

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. TINJAUAN UMUM

2.1.1. Pengertian

Pengertian sirkuit (*circuit*) menurut *Federation Internationale del'Automobile* (FIA) dalam buku tahunannya, *Yearbook of Automobile Sport, 2002* diartikan sebagai berikut : *A circuit is a closed course, permanent or temporary, beginning and ending at the same point, built or adapted specifically for motor car racing.* Jadi sirkuit adalah suatu arena tertutup, baik permanen maupun temporer, dimana permulaan atau start dan pengakhiran atau finish terletak pada satu titik tangkap yang sama dan dibangun atau disesuaikan secara khusus untuk balapan mobil dan motor.

Sedangkan pengertian balap (*race*) menurut FIA adalah *an event held on a closed circuit between two or more vehicles, running at the same time on the same course, in which speed or the distance covered in a given time is the determining factor.* Balap atau *race* diartikan sebagai sebuah even yang diselenggarakan di sebuah sirkuit antara dua atau lebih kendaraan pada saat yang bersamaan atau berlainan dalam sebuah arena yang menggunakan waktu dan jarak sebagai acuan.

Pada dasarnya sirkuit untuk balap mobil maupun motor hampir tidak memiliki perbedaan yang menonjol, tetapi yang membedakan adalah karakter trek atau lintasannya. Misalnya untuk lintasan balap motor tidak memiliki *kerbstone* atau semacam gundukan yang terdapat pada setiap pinggirannya yang berfungsi sebagai pembatas antara lintasan dengan hamparan kerikil (*gravel bed*).

2.1.2. Fungsi Sirkuit

Sirkuit balap otomotif memiliki fungsi yang ditinjau dari beberapa unsur yang terkait, adapun fungsi dari sirkuit adalah :

1. Peserta Balap

- sebagai ajang berkompetisi untuk menguji keterampilan dan keberanian.
- merupakan ajang menguji teknologi

- sebagai arena untuk latihan rutin
 - sebagai sarana promosi otomotif maupun yang mendukungnya
2. Penonton Balap
 - wadah hiburan bagi masyarakat
 - wadah penyaluran hobi otomotif
 - ajang pengenalan penerapan teknologi otomotif baru.
 3. Penyelenggara kegiatan kejuaraan otomotif, sebagai tempat untuk menyelenggarakan kejuaraan otomotif yang legal.
 4. Pengguna yang lain, yaitu :
 - Pihak pabrikan kendaraan bermotor, sebagai sarana promosi komersial atas kendaraan yang diproduksi dengan jalan mendukung sebuah tim dengan menyediakan kendaraan yang digunakan agar publik mengenal kendaraan waktu peluncuran dan juga sebagai sarana pembuktian kepada publik keandalan produk yang dibuat.
 - Pabrikan produk pendukung otomotif (oli, ban, aksesoris, dsb), yaitu sebagai ajang promosi produk pabrik tersebut.
 - Pihak-pihak yang ingin berpromosi dengan menggunakan ruang-ruang pada sirkuit maupun kendaraan yang digunakan.
 - Pihak institusi otomotif, seperti IMI (Ikatan Motor Indonesia), atau klub otomotif dengan memanfaatkan ruang pendukung untuk kantor dan tempat pertemuan.
 5. Sekolah balap otomotif (jika tersedia), merupakan tempat untuk berlatih pada arena sesungguhnya.

2.1.3. Jenis Sirkuit

Berdasarkan karakter lintasan, sirkuit diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Sirkuit Permanen
 - Sirkuit permanen multi-fungsi, yaitu sebuah sirkuit yang digunakan untuk berbagai macam jenis balap otomotif, baik mobil ataupun motor. Contohnya adalah Sirkuit Sentul Indonesia dan Sirkuit Sepang Malaysia.

- Sirkuit permanen dengan fungsi khusus, seperti Sirkuit Indianapolis yang merupakan sirkuit berbentuk oval yang digunakan untuk kejuaraan *Indy-car* dan NASCAR
- Sirkuit permanen dengan fungsi tunggal, dimana sirkuit ini hanya menyelenggarakan satu jenis perlombaan saja, seperti Sirkuit Pugeran Yogyakarta, Sirkuit Kenjeran Surabaya, dan Sirkuit Tawang Mas Semarang.

2. Sirkuit Temporer

Sirkuit ini biasanya berasal dari jalan raya yang kemudian diubah menjadi sirkuit yang memenuhi standar balap, seperti Sirkuit *Albert Park* Melbourne, Sirkuit Monaco, Sirkuit Pahlawan Semarang dan Sirkuit Purbalingga.

2.1.4. Jenis Perlombaan Balap Internasional

Klasifikasi perlombaan balap internasional yang diakreditasi oleh FIA dan FIM berdasarkan jenis kendaraan, kapasitas mesin dsb adalah sebagai berikut :

1. Balap Mobil

a. Formula 1

Merupakan kelas tertinggi di dunia untuk balap mobil *single seater* yang terakreditasi oleh FIA. Kapasitas mesin untuk mobil F1 dibatasi hingga 3000 HP dan 10 silinder.

b. F3000, CART, IRL, HGP (*Thoroughbred GP*), *F/Nippon*, *Group C*, IMSA, (PSCR), JAF, LM1/2, *Interserie*

Mempunyai bentuk besutan yang hampir sama dengan F1, yang membedakan pada pabrikan mesin, kapasitas mesin dan regulasi yang dikeluarkan FIA. Dalam satu musim balapan F3000 diselenggarakan 12 kali even pada sirkuit yang berbeda. F3000 terkenal dengan sebutan F1 junior, karena pada level ini sebagai batu loncatan untuk masuk ke F1 dan kebanyakan pembalapnya sebagai pembalap uji coba di F1.

c. *Grand Touring* (FIA, GT1, IMSA), NASCAR, *Single Seater over 2000 cc*, *Sport Car over 2000 cc*.

Mempunyai bentuk besutan yang berbeda dengan kendaraan formula

1. Bentuknya menyerupai kendaraan diproduksi untuk umum, namun

dimodifikasi sedemikian rupa sehingga khusus digunakan untuk balapan. Kelas ini merupakan kelas tertinggi untuk cabang *touring car*.

- d. F3, Formula Atlantik, Formula Asia, *Historic Car (Single Seater HSS)*, GT2 dan GT3 (*Group B-Ferrari, Porsche Cup*), *Sport Car up to 2000 cc* (Spider Renault), *Super Touring (ST, Procar, Trans-Am Lights, Tranzam Lights, STW Belge)*.

Terdapat dua jenis kendaraan dalam kelas ini, yaitu formula dan jenis *sports*. Formula 3 mempunyai regulasi dengan F3000, yang berbeda pada kapasitas mesinnya. GT2 dan GT3 mempunyai bentuk dan regulasi yang hampir sama dengan GT1, namun dengan kapasitas mesin yang berbeda.

2. Balap Motor

a. MotoGP

Merupakan kelas tertinggi untuk jenis balap sepeda motor. Kelas ini dahulu bernama GP 500, namun mulai tahun 2002 berganti nama menjadi MotoGP. Kelas ini mengizinkan para tim untuk memilih menggunakan mesin penggerak 2-tak atau 4-tak. Kapasitas mesin berkisar antara 500 cc-900 cc.

b. *Superbike*

Kelas ini menggunakan jenis besutan atau kendaraan diproduksi untuk umum. Hal ini berbeda dengan MotoGP yang menggunakan besutan khusus balapan. Artinya besutan untuk *superbike* dapat digunakan di jalan raya seperti halnya motor biasa. Kapasitas mesin yang digunakan berkisar 750 cc-900 cc.

c. GP 250

Pada kelas ini hanya diperbolehkan menggunakan jenis mesin 2-tak dengan kapasitas mesin 250 cc. Namun memiliki regulasi yang mirip dengan kelas MotoGP.

d. GP 125

Memiliki regulasi yang mirip dengan GP 250, namun dengan kapasitas mesin 125 cc.

e. Sepeda Motor lebih dari 150 cc

Kelas ini hampir sama dengan kelas *superbike*, namun dengan kapasitas mesin antara 150 cc-750 cc dengan *option* mesin penggerak 2-tak atau 4-tak.

f. Sepeda Motor sampai 150 cc.

Kelas ini merupakan kelas penutup pada jenis balap sepeda motor. Kendaraan yang digunakan merupakan jenis kendaraan sehari-hari. Motor jenis bebek termasuk dalam kategori kelas ini.

2.1.5. Kriteria Penentuan Lokasi dan Tapak Sirkuit

Langkah penting dalam proses perencanaan sirkuit adalah pemilihan lokasi dan tapak yang sesuai dengan kriteria-kriteria yang dibutuhkan dalam fungsinya sebagai sirkuit internasional itu sendiri. Kriteria-kriteria yang dibutuhkan dalam menentukan lokasi adalah sebagai berikut :

1. Faktor Peruntukan

Lokasi yang digunakan harus merupakan tanah yang diperuntukkan fasilitas umum, hiburan termasuk olah raga.

2. Faktor Luas

Luas tapak yang dipilih harus memenuhi kebutuhan luas bangunan yang ada, berstandar internasional dan memenuhi luas lintasan balap itu sendiri yang tentunya disesuaikan dengan standar internasional juga. Lintasan sirkuit membutuhkan jenis tanah yang kondusif untuk lintasan, yaitu jenis tanah yang tidak memberikan jalan kepada air tanah untuk naik ke permukaan secara berlebihan, sebab akan menyebabkan timbulnya bercak di lintasan yang akhirnya akan memunculkan lumut sehingga lintasan menjadi licin.

3. Faktor *Accesibility* ke Tapak

Faktor terpenting dalam pemilihan lokasi yaitu kemudahan pencapaian ke lokasi dari bandar udara dan juga lokasi tersebut harus dapat dilalui oleh mobil-mobil besar.

4. Faktor Infrastruktur

Sarana dan prasarana yang mendukung pelaksanaan operasional sebuah sirkuit dengan standar internasional seperti jaringan air, telepon, listrik, dan jalur pembuangan air kotor yang memadai.

5. Faktor Lebar Jalan Minimum

Lebar jalan minimum yaitu 10 meter dengan pertimbangan kemudahan bermanuver kendaraan-kendaraan besar.

6. Faktor Kestrategisan Lokasi

Faktor yang mempertimbangkan daerah jangkauan pelayanan yang dapat mencakup wilayah yang cukup luas atas dasar perkembangan daerah itu sendiri yang menjadi perhatian daerah-daerah sekitarnya. Diisyaratkan pula bahwa sirkuit balap berstandar internasional juga harus dekat dengan fasilitas hotel berbintang yang representatif dan akses ke rumah sakit dengan peralatan canggih.

2.2. TINJAUAN KHUSUS

2.2.1. Fasilitas Sirkuit

Menurut FIA sebuah sirkuit permanen berstandar internasional harus mempunyai fasilitas sirkuit sebagai berikut :

1. Bangunan Pit

Pit Building atau bangunan pit merupakan bangunan utama sirkuit yang terdiri dari beberapa *pit box* atau pit garasi pada lantai pertama yang digunakan untuk persiapan tim balap dan kendaraannya sebelum dan saat membalap, juga saat terjadi kerusakan, pengisian bahan bakar atau *pit stop*, sedangkan lantai kedua biasanya digunakan untuk kantor operasional sirkuit dan ruang *hospitality* yang berfungsi untuk menjamu para tamu atau relasi dari tim-tim balap atau perusahaan pendukung.

a. Lokasi

Bangunan pit terletak di antara *pit-lane* (lintasan untuk keluar-masuk pit) dan area *paddock*.

b. Besaran ruang

Menurut FIA, bangunan pit memiliki besaran total minimal 1400 m² (lantai dasar), yang terdiri dari beberapa *pit box* atau pit garasi dengan minimal panjang 6 m dan lebar 5 m.

c. Perlengkapan bangunan

Bangunan pit khususnya *pit box* atau pit garasi memiliki persyaratan bangunan yaitu :

1.) Keamanan

Tiap *pit box* harus memiliki penahan atau dinding untuk mencegah hubungan langsung dengan *pit box* lainnya. Namun partisi tersebut dapat

dibuka untuk digunakan oleh tim yang menyewa lebih dari satu *pit box*. Setiap *pit box* juga harus mampu mengamankan elemen-elemen yang ada di dalamnya, serta terlindung dari angin, hujan dan bebas dari masuknya air ke dalam pit.

2.) Kelistrikan dan pencahayaan

Tiap 50 m² dari beberapa boks harus dilengkapi paling sedikit 6 saluran listrik. Tiap saluran paling sedikit 16 Ampere. Semua *pit box* dan pit garasi harus mempunyai penerangan min 500 lux, dan juga dilengkapi dengan kabel untuk dihubungkan dengan *timekeeping* dan sinyal televisi.

3.) Air Drainase

Setiap *pit box* harus memiliki akses untuk air dan drainase yang baik.

4.) Saluran Kompresor Udara

Setiap *pit box* harus dilengkapi dengan saluran kompresor udara.

5.) Pencegah Kebakaran

Setiap *pit box* harus dilengkapi dengan alat pemadam kebakaran, seperti *Extinguisher*.

6.) Fasilitas lain yang terdapat pada bangunan pit antara lain ruang pers, *parc ferme*, podium juara, ruang *hospitality* dan ruang pengelola.

d. Ruang Pers (*press room*)

Lokasi disarankan berada di atas lantai dasar dengan maksud agar memiliki pandangan yang maksimal ke garis start-finish maupun *pit lane*. Ruang ini harus dilengkapi dengan penghangat atau pendingin ruangan. Ruang pers juga dilengkapi dengan ruang untuk pengelola pers, internet, informasi tim, *reception desk*, TV monitor, video *recorder*, alat fotokopi, ruang pelayanan dan laboratorium fotografer, instalasi untuk komentator TV dan sambungan telepon dan komunikasi.

e. Podium Juara

Letak podium harus dapat terlihat dari tribun utama dan terlindungi saat penyerahan *trofi* juara dengan menggunakan semacam garis pembatas yang bersifat sementara terhadap posisi podium untuk memberikan ruang yang maksimal bagi fotografer. Jarak antara mimbar dengan garis terluar podium minimal 120 cm untuk sirkulasi. Lantai podium harus tertutup dengan karpet

biru tua atau hijau. Letak podium juara disarankan berdekatan dengan ruang pers karena setelah acara penyerahan *trofi* dilanjutkan dengan wawancara di ruang pers.

f. *Parc ferme*

Merupakan ruangan yang bersifat sementara yang digunakan untuk parkir kendaraan juara, biasanya terletak di bawah-depan podium juara. Area ini harus tertutup pagar temporer dan hanya memiliki sebuah pintu masuk. Area ini menurut standar FIM minimal memiliki luas sebesar 300 m².

g. Ruang *hospitality*

Merupakan ruangan yang berfungsi untuk menjamu para tamu atau relasi dari tim-tim balap atau perusahaan pendukung. Ruangan ini terletak di atas pit garasi, sehingga didapatkan pandangan yang baik ke arah garis start-finish dan *pit lane*. Ruangan ini juga dapat disewakan kepada umum tergantung dari konsep perencanaan pengelola sirkuit.

h. Ruang Pengelola

Ruang pengelola terletak di bangunan pit dengan maksud agar pengelolaan sirkuit dapat berjalan maksimal dan dapat berhubungan dengan ruang-ruang lain selama perlombaan.

