan yang digunakan dengan kemiringan saluran arah dapat dilihat dari Tabel 2.38.

Tabel 2.38 Kemiringan Saluran Air Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis Material	Kemiringan saluran (%)
1	Tanah asli	0 – 5
2	Kerikil	5 – 7,5
3	Pasangan	> 7,5

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2021)

b. Gorong-gorong

Ditempatkan melintang jalan yang berfungsi untuk menampung air dari hulu saluran samping drainase dan mengalirkannya, dengan dimensi yang harus cukup besar untuk melewatkan debit air secara maksimum dari daerah pengaliran secara efisien dan dibuat dengan tipe permanen.

Pada umumnya struktur beton bertulang mengalami tegangan Tarik yang cukup besar akibat adanya gaya-gaya luar yang ada. Tegangan Tarik yang ada pada struktur beton bertulang.

Kontruksi gorong-gorong persegi standar, direncanakan sesuai standar tipe single, panjang gorong-gorong persegi, merupakan lebar jalan ditambah dua kali lebar bahu jalan dan dua kali lebar dinding sayap. Kontruksi gorong-gorong persegi beton bertulang ini direncanakan dapat menampung berbagai variasi lebar perkerasan jalan, sehingga pada prinsipnya panjang gorong-gorong persegi adalah bebas. Tetapi pada perhitungan volume dan berat besi

tulangan diambil terbatas dengan lebar perkerasan jalan uang umum yaitu 3,5 ; 4,5 ; 6 ; 7 meter.

Tabel 2.39 Ukuran Dimensi Gorong-gorong

Tipe Single		
L	T	H
100	100	16
100	150	17
100	200	18
200	100	22
200	150	23
200	200	25
200	250	26
200	300	28
300	150	28
300	200	30
300	250	30
300	300	30

(Sumber : Standar Gorong-gorong persegi tipe single, SNI PU)

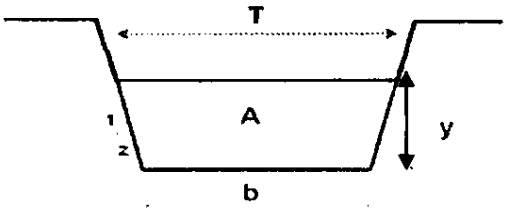
Penulangan gorong-gorong persegi beton bertulang ini dirancang sedemikian rupa sehingga mudah dilaksanakan dan mendapatkan hasil yang rapi sesuai dengan yang direncanakan. Penggunaan diameter tulangan berkisar antara 19 mm, 16 mm, 12 mm dan 10 mm untuk menghindari penggunaan tulangan dengan ukuran dan diameter yang beragam.

Bentuk segmen penulangan yang sederhana dan praktis di beberapa segmen gorong-gorong dan beratnya diperhitungkan sedemikian rupa.

2.9.5 Desain saluran samping dan gorong-gorong

Desain saluran dapat dibagi dalam beberapa jenis:

1. Saluran bentuk trapesium (saluran samping) :



Gambar 2.22 Saluran dengan bentuk trapesium
(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2021)

A = (b + z.y) y.....(2.76)

t = b + 2zy .....(2.77)

D = $\frac{A}{T}$ .....(2.78)

V = Kst. $R^{\frac{2}{3}}$. $I^{\frac{1}{2}}$ .....(2.79)

Q = V.A.....(2.80)

Penampang Ekonomis :

b + 2zy = 2 y $\sqrt{z^2 + 1}$ .....(2.81)

Tinggi Jagaan :

W = $\sqrt{0{,}5 \text{ x h}}$.....(2.82)

Dimana :

A = Luas Penampang melintang (m^2)

b = Lebar saluran (m)

p = keliling basah (m)

T = lebar puncak (m)

Y = kedalaman salurang yang tergenang air (m)

D = kedalaman hidrolis (m)

V = kecepatan rata-rata aliran (m/dt)