2. Menara Kontrol Balap (*Race Control Tower*)

Menara kontrol balap (RCT) merupakan pusat kendali, pengawasan, dan pengaturan balap. Dalam ruangan ini terdapat ruang untuk para official lomba (*Stewards of Meeting*) beserta anggotanya yang digunakan selama perlombaan.

a. Lokasi

Menurut FIA dalam buku tahunannya, *Yearbook of Automobile Sport, Appendix H, 1999*, bahwa *race control* berupa sebuah bangunan yang terletak berdekatan dengan garis start dan memiliki akses khusus ke trek dan *pit lane*. Area bangunan ini hanya boleh digunakan oleh panitia lomba, agar dapat mendapatkan pandangan yang maksimal ke seluruh trek dan *pit lane*. *Race control* hendaknya diletakkan satu garis lurus dengan bangunan pit, yang biasanya berada di ujung bangunan pit.

b. Peralatan dan Perlengkapan

RCT harus dilengkapi dengan :

- sistem komunikasi dalam sirkuit yang dihubungkan dengan pos-pos pengamatan, pos-pos darurat utama, dan pelayanan jaringan yang lain (misal ke ruang pers yang berada di pit).
- sebuah telepon yang dihubungkan dengan jaringan telepon kota.
- jaringan *interkom* yang dihubungkan dengan official yang berada di trek.
- sebuah pemancar dan penerima radio untuk komunikasi dengan kendaraan dan pos-pos (*internal network*).
- sebuah jaringan mikrofon yang dihubungkan dengan bangunan pit dan *paddock* serta ke sistem untuk publik.
- TV monitor dan sistem panel pengatur (*switching systems*)
- *Closed Circuit Television (CCT)*
- Fasilitas pemanas atau pendingin ruangan.

Fasilitas ruang lain yang berhubungan dengan *Race Control Tower* adalah :

- Pos Pencatat waktu (*timekeeping post*) dan hasil lomba (*result office*)

Lokasi ini harus memungkinkan bagi petugasnya untuk mendapatkan hasil pengamatan yang sebaik mungkin. Sedangkan pos hasil lomba dapat diletakkan di dekat pos pencatat waktu, namun tetap terpisah dan dapat memuat minimal beberapa mesin ketik dan mesin fotokopi.

- Ruang official (*official's room*)

Ruang juri berlokasi di dekat atau berada di *race control*, di mana ruangan ini dapat diakses bagi pembalap yang ingin bertanya atau bahkan protes terhadap keputusan hasil lomba. Ruangan ini disebut dengan FIM and FIA *steward room*. Ruangan ini disyaratkan dilengkapi dengan pendingin udara dan sebuah meja dengan 12 kursi.

- Ruang delegasi FIA atau FIM

Menurut FIA dalam buku tahunannya, *Yearbook of Automobile Sport, 2000*, disebutkan bahwa FIA mengangkat delegasinya untuk kepentingan selama perlombaan, sebagai berikut :

- 1.) Delegasi keamanan (*Safety Delegate*)
- 2.) Delegasi medis (*Medical Delegate*)

- 3.) Delegasi Teknik (*Technical Delegate*)
- 4.) Delegasi Pers (*Press Delegate*)
- 5.) Perwakilan Presiden FIA (*a representative of the President of the FIA*)
- 6.) Pengamat (*an observer*)
- 7.) Penasihat stewards (*a stewards advisor*)

3. Pusat Kesehatan (*Medical Centre*)

Fasilitas ini mencakup sebuah klinik atau rumah sakit kecil yang berfungsi mirip dengan instalasi gawat darurat pada rumah sakit umumnya, yang siap terhadap segala kemungkinan kecelakaan yang menimpa pembalap, *marshall* atau pengawas. *Medical Centre* harus dilengkapi peralatan medis canggih, minimal instalasi operasi dan penanganan luka bakar. Juga dilengkapi dengan helikopter, ambulans dan beberapa unit kendaraan penolong.

4. Tribun Utama (*Grandstand*)

Tribun utama termasuk dalam fasilitas untuk umum. Fasilitas tersebut haruslah sesuai dengan peraturan setempat mengenai peraturan bangunan yang mencakup peraturan tentang keramaian, tempat parkir, pertolongan pertama, pemadam dan pencegah kebakaran.

Tribun utama pada umumnya mencakup instalasi sebagai berikut :

- Tribun, baik VIP maupun festival, tertutup dan tidak tertutup.
- Ruang yang memadai untuk parkir.
- Restoran/kafe.
- Fasilitas Umum (*Public Convenience Facilities*), antara lain toko souvenir, klinik kecil, tempat ibadah, *lavatory* yang memadai, dan lain sebagainya.

Menurut Standar SNI T-25-1991-03, SKB Men. PU dan Menpora tentang Tata Cara Perencanaan Teknik Bangunan Stadion, disebutkan bahwa tempat duduk penonton memiliki besaran sebagai berikut :

- VIP, panjang min x lebar min = 0,8 m x 0,5 m; panjang max x lebar max = 0,9 m x 0,6 m.
- Biasa, panjang min x lebar min = 0,8 m x 0,4 m; panjang max x lebar max = 0,9 m x 0,5 m.

Sedangkan ketentuan untuk toilet penonton dengan perbandingan penonton wanita dan pria adalah 1 : 4, yang penempatannya dipisahkan. Fasilitas yang dibutuhkan minimal dilengkapi dengan :

- Jumlah kakus jongkok untuk pria dibutuhkan minimal 1 buah kakus untuk 200 penonton pria dan 1 buah untuk 100 penonton wanita.
- Jumlah bak cuci tangan yang dilengkapi dengan cermin, dibutuhkan minimal 1 buah untuk 200 penonton pria dan 1 buah untuk 200 penonton wanita.
- Jumlah peturasan yang dibutuhkan minimal 1 buah untuk 100 penonton pria.

2.2.2. Sistem Pengaman Lintasan

Untuk keamanan dan keselamatan bagi pembalap, pengawas, official tim, maupun penonton yang berada di sepanjang lintasan, maka lintasan harus diberi pengaman atau penahan (*barriers*).

Pada dasarnya penahan digunakan untuk menghilangkan energi yang terbawa kendaraan sebelum menabrak penahan. Energi tersebut harus dihilangkan tanpa memberi mobil beban yang bisa menyebabkan struktur pelindung pembalap (*safety cell*) rusak dan mencederai pembalap, atau memberi beban pada pembalap akibat perlambatan yang menyebabkan luka dalam atau membuatnya menghantam *safety cell*, terutama bagian kepala.

(www.grandprix.com/features/technical/barriers).

Tiap penahan memiliki karakter yang berbeda tergantung dari karakter lintasan. Sistem penahan (*barriers*) terbagi menjadi dua macam, yaitu penahan untuk lintasan lurus dan penahan untuk belokan.

2.2.2.1. Sistem Penahan Lintasan Lurus

Lintasan lurus merupakan kasus tersendiri, karena kemungkinan rusaknya komponen pada kecepatan tinggi meningkat dan kesempatan untuk menyusul (dan karenanya menabrak mobil lain) sangat tinggi, kecelakaan sering terjadi di sana.

Sebagian besar kecepatan dan energi dihilangkan sepanjang pengaman, bahkan jika mempunyai percepatan kurang lebih 4G melintas trek, mobil akan menghantam pengaman dengan komponen kecepatan tegak lurus kurang lebih 80 km/jam.

2.2.2.2. Sistem Penahan Pada Belokan.

Memagari pinggiran trek dengan tembok menjadi percuma jika geometri sirkuit menyebabkan kecepatan benturan tegak lurus di atas 60-80 km/jam, sebagai contoh lintasan lurus yang menuju tikungan yang membuat mobil harus direm keras untuk mengurangi kecepatan masuk tikungan.

Daerah *run off* disediakan agar muncul perlambatan dalam tingkat rendah sekitar 1G dan agar pembalap bisa kembali ke trek (lintasan sirkuit) dan daerah tersebut dipagari pengaman, yang spesifikasinya ditentukan oleh kecepatan yang tersisa dan arah benturan.

Ketebalan pengaman merupakan salah satu parameter penting yang menentukan kinerjanya, makin besar jarak yang tersedia untuk mengurangi laju mobil, makin rendah tingkat gaya gravitasi perlambatan dan makin lunak pengaman yang dibuat. Bagaimanapun, jika pengaman terlalu tebal dan lunak, mobil bisa masuk terlalu dalam sehingga permukaan pengaman mencapai kokpit dan mencederai pembalap, atau membuat pembalap terjebak dan menyulitkan tim penolong.

Konfigurasi terbaik untuk pengaman pada tikungan adalah ban yang dibuat, tabung, dan sabuk berjalan, diuji pada kecepatan 80 km/jam (77% energi), kecepatan dimana pengaman menyerap hampir 80% energi kereta uji, bagian hidung menyerap sisanya, tanpa mencapai gaya 30G saat hidung hancur.

2.2.3. Konsep Pengembangan Sirkuit

Konsep Pengembangan Sirkuit antara lain :

1. Panjang Lintasan Sirkuit

Panjang lintasan sirkuit maksimum yang diijinkan pada lintasan lurus oleh FIA adalah sepanjang 2 km dan panjang lintasan sirkuit baru tidak boleh melebihi dari 7 km. Kriteria dalam menentukan panjang lintasan yang lurus maupun untuk tikungan, didapat dari mobil yang mempunyai performa yang tinggi dan tidak berdasarkan pada bentuk geometri dari *layout* sirkuit tersebut.

Sedangkan panjang lintasan sirkuit minimum yang ditetapkan oleh FIA akan dijelaskan di bawah ini :

a. Panjang Lintasan Sirkuit Minimum Dalam Even Balap FIA

Tabel dibawah ini ditetapkan berdasarkan atas keputusan bersama FIA untuk semua even balap internasional.

Tabel 2. 1 Panjang Lintasan Sirkuit Minimum yang Dibutuhkan Dalam Waktu Tertentu

Jenis Mobil	Panjang lintasan sirkuit minimum yang dibutuhkan dalam waktu		
	2 jam 45 menit (km)	6 jam (km)	12 jam (km)
Mobil sport	3.5	3.7	4.7
GT	3.5	3.7	4.7
F.1	3.5	-	-
F.3000	3.2	-	-
Mobil Touring	3.0	3.2	4.0
F.3	2.0	-	-

Sumber : www.fia.com/regulation/circuit/appendix_o

Catatan : Panjang lintasan minimum sebuah sirkuit bagi even balap internasional adalah 2 km. Bagi sirkuit yang lebih pendek dari 2 km dalam even balap internasional, maka FIA akan mengenakan sanksi terhadap assosiasi balap nasional dalam suatu negara yang mengadakan even tersebut.

b. Jumlah Maksimum Mobil yang Berada Pada Garis Start Dalam Even Internasional

Jumlah maksimum mobil yang berada pada garis start dalam sebuah even balap internasional adalah sebagai berikut :

Nilai maksimum (N) dirumuskan dalam :

$$N = 0.36 \times L \times W \times T \times G, \text{ dimana :}$$

L = Koefisien yang didapat dari panjang sirkuit rencana

Tabel 2. 2 Koefisien L

Panjang Sirkuit	L
2 km	10
2 km s.d 2.6 km	11
2.6 km s.d 3.2 km	12
3.2 km s.d 3.8 km	13
4.4 km s.d 4.8 km	14

4.8 km s.d 5.2 km	15
5.2 km s.d 5.6 km	16
5.6 km s.d 6 km	17
6 km s.d 8 km	18

Sumber : www.fia.com/regulation/circuit/appendix_o

W = Koefisien yang didapat dari lebar lintasan sirkuit minimum

Tabel 2.3 Koefisien W

Lebar Sirkuit	W
8	9
9	9
10	10
11	10
12	10
13	11.5
14	12
15 (lebar maksimum yang diijinkan)	12.5

Sumber : www.fia.com/regulation/circuit/appendix_o

T = Koefisien yang didapat pada lamanya even balap yang diselenggarakan

Tabel 2.4 Koefisien T

Waktu dalam Jam	T
1	1
1 s.d 2	1.15
2 s.d 4	1.25
4 s.d 12	1.4
> 12	1.5

Sumber : www.fia.com/regulation/circuit/appendix_o

G = Koefisien yang didapat dari kategori mobil yang mengikuti even balap tersebut

Tabel 2. 5 Koefisien G

Kategori Mobil	G
Grup N, A, B dan Mobil Touring dan Mobil GT	1.00
Mobil sport, dan <i>single seater</i> dari 2000 cc dan mobil sekelasnya	0.80
Mobil sport lebih dari 2000 cc	0.70
<i>Single seater</i> lebih dari 2000 cc	0.60

Sumber : www.fia.com/regulation/circuit/appendix_o

FIM menetapkan panjang lintasan sirkuit minimum bagi even perlombaan balap internasional yaitu antara 3.5 km sampai 10 km.

2. Lebar Lintasan Sirkuit

Untuk lebar lintasan bagi sirkuit permanen, FIA menetapkan lebar minimum sebesar 12 m, sedangkan FIM menetapkan lebar lintasan tidak boleh kurang dari 10 m. Apabila lintasannya mempunyai lebar yang sempit, maka diharuskan mempunyai lengkung peralihan ± 1 m dari 20 m panjang total.

Menurut FIA lebar lintasan pada garis start, harus mempunyai lebar minimum 15 m, sedangkan FIM menetapkan lebar lintasan minimum adalah 12 m dan harus konstan setidaknya-tidaknya 250 m setelah garis start.

3. Lintasan Start

Menurut FIA, garis start harus mempunyai jarak ± 6 m dari tiap-tiap grid dalam even perlombaan balap mobil dan 8 m untuk kejuaraan formula 1 dunia.. Sedangkan FIM menetapkan *pole position* berada 1 m di belakang garis start dan panjang lintasan tiap baris adalah 9 m.

Jarak minimum antara garis start dengan tikungan pertama yang ditetapkan FIA adalah ± 250 meter. Untuk tikungan dengan sudut $\pm 45^0$, harus mempunyai radius kurang dari 300 m. FIM menetapkan jarak minimum antara garis start dengan tikungan pertama adalah 200 m.

4. Batas Lintasan, Tepi Lintasan, dan Area Samping

Menurut FIA semua tepi, batas lintasan dan area samping harus mempunyai elevasi yang sama di semua lintasan sirkuit dan semua area di belakang *curbstone*. Di semua area tertutup hamparan rumput harus dijaga keindahannya dan kerapiannya, rumput yang basah dan semua vegetasi liar harus dihilangkan. Vegetasi-vegetasi liar harus dihilangkan dari sekitar area hamparan

kerikil. Semua area samping dari garis perlindungan pertama harus bersih dari segala hal yang dapat mengganggu jalannya perlombaan.

5. Batas Lintasan, Tepi Lintasan, dan Area *Run-Off*

Menurut FIA sebuah sirkuit permanen harus dibatasi di keseluruhan lintasannya dan di kedua sisi lintasan sampingnya dengan batas lintasan yang kompak. Biasanya mempunyai lebar antara 1 m dan 5 m. Batas lintasan ini harus menerus di profil melintang dari lintasannya, dengan tidak ada jarak antara lintasan dengan tepi lintasan.

Area *run off* adalah sebuah area antara batas lintasan dengan garis pertama dari perlindungan. Area *run off* harus rapat dengan batas lintasannya. Jika dalam area tersebut terdapat slope, maka tidak boleh melebihi 25 % menaikinya (tidak termasuk dalam area hamparan kerikil) atau 3 % menurunnya, dengan perubahan yang halus dari lintasan ke area *run off* dan masih berhubungan dengan permukaan lintasan.

6. Instalasi Lintasan Pit

Menurut FIA lintasan pit harus mempunyai lebar ± 12 m, dengan garasi pit dan fasilitas kontrol balap. Lintasan pit ini harus dekat dengan lintasan start dan mempunyai jarak antara lintasan sirkuit dengan lintasan pit sepanjang 4 m untuk menyediakan batas/ruang antara dinding pit dengan fasilitas persinyalan. Panjang dari lintasan pit per mobil adalah 7 m, dengan 4 m yang menjadi minimum dari instalasi sebuah lintasan pit. FIM menetapkan panjang lintasan pit 6 m dan lebarnya 5 m. Sedangkan luas permukaan sebuah lintasan pit adalah 1400 m².

7. Fasilitas Pelengkap Lintasan Sirkuit

a. Jalan Layanan (*Service Road*)

Jalan layanan adalah jalan yang berada di belakang garis pertama perlindungan sebagai layanan darurat yang memiliki ruang yang cukup untuk melewati jumlah kendaraan yang mengalami kecelakaan beserta para pembalap untuk keluar secepatnya dari lintasan. Jalan layanan ini menjadi titik akses lintasan ke pusat kesehatan dan *helipad*. Jalan layanan harus mempunyai permukaan yang halus dan terjaga dari kerusakan.

b. Pos Pengawas (*Marshall Post*)

Bangunan ini ditempatkan di sepanjang lintasan dengan jarak tiap-tiap pos pengawas tidak boleh melebihi 200 m. Pos pengawas ini terletak di belakang pagar pengaman ataupun *guard rail* setidaknya-tidaknya 1 m. Bangunan ini merupakan pos pengawas bagi marshall yang bertugas sebagai :

- Pengawas yang memperingatkan kepada para pembalap melalui sinyal apabila terjadi hal-hal yang berbahaya ataupun kecelakaan di lintasan sirkuit
- Pengawas yang membersihkan area lintasan untuk menghilangkan genangan oli atau hal-hal yang tidak diinginkan yang dapat membahayakan para pembalap, para penonton, official tim maupun marshall sendiri selama balapan berlangsung.

c. Pagar Pengaman

Pagar pengaman di sini berupa *guard rail*, pagar beton dan pagar yang terbuat dari *wire mesh*. *Guard rail* terpasang mengelilingi keseluruhan lintasan sirkuit dan di kedua sisi lintasannya. *Guard rail* berfungsi sebagai pagar pengaman lintasan terhadap bangunan fasilitas di sekitarnya utamanya terhadap para penonton, para pembalap, official tim dan para marshall selama balapan berlangsung.. Sedangkan pagar dari *wire mesh* yang terpasang di atas *guard rail* setinggi 1,8 m dan pagar beton mempunyai fungsi yang sama seperti *guard rail*.

d. Pelebaran Tikungan (*Kerbstone*)

Kerbstone digunakan pada semua tikungan yang ada di lintasan sirkuit. *Kerbstone* ini digunakan untuk membantu para pembalap melewati bagian tikungan agar tidak keluar dari jalur lintasannya. *Kerbstone* ini sering disebut sebagai lintasan peralihan. Panjang *Kerbstone* ini didasarkan pada panjang tikungan yang dianggap membutuhkan lintasan peralihan. Sedangkan lebarnya ± 100 cm dari tepi luar sisi lintasan sirkuitnya. *Kerbstone* ini dipasang pada satu sisi lintasan saja, yaitu pada tikungan sebelah dalam lintasan.

e. Hampan Kerikil (*Gravel Bed*)

Hampan kerikil ataupun *gravel bed* merupakan fasilitas pengaman lintasan. Hampan kerikil ini berfungsi sebagai ruang peralihan antara lintasan sirkuit dengan pagar pengaman dan ban pengaman pada saat terjadi

kecelakaan. Sehingga mobil ataupun motor tidak secara langsung menabrak pagar pengaman lintasan ataupun ban pengaman (*tyre barriers*). Elevasi permukaan hamparan kerikil harus sama dengan area *run off*.

2.2.4. Perencanaan Konstruksi

2.2.4.1. Alinyemen Horisontal

Alinyemen horisontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horisontal atau lebih dikenal trase jalan. Alinyemen horisontal terdiri dari garis-garis lurus yang dihubungkan dengan garis-garis lengkung. Garis lengkung tersebut dapat terdiri dari busur lingkaran ditambah busur peralihan, busur peralihan saja ataupun busur lingkaran saja.

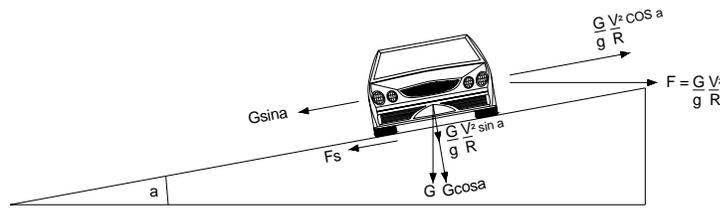
Apabila suatu kendaraan bergerak dengan kecepatan tetap V pada bidang datar atau miring dengan lintasan berbentuk suatu lengkung seperti lingkaran, maka pada kendaraan tersebut bekerja gaya kecepatan V dan gaya sentrifugal F . Gaya sentrifugal mendorong kendaraan secara radial keluar dari lajur jalannya, berarah tegak lurus terhadap gaya kecepatan V . Untuk dapat mempertahankan kendaraan tersebut tetap pada sumbu lajur jalannya, maka perlu adanya gaya yang dapat mengimbangi gaya tersebut sehingga terjadi suatu keseimbangan, yaitu :

- Gaya gesekan melintang antara ban dengan permukaan jalan (f)

Besarnya koefisien gesekan melintang dipengaruhi oleh jenis dan kondisi ban, tekanan ban, kekasaran permukaan perkerasan, kecepatan kendaraan dan cuaca.

- Komponen berat kendaraan (G) akibat kemiringan melintang permukaan jalan atau superelevasi (e).

Kemiringan melintang jalan pada lengkung horisontal (superelevasi) bertujuan untuk memperoleh komponen gaya berat kendaraan guna mengimbangi gaya sentrifugal. Semakin besar superelevasi semakin besar komponen berat kendaraan yang diperoleh. Gaya-gaya yang bekerja digambarkan seperti pada Gambar 2.1 yaitu gaya sentrifugal (F), berat kendaraan (G), dan gaya gesekan antara ban dan permukaan jalan (f).



Gambar 2. 1 Keseimbangan Gaya Pada Tikungan

Gaya sentrifugal dijabarkan dalam rumus :

$$F = \frac{G}{g} \times \frac{V^2}{R}$$

- dimana : V = kecepatan kendaraan (km/jam)
- R = jari-jari lengkung lintasan (m)
- g = percepatan gravitasi (m²/det)
- G = berat kendaraan (kg)

Gaya gesek antara ban dengan permukaan jalan merupakan perkalian antara koefisien gesek melintang dengan gaya normal (tegak lurus bidang permukaan jalan) akibat berat kendaraan. Koefisien gesek melintang dipengaruhi oleh jenis dan kondisi ban, kekasaran permukaan perkerasan, kecepatan kendaraan dan keadaan cuaca.

Di dalam perencanaan geometrik, nilai koefisien gesek yang digunakan harus merupakan nilai yang telah memperhitungkan faktor keamanan pengemudi atau pembalap. Jadi nilai koefisien gesek yang dipergunakan dalam perancangan geometrik bukan nilai maksimum yang terjadi. Pada kecepatan rendah diperoleh koefisien gesekan melintang yang tinggi, sedangkan untuk kecepatan yang tinggi diperoleh nilai koefisien gesekan melintang yang rendah. Dalam perancangan geometrik disarankan untuk menggunakan nilai koefisien gesek melintang yang maksimum.

Persamaan matematis tentang perhitungan koefisien gesek melintang dijabarkan dalam rumus sebagai berikut :

Untuk kecepatan rencana < 80 km/jam, maka :

$$F = -0,00065 V + 0.192$$

Untuk kecepatan rencana antara > 80 km/jam, maka :

$$F = -0,00125 V + 0.24$$

Rumus umum untuk lengkung horisontal adalah :

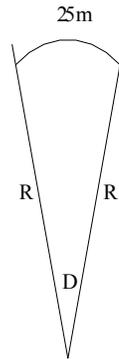
$$e + f = \frac{V^2}{gR}$$

Dalam lintasan yang lurus perubahan kemiringan pada profil melintang khususnya untuk pengaturan drainase, antara dua sisi tepi dari lintasan atau antara garis pusat lintasan dengan tepi lintasan, tidak boleh melebihi dari 3%, atau kurang dari 1.5%.

Dalam tikungan, timbunan (menurun dari luar ke dalam dari lintasan) tidak boleh melebihi dari 10%. Kemiringan yang kurang baik, tidak dapat digunakan dalam beberapa keadaan, misalnya pada saat kecepatan masuk, kendaraan tidak boleh melebihi dari 125 km/jam.

1. Radius Minimum atau derajat lengkung maksimum

Di dalam perancangan geometrik lintasan sirkuit, ketajaman lengkung horisontal dapat dinyatakan dalam jari-jari lengkung (R) atau dalam derajat lengkung (D). Derajat lengkung didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk oleh juring lingkaran dengan jari – jari R dalam meter yang menghasilkan panjang busur 25 meter. Ilustrasi dari hal tersebut akan dijelaskan dalam gambar dibawah ini :



Gambar 2. 2 Hubungan antara R dan D°

Dari gambar diatas, hubungan antara jari-jari lengkung dengan derajat lengkung dapat dinyatakan dengan rumus :

$$D = \frac{25}{2\pi R} \times 360^\circ$$

Sedangkan untuk mendapatkan R minimum digunakan rumus sebagai berikut :

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(e_{\max} + f_{\max})}$$

Dimana : e = superelevasi

f = faktor gesekan

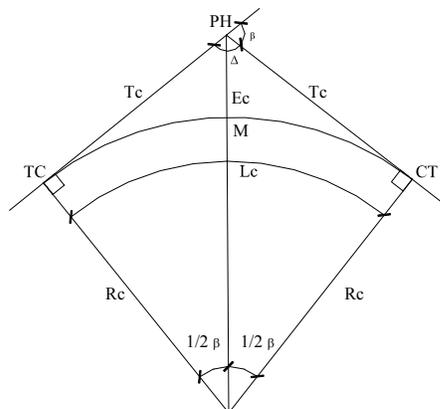
2. Perencanaan Tikungan

Dalam perencanaan tikungan dikenal 2 bentuk lengkung dasar yang sering digunakan, yaitu : lengkung lingkaran (*circle*) dan lengkung spiral. Lengkung spiral sering digunakan sebagai lengkung peralihan. Penggunaan kedua lengkung dasar tersebut disesuaikan dengan kebutuhan dan persyaratan teknis.

Untuk itu dikenal beberapa bentuk tikungan yang digunakan dalam perancangan, yaitu : lingkaran penuh (*full circle*), spiral-spiral (S-S), dan spiral-lingkaran-spiral (S-C-S).

a. Lingkaran Penuh (*Full Circle*)

Bentuk tikungan ini digunakan pada tikungan yang mempunyai jari-jari tikungan besar dan sudut tangen kecil. Pada tikungan yang tajam, dimana jari-jari tikungan kecil dan superelevasi yang diperlukan besar, tikungan berbentuk lingkaran akan menyebabkan perubahan kemiringan melintang yang besar, sehingga akan menimbulkan kesan patah pada tepi perkerasan sebelah luar. Gambar tikungan *Full Circle* dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Tikungan Full Circle

Gambar diatas menunjukkan tikungan berbentuk lingkaran penuh. Bagian lurus dari lintasan sirkuit (di sebelah kiri TC dan sebelah kanan CT) dinamakan bagian tangen.

Titik peralihan dari bagian lurus ke bagian lengkung (lingkaran) dinamakan titik TC, sedangkan titik peralihan dari bagian lengkung ke bagian lurus dinamakan titik CT.