I = kemiringan dasar saluran

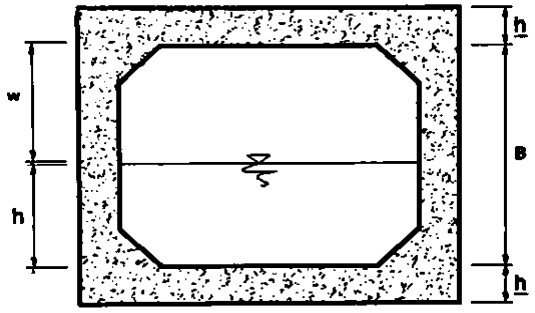
Q = debit aliran air (m^3/detik)

Z = perbandingan kemiringan talud

W = tinggi jagaan (m)

h = tinggi muka air (m)

2. Gorong-gorong bentuk persegi (*box culvert*) :



Gambar 2.23 Sketsa dengan bentuk persegi
(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase, 2021)

A = Q/V .....(2.83)

b = 2h .....(2.84)

A = 1 x h .....(2.85)

I = $\frac{R_t}{24}$ x $[\frac{24}{tc}]^{2/3}$ .....(2.86)

Tinggi Jagaan :

W = $\sqrt{0,5 \text{ x h}}$.....(2.87)

Dimana :

A = luas penampang melintang (m^2)

1 = lebar saluran (m)

V = kecepatan rata-rata aliran (m/dt)

W = tinggi jagaan

fi = tinggi muka air (m)

h = tebal penampang saluran (cm)

I = intensitas curah hujan

2.10 Manajemen Proyek

Manajemen proyek merupakan semua perencanaan, pelaksanaan, pengendalian, dan koordinasi suatu proyek dari awal (gagasan) sampai selesainya

proyek untuk menjamin bahwa proyek dilaksanakan tepat waktu, tepat biaya, dan tepat mutu.

Agar proyek yang sedang dilaksanakan berjalan dengan lancar, perlu disusun rencana kerja dan perhitungan agar proyek tersebut terkendali sesuai dengan rencana maupun biaya yang tersedia.

2.10.1 Daftar harga satuan bahan dan upah

Daftar harga satuan bahan dan upah tenaga kerja didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga tiap daerah. Maka dari itu, untuk menghitung dan menyusun anggaran biaya suatu proyek harus berpedoman pada harga satuan bahan dan upah tenaga kerja sesuai dengan lokasi proyek.

2.10.2 Analisa harga satuan pekerjaan

Perhitungan analisa satuan harga pekerjaan dilakukan dengan menghitung volume masing-masing bahan, pekerjaan, dan alat berat yang dibutuhkan tiap pekerjaan, koefisien tenaga kerja, serta besarnya biaya yang dibutuhkan. Perhitungan ini dianalisa berdasarkan daftar harga satuan bahan dan upah yang didapatkan.

2.10.3 Rencana kerja

Rencana kerja merupakan pembagian waktu secara rinci yang disediakan untuk masing-masing bagian pekerjaan dari awal hingga akhir. Beberapa hal dari rencana kerja yang dapat digunakan untuk memantau jalannya kegiatan suatu proyek adalah:

1. Diagram batang *(Barchart)* dan Kurva S

   Barchart merupakan suatu diagram yang terdiri dari kolom arah vertikal dan horizontal yang menunjukkan waktu dimulai suatu pekerjaan hingga selesai sesuai rencana. Kolom-kolom tersebut berisikan koefisien yang akan membentuk sebuah kurva.

2. *Critical Path Method* (CPM)

Pada *Network Planning* terdapat *Critical Path Method* yang digambarkan dengan lambang anak panah sehingga sering disebut juga sebagai *activity on arrow*. *Critical Path Method* terdiri dari anak panah dan lingkaran atau segi empat, dimana anak panah menggambarkan kegiatan/aktivitas dan lingkaran atau segi empat menggambarkan kejadian atau *event*.

Gambar 2.24 Keterangan *Critical Path Method* pada *Network Planning*
(Sumber : Ervianto, Wulfram I. 2007)

2.10.4 Perhitungan rancangan anggaran biaya (rab)

Rancangan Anggaran Biaya (RAB) merupakan perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk pelaksanaan proyek tersebut. Anggaran tersebut harus dihitung dengan teliti dan cermat agar dan memenuhi syarat proyek serta tidak terjadi kekeliruan pada saat proyek mulai dilaksanakan.