Titik potong dari perpanjangan kedua bagian lintasan sirkuit yang lurus dinamakan PH, sedangkan sudut yang terbentuk antara keduanya dinamakan sudut tangen (Δ). Jarak lurus antara titik TC (atau CT) terhadap titik PH disebut TC.

$$Tc = Rc \operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta$$

$$Ec = \frac{Rc \left(1 - \cos \frac{1}{2} \beta \right)}{\cos \frac{1}{2} \beta}$$

$$= Tc \operatorname{tg} \left(\frac{1}{4} \beta \right)$$

$$Lc = \frac{\beta A}{180^\circ} Rc$$

$$= 0,01745 \beta Rc$$

Karena tikungan hanya berbentuk lingkaran saja, maka pencapaian superelevasi dilakukan sebagian pada lintasan sirkuit atau jalan yang lurus dan sebagian dilakukan pada bagian lingkaran (lengkung). Karena sesungguhnya bagian tikungan peralihan itu sendiri tidak ada, maka panjang daerah pencapaian superelevasi disebut sebagai panjang peralihan fiktif Ls' .

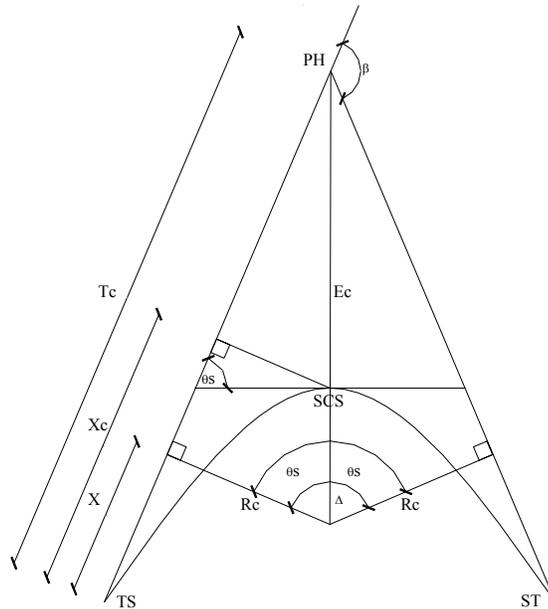
Bina Marga menempatkan panjang peralihan fiktif ini pada bagian jalan yang lurus sebesar $3/4 Ls'$ (yaitu di sebelah kiri TC atau sebelah kanan dan pada bagian lingkaran (lengkungan) sebesar $1/4 Ls'$.

AASHTO menempatkan $2/3 Ls'$ di bagian lurus (kiri TC atau kanan CT) dan $1/3 Ls'$ ditempatkan di bagian lengkung (kanan TC atau kiri CT).

b. Lengkung Spiral (S-S)

Lengkung peralihan dipasang pada bagian awal, yaitu di ujung dan di titik balik pada lengkungan untuk menjamin perubahan yang tidak mendadak pada jari-jari tikungan, superelevasi dan pelebaran jalan.

Gambar tikungan spiral-spiral dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini :



Gambar 2.4 Tikungan Spiral-Spiral

Guna menjamin kelancaran mengemudi, maka panjang minimum lengkung peralihan dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L &= V \times t \\ &= \frac{V}{3,6} \times t \\ &= \frac{V}{1,2} \end{aligned}$$

Dengan L = panjang minimum lengkung peralihan (meter)

V = kecepatan rencana (km/jam)

t = waktu tempuh (3 detik)

Tikungan dengan jari-jari besar tidak memerlukan lengkung peralihan. Jika lengkung peralihan dipasang alinyemen horisontal bergeser dari garis singgung ke suatu lengkungan. Besarnya nilai pergeseran ini tergantung dari panjang lengkung peralihan dan jari-jari lengkung.

Jika jari-jari lengkung sedemikian besarnya sehingga pergeseran kecil, maka pergeseran dapat diadakan di dalam lebar jalan, sehingga lengkung peralihan tidak dibutuhkan.

Besarnya pergeseran ini dapat dihitung sebagai berikut :

$$S = \frac{1}{24} \times \frac{L^2}{R}$$

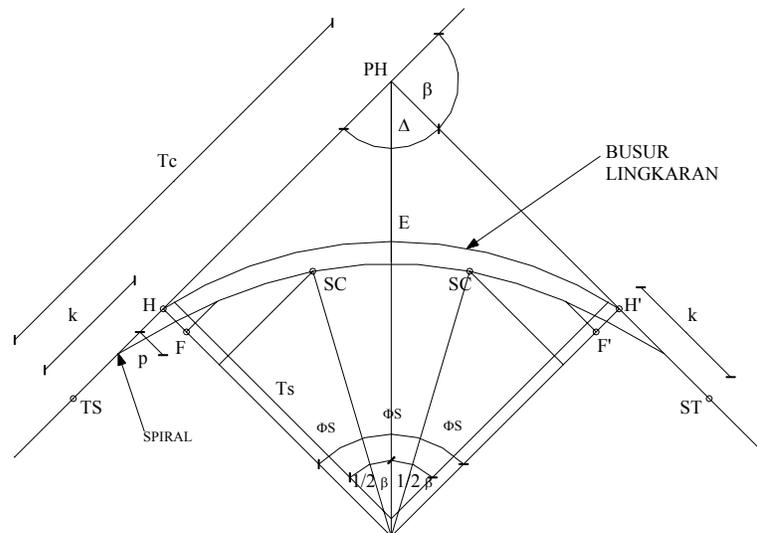
Dengan : S = nilai pergeseran (meter)

L = panjang lengkung peralihan (meter)

R = jari-jari lengkung (meter)

c. Spiral Lingkaran Spiral (S-C-S)

Lengkung TS-SC adalah lengkung peralihan berbentuk spiral (*clothoid*) yang menghubungkan bagian lurus dengan radius tak terhingga di awal spiral (kiri TS) dan bagian berbentuk lingkaran dengan radius = Rc diakhiri spiral (kanan SC). Titik TS adalah titik peralihan bagian lurus ke bagian berbentuk spiral dan titik SC adalah titik peralihan bagian spiral ke bagian lingkaran. Gambar tikungan S-C-S dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini :



Gambar 2. 5 Tikungan Spiral-Circle-Spiral

Guna membuat ruangan untuk spiral sehingga lengkung lingkaran dapat ditempatkan di ujung lengkung spiral, maka lengkung lingkaran tersebut di geser ke dalam posisi FF', dimana HF = H'F' = p terletak sejauh k dari awal lengkung peralihan sembarang titik P pada spiral yaitu :

$$X - L \left(1 - \frac{L^2}{40R^2} \right)$$

$$Y - \frac{L^2}{6R}$$

Jika panjang lengkung peralihan dari TS ke SC adalah L_s dan R pada SC adalah R_c , maka :

$$X_s = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40R_c^2} \right)$$

$$Y_s = \frac{L_s^2}{6R_c}$$

Besarnya sudut spiral pada titik SC adalah :

$$\phi = \frac{L_s}{2R_c} \text{ radial}$$

$$\phi = \frac{90L_s}{\pi R_c} \text{ derajat}$$

Dan nilai p menjadi :

$$p = \frac{L_s^2}{6R_c} - R_c (1 - \cos \phi s)$$

$$k = L_s - \frac{L_s^3}{40R_c^2} - R_c \sin \phi s$$

Sudut pusat busur lingkaran = ϕs dan sudut spiral = ϕs

Jika besarnya sudut perpotongan kedua tangen adalah β , maka :

$$\phi s = \beta - 2 \phi s$$

$$E_s = (R_c + p) \sec \beta - R_c$$

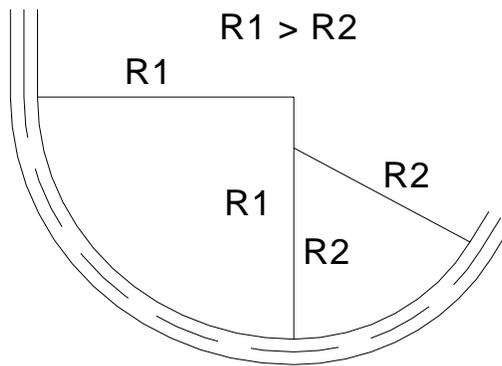
$$T_s = (R_c + p) \tg \beta + k$$

$$L_c = \frac{\phi s}{180} \pi R_c$$

Lc untuk lengkung S-C-S ini sebaiknya ≥ 20 m, maka radius yang digunakan haruslah memenuhi syarat tersebut. Hal ini sangat dipengaruhi oleh besarnya sudut β . Jadi terdapat radius minimum yang dapat dipergunakan untuk perencanaan lengkung berbentuk spiral–lingkaran–spiral sehubungan dengan besarnya sudut β , kecepatan rencana, dan batasan superelevasi maksimum yang dipilih.

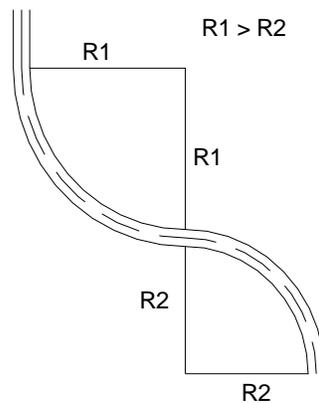
Dalam perencanaan tikungan pada alinyemen horisontal dapat juga menggunakan beberapa jenis tikungan gabungan diantaranya adalah :

- Tikungan gabungan searah, yaitu gabungan dua atau lebih tikungan dengan arah putaran yang sama, tetapi dengan jari-jari yang berbeda. (lihat gambar 2.6)



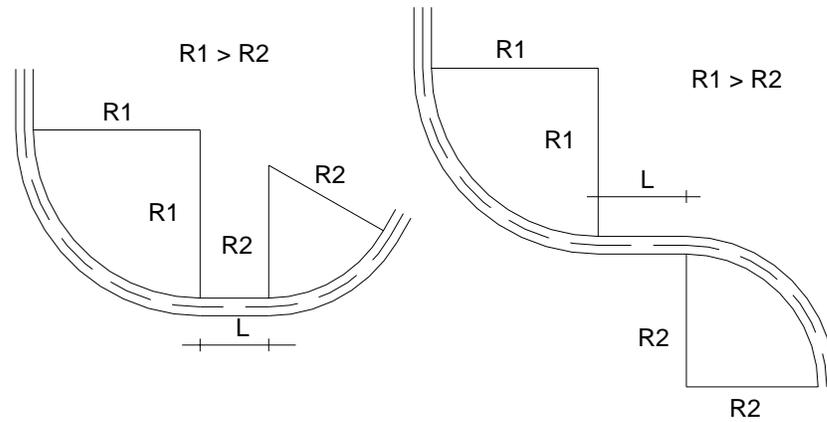
Gambar 2. 6 Tikungan Gabungan Searah

- Tikungan gabungan balik arah, yaitu gabungan dua atau lebih tikungan dengan arah putaran yang berbeda. (lihat gambar 2.7)



Gambar 2. 7 Tikungan Gabungan Balik Arah

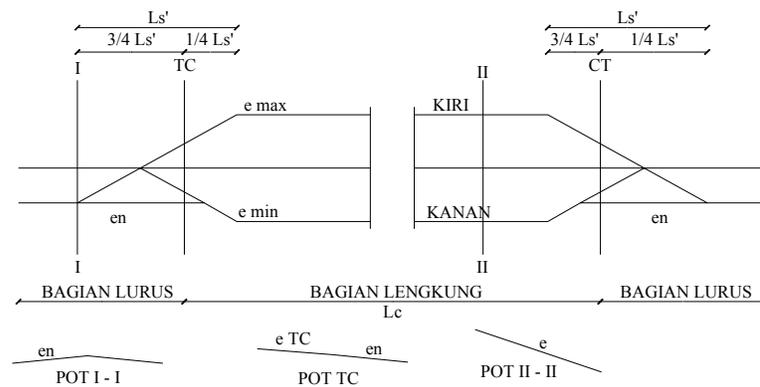
- Tikungan gabungan searah dan balik arah dapat dilengkapi dengan lintasan lurus sepanjang L. (lihat gambar 2.8)



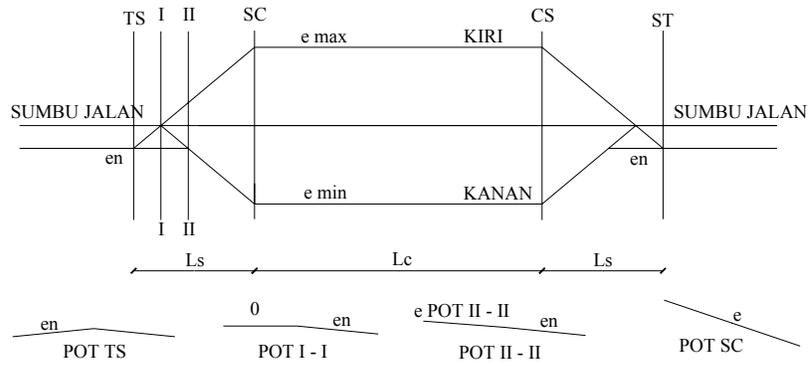
Gambar 2.8 Tikungan gabungan searah dan balik arah dapat dilengkapi dengan lintasan lurus sepanjang L

3. Superelevasi

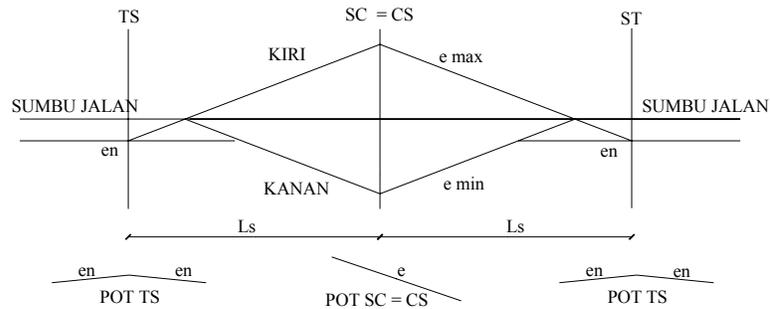
Superelevasi menunjukkan besarnya perubahan kemiringan melintang jalan secara berangsur-angsur dari kemiringan normal menjadi kemiringan maksimum pada suatu tikungan horisontal yang direncanakan. Dengan demikian superelevasi dapat menunjukkan kemiringan melintang jalan pada setiap titik dalam tikungan. Nilai superelevasi yang tinggi mengurangi gaya geser ke samping dan tidak membutuhkan gerakan kendaraan pada tikungan lebih nyaman. Berikut di bawah ini macam-macam diagram superelevasi sesuai dengan jenis tikungannya.



Gambar 2.9 Diagram Superelevasi Tikungan *Full Circle*



Gambar 2. 10 Diagram Superelevasi Tikungan S-C-S



Gambar 2. 11 Diagram Superelevasi Tikungan S-S

4. Lengkung Peralihan

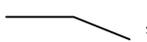
Secara teoritis perubahan jurusan yang dilakukan pengemudi atau pembalap dari jalan lurus ke tikungan harus dilakukan dengan mendadak. Tetapi ini tidak perlu karena :

- Pada pertama kali membelok yang dibelokkan adalah roda depan, sehingga jejak roda akan melintasi lintasan peralihan dari jalan/lintasan sirkuit ke tikungan berbentuk busur lingkaran.
- Akibat keadaan di atas, gaya sentrifugal yang timbulpun berangsur-angsur dari R tak terhingga di jalan lurus sampai $R = R_c$ pada tikungan berbentuk busur lingkaran.

Pada lengkung horisontal yang tumpul dengan jari-jari yang besar lintasan kendaraan masih dapat tetap pada lajur jalannya, tetapi pada tikungan tajam

kendaraan akan menyimpang dari lajur yang disediakan, mengambil lajur lain disampingnya. Untuk menghindari hal tersebut, sebaiknya dibuatkan lengkung di mana lengkung tersebut merupakan peralihan dari $R = \infty$ ke $R = R_c$. Lengkung ini disebut lengkung peralihan.

Pencapaian kemiringan melintang dari jalan normal pada jalan lurus ke kemiringan melintang sebesar superelevasi dan sebaliknya dilakukan pada awal dan akhir lengkung.

Pada lengkung Bina Marga diperhitungkan sepanjang mulai dari penampang melintang berbentuk *crow*n atau kemiringan normal (e_n) sampai penampang melintang dengan kemiringan superelevasi. Sedangkan AASHTO'90 memperhitungkan panjang lengkung peralihan dari penampang melintang berbentuk , sampai penampang melintang dengan kemiringan sebesar superelevasi.

a. Landai Relatif

Proses pencapaian kemiringan melintang sebesar superelevasi dari kemiringan melintang normal pada jalan lurus sampai kemiringan melintang sebesar superelevasi pada lengkung berbentuk busur lingkaran, menyebabkan peralihan tinggi perkerasan sebelah luar dari elevasi sesuai kemiringan superelevasi pada busur lingkaran.

Landai relatif ($1/m$) adalah besarnya kelaian akibat perbedaan elevasi tepi perkerasan sebelah luar sepanjang lengkung peralihan. Perbedaan elevasi dalam hal ini hanya berdasarkan tinjauan perubahan bentuk penampang melintang jalan, belum merupakan gabungan dari perbedaan elevasi akibat kelaianan vertikal jalan. Berikut di bawah adalah landai relatif menurut Bina Marga dan AASHTO.

Tabel 2.6 Landai Relatif

Menurut Bina Marga	Menurut AASHTO
Landai relatif = $\frac{1}{m} = \frac{h}{L_s}$	Landai relatif = $\frac{1}{m} = \frac{h_1}{L_s}$
$\frac{1}{m} = \frac{(e + e_n)B}{L_s}$	$\frac{1}{m} = \frac{(e)B}{L_s}$

Sumber: *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan oleh Silvia Sukirman*

Di mana :

- 1/m = landai relatif
- Ls = panjang lengkung peralihan
- B = lebar jalur 1 arah, m
- E = superelevasi, m/m'

b. Panjang Lengkung Peralihan (Ls) Berdasarkan Rumus SHORTT

Gaya sentrifugal akan berubah secara cepat jika panjang spiral yang dipergunakan pendek, sebaliknya gaya sentrifugal akan berubah secara perlahan-lahan jika panjang spiral cukup panjang.

Untuk mengimbangi gaya sentrifugal sebenarnya telah dibuatkan superelevasi, oleh karena itu gaya yang bekerja adalah gaya sentrifugal dan komponen berat kendaraan akibat dibuatkannya kemiringan melintang sebesar superelevasi. Rumus SHORTT adalah sebagai berikut :

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

Rumus ini terkenal dengan nama rumus MODIFIKASI SHORTT

5. Pelebaran Tikungan

Pelebaran pada tiap tikungan terletak di setiap peralihan tikungan di sisi sebelah luar dan dalam tikungan. Elemen-elemen yang mempengaruhi pelebaran perkerasan pada tikungan adalah *Off Tracking* (U) dan Kesukaran dalam mengemudi di tikungan (Z).

a. *Off Tracking* (U)

$$R_c = R_i + \left(\frac{1}{2} \times b \right) - \left(\frac{1}{2} \times B_n \right)$$

$$R_w = \sqrt{\left((0,5 \times b) + \sqrt{R_c^2 - (p - A)^2} \right)^2 + (p + A)^2}$$

$$B = R_w + b - \sqrt{R_w^2 - (p + A)^2}$$

Keterangan :

Rc = Radius lengkung untuk lintasan luar roda depan (m) yang besarnya dipengaruhi oleh sudut belokan roda depan (α).

R_i = Radius lengkung terdalam dari lintasan kendaraan pada lengkung horisontal untuk lajur sebelah dalam (m). Besarnya R_i dipengaruhi oleh jarak gandar kendaraan.

R_w = Radius lengkung terluar dari lintasan kendaraan pada lengkung horisontal untuk lajur sebelah dalam (m). Besarnya dipengaruhi oleh tonjolan depan kendaraan (A) dan sudut belokan roda depan (α).

B = Lebar kendaraan rencana (m).

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

B_n = Lebar perkerasan jalan (m).

p = Jarak antar gandar (m).

A = Tonjolan depan kendaraan (m).

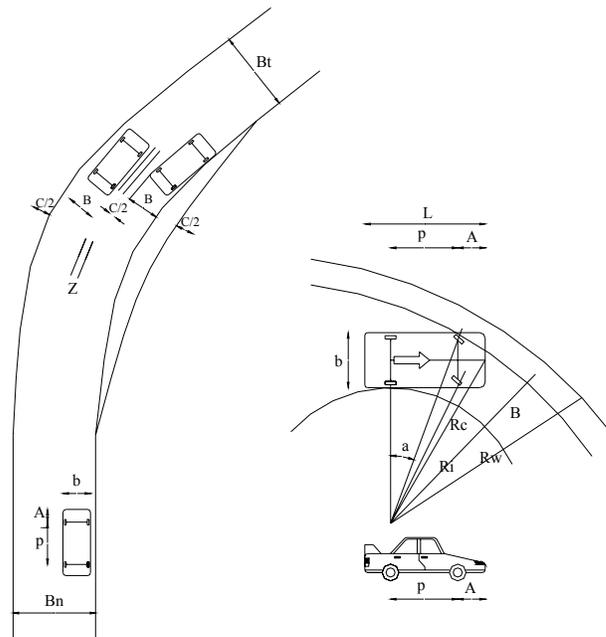
b. Kesukaran dalam mengemudi di tikungan (Z)

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

V = Kecepatan rencana (km/jam)

R = Radius lengkung (m)

Z = Pelebaran (m)



Gambar 2. 12 Pelebaran Perkerasan Pada Tikungan

Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah perpotongan bidang vertikal dengan bidang permukaan perkerasan jalan melalui sumbu jalan. Dalam perencanaan alinyemen vertikal, muka jalan sebaiknya diletakkan sedikit di atas muka tanah asli sehingga memudahkan dalam pembuatan drainase jalan, terutama di daerah yang datar. Dengan demikian penarikan alinyemen vertikal sangat dipengaruhi oleh :

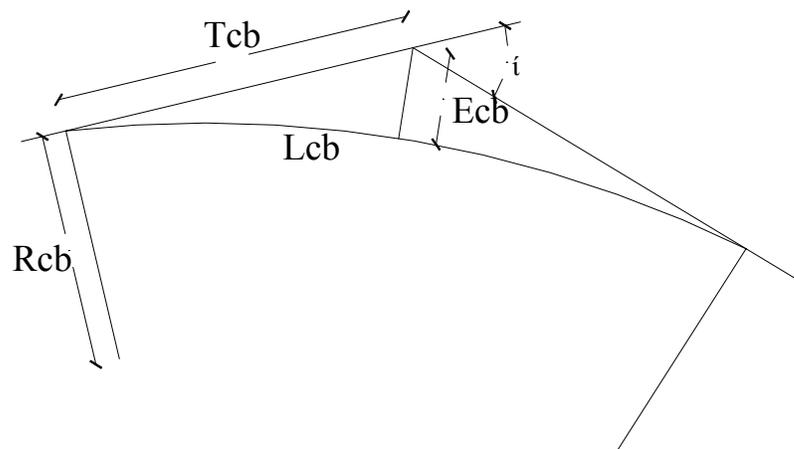
- Kondisi tanah dasar
- Keadaan medan
- Fungsi jalan/lintasan sirkuit
- Muka air banjir
- Muka air tanah
- Kelandaian yang memungkinkan

Menurut FIA, setiap ada perubahan kemiringan pada profil memanjang maka menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{V^2}{K}$$

Dimana R adalah radius dalam ukuran meter, sedangkan V adalah kecepatan dalam km/jam dan K adalah konstanta sebesar 20 untuk profil yang cembung dan 15 untuk profil yang cekung.

1. Profil Cembung



Gambar 2. 13 Profil Cembung

Rumus dasar dari FIA :

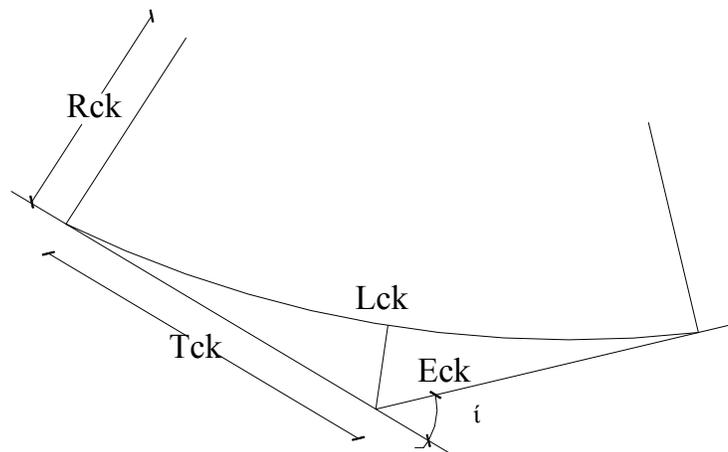
$$Rcb = \frac{V^2}{20}$$

$$Lcb = \frac{\beta \times \pi \times R}{180}$$

$$Tcb = R \times \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} \times \beta \right)$$

$$Ecb = Tc \times \operatorname{tg} \left(\frac{1}{4} \times \beta \right)$$

2. Profil Cekung



Gambar 2. 14 Profil Cekung

Rumus dasar dari FIA :

$$Rck = \frac{V^2}{15}$$

$$Lck = \frac{\beta \times \pi \times R}{180}$$

$$Tck = R \times \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} \times \beta \right)$$

$$Eck = Tc \times \operatorname{tg} \left(\frac{1}{4} \times \beta \right)$$

Nilai R harus cukup meningkat dalam hal pendekatan, pelepasan, pengereman, dan pada bagian tikungan. Perubahan kemiringan tersebut harus

dihindarkan secara bersamaan dalam bagian-bagian ini. Perubahan kemiringan pada lintasan yang lurus tidak boleh melebihi dari 2%.

Perencanaan Perkerasan Lentur Sirkuit Balap

Suatu perkerasan jalan umumnya meliputi :

- Lapis pondasi bawah (*sub base course*)
- Lapis pondasi atas (*base course*)
- Lapis permukaan (*surface course*)

Sedangkan kekuatan dan keawetan konstruksi jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Untuk perencanaan perkerasan sirkuit digunakan metode AASHTO 1993 dan Metode tanpa bahan pengikat (*Un-Bound Method*), dimana parameter yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. AASHTO 1993

a. Batasan waktu

Batasan waktu meliputi lamanya umur rencana dan umur kinerja jalan (*performance period*). Umur kinerja jalan yaitu masa pelayanan jalan dimana pada akhir masa pelayanan dibutuhkan rehabilitasi atau *overlay*. Umur rencana dapat sama atau lebih besar dari umur kinerja jalan.

b. Kinerja Perkerasan Jalan

Kinerja perkerasan jalan didefinisikan sebagai kemampuan struktur perkerasan tersebut dalam menahan beban volume kendaraan dan pengaruh lingkungan selama umur kinerjanya. Kinerja perkerasan jalan dinyatakan dalam *Present Serviceability Index* (PSI).

$$\Delta\text{PSI} = \Delta\text{PSI}_{\text{traffic}} + \Delta\text{PSI}_{\text{SW,FH}}$$

$$\Delta\text{PSI}_{\text{traffic}} = p_o - p_t$$

$$p_o = \text{initial serviceability index}$$

p_o ditetapkan sebesar 4,2 berdasarkan AASTHO *Road Test*.

$$p_t = \text{terminal serviceability index}$$

Nilai p_t adalah berdasarkan pada kondisi jalan tersebut sebelum direhabilitasi atau *overlay*. Besarnya p_t ditetapkan sebagai berikut :

$$2,5 - 3,0 = \text{major highway}$$

$$2,0 = \text{minor highway}$$

1,5 = *minor highway with economic consideration*

- $\Delta PSI_{traffic}$ adalah komponen *serviceability loss* yang disebabkan oleh beban lalu lintas.
- $\Delta PSI_{SW,FH}$ adalah kehilangan kinerja pada perkerasan jalan karena tanah dasar mengembang (*swelling*) akibat air atau salju (*frost heave*). Di Indonesia, umumnya hanya *swelling* karena air saja yang diperhitungkan.

Faktor perubahan kadar air pada tanah berbutir halus memungkinkan tanah tersebut mengalami pengembangan yang mengakibatkan kondisi daya dukung tanah dasar menurun. *Swelling* di dalam metode AASHTO 1993, digunakan untuk mendesain tebal perkerasan jalan. Besarnya ΔPSI_{SW} tergantung pada :

- Tingkat pengembangan (*swell rate constant*, θ), yang besarnya ditetapkan antara 0,04 – 0,20. Nilai yang semakin besar dari konstanta ini menunjukkan bahwa tanah dasar mempunyai tingkat penyerapan air yang besar.
- Besarnya potensi merembes ke atas (*potential vertical rise*, V_R), dinyatakan dalam inchi, yaitu besarnya ekspansi ke atas yang dapat terjadi dari tanah dasar di bawah kondisi ekstrim.
- Probabilitas pengembangan (*swell probability*, P_s), dalam % yaitu proporsi dari tanah dasar di sepanjang segmen yang ditinjau cenderung untuk mengembang.

$$\Delta PSI_{SW} = 0,00335 \times V_R \times P_s \times (1 - e^{-\theta t}), \text{ di mana :}$$

t = Jumlah tahun yang ditinjau, dihitung dari saat jalan.

c. Volume Kendaraan dan Tingkat Pertumbuhan Volume Kendaraan

Volume kendaraan yang dipakai adalah berapa banyaknya putaran yang dilakukan kendaraan di jalan selama 1 tahun, dimana data tersebut untuk menentukan besarnya *Equivalent Standard Axle Load* (ESAL). Sebagai beban kendaraan maksimal yang digunakan adalah beban mobil (8,16 ton = 18 kips = 18.000 lbs).

$$W_{18} = D_d \times D_L \times w_{18}$$

w_{18} = Σ (vol kendaraan dalam 1 tahun x E_i x G_r), dimana :

D_d = faktor distribusi arah.

$$1 \text{ arah, } D_d = 1$$

2 arah, $D_d = 50\%$

D_L = faktor distribusi lajur (*lane distribution factor*), jika per arah mempunyai lebih dari satu lajur.

1 lajur/arah, $D_L = 100\%$

2 lajur/arah, $D_L = 80 - 100\%$

3 lajur/arah, $D_L = 60 - 80\%$

4 lajur atau lebih, $D_L = 50 - 75\%$

w_{18} = lintas ekivalen kumulatif untuk 2 arah

W_{18} = lintas ekivalen kumulatif pada lajur rencana.

E_i = angka ekivalen beban sumbu untuk satu jenis kendaraan (*Equivalent Axle Load*). Penentuan angka ini tergantung pada :

- 1.) nilai P_t
- 2.) beban gandar atau as
- 3.) jenis gandar (*single, tandem* atau *triple axles*)
- 4.) besarnya SN (*Structural Number*)

P_t ditentukan dan besarnya SN (inchi) ditaksir dulu.

- Gr = tingkat pertumbuhan tahunan (*annual growth rate, %*)

$$Gr = \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

- g = tingkat pertumbuhan volume kendaraan, pada sirkuit tergantung dari sesi latihan dan even yang diselenggarakan.

d. Reliabilitas dan Simpangan Baku Keseluruhan (*Reliability and Overall Standard Deviation*)

Reliabilitas adalah nilai probabilitas dari kemungkinan tingkat pelayanan dapat dipertahankan selama masa pelayanan, dipandang dari sisi pemakai jalan. Reliabilitas adalah jaminan bahwa perkiraan beban volume kendaraan yang akan memakai jalan tersebut dapat dipenuhi. Reliabilitas dinyatakan dalam tingkat reliabilitas (*level of reliability, R*).

Tabel 2.7 Tingkat Reliabilitas

Fungsi Jalan	Tingkat Reliabilitas, R (%)	
	Urban	Rural
Jalan Tol	85 – 99,9	80 – 99,9

Jalan Arteri	80 - 99	75 – 95
Jalan Kolektor	80 - 95	75 – 95
Jalan Lokal	50 – 80	50 – 80

Sumber : Buku Perencanaan Struktur Perkerasan Jalan (AASHTO 1993)

Korelasi tingkat reliabilitas dengan standar deviasi normal adalah seperti terlihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 8 Korelasi Reliabilitas dengan Standar Deviasi Normal

Tingkat Reliabilitas, R (%)	Deviasi Normal Standar, Z_R
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Sumber : Buku Perencanaan Struktur Perkerasan Jalan (AASHTO 1993)

Simpangan baku keseluruhan (S_o) akibat dari perkiraan beban lalu lintas dan kondisi perkerasan yang dianjurkan oleh AASHTO 1993 adalah antara 0,35 – 0,45.

e. Kekuatan Tanah Dasar

Kekuatan tanah dasar dinyatakan dengan *modulus resilien* tanah (M_R). Secara empiris, Heukelom dan Klomp menemukan korelasi antara M_R dengan CBR yaitu M_R (psi) = 1500 x CBR.

Pemeriksaan M_R sebaiknya dilakukan selama 1 tahun penuh sehingga dapat diperoleh besarnya M_R sepanjang musim dalam setahun. Besarnya kerusakan relatif (ut) dari setiap kondisi tanah dasar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$ut = 1,18 \times 10^8 \times M_R^{-2,32}$$

Modulus resilien efektif untuk tanah dasar yang akan dipergunakan dalam perencanaan tebal perkerasan adalah harga korelasi yang diperoleh dari kerusakan relatif rata-rata dalam setahun.

f. Kondisi Drainase

Metode AASHTO 1993 memperhitungkan kemampuan material *sub base* maupun *base* dalam hal mengalirkan air. Tingkat kecepatan pengeringan air yang jatuh terdapat pada konstruksi jalan bersama-sama dengan volume beban kendaraan dan kondisi permukaan jalan sangat mempengaruhi umur pelayanan jalan. AASHTO 1993 memberikan daftar koefisien drainase seperti pada tabel berikut :

Tabel 2. 9 Koefisien Drainase Lapisan Perkerasan

Kualitas Drainase	% waktu (dalam setahun) perkerasan dalam keadaan lembab jenuh			
	<1	1 - 5	5 - 25	>25
Baik sekali	1,4 - 1,35	1,35 - 1,3	1,3 - 1,2	1,2
Baik	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Cukup	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,8	0,8
Buruk	1,15 - 1,05	1,05 - 0,8	0,8 - 0,64	0,6
Buruk sekali	1,05-0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,4	0,4

Sumber : Buku Perencanaan Struktur Perkerasan Jalan (AASHTO 1993)

Dari keenam parameter di atas menggunakan persamaan dasar dibawah ini untuk menentukan nilai SN3, SN2 dan SN1 untuk sebagai acuan menentukan tebal perkerasan jalan. Persamaan dasar tersebut adalah :

$$\text{Log}w_{18} = (Z_R \times S_o) + (9,36 \times \text{Log}(SN+1)) - 0,2 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + (2,32 \times \text{Log}M) - 8,07$$

Untuk menentukan tebal perkerasan menggunakan rumus :

$$SN = a1 \times D1 + a2 \times D2 \times m2 + a3 \times D3 \times m3, \text{ dimana :}$$

- a = koefisien lapisan
- D = Tebal masing-masing lapisan
- m = koefisien drainase

2. Perhitungan Tebal Perkerasan Dengan Metode Tanpa Bahan Pengikat (*Un Bound Methode*)

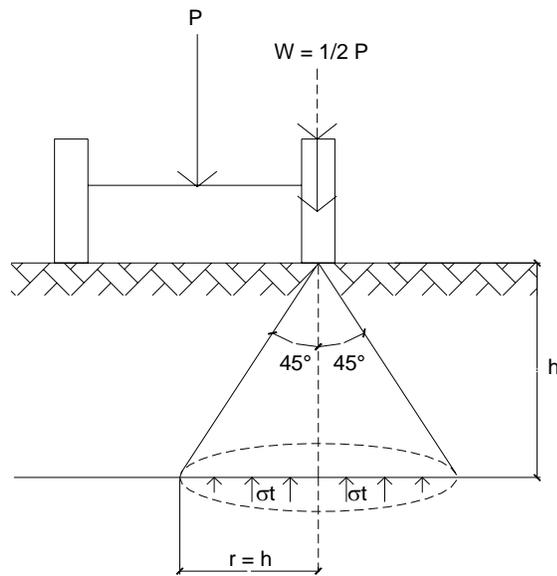
Pada metode tanpa bahan pengikat ini dianggap bahwa seluruh konstruksi perkerasan terdiri dari butiran-butiran lepas yang mempunyai sifat seperti lapisan pasir ialah meneruskan setiap gaya tekan ke seluruh penjuru dengan sudut rata-rata 45⁰ terhadap garis vertikal, sehingga penyebaran gaya tersebut merupakan bentuk kerucut dengan sudut puncak 90⁰.

Melihat skema penyebaran gaya tersebut tampak bahwa, bagian perkerasan sebelah atas akan menderita tekanan yang paling besar. Tekanan ini makin ke bawah semakin kecil karena penyebaran gaya semakin meluas, sehingga pada tebal perkerasan tertentu (t) tekanan dari atas sudah lebih kecil atau sama dengan daya dukung tanah dasar yang diperbolehkan.

$$\sigma \leq \sigma \text{ tanah, dimana :}$$

- σ = tekanan dari atas akibat muatan kendaraan
- σ = daya dukung tanah dasar yang diperbolehkan

a. Rumus Dasar



Gambar 2. 15 Penyebaran Beban Roda Pada Tanah

Unsur-Unsur :

h = tinggi atau tebal perkerasan (cm)

P = tekanan gandar tunggal (statis) yang maksimum (ton)

P_o = standar tekanan gandar tunggal atau kelas jalan kira-kira $P_o = 1/2 P$ (ton)

W = $1/2 P$ = tekanan roda statis (ton)

σ_t = kekuatan tanah dasar (kg/cm^2)

γ = koefisien keamanan untuk kejutan dan untuk getaran-getaran karena beban kendaraan

Hukum Keseimbangan :

Gaya muatan dari atas karena W harus sama dengan gaya dukung dari tanah dasar karena kekuatan tanah dasar (σ_t).

W = Luas daerah tekanan dasar $\times \sigma_t$

$1/2 P = \pi \times r^2 \times \sigma_t, r = h$

$1/2 P = \pi \times h^2 \times \sigma_t$

$$h^r = \frac{P}{(2 \times \pi \times \sigma t)}$$

$$h = \left(\frac{P}{(2 \times \pi \times \sigma t)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

karena P bergerak berkali-kali, maka P dinamis = $\gamma \times P$

$$\text{Rumus dasar : } h = \left(\frac{(\gamma \times P)}{(2 \times \pi \times \sigma t)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

b. Faktor Kepadatan Lalu Lintas

Untuk menghitung tinggi konstruksi jalan, maka supaya aman pada lalu lintas sangat padat koefisien kejut (γ) = 4, sedangkan pada lalu lintas jarang koefisien kejut minimum (γ_{\min}) = 1,25. Untuk kepadatan lalu lintas lainnya, kemudian diambil interpolasinya saja seperti di bawah ini :

Lalu lintas sangat padat	= 4
Lalu lintas padat	= 3,085
Lalu lintas	= 2,17
Lalu lintas jarang	= 1,25

c. Sistem CBR

Hubungan antara CBR (%), E (kg/cm²) dan σt (kg/cm²) adalah sbb :

Rumus umum : $\sigma t = \xi \times E$, dimana :

ξ = Epsilon = 0,008

E = Modulus elastisitas tanah = $\pm 100 \times \text{CBR}$ (kg/cm²)

Sehingga terdapat :

$$\sigma t = \xi \times E$$

$$\sigma t = 0,008 \times 100 \times \text{CBR}$$

$$\sigma t = 0,8 \times \text{CBR}$$

Harga σt dimasukkan ke dalam rumus dasar adalah ;

$$h = \left(\frac{P}{(2 \times \pi \times \sigma t)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$h = \left(\frac{P}{(2 \times \pi \times 0,8 \times \text{CBR})} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$h = \left(\frac{P}{(1,6 \times \pi \times \text{CBR})} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Perencanaan Dinding Penahan Tanah (DPT)

Pada prinsipnya kondisi tanah dalam kedudukannya ada tiga kemungkinan, yaitu :

- Keadaan diam
- Keadaan aktif, ada tekanan tanah aktif
- Keadaan pasif, ada tekanan tanah pasif

Dalam perencanaan dinding penahan tanah dibutuhkan data-data tanah seperti sudut geser (ϕ), kohesi (c) dan berat jenis tanah (γ) yang ditahan oleh dinding penahan tersebut. Selain itu juga diperlukan data-data beban luar yang bekerja seperti beban merata, beban garis dan beban terpusat.

$$K_a = \text{tg}^2(45 - \phi/2)$$

$$K_p = \text{tg}^2(45 + \phi/2)$$

$$P_a = (K_a \times H \times \gamma) \times \frac{1}{2} H$$

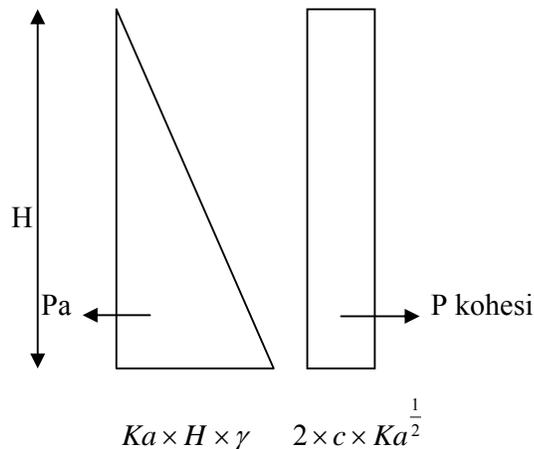
$$P_{\text{kohesi}} = \left(2 \times c \times K_a^{\frac{1}{2}} \right) \times H$$

Dimana :

K_a = Koefisien Tekanan

Tanah aktif

K_p = Koefisien Tekanan Tanah Pasif



Gambar 2. 16 Tekanan tanah

Setelah didapat besarnya gaya dan momen baik vertikal dan horisontal, maka di cek stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling, geser, eksentrisitas, daya dukung tanah, toe dan hell.

Konsolidasi

Pekerjaan urugan dan pemadatan tanah akan mengakibatkan proses konsolidasi tanah (pemampatan/penurunan tanah) yang bisa terjadi bertahun-tahun lamanya. Penurunan tanah dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi bangunan.

Untuk mencegah terjadinya kerusakan konstruksi, diusahakan penurunan tanah mencapai derajat konsolidasi (U) > 90% sebelum pembangunan konstruksi berjalan. Untuk mempercepat proses konsolidasi salah satu caranya adalah dengan menggunakan *vertical drain*. *Vertical Drain* adalah suatu drain yang terbuat dari material permeabel (pasir, batu, kapur, atau *geo-drain*) yang dipasang vertikal menembus tanah yang mengalami konsolidasi, dengan jarak antar *vertical drain* tertentu. Penggunaan *vertical drain* akan bermanfaat bila dipasang pada tanah konsolidatif yang permeabilitasnya rendah.

Fungsi *vertical drain* adalah tempat mengalirnya air pori yang ada di sekitarnya menuju ke permukaan tanah. Karena bahan *vertical drain* sangat permeabel, maka pori di sekitarnya yang mengalami tekanan akibat tambahan beban di atasnya, akan mengalir ke *vertical drain* dan oleh *vertical drain* air tersebut dialirkan ke permukaan tanah. Volume yang ditinggalkan oleh air akan diisi oleh tanah kohesif lain, sehingga tanah mengalami penurunan (konsolidasi). Material *vertical drain* yang digunakan sekarang terbuat dari bahan sintesis yaitu : *geo-drain*.

Air yang sampai permukaan kemudian dialirkan ke samping melalui *horizontal drain* yang biasanya berupa hamparan pasir dengan ketebalan tertentu. Prinsip kerjanya adalah mempercepat aliran air. Jika tanpa *vertical drain* aliran air akan bergerak ke arah vertikal saja, tetapi dengan *vertical drain* aliran air selain bergerak ke arah vertikal juga ke arah horisontal. Rumus yang digunakan untuk perhitungan konsolidasi adalah sebagai berikut :

1. Konsolidasi Biasa

a. Penimbunan Langsung

$$\Delta p = H \text{ timb} \times \gamma \text{ timb}$$

$$\Delta e = C_c \times \text{Log} \left(\frac{p_{oi} + \Delta p_i}{p_{oi}} \right)$$

$$S_i = \frac{\Delta e \times H_i}{1 + e_o}$$

$$T_v = \frac{C_v \times t}{d^2}$$

$$U > 60\% ; T_v = (-0,9332 \times \text{Log} (1 - U)) - 0,0851$$

$$U < 60\% ; T_v = (\pi/4) \times U^2$$

Keterangan :

Δe = perubahan angka pori

C_c = Indeks Pemampatan

p_{oi} = Tekanan efektif sub lapisan tanah (t/m^2)

Δp_i = Penambah tekanan vertikal untuk sub lapisan tanah (t/m^2)

S = Penurunan Tanah (m)

H = Tinggi tanah yang mengalami penurunan (m)

e_o = angka pori

T_v = faktor waktu

C_v = Koefisien konsolidasi (cm^2/mnt)

t = Lama konsolidasi (bln)

d = $\frac{1}{2} H$ (drainase 2 arah)

d = H (drainase 1 arah)

U = Derajat konsolidasi (%)

b. Penimbunan bertahap

$$H \text{ timb kritis} = \frac{(c \times N_c) + (0,5 \times \gamma \times N \gamma \times 1m')}{FS \times \gamma_{timb}}$$

$$\Delta p = H \text{ timb kritis} \times \gamma_{timb}$$

$$\Delta e = C_c \times \text{Log} \left(\frac{p_{oi} + \Delta p_i}{p_{oi}} \right)$$

$$S_i = \frac{\Delta e \times H_i}{1 + e_o}$$

$$U\% = \left(\frac{S}{S_t} \right) \times 100\%$$

$$T_v = \frac{C_v \times t}{d^2}$$

$$U < 60\% ; T_v = (\pi/4) \times U^2$$

$$U > 60\% ; T_v = (-0,9332 \times \text{Log} (1 - U)) - 0,0851$$

Perubahan kondisi tanah setelah penimbunan tahap I :

$$c \text{ baru} = (\Delta p \times 0,25 \times U) + c \text{ awal}$$

$$e_t = e_o - (U \times S_1)$$

$$n = e / (e + 1)$$

$$\gamma_{\text{sub}} = \gamma_k - (1 - n)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \gamma_{\text{sub}} + 1$$

$$H1 \text{ baru} = H1 \text{ awal} - S1$$

$$\tau = c + (\gamma \times H) \times \text{tg}(\phi)$$

2. Konsolidasi dengan *Vertical Drain*

$$T_v = \frac{C_v \times t}{d^2}$$

$$U < 60\% ; T_v = (\pi/4) \times U^2$$

$$U > 60\% ; T_v = (-0,9332 \times \text{Log}(1 - U)) - 0,0851$$

$$T_r = \frac{C_r \times t}{D^2}$$

$$T_r = 1/8 \times F_n \times L_n \times \left(\frac{1}{1 - U_r} \right)$$

$$F_n = \left(\text{Ln} \left(\frac{D}{d_w} \right) \right) - 0,75$$

$$U_{\text{gab}} = 1 - ((1 - U_r) \times (1 - U_v))$$

Keterangan :

C_r = Koefisien konsolidasi arah radial (cm^2/mnt)

S = Jarak antar vertikal drain (m)

d = diameter vertikal drain (m)

$d_w = \pi \times d$ (keliling bahan vertikal drain)

$D = 0,525 \times S \times 2$ (Diameter ekuivalen jaringan segitiga)

Perencanaan Jembatan Sirkuit

1. Klasifikasi Jembatan Menurut Sistem Struktur

a. Jembatan Lengkung

Pelengkung adalah bentuk struktur non-linier yang mempunyai kemampuan sangat tinggi terhadap respon momen lengkung. Yang membedakan bentuk pelengkung dengan bentuk-bentuk lainnya adalah bahwa kedua perletakan ujungnya sendi sehingga pada perletakan diijinkan adanya pergerakan ke arah horisontal.

Apabila ada komponen gaya horisontal di dalam struktur. Dengan demikian bentuk jembatan lengkung hanya bisa dipakai apabila tanah pendukung kuat dan stabil.

Jembatan pelengkung banyak digunakan untuk menghubungkan tepian sungai atau ngarai dan dapat dibuat dari bahan baja maupun beton.

b. Jembatan Gelagar

Jembatan bentuk gelagar terdiri dari lebih satu gelagar tunggal yang terbuat dari beton, baja atau beton prategang. Jembatan jenis ini dirangkai dengan menggunakan diafragma, dan umumnya menyatu secara kaku dengan plat yang merupakan lantai lalu-lintas. Secara struktur jembatan ini merupakan gelagar statis tertentu.

c. Jembatan *Cable-Stayed*

Baik jembatan *cable-stayed* maupun jembatan gantung menggunakan kabel sebagai elemen pemikul lalu-lintas. Perbedaan sistem terletak pada adanya *main-cable*, kabel utama pada jembatan gantung. *Main-cable* ini menghubungkan kabel pemikul lantai lalu-lintas dengan tower. Pada *cable-stayed* kebel langsung ditumpu oleh *tower*.

Jembatan *cable-stayed* merupakan gelagar menerus dengan *tower* satu atau lebih yang terpasang di atas pilar-pilar jembatan di tengah bentang. Dari *tower* kabel dibentangkan secara diagonal menuju gelagar jembatan dan berfungsi sebagai perletakan tambahan di samping pangkal desain pilar. Jembatan *cable-stayed* memiliki titik pusat massa yang relatif rendah posisinya sehingga jembatan tipe ini sangat baik digunakan pada daerah dengan resiko gempa. Pengaruh negatif dari kedudukan pusat massa yang rendah ini adalah bahwa keseluruhan konstruksi menjadi sangat peka terhadap faktor penurunan tanah.

Kabel merupakan elemen struktur dengan ketahanan tinggi terhadap gaya tarik, tetapi lemah terhadap tekan karena akan mengalami tekuk. Dengan demikian jembatan jenis ini sangat kuat untuk memikul beban vertikal berupa lalu lintas di atas lantai jembatan, tetapi perencanaan terhadap beban angin memerlukan perhatian sendiri. Untuk menanggulangi pengaruh goyangan dan getaran berlebihan, setiap jembatan *cable-stayed* dilengkapi dengan pengukur

tegangan. Dengan adanya *tower* dan kabel yang langsing dan mendominasi penampilan jembatan, *cable-stayed* mempunyai penampilan yang elegan.

d. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Sistem struktur dasar jembatan gantung berupa kabel utama (*main-cable*) yang memikul kabel gantung (*suspension cables*). Kabel gantung inilah yang memikul gelagar utama jembatan. Kabel utama terikat pada angker di ujung *tower* yang menyebabkan *tower* dalam keadaan tertekan. Perbedaan utama jembatan gantung terhadap *cable-stayed* adalah bahwa kabel tersebar merata sepanjang gelagar dan tidak membebani *tower* secara langsung. Juga pada jembatan jenis ini kabel tidak terikat pada *tower*.

Lalu lintas jembatan biasanya biasanya tidak terhubung langsung dengan pilar, karena prinsip pemikulan gelagar teletak pada kabel. Apabila terjadi beban angin dengan intensitas tinggi, jembatan dapat ditutup dan arus lalu lintas dihentikan. Hal ini untuk mencegah sulitnya mengemudi kendaraan dalam goyangan yang tinggi.

e. Jembatan Beton Prategang (*Prestressed Concrete Bridge*)

Jembatan beton prategang merupakan suatu perkembangan mutakhir dari bahan beton. Pada jembatan beton prategang diberikan gaya prategang awal yang dimaksudkan untuk mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban.

Jembatan beton prategang dapat dilaksanakan dengan dua sistem yaitu *post-tensioning* dan *pre-tensioning*. Pada sistem *post-tensioning* tendon prategang ditempatkan di dalam duct setelah beton mengeras, dan transfer gaya prategang dari tendon pada beton dilakukan dengan penjangkaran di ujung gelagar. Pada *pre-tensioning* beton dituang mengelilingi tendon prategang yang sudah ditegangkan terlebih dahulu, dan transfer gaya prategang terlaksana karena adanya ikatan antara beton dengan tendon.

f. JembatanRangka (*Truss Bridge*)

Jembatan rangka umumnya terbuat dari baja dengan bentuk dasar berupa segitiga. Elemen rangka dianggap bersendi pada ujungnya sehingga setiap batang hanya menerima gaya aksial tekan atau tarik saja. Jembatan rangka merupakan salah satu jenis jembatan tertua dan dapat dibuat dalam beragam

variasi bentuk, sebagai gelagar sederhana, lengkung atau kantilever. Kekakuan struktur diperoleh dengan pemasangan batang diagonal.

g. Jembatan *Box Girder*

Gelagar baja, beton maupun prategang dapat digunakan pada bentangan jembatan yang tidak terlalu panjang. Apabila diperlukan bentangan yang sangat panjang, maka pilar-pilar harus dipasang untuk mengurangi bentang bersih gelagar.

Jembatan *Box Girder* umumnya terbuat dari baja atau beton konvensional maupun prategang. *Box girder* terutama digunakan sebagai gelagar jembatan, dan dapat dikombinasikan dengan sistem jembatan gantung, *cable-stayed* maupun bentuk pelengkung.

Manfaat utama dari *box girder* adalah momen inersia yang tinggi dengan berat sendiri yang relatif ringan, karena adanya rongga di tengah penampang. *Box girder* dapat diproduksi dalam berbagai bentuk, tetapi bentuk trapesium adalah yang paling banyak digunakan. Rongga di tengah *box* memungkinkan pemasangan tendon prategang di luar penampang beton.

Jenis gelagar ini biasanya dipakai sebagai bagian dari gelagar segmental, yang kemudian disatukan dengan sistem prategang *post-tensioning*. Analisa *full-prestressing*, suatu desain dimana pada penampang tidak diperkenankan adanya gaya tarik, menjamin kontinuitas dari gelagar pada pertemuan segmen.

h. Jembatan Kantilever

Jembatan kantilever memanfaatkan konstruksi jepit bebas sebagai elemen pendukung lalu lintas. Jembatan ini dapat dibuat dari baja dengan struktur rangka maupun beton. Apabila pada jembatan baja kekakuan momen diperoleh dari gelagar menerus, pada beton kondisi jepit dapat tercipta dengan membuat struktur yang monolit dengan pangkal jembatan.

Salah satu kelebihan kantilever adalah bahwa selain proses pembuatan jembatan dapat dibangun menjauh dari pangkal pilar, tanpa dibutuhkannya perancah. Salah satu kendala adalah kebutuhan tinggi efektif yang besar pada perletakan.

i. Jembatan *Box Culvert*

Jembatan *Box Culvert* umumnya terbuat dari beton konvensional maupun prategang. *Box culvert* mempunyai keunggulan bila dibandingkan dengan jembatan yang lain karena jembatan ini multifungsi dan biaya konstruksinya murah.

Box culvert mempunyai bentuk struktur yang istimewa karena mempunyai struktur atas dan struktur bawah dalam satu bagian misalnya :

- a. Jembatan *box culvert* tidak memerlukan abutmen karena mempunyai dinding yang dapat berfungsi sebagai pengganti abutmen.
- b. Jembatan *box culvert* tidak membutuhkan gelagar karena mempunyai plat lantai yang menjadi satu bagian dari jembatan tersebut.
- c. Struktur bawahnya dapat dipakai sebagai terowongan dan dapat dilewati oleh berbagai macam kendaraan sesuai dengan kapasitasnya.

2. Pemilihan Tipe Jembatan

a. Kebijakan Dasar

Kebijakan dasar pemilihan suatu tipe jembatan dilakukan supaya dicapai biaya jembatan seminimum mungkin (baik pelaksanaan konstruksi, dan pemeliharaan jembatan) dalam batas spesifikasi dan standar yang digunakan.

b. Prosedur Pemilihan Bangunan Atas Jembatan

Prosedur pemilihan tipe bangunan atas jembatan adalah sebagai berikut :

- Pada dasarnya jembatan beton bertulang digunakan.
- Pada kondisi berikut jembatan beton bertulang tidak cocok digunakan :
 - 1) Di lokasi pembangunan jembatan tidak memungkinkan dibuat jembatan dari beton karena tidak tersedianya tempat pelaksanaan, tempat perancah, atau skedul pelaksanaan tidak memungkinkan.
 - 2) Bentang jembatan melebihi 20 m.
 - 3) Tinggi pilar + 1/3 kedalaman pondasi melebihi 15 m.
 - 4) Daya dukung tanah mono aksial di permukaan $q_u < 0,50 \text{ kg/cm}^2$.
 - Untuk bentang jembatan di atas 30 m gelagar dianjurkan menggunakan beton prategang. Tetapi untuk jembatan yang kemiringannya (*skew angle*) kurang dari 50° gelagar dianjurkan menggunakan baja.

- Untuk bentang jembatan antara 30-60 m, dianjurkan menggunakan baja komposit. Apabila sudut kemiringannya kurang dari 50° maka menggunakan baja non komposit.
- Untuk bentang melebihi 60 m jembatan rangka atau lengkung lebih cocok.
- Untuk bentang lain di mana dapat dipilih secara bebas, bentang bangunan atas dianjurkan berentang antara 1-1kali $H =$ tinggi pilar + $1/3$ kedalaman pondasi.
- Apabila H mencapai 15 m dan bentang mencapai 20 m, gelagar jembatan dianjurkan menggunakan beton prategang.
- Apabila H melebihi 15 m, gelagar jembatan dianjurkan menggunakan baja.
- Jika bentang jembatan melebihi 18 m struktur rangka dapat digunakan.
- Apabila daya dukung tanah mono aksial q_u $0,50 \text{ kg/cm}^2$ gelagar jembatan dianjurkan menggunakan baja.

c. Prosedur Dasar Pemilihan Tipe Bangunan Bawah Jembatan

Prosedur pemilihan bangunan bawah jembatan adalah sebagai berikut :

- Pada dasarnya bangunan beton bertulang digunakan.
- Pada kondisi beton bertulang tidak dapat digunakan karena ukuran bawah yang terbatas atau alasan pelaksanaan, maka beton prategang atau baja dapat digunakan.
- Pada jembatan melintasi sungai/aliran air bentuk pilar dibuat bulat atau oval. Pada daerah pegunungan di mana aliran air sungai berubah-ubah pada saat banjir, pilar bulat dianjurkan atas dasar pertimbangan efek korosi.
- Apabila tidak ada batasan bentuk penampang pilar dapat dibuat persegi atau I.
- Bentuk keseluruhan pilar dianjurkan kolom jika bangunan atasnya menggunakan rantai beton bertulang. Jika bangunan atasnya menggunakan material lain bentuk pilar adalah rangka kaku bertingkat satu (*single sratum frame*) sampai ketinggian 10 m, bertingkat dua (*double srate rigid frame*) sampai ketinggian 25 m dan bentuk I jika lebih dari 25 m.

3. Klasifikasi Pondasi

a. Pondasi Tapak/Langsung

Pondasi ini dapat dilaksanakan di tempat atau dibuat pracetak diletakkan langsung di permukaan parit galian pada kedalaman dangkal. Sehingga pondasi ini sering juga disebut dalam klasifikasi pondasi dangkal.

b. Pondasi Sumuran

Pondasi ini dibuat pracetak, merupakan penampang berlubang dengan diameter yang relatif besar, yang dilaksanakan berdampingan sementara penggalian tanah dilakukan. Pondasi ini dapat dilakukan pada kedalaman tanah yang cukup, termasuk pondasi kaku (*rigid*) dalam menerima beban lateral.

c. Pondasi Tiang

Pondasi Tiang dapat berupa tiang pancang atau tiang bor (*cast in place*) merupakan pondasi lentur (*elastic foundation*) dalam menerima beban lateral.

d. Prosedur Dasar Pemilihan Tipe Pondasi Jembatan

Pada kedalaman dibawah 5 m bahaya korosi dianggap tidak ada.

Prosedur pemilihan tipe pondasi adalah sebagai berikut :

- Pada lapisan tanah keras berkisar 5 m dari permukaan air atau permukaan tanah pondasi langsung dapat digunakan.
- Apabila tanah keras berada 5 – 15 m di bawah permukaan tanah, pondasi dapat digunakan tiang beton bertulang atau beton prategang ataupun tiang bor. Tiang pancang beton prategang digunakan apabila tiang pancang beton bertulang tidak dapat dipancang.
- Apabila formasi tanah keras berada pada kedalaman 15 – 30 m, pondasi digunakan tiang pancang baja atau tiang bor. Tiang pancang baja biasanya ekonomis apabila q_u di bawah $0,50 \text{ kg/cm}^2$.
- Apabila formasi tanah keras melebihi kedalaman 30 m, pondasi tiang pancang baja lebih sesuai digunakan atau tiang bor dapat digunakan.

Apabila kedalaman air melebihi 5 m, beberapa alternatif berikut dapat digunakan :

- Apabila tanah keras berada pada kedalaman di bawah 7 m pondasi langsung dan sumuran dapat digunakan.

- Pada kedalaman tanah keras mencapai 30 m di bawah permukaan tanah, pondasi *caisson* dengan tekanan udara (*pneumatic caisson*) dapat digunakan.
- Apabila kedalaman tanah keras berada di bawah lebih dari 30 m pondasi *caisson* tekanan udara dapat digunakan. Pada kondisi pelaksanaan yang berdampingan pondasi tiang pancang dapat digunakan sebagai tiang bor.

4. Perencanaan Struktur Jembatan

a. Struktur Atas (Lantai Jembatan, *Oprit*)

1.) Lantai Jembatan

- Pembebanan

Secara umum pembebanan yang bekerja pada konstruksi jembatan adalah tekanan tanah vertikal, tekanan tanah horisontal oleh timbunan, beban hidup di atas gorong-gorong, dan gaya reaksi. Pembebanan pada lantai jembatan dapat diterangkan sebagai berikut : (Sumber PPPJIR 1987).

a.) Beban Primer

1.) Beban mati

Beban yang berasal dari berat sendiri konstruksi, dalam hal ini adalah :

- Beban sendiri plat bawah, atas dan plat samping
- Beban lapisan aspal pada plat atas dan plat bawah
- Beban akibat tekanan tanah horisontal dan vertikal

2.) Beban Hidup

Beban yang berasal dari berat kendaraan bergerak, beban hidup terdiri dari :

- Beban T adalah beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda gandar sebesar 10 ton.
- Beban D adalah beban pada setiap jalur kendaraan yang terdiri dari beban terbagi rata sebesar “q” ton/m’ per jalur dan beban garis “P” sebesar 12 ton perjalur kendaraan. Nilai beban “q” ditentukan sebagai berikut

Tabel 2. 10 Beban “q”

Bentang	Besar “q” (t/m’)	Keterangan
$L < 30 \text{ m}$	2,2	L = Panjang bentang (m)
$30 \text{ m} < L < 60 \text{ m}$	$2,2 - \left[\left(\frac{1,1}{60} \right) \times (L - 30) \right]$	

$L > 60 \text{ m}$	$1,1 \times \left[1 + \left(\frac{30}{L} \right) \right]$	
--------------------	---	--

*Sumber : Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan
Jalan Raya 1987*

Ketentuan penggunaan muatan D dalam arah melintang jembatan :

- Untuk jembatan $\leq 5,5 \text{ m}$; beban D 100% dibebankan pada seluruh lebar jembatan.
- Untuk jembatan $> 5,5 \text{ m}$; beban D pada lebar jalur $5,5 \text{ m} = 100\%$ dan selebihnya diperhitungkan 50%.

3.) Beban pada tiang sandaran

Tiang-tiang sandaran harus diperhitungkan untuk dapat menahan beban horisontal sebesar 100kg/m yang bekerja pada ketinggian 90 cm di atas lantai trotoar.

4.) Beban kejut

Dengan adanya pengaruh getaran dan pengaruh dinamis maka harus diperhitungkan beban kejut dengan mengalikan beban garis "P" dengan koefisien kejut (K).

$$K = 1 + \left(\frac{20}{(50 + L)} \right)$$

b.) Beban Sekunder

Merupakan beban sementara, antara lain :

- 1.) Beban angin sebesar 150 kg/m^2 yang bekerja setinggi 2 m di atas lantai jembatan.
- 2.) Gaya rem sebesar 5% dari beban D, bekerja horisontal pada dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi $1,8 \text{ m}$ di atas permukaan lantai kendaraan.

c.) Beban Gempa

d.) Beban Khusus

- Gaya tumbuk pada jembatan layang

Gaya tumbuk antara kendaraan dan pilar dimaksudkan pada jembatan-jembatan layang di mana bagian bawah jembatan digunakan untuk lalu lintas.

Bagian pilar yang mungkin terkena tumbukan kendaraan perlu diberi tembok pengaman. Bila tidak terdapat sarana pengaman, maka untuk menghitung gaya akibat tumbukan antara kendaraan dan pilar dapat digunakan salah satu dari kedua gaya tumbuk horisontal yang paling menentukan :

1) Pada arah lalu lintas = 100 ton

2) Pada arah tegak lurus lalu lintas = 50 ton

Gaya-gaya tumbuk tersebut dianggap bekerja pada tinggi 1,8 m di atas permukaan jalan.

2.) Oprit

Oprit adalah bangunan penghubung berupa jalan yang menghubungkan antara jalan utama dengan plat lantai jembatan. Metode perencanaan oprit sama dengan perencanaan perkerasan lentur jalan/lintasan sirkuit.

b. Struktur Bawah (Pondasi)

Pemilihan Bentuk dan tipe pondasi ditentukan oleh keadaan tanah dan pembebanan dimana bangunan tersebut didirikan. Tanah harus mampu menahan pondasi dan beban-beban yang dilimpahkan. Untuk menentukan dalamnya lapisan tanah keras dilakukan test *sondir*, dari test ini didapatkan grafik tekanan konus dan grafik hambatan pelekat.

2.2.4.7. Perencanaan Saluran Drainase

Drainase merupakan bagian penting pada konstruksi jalan maupun jembatan, yaitu tempat untuk mengalirkan air, sedangkan menurut jenisnya ada 2 tipe, yaitu : Drainase Permukaan (*surface drainage*) dan Drainase Bawah Permukaan (*sub surface drainage*).

1. Perhitungan data Hidrologi

Curah hujan dalam periode tahun

$$X_t = X_a + (k \times S_x)$$

$$S_x = \left(\text{SUM} \left(\frac{X_i - X_a}{(n-1)^{\frac{1}{2}}} \right)^2 \right)$$

Yn dan Sn didapat dari tabel di bawah ini :

Tabel 2. 11 Koefisien Reduksi Rata-Rata dan Standar Deviasi Reduksi

N	Yn	Sn	N	Yn	Sn
10	0,4592	0,9496	21	0,5252	1,0696
11	0,4996	0,9676	22	0,5268	1,0754
12	0,5053	0,9933	23	0,5283	1,0811
13	0,5070	0,9971	24	0,5296	1,0864
14	0,5100	1,0095	25	0,5309	1,0915
15	0,5128	1,0206	26	0,5320	1,1961
16	0,5157	1,0316	27	0,5332	1,1004
17	0,5181	1,0411	28	0,5343	1,1047
18	0,5202	1,0493	29	0,5353	1,1086
19	0,5220	1,0565	30	0,5362	1,1124
20	0,5236	1,0628	31	0,5371	1,1159

Sumber : Materi Kuliah Hidrologi

$$Y_t = -\ln \left(\frac{\ln 10}{(T-1)} \right)$$

$$k = \left(\frac{Y_t - Y_n}{S_n} \right)$$

Keterangan :

Xt = Besar curah hujan yang diharapkan dalam periode T (mm)

Xa = jumlah maksimum rata-rata curah hujan dibagi N tahun

Yn = reduksi rata-rata

Sn = Standar deviasi reduksi

N = Jumlah data/tahun

Yt = Variabel reduksi

T = Periode ulang tahun

k = Faktor frekuensi

2. Drainase Permukaan (*surface drainage*)

Drainase permukaan untuk mengalirkan air hujan (*run off*) dari permukaan jalan/tanah ke saluran terbuka maupun tertutup.

- Debit Banjir

$$Q = F \times C \times I \times A$$

$$Q = \text{Debit pengaliran (m}^3/\text{s)}$$

F = Faktor yang berhubungan dengan unit satuan luas daerah dalam km² dan intensitas dalam mm/jam

$$= \frac{I}{3,6}$$

A = Luas daerah pengaliran (km²)

C = koefisien pengaliran tergantung jenis material yang dipakai (pas.

Batu = 0.7)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

- Intensitas Hujan

$$I = \left(\frac{R}{24} \right) \times \left(\frac{24}{tc} \right)$$

$$tc = t1 + t2$$

$$t1 = \left(\left(\frac{2}{3} \right) \times 3,28 \times lebar \times \frac{nd}{s} \right)^{0,167}$$

$$t2 = 0.0195 \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$$

R = Curah hujan periode tahun

tc = Waktu tempuh air dari titik terjauh ke titik pengukuran

t1 = Waktu perlambatan air dari titik terjauh terhadap saluran tepi

t2 = Waktu perlambatan air dari titik terjauh terhadap titik pengukuran

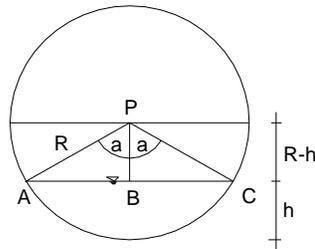
nd = *poor grass* (0.2), *Cement Concrete* (0.013), *imperius surface* (0.2)

s = prosentase dari luas

L = panjang saluran

S = kemiringan saluran

- Dimensi saluran (tertutup)
- Lingkaran



Gambar 2. 17 Drainase Permukaan

$$A = \left(\frac{\pi r \times 2\alpha}{360} \right) - (AB \times (R - h))$$

$$P = \frac{2\pi r^2 \times 2\alpha}{360}$$

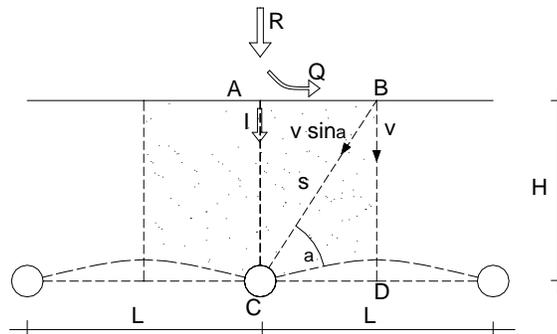
$$AB = (\sin \alpha) \times R$$

$$AC = 2 \times AB$$

$$\alpha = \arccos \left(\left(\frac{R-h}{R} \right) \right)$$

3. Drainase Bawah Permukaan (*sub surface drainage*)

Drainase bawah permukaan yaitu untuk mengalirkan air tanah pada badan jalan dan biasanya berupa saluran pipa berlubang.



Gambar 2. 18 Drainase Bawah Permukaan

Mekanisme resapan air ke dalam tanah

- Air dari muka tanah, meresap ke pipa drain, memerlukan waktu T1

$$T1 = \frac{H}{v} \text{ (ctm)}$$

- Waktu pengosongan isi (t) = waktu yang diperlukan untuk mengosongkan isi

$$t = \frac{S}{v \times \sin \alpha}$$

$$S = \left(H + \left(\frac{L}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

= panjang jalur B – C (jarak terjauh)

- Kekuatan aliran tanah (q_2)

$$q_2 = \frac{I}{t}$$

- Kapasitas debit yang harus dialirkan oleh pipa

Debit yang dialirkan pipa

$$Q = q_2 \times B \times L$$

B = Jarak antar pipa (m)

L = Panjang pipa